

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE
Istituto di Biometeorologia

**SISTEMI INTEGRATI
PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE
E IL SUPPORTO
ALLA GESTIONE DELLE RISORSE**

Componenti, procedure e prospettive

A cura di
Antonio Raschi
Claudio Conese
Piero Battista

2016

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE
Istituto di Biometeorologia

SISTEMI INTEGRATI
PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE
E IL SUPPORTO
ALLA GESTIONE DELLE RISORSE

Componenti, procedure e prospettive

A cura di
Antonio Raschi
Claudio Conese
Piero Battista

2016

AUTORI

Comitato di redazione:

Piero Battista, Bernardo Rapi, Maurizio Romani

CNR-IBIMET

Area della Ricerca di Firenze

Via Madonna del Piano 10

50019 Sesto Fiorentino (FI)

Email: info@biofuturo.net

Publicato da

CNR – IBIMET

Via Giovanni Caproni 8

50145 Firenze

ISBN 9788895597324

Copyright © 2016 by Istituto di Biometeorologia – Consiglio Nazionale delle Ricerche

ebook – distribuito con licenza



CCreative Commons Attribuzione- Non commerciale- Non opere derivate 4.0 Internazionale.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le fotocopie effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale, possono essere effettuate a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da CLEARedi, Centro Licenze e Autorizzazioni per le Riproduzioni Editoriali (www.clearedi.org; e-mail autorizzazioni@clearedi.org).

Angeli L.	pag. 131
Andreani G.	pag. 225
Battista P.	pag. 3, 75, 93, 131, 139, 153, 167, 177, 223
Bonora L.	pag. 105
Bottai L.	pag. 67, 131
Buccianti A.	pag. 67
Cacini S.	pag. 167, 177, 229
Carmassi G.	pag. 153
Chiesi M.	pag. 131, 167
Conese C.	pag. 3, 75, 93, 105
Corongiu M.	pag. 67
Crisci A.	pag. 189
Dalla Marta A.	pag. 139
De Vincenzi M.	pag. 119
Del Gaia F.	pag. 93
Fibbi L.	pag. 131
Follesa S.	pag. 199, 235
Gardin L.	pag. 131
Gozzini B.	pag. 67, 75, 131, 243
Incrocci L.	pag. 153
Lavorini G.	pag. 67
Macera P.	pag. 67
Mancini M.	pag. 139
Manetti F.	pag. 67
Marchi E.	pag. 105
Mari R.	pag. 67
Marzialetti P.	pag. 167
Maselli F.	pag. 131, 167
Masetti G.	pag. 67
Massa D.	pag. 153, 167, 177
Mati F.	pag. 177, 229
Menichetti S.	pag. 67
Morabito M.	pag. 189

Nisi B.	pag. 67
Orlandini S.	pag. 139
Pardossi A.	pag. 153
Protano G.	pag. 67
Raco B.	pag. 67
Rapi B.	pag. 3, 75, 93, 131, 139, 153, 167, 177, 223
Romanelli S.	pag. 67
Romani M.	pag. 3, 75, 93, 105, 131, 139, 153, 167, 177, 223
Sabatini F.	pag. 131, 139, 153, 167, 177
Tesi E.	pag. 105

INDICE

PREFAZIONE	XI
------------	----

CAPITOLO PRIMO

SISTEMI INTEGRATI PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE E LA GESTIONE DELLE RISORSE

1.1	Introduzione	3
1.2	Contesto socio-economico	10
1.3	Prospettive di mercato	12
1.4	Contesto operativo	16
1.5	Sviluppo e gestione delle componenti del sistema di supporto	18
	1.5.1 Componenti e funzioni: "Raccolta dati e informazioni"	20
	1.5.2 Componenti e funzioni: "Server Side"	27
	1.5.3 Componenti e funzioni: "Decision Side"	47
1.6	Adattamento delle procedure di analisi e attivazione del servizio	51
1.7	Bibliografia	57

CAPITOLO SECONDO

ESEMPI APPLICATIVI E CASI DI STUDIO

2.1	Strumenti applicativi per il monitoraggio ambientale: l'esperienza di GEOBASI il database geochimico della Regione Toscana	67
2.2	Monitoraggio e modellizzazione di eventi meteo-idrologici	75
2.3	Monitoraggio del trasporto solido e stima dell'erosione idrica	93
2.4	Valutazione del rischio d'incendio boschivo	105
2.5	Ambienti costieri protetti e pressione antropica	119
2.6	Bilancio idrico multiscala di aree forestali e agricole	131
2.7	Indagini territoriali multi-scala in ambito viticolo	139
2.8	Strumenti e procedure di supporto per serre a bassa e media tecnologia	153
2.9	Informazioni microclimatiche in ambito vivaistico	167
2.10	Un sistema di supporto alla gestione del verde: GARANTES	177
2.11	Il ruolo del consumo di suolo nella dinamica del clima urbano	189
2.12	Il ruolo del design nella progettazione e gestione del verde verticale: due casi di studio	199

CAPITOLO TERZO

PROSPETTIVE E PROPOSTE

3.1	La ricerca e il ruolo delle nuove tecnologie per il monitoraggio ambientale	223
3.2	Per uno sviluppo coordinato di soluzioni per l'ambiente	225
3.3	Problematiche e nuove proposte per la gestione del verde	229
3.4	Tendenze tecnologiche e progettazione: dalla domotica alla progettazione del Verde	235
3.5	Prospettive dei Sistemi Integrati in ambito regionale: l'esperienza del Consorzio LaMMA	243

PREFAZIONE

I dati e le informazioni ambientali hanno notevole rilevanza per un gran numero di applicazioni e servizi, ponendosi alla base di scelte programmatiche e strategiche di molti importanti settori economici. Il loro uso operativo, tuttavia, richiede la disponibilità di strumenti tecnologici avanzati e il rispetto di rigorose procedure, non sempre adeguatamente conosciute o pienamente rispettate dagli stessi operatori del settore.

Le reti pubbliche e private che operano a vari livelli territoriali e ambientali seguono normalmente procedure specifiche, diversificate in base alle esigenze operative e funzionali, ma spesso non conformi agli standard riconosciuti dagli enti preposti. Questa situazione è in gran parte frutto di un atteggiamento autoreferenziale che vedeva nella gestione autonoma dei dati e delle informazioni un elemento di forza e di potere.

Soltanto recentemente, una crescente consapevolezza ambientale e una maggiore attenzione verso gli strumenti di prevenzione delle catastrofi naturali hanno portato all'adozione di principi comuni e alla condivisione di intere banche dati, rendendo sempre più rappresentativa e affidabile l'informazione prodotta dai sistemi di analisi.

Così come l'uomo percepisce gli elementi dell'ambiente esterno attraverso i propri sensi e li elabora in base alle proprie conoscenze e convinzioni, così i sistemi di monitoraggio forniscono informazioni sullo stato degli elementi dinamici considerati dal sistema centrale, rilevando parametri che si trovano al di fuori del nostro controllo diretto e allargando la nostra dimensione spazio-temporale. La presenza sul mercato di strumentazione e di sistemi di monitoraggio e gestione, con un buon grado di affidabilità e a costi contenuti, ha aperto nuovi orizzonti e consentito la realizzazione di soluzioni integrate, che in determinati settori sono divenute quasi pervasive, imponendosi attraverso le tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) anche nella gestione di piccole attività quotidiane.

Adesso è giusto interrogarsi sui principi e sulle linee guida da seguire per trarre il massimo vantaggio da questi nuovi sistemi e su come si possano al contempo garantire privacy e sicurezza, utilizzando dati e informazioni, con valenza solo apparentemente locale o personale, a beneficio di tutti.

In un mondo alla ricerca di nuovi equilibri, l'uso efficiente delle risorse è un elemento chiave per l'ottenimento di una reale sostenibilità ambientale ed economica delle attività umane, a qualsiasi livello sociale o produttivo. Il massimo dell'efficienza, in molti campi, si ottiene quando si riesce ad evitare lo spreco energetico e di risorse, senza limitare l'accesso dei vari soggetti ai benefici auspicati, salvaguardando le forme di vita, gli ecosistemi, le persone e gli stessi interessi rappresentati dalle diverse figure giuridiche che intervengono sul territorio.

Il controllo dei fattori esterni al singolo soggetto e la salvaguardia degli interessi sociali possono essere affidati a sistemi evoluti, in grado di gestire la grande mole di dati richiesti in maniera oggettiva

e trasparente, trasmettendo le informazioni di sintesi necessarie ai diversi attori nei modi e nei tempi opportuni.

La matematica rappresenta il linguaggio comune tra mondi diversi, in grado di dare voce e peso alle diverse visioni, avvicinando progressivamente l'immagine sintetica e parziale della realtà virtuale a quella reale, che con il tempo potrà essa stessa divenire sempre meno sfuggente e indecifrabile. Attraverso l'elettronica e l'informatica, con la definizione di metodologie e principi condivisi, è possibile gestire efficacemente processi e funzioni complesse, assicurando adeguati standard di sicurezza ed efficienza. I concetti di misura e valutazione, infatti, sono direttamente collegati alla teoria della conoscenza e alla comprensione dei processi e delle dinamiche naturali, secondo le metodologie proprie delle scienze matematiche.

La programmazione a medio e lungo termine, in particolare, giustifica l'implementazione e l'impiego di strumenti di indagine e l'analisi di elementi che potrebbero evolversi in maniera diversa, modificando le condizioni di contesto e mettendo in pericolo il raggiungimento degli obiettivi prefissati. Una non sufficiente disponibilità di dati o la presenza di errori nella comune base di conoscenza, ha avuto e potrà avere pesanti ripercussioni sulle scelte umane, con implicazioni economiche, ambientali e sociali spesso difficilmente quantificabili. Tuttavia, un reale progresso passa necessariamente dalla verifica delle nostre ipotesi e dal riconoscimento dei limiti attuali.

L'aumento della complessità delle procedure o dei modelli, indotto dalla necessità di prendere in esame un numero crescente di fattori, non implica necessariamente un miglioramento dei risultati, se la qualità dei dati impiegati in input è scarsa o se le conoscenze di base rimangono insufficienti (*Taylor e Loescher, 2013*). In questi casi, può essere opportuno cercare una giusta semplificazione, che dia la possibilità di comprendere gli elementi in gioco, gestendoli nel migliore dei modi, pur accettando un maggior grado di approssimazione.

Questo approccio è particolarmente vantaggioso in ambiti operativi nei quali si deve compiere il primo passo verso la razionalizzazione dei processi e l'obiettivazione delle valutazioni, ma anche in contesti più evoluti, con le dovute proporzioni, nel caso in cui si cerchino di integrare soluzioni di tipo innovativo.

Comunque, indipendentemente dal contesto, i sistemi di supporto alle decisioni (DSS), possono essere utilizzati per l'analisi dei dati disponibili e l'estrazione delle informazioni non immediatamente riconoscibili (*Data Mining*), tramite la combinazione ragionata dei piani informativi e dei dati ausiliari a disposizione, l'applicazione di principi scientificamente accettati e posti alla base dei processi decisionali dei vari responsabili o dell'utente finale.

Il livello di conoscenze implementato nel software, rappresentato da procedure, algoritmi, indici e modelli, viene trasmesso in maniera chiara e trasparente a chiunque desideri comprenderne il funzionamento, con enormi vantaggi in termini di possibilità di miglioramento e progresso.

Questo lavoro intende fornire una descrizione del percorso seguito e degli strumenti utilizzati dal nostro gruppo di ricerca, mostrando alcune tra le soluzioni applicative più rappresentative realizzate nel corso degli ultimi anni, nell'ambito di progetti di ricerca e sviluppo sia nazionali sia internazionali. L'obiettivo è quello di dare la possibilità agli operatori del settore di valutare l'impatto potenziale che l'adozione di questo tipo di strumenti potrebbe avere sulle normali attività di gestione delle risorse ambientali e sulle attività economiche, attraverso un incremento del livello di conoscenza dei fenomeni e, conseguentemente, delle capacità gestionali.

Per il suo carattere tecnico-pratico, la pubblicazione è indirizzata alle diverse figure che a vario titolo sono interessate ad una gestione più attenta e sostenibile della attività che si conducono sul proprio territorio di competenza o sulla loro proprietà, a qualsiasi livello economico o scala spaziale di riferimento, dalla grande unità amministrativa al singolo privato cittadino.

Per tutte queste figure, le nuove tecnologie offrono l'opportunità di usufruire, o di far realizzare, soluzioni personalizzate o condivise con altri attori, riducendo i costi e, al contempo, aumentando la validità delle proprie analisi, grazie alla disponibilità di una più ampia base di dati. Imprenditori, decisori e gli altri soggetti interessati dovrebbero intercettare questa opportunità, promuovendo e supportando

progetti di ricerca e sviluppo (*R&D projects*), allo scopo di realizzare sistemi di monitoraggio e supporto coerenti, aperti alla multifunzionalità e in grado di integrare procedure e strumenti di discipline diverse. Grazie all'interoperabilità, si consentirebbe ai singoli di usufruire delle soluzioni tecniche più avanzate e alla collettività di orientare e coordinare gli sforzi economici e tecnici verso la soluzione di problemi emergenti, in modo coerente e certamente più efficace di quanto non si possa fare in assenza di metodi condivisi.

Capitolo primo

*Sistemi integrati per il monitoraggio ambientale
e la gestione delle risorse*

1

SISTEMI INTEGRATI PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE E LA GESTIONE DELLE RISORSE

Battista P., B. Rapi, M. Romani, C. Conese

CNR - Istituto di Biometeorologia, via Madonna del Piano 10, Sesto Fiorentino (FI)

1.1 INTRODUZIONE

A livello globale, nel campo delle scienze della comunicazione e della didattica, sempre maggiori sforzi sono orientati alla crescita della consapevolezza delle conseguenze delle azioni umane e/o delle scelte politiche sull'ambiente e sugli ecosistemi, perché un uso razionale e intelligente delle risorse naturali rappresenta una sfida decisiva, per la salvaguardia della qualità della vita di questa e delle future generazioni.

Dati i limiti intrinseci di molti beni naturali e il progressivo deterioramento della loro qualità, interventi a scale più ampie e significative sono urgentemente richiesti, per modificare le cattive pratiche e le deleterie abitudini che si sono diffuse a vari livelli della società umana.

Il monitoraggio ambientale e la gestione delle risorse hanno vaste basi teoriche e scientifiche, toccando varie discipline, ma in proporzione possono vantare un numero limitato di esperienze operative di successo, andandosi a scontrare con visioni limitate, sia nel tempo sia nello spazio, e politiche miopi, non coerenti con i principi di sostenibilità e resilienza che dovrebbero essere adottati per la lotta ai cambiamenti climatici e la risposta alle emergenze globali. Oltre a questo, anche dove prevale il legittimo desiderio di adottare soluzioni realmente efficaci, in molti settori permangono importanti fattori limitanti, rappresentati da lacune culturali, economiche e tecnologiche, che rallentano l'adozione di positive innovazioni e, talvolta, perfino la sperimentazione di procedure correttive.

Sulla base dello stato delle conoscenze raggiunte, ricercatori e tecnici offrono il loro supporto per individuare le soluzioni più adeguate e adattare alle specifiche esigenze di ciascun settore, contribuendo a un graduale aggiornamento dei sistemi produttivi e gestionali, e fornendo la collaborazione per il passaggio di fase, la ricerca di fondi e la formazione del personale.

Gli strumenti economico-finanziari per sostenere queste attività sono molteplici e sono predisposti a tutti i livelli territoriali, ma il loro successo passa attraverso l'impegno di tutti, in uno sforzo partecipativo e un impegno che pone al centro lo sviluppo sostenibile delle nostre società.

Il ruolo dei Sistemi Integrati per il monitoraggio ambientale e la gestione delle risorse, in questo contesto, è quello di creare dei collegamenti tra i diversi attori e le diverse realtà, proprio per finalizzare questi sforzi, sia attraverso l'adozione di un linguaggio comune (logico-matematico) sia attraverso la condivisione di dati e informazioni, che divengono un comune patrimonio di esperienze e conoscenze.

L'ambizioso obiettivo è quello di sviluppare un Sistema Integrato multifunzionale, che trova le proprie basi sui principi di diverse discipline, in grado di indicare le soluzioni operative che portino il maggiore sviluppo senza sacrificare la sostenibilità ambientale. Un tale progetto è stato l'oggetto del nostro lavoro negli ultimi vent'anni e le sue componenti sono state sviluppate in collaborazione con

specialisti dei vari settori, nell'ambito di progetti nazionali e internazionali (vedesi approfondimenti in "Storia", "Multidisciplinarietà" e "Progetti di R&D").

Scopo di questo e-book è quello di fornire una comprensione di base dei principi guida, nella speranza che nel prossimo futuro la realizzazione del Sistema Integrato possa vedere il coinvolgimento di nuove figure e che il suo impatto, almeno a livello regionale, possa essere sempre più significativo, anche al fine di dare risposta ai gravi problemi emergenti.

Si tratta quindi di un approccio ampio, che mostra come in molti campi applicativi, afferenti all'agricoltura, all'ambiente e alla gestione del verde, si possano ottenere vantaggi economico-produttivi nel rispetto dell'ambiente e delle sue risorse. Oltre a rivolgersi ai privati, interessati a raccogliere la sfida ambientale, questo lavoro intende stimolare tecnici e amministratori pubblici verso l'approfondimento di determinati temi, che per loro natura sono collettivi e superano i limiti territoriali.

D'altra parte, sistemi di questo tipo devono tener conto dei piani regionali di sviluppo, delle scelte politiche e delle esigenze della collettività, mettendo a disposizione strumenti che consentano di migliorare la capacità di prendere decisioni informate, basandosi principalmente su tre ordini di fattori:

1. Principi scientifici
2. Criteri condivisi
3. Dati aggiornati

Nell'interesse di tutti, si può immaginare che vi sia una risposta proattiva da parte dei diversi attori, che nel momento in cui si "scontrano" con limiti o inibizioni reagiscono chiedendo informazioni e chiarimenti, creando le basi per un confronto aperto e costruttivo sui temi ambientali, economici e sociali.

Per sua natura, un simile approccio non è destinato a dare vita a un sistema finito, ma piuttosto a generare un organismo in continua evoluzione, che trae energia dalla volontà di partecipare e si sviluppa secondo le esigenze di una realtà in divenire. Il nostro obiettivo primario, quindi, è quello di portare a maturità questo organismo, dandogli la possibilità di esprimere, almeno in parte, le sue positive potenzialità.

Il nostro percorso di ricerca

I principi espressi verso la metà degli anni '80 del secolo precedente, che portarono alla creazione del primo Sistema Informativo Geografico per l'Agricoltura italiano, denominato LISA (*Land Information System for Agriculture*; Maracchi et al., 1988), sono gli stessi che si ritrovano nei progetti attuali, in un percorso coerente di sviluppo delle conoscenze e della capacità di raccolta ed elaborazione dei dati. Un processo che non si è mai fermato, come testimoniano i numerosi Sistemi Informativi Geografici, tra cui GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*; GRASS- <http://grass.osgeo.org/>), che da allora hanno approvato, inglobato e nel tempo ampliato e migliorato quelle procedure.

Una storia di studio e sviluppo, finalizzata all'individuazione di soluzioni operative per il monitoraggio e la gestione dei dati ambientali (Conese et al., 1988; Maracchi et al., 1989; Bacci et al., 1988), tese ad affrontare problematiche reali dei principali settori d'interesse agrometeorologico e biometeorologico (Bacci et al., 1987; Bacci et al., 1992; Bacci et al., 1993). Attività che hanno trovato il loro naturale e positivo sbocco in sistemi di controllo e servizi regionali, nazionali e internazionali (Progetto PSR Regione Toscana *Gestione Avanzata e controllo Remoto di Aree verdi: Nuove Tecniche per la Sostenibilità (GARANTES)*; Progetto *Selezione di modelli agrometeorologici per la realizzazione del Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano (S.I.A.S.)*; Progetto internazionale *Projet d'Assistance Technique dans les Domaines de l'Agrométéorologie et la Météorologie (PATAM)*; Progetto internazionale *Strengthening Regional Planning of Tigray (SRPT)*, Tigray, Etiopia; Progetto EU *Cambio Climático y Sumideros de Carbono*, Argentina; Progetto EU *Programme d'Informations Territoriales pour le Développement Durable (PITDD)*, Haiti).

Il vantaggio offerto dalla disponibilità di consistenti basi di dati e di metodi oggettivi per la valutazione di scenari o lo studio degli effetti di alcune scelte umane, è evidente e immediato, ma la

realizzazione di un quadro comune, condiviso tra tutti gli attori e basato sulla consapevolezza della necessità di coordinare i singoli sforzi, è rimasto uno dei sogni da realizzare. Forse uno dei compiti più difficili per imprese e ricercatori che lavorano in questo settore.

Condividere dati e metodologie, tuttavia, consentirebbe di procedere in maniera più rapida ed efficace, moltiplicando gli effetti di ciascuna azione, che potrebbe essere ricondotta all'interno di un programma di interventi comune. Organizzare, trasmettere e diffondere la base di conoscenze richiesta per contrastare sprechi e comportamenti irrazionali o irresponsabili nei settori afferenti alla gestione ambientale e agricola è, ancora oggi, il fine ultimo della nostra attività di ricerca e sviluppo.

L'approccio multidisciplinare

La vastità e complessità dei problemi ambientali richiede un approccio multidisciplinare, che a sua volta necessita di linguaggi e piattaforme comuni, per lo scambio e la condivisione delle conoscenze. La realizzazione di questi strumenti, così come la formazione delle persone che sono chiamate ad usarli, necessita della collaborazione di figure e competenze diverse, orientate verso l'ottenimento di un preciso risultato.

La difficoltà del trasferimento a livello operativo di faticose e complesse conquiste tecnico-scientifiche non deve essere mai sottovalutata, immaginando semplicisticamente di poter "trasferire" o "adottare", senza conoscere.

Negli ultimi anni, una complessa situazione socio-economica sta spingendo decisori e operatori ad aggiornare i propri sistemi produttivi in funzione di presunte o reali esigenze ambientali, talvolta anche adattando le proprie procedure e dimensioni aziendali (ISTAT, 2010). Sebbene non propriamente lineari e organicamente strutturati, questi possono essere considerati i primi passi di un processo necessario, sicuramente lungo, che richiede maggiore trasparenza e attenzione.

Il contrasto alle criticità emergenti, si avvantaggerebbe della diffusione capillare di nuovi efficaci strumenti, che per assicurare un impatto significativo devono seguire un lungo percorso di affinamento e perfezionamento, prima di diventare facilmente comprensibili, semplici da usare e di costo contenuto. Più rapido sarà questo processo, prima si riuscirà ad intervenire in maniera incisiva e più ampi e significativi saranno i risultati ambientali, con enormi vantaggi anche dal punto di vista economico, oltre che nella salvaguardia delle risorse naturali.

Lo sforzo richiesto è estremamente significativo ed è necessario modificare la propria mentalità, a tutti i livelli operativi e decisionali, dalla politica, chiamata a programmi di medio-lungo termine, all'imprenditoria, alla quale viene chiesta una reale attenzione verso l'ambiente e il territorio, alla cittadinanza, che deve crescere nella propria consapevolezza sociale e ambientale.

Anche la ricerca, per quanto nelle sue possibilità, deve cercare risposte e soluzioni pratiche, avvicinandosi alle richieste e alle esigenze dei settori o delle realtà che trovano maggiori difficoltà ad accedere all'innovazione, proponendosi come riferimento per l'accesso alle informazioni e figura *super partes* tra i diversi attori.

In alcuni settori il processo di trasformazione ICT è già stato avviato, portando a un cambiamento radicale delle regole del mercato e alla creazione di nuovi servizi e prodotti (Tab. 1.1), mentre in altri campi occorre individuare una piattaforma comune, in grado di interfacciarsi e relazionarsi con gli apparati esistenti, in modo da colmare il divario attuale e avviare il necessario passaggio tecnologico (STOA, 2016).

Nelle realtà più arretrate, tra l'altro, il processo di aggiornamento è reso particolarmente urgente, dal fatto che strumenti sempre più pervasivi, dotati di una crescente autonomia e interoperatività, assicurando alla concorrenza il rispetto di standard elevatissimi, stanno accrescendo le aspettative del mercato e rischiano di mettere in crisi i sistemi produttivi tradizionali (Automated Decision System o ADS; Turban et al., 2007; Son, 2013; Buyya et al., 2010).

Per tale motivo, nei futuri programmi, alle necessarie risposte economico-commerciali, si dovranno affiancare efficaci soluzioni tecnico-operative, con un approccio sempre più inclusivo e partecipativo, in grado di incidere positivamente sia sul piano ambientale sia su quello sociale.

Informatica	
1	Meinke, Holger, et al. "Adaptation science for agriculture and natural resource management—urgency and theoretical basis." <i>Current Opinion in Environmental Sustainability</i> 1.1 (2009): 69-76.
2	Satpute, Prashant, and Omprakash Tembhurne. "A Review of: Cloud Centric IoT based Framework for Supply Chain Management in Precision Agriculture." <i>International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies</i> 2.11 (2014).
3	Friess, Peter. <i>Internet of things: converging technologies for smart environments and integrated ecosystems</i> . River Publishers, 2013.
4	Buyya, Rajkumar, Rajiv Ranjan, and Rodrigo N. Calheiros. "Intercloud: Utility-oriented federation of cloud computing environments for scaling of application services." <i>International Conference on Algorithms and Architectures for Parallel Processing</i> . Springer Berlin Heidelberg, 2010.
5	Musulino, Rocco. "Internet of Things: Progettazione e sviluppo di interfacce per Dashboard Integrative."
Elettronica	
1	Lee, W. S., et al. "Sensing technologies for precision specialty crop production." <i>Computers and Electronics in Agriculture</i> 74.1 (2010): 2-33.
2	Slaughter, D. C., D. K. Giles, and D. Downey. "Autonomous robotic weed control systems: A review." <i>Computers and electronics in agriculture</i> 61.1 (2008): 63-78.
3	Mahgoub, Imad, and Mohammad Ilyas. <i>Sensor network protocols</i> . CRC press, 2016.
4	Pu, Fangling, et al. "Semantic integration of wireless sensor networks into open geospatial consortium sensor observation service to access and share environmental monitoring systems." <i>IET Software</i> 10.2 (2016): 45-53.
5	Raghavendra V. Kulkarni, Anna Firster, Ganesh Kumar Venayagamoorthy. "Computational Intelligence in Wireless Sensor Networks: A Survey". <i>IEEE Communications Surveys & Tutorials</i> , volume 13, issue 1, (2011)
Information and Communication Technologies (ICT)	
1	Meena, M. S., Krishna M. Singh, and R. K. P. Singh. "ICT-Enabled Extension in Agriculture Sector: Opportunities and Challenges in Climate Change Situation." <i>ICTs FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT UNDER CHANGING CLIMATE</i> , KM Singh, MS Meena, eds., Narendra Publishing House (2012).
2	Kelly, Rebecca A., et al. "Selecting among five common modelling approaches for integrated environmental assessment and management." <i>Environmental Modelling & Software</i> 47 (2013): 159-181.
3	Awuor, Fredrick, et al. "ICT solution architecture for agriculture." <i>IST-Africa Conference and Exhibition (IST-Africa)</i> , 2013. IEEE, 2013.
4	Verdouw, C. N., et al. "Digital horticulture: adoption and enhancement of information management in the Dutch horticulture." <i>Proceedings of the 8th EFITA Conference</i> . 2011.
5	Editors: Suresh Chandra Satapathy, Amit Joshi, Nilesh Modi, Nisarg Pathak. "Proceedings of International Conference on ICT for Sustainable Development". Springer Singapore, 2016.
Reti di sensori: Wireless Sensor e Micro-Electro-Mechanical System (MEMS)	
1	Hart, Jane K., and Kirk Martinez. "Environmental Sensor Networks: A revolution in the earth system science?" <i>Earth-Science Reviews</i> 78.3 (2006): 177-191.
2	Yoo, Seong-eun, et al. "A 2 S: automated agriculture system based on WSN." <i>2007 IEEE International Symposium on Consumer Electronics</i> . IEEE, 2007.
3	Díaz, Soledad Escolar, et al. "A novel methodology for the monitoring of the agricultural production process based on wireless sensor networks." <i>Computers and Electronics in Agriculture</i> 76.2 (2011): 252-265.
4	Luo, Yi, et al. "Dynamic monitoring and prediction of Dianchi Lake cyanobacteria outbreaks in the context of rapid urbanization." <i>Environmental Science and Pollution Research</i> (2016): 1-14.
5	Liu, Rui-Tao, et al. "A Miniaturized On-Chip Colorimeter for Detecting NPK Elements." <i>Sensors</i> 16.8 (2016): 1234.
Modellistica matematica	
1	Qin, Cheng-Zhi, et al. "An approach to computing topographic wetness index based on maximum downslope gradient." <i>Precision Agriculture</i> 12.1 (2011): 32-43.
2	Kranz, Jürgen, ed. <i>Epidemics of plant diseases: mathematical analysis and modeling</i> . Vol. 13. Springer Science & Business Media, 2012.

Tab. 1.1 - Alcune discipline che hanno dato il proprio contributo all'innovazione dei sistemi di monitoraggio e supporto alle decisioni, per l'agricoltura e l'ambiente.

3	Van Der Knijff, J. M., J. Younis, and A. P. J. De Roo. "LISFLOOD: a GIS-based distributed model for river basin scale water balance and flood simulation." <i>International Journal of Geographical Information Science</i> 24.2 (2010): 189-212.
4	Mariani, Luigi, and Gabriele Cola. "Agrometeorology and water needs of crops." <i>Italian Journal of Agronomy</i> 1.3s (2010): 587-602.
5	Stigter, Kees, ed. <i>Applied agrometeorology</i> . Springer Science & Business Media, 2010.
Intelligenza Artificiale (AI)	
1	Bagstad, K. J., et al. "ARIES—Artificial Intelligence for Ecosystem Services: a guide to models and data, version 1.0." <i>ARIES report series 1</i> (2011).
2	Babu, MS Prasad. "A web based tomato crop expert information system based on artificial intelligence and machine learning algorithms." (2010).
3	Berenstein, Ron, et al. "Grape clusters and foliage detection algorithms for autonomous selective vineyard sprayer." <i>Intelligent Service Robotics</i> 3.4 (2010): 233-243.
4	Augusto, Juan Carlos, Hideyuki Nakashima, and Hamid Aghajan. "Ambient intelligence and smart environments: A state of the art." <i>Handbook of ambient intelligence and smart environments</i> . Springer US, 2010. 3-31..
5	Michalski, Ryszard S., Jaime G. Carbonell, and Tom M. Mitchell, eds. <i>Machine learning: An artificial intelligence approach</i> . Springer Science & Business Media, 2013.
Database – Data warehousing – On Line Analytical Processing (OLAP)	
1	Tiwari, Himanshu. "Data mining, warehousing and OLAP technology." <i>Discovery. org. in</i> 24.83 (2014): 58-62.
2	Zhao, Peixiang, et al. "Graph cube: on warehousing and OLAP multidimensional networks." <i>Proceedings of the 2011 ACM SIGMOD International Conference on Management of data</i> . ACM, 2011.
3	Breunig, Martin, and Sisi Zlatanova. "3D geo-database research: Retrospective and future directions." <i>Computers & Geosciences</i> 37.7 (2011): 791-803.
4	Shelestov, A. Yu, et al. "Geospatial information system for agricultural monitoring." <i>Cybernetics and Systems Analysis</i> 49.1 (2013): 124-132.
5	Diallo, Ousmane, Joel JPC Rodrigues, and Mbaye Sene. "Real-time data management on wireless sensor networks: a survey." <i>Journal of Network and Computer Applications</i> 35.3 (2012): 1013-1021.
Data mining	
1	Tripathy, A. K., et al. "Data mining and wireless sensor network for agriculture pest/disease predictions." <i>Information and Communication Technologies (WICT)</i> , 2011 World Congress on. IEEE, 2011.
2	Han, Jiawei, Jian Pei, and Micheline Kamber. <i>Data mining: concepts and techniques</i> . Elsevier, 2011.
3	Ruß, Georg, and Alexander Brenning. "Data mining in precision agriculture: management of spatial information." <i>International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems</i> . Springer Berlin Heidelberg, 2010.
4	Geetha, M. "A survey on data mining techniques in Agriculture." <i>International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering</i> 3.2 (2015): 887-892.
5	Hori, Mitsuyoshi, Eiji Kawashima, and Tomihiro Yamazaki. "Application of cloud computing to agriculture and prospects in other fields." <i>Fujitsu Sci. Tech. J</i> 46.4 (2010): 446-454.
Smart city	
1	Jim, C. Y. "Sustainable urban greening strategies for compact cities in developing and developed economies." <i>Urban Ecosystems</i> 16.4 (2013): 741-761.
2	Schaffers, Hans, et al. "Smart cities and the future internet: Towards cooperation frameworks for open innovation." <i>The Future Internet Assembly</i> . Springer Berlin Heidelberg, 2011.
3	Anthopoulos, Leonidas G., and Athena Vakali. "Urban planning and smart cities: Interrelations and reciprocities." <i>The Future Internet Assembly</i> . Springer Berlin Heidelberg, 2012.
4	Kitchin, Rob. "The real-time city? Big data and smart urbanism." <i>GeoJournal</i> 79.1 (2014): 1-14.
5	Zygiaris, Sotiris. "Smart city reference model: Assisting planners to conceptualize the building of smart city innovation ecosystems." <i>Journal of the Knowledge Economy</i> 4.2 (2013): 217-231.

I progetti di Ricerca e Sviluppo

Le tecnologie dell'informazione e della comunicazione, giocano un ruolo fondamentale nella diffusione dell'innovazione, anche grazie alla loro capacità di penetrazione dei mercati. L'efficienza e soprattutto la diffusione dei sistemi sviluppati nell'ambito dei progetti di R&D è spesso legata alla validità e affidabilità delle loro componenti *hardware e software*, oltre che delle procedure e degli algoritmi adottati (OECD 2008a; OECD 2008b). Di fatto, tuttavia, ragioni tecniche ed economiche spingono a continui aggiornamenti e modifiche degli ambienti e degli strumenti di sviluppo, obbligando gli operatori ad uno sforzo di adeguamento che non sempre viene ripagato con reali vantaggi operativi o funzionali.

Pertanto, in molti casi, pur appoggiandosi su tecnologie comuni, gli strumenti realizzati nell'ambito dei vari progetti non direttamente riconducibili alle strategie di mercato di singole aziende del settore ICT propongono sistemi sostanzialmente prototipali o sistemi a valenza locale, difficilmente trasferibili in altri ambiti operativi. L'importanza di queste attività, tuttavia, rimane estremamente elevata, sia per il contributo alla conoscenza dei diversi settori sia per l'individuazione e la messa a punto di procedure e metodologie trasferibili, che divengono i veri milestone dell'attività di ricerca.

Queste considerazioni sono ormai largamente condivise e una percentuale elevata dell'attività dei progetti di R&D consiste proprio in un trasferimento e adattamento di metodologie e procedure da un settore ad un altro. Anche se si rileva una certa tendenza a presentare come originali e nuove ricerche che in realtà non dovrebbero essere considerate tali, dal punto di vista operativo il fatto che le tecniche proposte siano già state utilizzate e validate dovrebbe essere considerato un vantaggio dagli stessi finanziatori, che possono contare su maggiori garanzie di successo rispetto a quanto può essere chiesto a strumenti che impiegano tecnologie veramente innovative o addirittura rivoluzionarie.

Il riconoscimento dell'importanza del lavoro svolto nell'adeguare i sistemi e le metodologie, ma anche nella stessa progettazione delle varie componenti, consentirebbe di collocare in maniera corretta lo sforzo fatto, facendo chiarezza sugli elementi di stabilità (da ritenersi ormai sufficientemente affidabili, anche se migliorabili) e quelli di ricerca (rispetto ai quali si deve accettare un certo livello di incertezza e rischio).

Il secondo insieme di elementi, potenzialmente più promettente, oltre ad un maggiore impegno in caso di successo, richiede anche la formazione di figure capaci di gestire i nuovi strumenti e aggiornare i sistemi; punti molto importanti e delicati, per un uso effettivo degli strumenti e delle informazioni prodotte.

Anche in questo caso, vista la difficoltà di molte realtà locali di assicurare la presenza di personale specializzato, l'instaurarsi di rapporti di collaborazione stabili tra i vari soggetti coinvolti nel progetto (ricercatori, esperti, tecnici e imprenditori) può rappresentare un elemento di forza, anche se difficile da valutare nei termini usati per la definizione della premialità progettuale.

Su queste basi il nostro gruppo di ricerca ha progettato un sistema di tipo modulare, che integra componenti di tipo "standard" (GIS, RS, ICT, ecc.), con elementi proprietari (algoritmi, modelli, indici e procedure), per affrontare problematiche operative reali, dando all'utente finale strumenti autonomi o assistiti, in base alle sue esigenze o richieste (Bacci et al., 2005; Bacci et al., 2008). Ognuno dei moduli del Sistema Integrato, realizzato nel quadro delle normali attività di ricerca o di progetti esterni, rappresenta un passo in avanti verso la realizzazione di un framework trasversale a diversi ambiti disciplinari: ambientale, forestale, agrario, ortoflorovivaistico e del verde urbano.

Alcune di queste soluzioni sono state oggetto di interesse da parte di aziende e società in ambito regionale ed Europeo, che sono giunte fino alla realizzazione di proposte commerciali e servizi (Tab. 1.2). In attesa della commercializzazione di sistemi ancora più evoluti e dotati di maggiore autonomia, che diano vita a reti autonome (IoT- *Internet of Things*), le soluzioni a disposizione possiedono già una loro validità nel garantire un uso corretto degli strumenti e dei dati, anche se lasciano agli esperti aspetti fondamentali, come la caratterizzazione e parametrizzazione degli elementi condizionanti o la valutazione complessiva del contesto operativo.

Per molte applicazioni ambientali, infatti, vi è ancora la necessità di un coinvolgimento diretto dell'uomo, che viene visto come parte integrante dei sistemi decisionali, essendo chiamato a gestire e valutare aspetti fondamentali del loro funzionamento.

Per applicazioni di tipo operativo, in ambito ambientale e produttivo, a partire dalle

Progetto	Prodotto
BACCHUS - <i>Methodological Approach for Vineyard Inventory and Management</i> (Progetto UE RTD - EVG1-CT-2002-00075) A. 2003-2005	VISAVES - <i>Vineyard SuitAbility and Variability Evaluation System</i> VISAVES è un sistema di supporto alla gestione dei vigneti, basato su tecnologia GIS e Telerilevamento, in grado di effettuare il riconoscimento delle aree vitate da immagini acquisite da piattaforma satellitare o aerea a scala catastale. Attraverso modelli di simulazione dello sviluppo della vite e le basi conoscitive di Bacchus, consente agli utenti di effettuare una classificazione del proprio territorio e di descrivere la situazione interna al proprio vigneto e pianificare interventi.
Linea di ricerca "Studio di metodologie e modelli per la realizzazione di un sistema di supporto alla gestione di varie colture in serra e pieno campo". A. 2006	SMART Agrosens 1.0 Prototipo di rete microagrometeorologica a basso costo, basata su sensori MEMS per il monitoraggio di temperatura e umidità dell'aria per applicazioni ortoflorofrutticole.
Progetto "Sviluppo e verifica di nuove procedure di reintegrazione nutritiva applicate alla gestione di sistemi di coltivazione a ciclo chiuso in serra in presenza di acque saline" (MIUR - PRIN 2005) A. 2006-2007	SGx Pomodoro vers. 2.0 Sgx è un sistema di supporto per la gestione della fertirrigazione a ciclo chiuso di colture fuori suolo di pomodoro, che integrando modelli di simulazione dei principali parametri rappresenta uno strumento per l'analisi di scenari, finalizzata a scelte strategiche a lungo termine.
ECOIDRIFLOR: ECO-efficienza della gestione IDRica nel FLORovivaismo (MiPAF -Ministero delle Politiche Agricole e Forestali) A. 2006-2010	Sistema HYDRO Hydro è un sistema automatico prototipale per il controllo ottimale dell'irrigazione di piante ornamentali in vaso e di specie da fiore reciso in grado di ridurre l'impiego di acqua e nutrienti, limitare l'impatto ambientale e rispettare le esigenze idriche della pianta.
SWIFF: Sistema Wireless per il controllo dell'Irrigazione e di altre Funzioni in ambiente Florovivaistico (MIPAF -Ministero delle Politiche Agricole e Forestali; Teckna Srl Signa (FI)) A. 2009-2012	CT SERRA01 - Centralina per la gestione serre e vivai Sistema automatico, interfacciabile con gli apparati low-tech esistenti nelle strutture produttive, per il controllo ottimale dell'irrigazione di piante ornamentali in vaso e di specie da fiore reciso, coltivate in serra, a partire da misure di umidità del suolo e dei principali parametri meteorologici, e per la gestione del microclima della serra tramite criteri e modelli logico-matematici implementati nel sistema.
MOSAIC 3P: Sistema per il MONitoraggio delle Serre e la programmazione delle Attività produttive In ambiente Controllato - Progetto Pilota Pomodoro. (Linea di intervento 1.6 POR CREO FESR 2007-2013e linea di intervento 1.1 del PRSE della Regione Toscana; Syncro Sistemi S.r.l.) A. 2011-2012	MOSAIC 3P Sistema di supporto per il monitoraggio delle condizioni microclimatiche di una serra, in grado di dare indicazioni sullo sviluppo fenologico e sulla crescita di alcune cultivar di pomodoro (colture fuori suolo), al fine di stimarne esigenze, consumi e produzione.
GARANTES: Gestione Avanzata e controllo Remoto di Aree verdi: Nuove TEcniche per la Sostenibilità (Misura 124 PSR 2007-2013 Regione Toscana) A. 2011-2013	Sistema GARANTES GARANTES è uno strumento di supporto per fornitori di servizi nella gestione delle aree verdi (giardini e parchi privati o pubblici), realizzato con l'obiettivo di ottimizzare gli interventi di manutenzione e razionalizzare gli interventi irrigui.

Tab. 1.2 - Elenco dei progetti di ricerca e sviluppo realizzati nell'ultimo decennio, con indicazione dei prodotti realizzati e del corrispondente modulo/funzione.

caratteristiche dei sensori utilizzati per il monitoraggio, passando per il loro posizionamento e per la rappresentatività dei dati raccolti, fino all'uso e alla condivisione dell'informazione, rimane diffusa l'idea che sia preferibile seguire principi e criteri sufficientemente verificati, lasciando ad altri settori la sperimentazione e la "vera" innovazione.

La ricerca nel settore rimane comunque vigile, attiva e curiosa, cercando di assicurare elevati standard funzionali anche in condizioni complesse, proprio là dove questi sono più importanti per la salvaguardia ambientale e la valorizzazione delle molteplici attività antropiche.

1.2 CONTESTO SOCIO-ECONOMICO

La “*Green economy*” e la “*Crescita-verde*” possono essere meglio perseguiti utilizzando un approccio multi-disciplinare e favorendo lo scambio di informazioni e di know-how tra settori diversi. Tuttavia, tali scambi sono rallentati e talvolta ostacolati da una visione personalistica e miope della realtà, spesso rafforzata da una scarsa conoscenza del ruolo degli altri attori e delle potenzialità dei Sistemi Informativi di garantire vantaggi collettivi, salvaguardando al contempo anche gli interessi dei singoli.

L'aumento dei conflitti sociali legati al depauperamento delle risorse, assieme a una crescente criminalizzazione dei comportamenti non virtuosi – inevitabilmente ancora molto diffusi – induce molti operatori a chiudersi all'interno delle proprie strutture e del proprio mondo, mostrando all'esterno un volto amichevole, ma non veritiero.

Pur sapendo che la crescita economica e industriale vengono associati a un aumento del consumo delle risorse naturali, con impatti significativi sull'ambiente e sul clima, si deve sottolineare e trasmettere l'idea che sia possibile crescere usando meglio quanto a nostra disposizione, conoscendo e condividendo, talvolta aiutando e sostenendo. L'uso di questi verbi deriva anche dalla necessità di trasmettere dinamicità e movimento, assolutamente necessari in una società che stenta a riconoscere e quindi a reagire alle sempre più rapide e pericolose dinamiche ambientali in atto, legate a loro volta all'incapacità dei sistemi naturali di rigenerarsi e trovare equilibri stabili in tempi compatibili con quelli che oggi caratterizzano i cambiamenti globali.

Cambiamenti con impatti tali da giustificare enormi sforzi da parte dei governi locali e nazionali, ma anche degli Organismi Internazionali, per individuare e proporre modelli socio-economici sostenibili, che tuttavia non sembrano prevalere sui più radicati e profondi interessi particolari e personali che, a tutti i livelli, permeano la società.

La realtà è quindi complessa e un'azione efficace in termini ambientali ed economici richiede il coinvolgimento trasversale di tutti, con strumenti diversi, ma all'interno di un quadro comune di interventi. Obiettivi come quello di dissociare la crescita economica dalle emissioni di gas serra sono, dove possibile, perseguibili soltanto attraverso una riorganizzazione radicale dei sistemi produttivi e una revisione integrale dei rapporti tra i diversi attori.

Il minimo impegno richiesto a tutti è l'adozione di comportamenti resilienti, in grado di assicurare un aumento della capacità di assorbire una certa dose di restrizione nella disponibilità di un determinato bene, pur mantenendo un elevato grado di benessere (e produttività) nel tempo, mentre il passo successivo è rappresentato dalla possibilità di reagire con proposte e iniziative veramente costruttive, cioè migliorative della situazione preesistente. Purtroppo, nel nostro contesto socio-economico, la resilienza sta diventando un must, per le famiglie e per le piccole e medie imprese, sempre più esposte ai diktat delle industrie più grandi o di scelte politiche inadeguate, che raramente riescono ad essere programmatiche.

Gli stessi principi possono essere fatti valere per la produzione di rifiuti, piuttosto che di sostanze inquinanti, che si diffondono via etere, acqua o suolo, nell'ambiente e negli ecosistemi, rispetto alle quali non si riescono ad adottare neppure le soluzioni già disponibili (Küsel e Schreiber, 2012).

Università, ricercatori e consulenti dovrebbero colmare il divario esistente tra necessità di reazione e azione reale, offrendo il know-how necessario a supportare le fasi critiche del processo di innovazione, ma al contempo indicando gli strumenti adatti a rispondere in modo adeguato alle più urgenti criticità ambientali e sociali. La sfida, per quanto ci riguarda, rimane quindi quella di progettare sistemi flessibili, per affrontare scenari sempre nuovi, derivanti da “fattori incontrollati”, perché non propriamente noti.

Oltre che di produttività eco-sostenibile in campo agricolo o forestale, si inizia a parlare di elementi che assumono una valenza addirittura maggiore anche in ambiti di più rapido impatto socio-economico. Nella gestione intelligente del territorio e dei suoi elementi, settori legati agli

ambienti urbani e produttivi, stanno assumendo un ruolo significativo nella guida all'innovazione, con soluzioni sempre più attrattive e accattivanti rivolte ad un pubblico molto più ampio (Smart City),

Ecco, di conseguenza nasce l'esigenza di raccogliere e condividere elementi conoscitivi in grado di sostenere adeguatamente la curiosità, ma anche la crescita socio-culturale delle persone e delle comunità, dando forza ad iniziative comuni, per il raggiungimento di obiettivi sempre più ambiziosi di compatibilità e sostenibilità ambientale.

I Sistemi di Supporto alle Decisioni, già oggi, rendono questo processo più veloce ed efficiente, garantendo anche a ciascuno l'accesso a strumenti e metodologie avanzate, così da divenire parte integrante di un sistema decisionale che si fa sempre più partecipativo.

Esempi di settori nei quali le attuali pratiche e comportamenti antropici possono già essere “supportati” da servizi operativi o sistemi commerciali di monitoraggio e analisi dei dati ambientali.

- *Organizzazione di attività economico-produttive / ludico-ricreative all'aperto;*
- *Programmazione di interventi manutentivi e gestione degli elementi del territorio;*
- *Pratiche agronomiche e agro-forestali;*
- *Supporto a specie viventi, animali e vegetali (gestione parchi e aree naturali);*
- *Stima e assicurazione del rischio di calamità ed eventi avversi (biotici e abiotici);*
- *Valutazioni strategiche e decisioni con effetti a lungo termine (dimensionamento impianti, ecc.)*
- *Indici di benessere ambientale (temperatura, umidità, UV, Ozono, pollini, ecc.)*

Questo è reso possibile dalla molteplicità di forme e funzioni assegnate ai Sistemi di Supporto alle Decisioni che, grazie ad una crescente capacità di gestione di dati e informazioni, riescono a inserirsi con sempre maggiore efficacia nelle dinamiche in atto, influenzando in modo incisivo su comportamenti collettivi e su scelte programmatiche a tutti i livelli decisionali.

Tuttavia, se da una parte il ricorso a sistemi di monitoraggio e controllo si sta imponendo a vari livelli e a diverse scale spaziali, dall'altra parte si deve rilevare ancora una scarsa attenzione verso l'importanza sociale che tali sistemi potrebbero avere se il loro sviluppo fosse guidato da logiche ambientali e sociali, più che dai principi del mercato.

La società civile, memore delle molte esperienze negative del passato, non deve cedere alla tentazione di delegare ad altri l'indirizzo delle scelte legate all'innovazione o, peggio, subirne i dettami di alcune grandi imprese private, per poi scoprire che i risultati non sono quelli sperati, ma deve farsi carico di indirizzare, definire le priorità e i fini primari di tali attività di ricerca e sviluppo, traendo il massimo vantaggio offerto dai nuovi strumenti. Si tratta di un'opportunità che, ancora una volta, deve essere colta in tempi rapidi, cercando di superare i limiti imposti dalle non favorevoli condizioni economiche e sociali, attraverso una programmazione attenta e, finalmente, lungimirante.

Queste criticità sono meno evidenti nei settori trainanti dell'economia, mentre risultano molto marcate e talvolta imbarazzanti in quelli che invece seguono, talvolta subiscono più o meno passivamente, il progresso. In questi ultimi casi, infatti, la limitatezza di risorse economico-finanziarie implica una auto-limitazione “a priori” delle ambizioni e delle prospettive di sviluppo, con una accettazione implicita della condizione di subalternità e, a livello internazionale, di scarsa competitività o, nei casi più avanzati, di ricerca di originalità e riconoscibilità.

Nei casi in cui a questi fattori si aggiungono elementi di concorrenza interna, divergenza

d'interessi e sovrapposizione di competenze, si osserva addirittura una vera e propria stasi, quasi un'attesa dell'innovazione, che si concretizza regolarmente in un progressivo impoverimento socio-economico, anche a livello locale.

L'accresciuta consapevolezza della reale dimensione di problemi ambientali dovrebbe tuttavia spingere ad abbandonare i tradizionali comportamenti di chiusura e diffidenza, per puntare su modelli più collaborativi e partecipativi. Rimane tuttavia la percezione che le emergenze sociali e ambientali siano opportunità di business, mentre la programmazione e la standardizzazione debbano essere lasciate a carico del settore pubblico, che dal canto suo stenta ad assumere un ruolo incisivo di orientamento o leadership.

La ricerca, trovandosi nel mezzo tra questi due mondi, tenta una difficile opera di mediazione, ma continua ad indagare le molteplici strade possibili, con le forze e le risorse a disposizione, cercando di ottenere il massimo del vantaggio sociale e ambientale ma anche economico. Per tale motivo, ogni opportunità deve essere colta per lo sviluppo di strumenti sempre più efficaci, anche in considerazione della rapidità con la quale le problematiche ambientali si stanno esacerbando.

Ben vengano, quindi, soluzioni in grado di controllare il rispetto dei criteri minimi di efficienza nell'uso delle risorse o di razionalità dei comportamenti, che comunque non potranno che rallentare il processo di depauperamento e dare più tempo per l'individuazione di soluzioni più ampie e stabilizzatrici o positivamente risolutive.

Gli strumenti proposti dalla ricerca tendono a conformarsi con il piano d'azione per l'imprenditoria ecologica, sostenuto dall'Unione Europea per promuovere la crescita sostenibile e le strategie di ricerca e innovazione, già inserito nel quadro "Strategia per la specializzazione intelligente" della Toscana Regione, con l'obiettivo di potenziare le attività di eccellenza nell'innovazione tecnologica. Il trasferimento e l'adattamento di soluzioni ICT e integrate sono tra le priorità di questo piano, per:

- rafforzare la coesione all'interno della catena di produzione e distribuzione;
- accrescere la competitività delle PMI;
- ridurre l'impatto ambientale delle pratiche agricole.

A conclusione di questa breve disamina, emerge l'importanza di condurre nuove e sempre più incisive azioni di inclusione e collaborazione, se non vere e proprie joint-venture, per sostenere e rafforzare la spinta all'innovazione tecnologica e di processo rispetto a tutte le attività che hanno un potenziale impatto ambientale, ma senza immediati ritorni economici significativi.

La soluzione di questi problemi, infatti, non può essere lasciata ad azioni estemporanee o "fai da te", sotto la responsabilità di singoli, pur di valore, poiché richiede azioni estese e coordinate su elementi di criticità, secondo precise priorità sociali, all'interno di un'azione olistica condotta su adeguate scale spaziali e temporali.

1.3 PROSPETTIVE DI MERCATO

Nel corso di questi anni le componenti elettroniche e sensoristiche hanno avuto una sempre più vasta diffusione in tutti i campi economico-produttivi, sia all'interno di sistemi locali (*stand-alone*) sia integrati in network diffusi, anche di tipo multifunzionale. La tecnologia alla base di questi sistemi deve ormai essere considerata sufficientemente collaudata e affidabile, tanto da garantire ottimi risultati anche per strumenti di livello intermedio o amatoriale.

L'andamento generale continua, pertanto, la sua fase di espansione e crescita, con incrementi significativi dei fatturati, sia in campo B2B (*Business-to-business*) sia B2U (*Business-to-you*). La maggiore spinta allo sviluppo, tuttavia, viene ancora dal settore della sensoristica, le cui componenti tendono ad essere integrate in apparecchiature a larga diffusione, anche grazie alla sempre più spinta miniaturizzazione.

Questo è uno dei pochi campi nei quali negli ultimi anni sono stati realizzati grandi investimenti in ricerca e sviluppo (R&D), sia per l'individuazione di nuove tecnologie, sia per la messa a punto di prodotti e protocolli di comunicazione, per il miglioramento delle prestazioni. Tra le tecnologie di maggiore impatto e di successo è emersa con forza quella della connettività remota senza fili (*Wireless*) e, più recentemente, quella della comunicazione diretta tra gli oggetti (IoT – *Internet of*

Things, letteralmente Internet delle cose), ma il futuro sembra puntare allo sviluppo di nanosistemi (analisi biomedica) e sistemi di analisi automatica, anche di tipo multidimensionale (*Smart-City*, sicurezza, domotica, *gaming*, ecc.).

Il commercio di dispositivi elettronici e sensori è in continua espansione e, in molti casi, in maniera esponenziale rispetto agli stessi settori nei quali trova impiego; tanto che, secondo una ricerca pubblicata dal sito Semi.org, il mercato dei sensori per i dispositivi IoT dovrebbe avere un tasso di crescita del 15.3 % nel periodo 2015-2025.

Anche in relazione alla gestione del verde e delle risorse ambientali, in ambito rurale o urbano, i sistemi di monitoraggio stanno assumendo sempre maggiore importanza, sostenuti da politiche di incentivazione dei comportamenti virtuosi, derivanti dall'aggiornamento dei sistemi e dall'adozione di procedure sostenibili con la disincentivazione di pratiche scorrette, derivanti in molti casi dall'uso di metodologie e strumentazioni spesso inadeguate o superate.

Una distinzione importante, tuttavia, deve essere fatta tra sistemi professionali e sistemi amatoriali, i primi con una crescita molto più lenta, sostanzialmente per tre ordini di motivi:

- esigenze operative, che obbligano ad una maggiore cura dei sistemi professionali, destinati a funzioni più delicate;
- una maggiore inerzia, legata alla necessità di integrare le nuove soluzioni con sistemi preesistenti, spesso complessi e difficili da modificare;
- la minore disponibilità degli operatori a recepire le novità, dovendo rispondere a precise esigenze di programmazione e pianificazione.

La presenza di elementi a diversa velocità all'interno delle nostre società ha effetti immediati sui mercati e anche sulla ricerca, impegnate a sfruttare le nuove opportunità offerte dalla disponibilità di una grande massa di dati, per lo sviluppo di nuovi servizi e prodotti. Questi obiettivi, tuttavia, non si mostrano facili da raggiungere per coloro che intendono procedere in maniera seria in ambito professionale, proponendo sul mercato prodotti basati su dati reali e non su semplici speculazioni, non sempre essenziali per applicazioni di tipo amatoriale. D'altro canto, si deve pragmaticamente constatare che molte soluzioni risultano d'interesse operativo anche con un elevato grado di incertezza o un basso livello di affidabilità, così come dimostra il mercato dei sistemi "self made" (Arduino, ecc.).

Da questo punto di vista, tra i settori nei quali la raccolta ed elaborazione di dati di tipo indicativo sta comunque rappresentando un elemento di forza, vi sono la domotica e la gestione degli spazi verdi privati, le produzioni casalinghe o i piccoli sistemi produttivi di ortaggi o verdura in ambiente semi-controllato. I risultati, tra l'altro, mostrano un miglioramento dei comportamenti degli utenti finali rispetto al passato, con significativi risparmi energetici, idrici e di prodotti chimici. Ecco, quindi, che il mercato della strumentazione elettronica si espande con il diffondersi di una maggiore sensibilità ambientale, all'interno di realtà sempre più connesse e "Smart", indipendentemente dalle scelte strategiche dei loro amministratori.

In relazione all'utenza professionale, nell'ambito di un recente progetto di R&D (GARANTES (Bacci et al., 2012; Cacini et al., 2016), un'indagine preliminare fu condotta a scala regionale per comprendere l'interesse dei potenziali utenti finali verso un sistema di supporto alla gestione del verde urbano, principalmente parchi e giardini. Il risultato di questa indagine è stato decisamente incoraggiante, dato che l'87% delle persone intervistate (professionisti, vivaisti e gestori) si è detto interessato alle informazioni prodotte da un sistema in grado di monitorare i fabbisogni idrici e nutrizionali delle piante, oltre che i rischi biotici connessi all'andamento climatico.

Questo tipo di informazione, infatti, in maniera simile al settore agricolo, è stata riconosciuta utile per l'organizzazione più consapevole delle attività di campo e la riduzione dei costi, con promozione dell'immagine e a favore di un miglior servizio per l'utenza finale (91 %). Salvo qualche eccezione, gli intervistati si sono detti persuasi che questo tipo di sistemi avrà un proprio spazio di mercato, affermandosi per la capacità di aumentare la sostenibilità ambientale delle attività gestionali del verde.

Il principale limite alla diffusione di questi strumenti è rappresentato dal prezzo commerciale, indicato come eccessivo (36 %) e dai problemi tecnici, che nella percezione dell'utente finale possono mettere in discussione la validità stessa dell'approccio gestionale (30 %). Ovviamente, i sistemi

avanzati possono superare tali limiti, offrendo servizi più estesi, con diversi livelli di affidabilità e sicurezza, tramite controlli incrociati e protezioni multilivello, contratti di assistenza, outsourcing o assicurazioni, che tra l'altro possono includere la realizzazione di "cicli ecologici", con il recupero e lo smaltimento del materiale obsoleto, potenzialmente inquinante.

Osservando gli andamenti del mercato, anche in settori tradizionalmente diffidenti verso l'innovazione, le soluzioni ICT sembrano in grado di cambiare le logiche decisionali e produttive, aprendo la strada a vere e proprie rivoluzioni.

Secondo la Deutsche Bauern Verband (DBV), circa il 30 % dell'incremento dei costi delle macchine agricole è già destinato a componenti sensoristiche, software e sistemi ICT, mentre la spesa per le macchine si è fermata al 10 % (DBV, 2015). Questi cambiamenti sono attentamente monitorati, pur con innegabili difficoltà nella loro esatta quantificazione, in particolare per il numero e la complessità dei fattori in gioco.

In base ad uno studio STOA (*Science and Technology Options Assessment Panel*), in accordo con Roland Berger, si stima che il mercato globale per l'agricoltura di precisione abbia raggiunto i 2,3 miliardi di euro nel 2014, con una crescita media del 12 % all'anno fino al 2020 (Fig. 1.1).

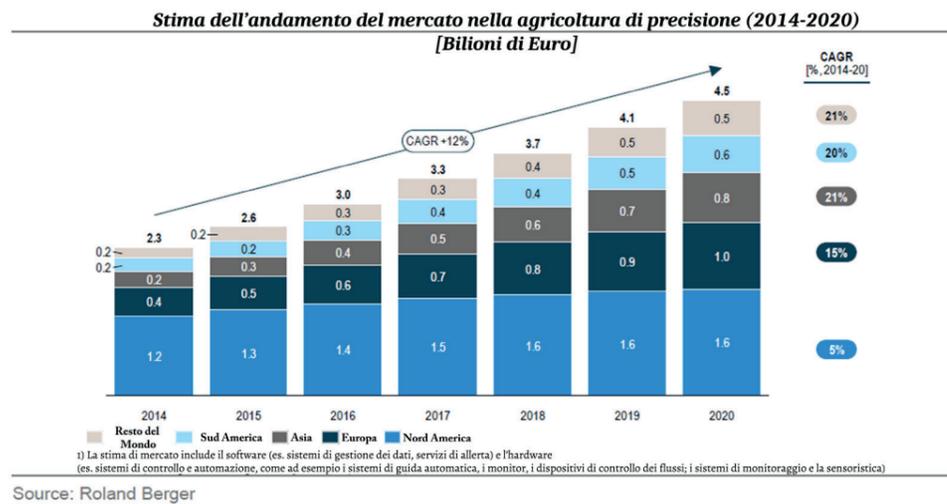


Fig. 1.1 - Stima dell'andamento del mercato nell'agricoltura di precisione nel periodo 2014-2020 (Fonte Roland Berger, 2015).

L'analisi comprende il mercato nel suo insieme, strumenti con funzioni più generali e dispositivi Hw/Sw dedicati, applicazioni e servizi. Trend di crescita sono descritti e previsti anche per l'economia e la governance digitale, nello stesso settore e per lo stesso periodo. A livello Europeo, secondo le stesse fonti, il mercato dell'agricoltura di precisione dovrebbe collocarsi intorno agli 800 milioni di euro nel 2018 (Fig. 1.1).

Anche in questo ambito, l'uso di sistemi wireless sta divenendo sempre più comune, in particolare nel campo dei sistemi di tracciamento (Caldwell, 2012) e, recentemente, in quelli di monitoraggio nei settori produttivi a maggiore valore aggiunto. Entrando ancora più nel dettaglio, con l'analisi dei dati tecnologici, si rileva che i servizi "su misura" sembrano essere maggiormente graditi dagli agricoltori attenti alla sostenibilità delle loro attività (Viool and Bogaardt, 2015), oltre che da tecnici e decisori dei settori più avanzati collegati all'ambiente e alla gestione del verde (Fig. 1.2).

La commercializzazione e la diffusione di nuovi sensori per il monitoraggio ambientale necessita, tuttavia, di una seria valutazione preliminare della loro fattibilità tecnologica, che include l'esame

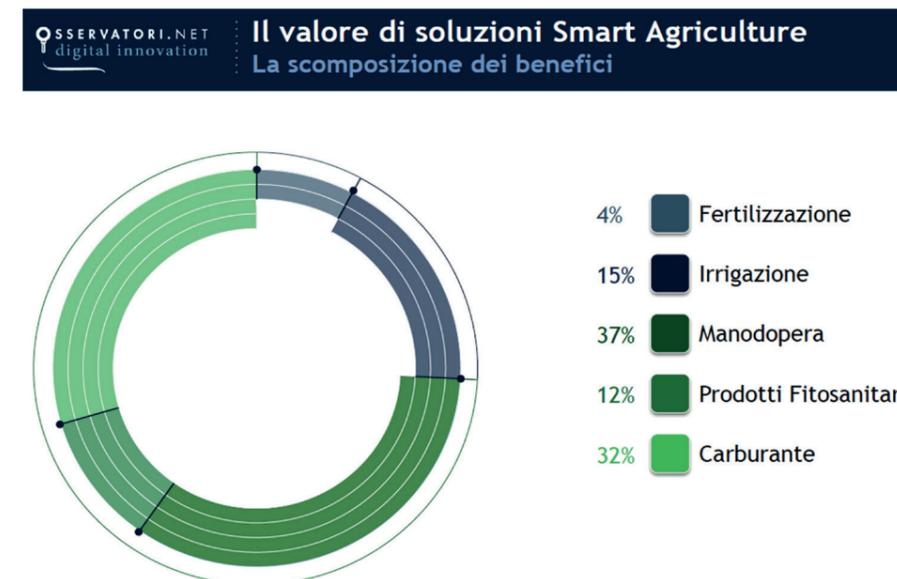
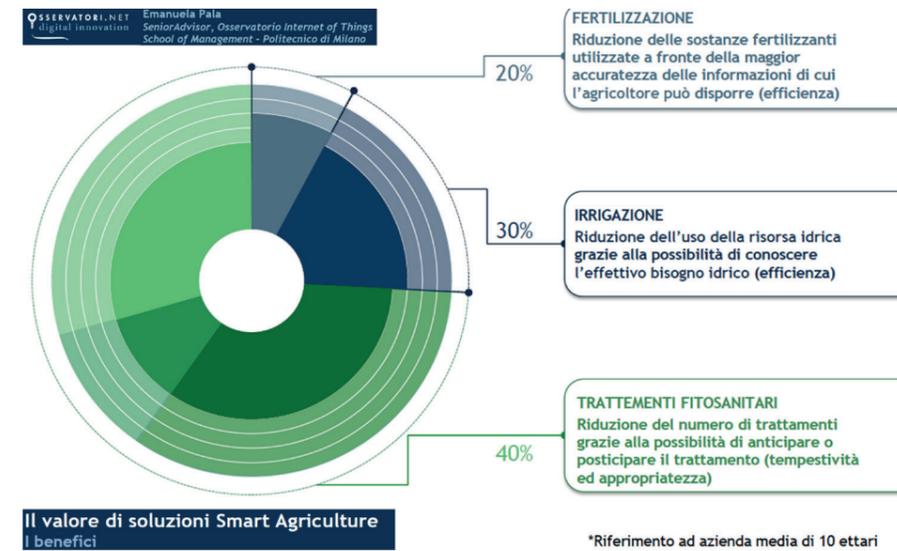


Fig. 1.2 - I benefici dell'agricoltura di precisione nei principali trattamenti. (Fonte Pala, 2015).

degli aspetti di praticità ed economicità richiesti dal settore di riferimento, in modo da incrociare l'offerta con la domanda reale.

Una crescente attenzione verso l'individuazione delle esigenze emergenti e delle tendenze in atto continua a portare sul mercato dispositivi sempre più evoluti, che tuttavia stentano a imporsi sull'esistente, rendendo gravoso e rischioso l'impegno tecnologico richiesto per la loro produzione. Se da una parte questo comportamento stimola la ricerca, dall'altra penalizza il consolidamento di quanto fin qui sviluppato, portando a un aumento dei costi che, a sua volta, agisce come fattore limitante rispetto alla stessa diffusione dei sensori.

In questo quadro, risulta fondamentale fare le scelte giuste, per evitare al massimo un ulteriore

dispendio di energie, individuando le reali opportunità, i modelli di business e le strategie adatte al segmento d'interesse, tramite una collaborazione sempre più stretta con gli utenti finali.

Queste decisioni devono essere prese nelle prime fasi di sviluppo, riducendo l'inevitabile incertezza legata al rischio d'impresa, analizzando le tendenze del mercato e, al contempo, proponendo modelli condivisi e multifunzionali che consentano di ripartire i costi e l'impegno della successiva fase gestionale e manutentiva.

Lo studio dei mercati a livello globale racconta anche di una storia di fusioni, acquisizioni, collaborazioni e partnership, di sicuro interesse per gli analisti e di grande insegnamento per chi oggi intende affacciarsi su questo complesso mercato. Gli investitori potranno acquisire una chiara comprensione sui giocatori dominanti in questo settore e valutare le previsioni per il futuro, facendosi un'idea chiara della domanda reale e dei bisogni dei consumatori che domineranno la crescita di questo mercato.

Al di là di questi aspetti strategici, rimangono anche numerose significative barriere tecniche, da prendere in considerazione per la customizzazione e la commercializzazione di questi prodotti o servizi, soltanto parzialmente superabili tramite l'adozione dei comuni strumenti ICT o con soluzioni specifiche individuate da consulenti ed esperti. Alcune di queste sono trattate nel presente lavoro, che vede nella ricerca un elemento di chiarezza rispetto alle motivazioni e alle aspettative che l'imprenditore o il decisore dovrebbero avere nei confronti di iniziative di sviluppo tecnologico in questo delicato e complesso settore.

16

1.4 CONTESTO OPERATIVO

Un sistema di Supporto alle decisioni (DSS – *Decision Support System*) deve essere in grado di utilizzare i dati raccolti da strumenti diversi, integrandoli con le informazioni necessarie per l'analisi dei processi naturali e antropici, al fine di offrire una base conoscitiva ampia e affidabile agli utenti finali e decisori chiamati a valutare gli effetti di determinate scelte operative o programmatiche.

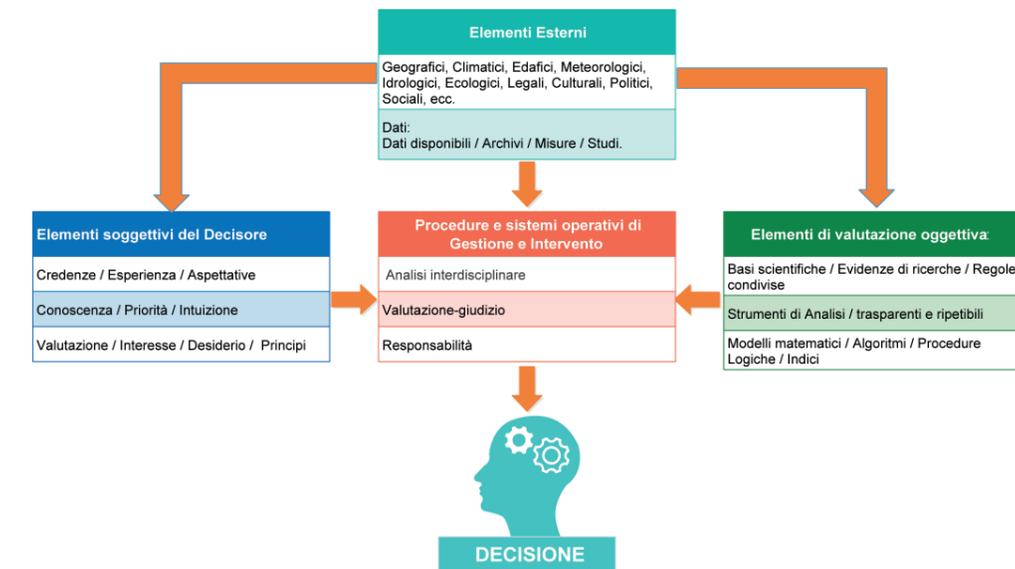
A seconda del settore nel quale si trovano ad operare i DSS possono quindi utilizzare piattaforme diverse, analizzando e interpretando processi e andamenti secondo algoritmi e funzioni specifiche, basati su principi empirici o su solide conoscenze scientifiche, arrivando anche a suggerire le azioni o le scelte con il maggior grado di successo in determinate condizioni (Agrios, 2005). La disponibilità di dati aggiornati e affidabili, l'implementazione di efficienti modelli gestionali e la conoscenza introdotta nel sistema da parte di esperti, rappresentano elementi chiave dei sistemi di supporto, sia per valutazioni a breve termine sia per analisi a medio o lungo termine (Sonka et al., 1997).

L'aumento delle capacità di calcolo ed elaborazione, ha permesso di estendere progressivamente le funzioni dei sistemi di supporto, riducendone i costi e ampliando la platea degli utenti, anche in campi come quello ambientale e quello agricolo. Diverse tipologie di DSS sono state sviluppate per assistere operazioni di grande complessità, spesso senza chiedere agli utenti finali alcun contributo economico grazie alla condivisione di dati, metodologie e software di uso libero o non protetto (Parker et al., 1997).

Per contro, a causa della complessità di questi settori e in considerazione delle ramificazioni dei processi decisionali, si osserva il propagarsi di soluzioni semplici, che affrontano problemi specifici e circoscritti, spesso sviluppati da società private che non hanno interesse a condividere i dati e le informazioni raccolte con altri fornitori di servizi o con gli stessi utenti finali, ai quali giunge unicamente l'informazione elaborata dal sistema.

Ad un'analisi più attenta, molte di queste scelte appaiono artificiali e non lungimiranti, con pesanti sovrapposizioni e scarsa incisività sui processi decisionali e produttivi, che minano la fiducia degli acquirenti ed ostacolano la diffusione di DSS più generalisti (Magarey et al., 2002). Tuttavia, man mano che gli utenti acquisiscono dimestichezza con questi strumenti, si assiste ad una caduta delle barriere tradizionali e alla comparsa di una nuova mentalità, sia a livello industriale sia privato, con una crescente attenzione verso le esigenze reali delle diverse figure e una progressiva apertura verso la condivisione delle informazioni di base e la partecipazione agli oneri gestionali. Molti autori propongono rappresentazioni sempre più complete degli elementi e delle interazioni che intervengono a determinare la decisione finale in un determinato contesto operativo, attraverso

l'adattamento delle procedure di base e degli specifici elementi di conoscenza, che tuttavia rimangono in gran parte comuni (Mc Cown, 2002; McCown 2012; Rose et al., 2016). Lo schema seguente (Fig. 1.3) mostra gli elementi generali e il contesto operativo nel quale si inseriscono i Sistemi di Supporto a carattere più generale, indicando quali tra questi non sono sotto il diretto controllo dell'utente/decisore e quali, invece, sono posti sotto la sua diretta responsabilità.



17

Fig. 1.3 - Principali elementi che influiscono sulle scelte gestionali o strategiche nei settori ambientale e agricolo, con indicazione dei fattori che sono pertinenza dell'utente finale/decisore.

Alcuni lavori suggeriscono di provare ad allineare le procedure decisionali dei Sistemi di Supporto con quelle dei *decision makers*, superando le naturali diffidenze suscitate dall'approccio tradizionale, basato su un ridotto numero di elementi (Pavlov e Andreev, 2013).

Per il momento, in attesa di sistemi che approssimino le procedure di analisi informatica a quelle umane, il soggetto chiamato ad assumersi la responsabilità della decisione rimane un essere umano, che dovrebbe essere visto come parte integrante del sistema. Questo perché dovrebbe esservi la possibilità di scambiare informazioni tra le parti, in un continuo sforzo di aggiornamento e miglioramento di quanto realizzato nel tempo.

Nei casi oggetto del nostro studio, le soluzioni proposte sono il risultato di specifiche attività di ricerca e sviluppo, realizzate a partire da conoscenze tecnico-scientifiche acquisite nel corso di numerose sperimentazioni, effettuate nell'ambito di programmi e progetti nazionali e internazionali. Nell'ambito di questa tipologia di ricerche il contributo dell'utente finale è tenuto in grande considerazione e diviene decisivo, sia per lo sviluppo di linee guida più pertinenti all'attività decisionale sia per l'implementazione di funzioni sempre più rispondenti alle reali esigenze operative.

Pur affrontando problematiche limitate e gestendo una quantità limitata di dati, i sistemi ridotti hanno il vantaggio di produrre informazioni facilmente comprensibili e dare indicazioni chiare, secondo le esigenze definite dallo stesso utente. Spesso, sono realizzati utilizzando ambienti di sviluppo e librerie *open-source* che permettono, tra l'altro, la naturale connessione con i database più diffusi (PostgreSQL, MySQL, SQLite, ecc.) e l'integrazione con innovative tecnologie ICT, grazie ai

continui aggiornamenti rilasciati dal popolo degli sviluppatori. Purtroppo, come detto in precedenza, la continua esigenza di aggiornamenti porta anche ad una scarsa stabilità del software prodotto in maniera autonoma, obbligando a uno sforzo quasi permanente di manutenzione e riscrittura, con un impegno spesso difficile da sostenere.

L'alternativa agli ambienti di sviluppo aperti è data dall'utilizzo di prodotti commerciali, come MATLAB® (adatto allo sviluppo di modelli e procedure di analisi) e/o linguaggi di livello "Enterprise" come Java EE (pensato per la creazione di accattivanti ed efficaci interfacce utente), più sostenibili in termini di impegno per lo sviluppo, ma più onerosi dal punto di vista economico.

I prodotti commerciali, infatti, offrono una buona stabilità nella codifica e la possibilità di produrre applicativi stand-alone, sulla base di librerie multipiattaforma (Windows, Linux, Mac iOS) e connessioni dirette a vari tipi di hardware come Arduino, Raspberry Pi, lasciando agli esperti dei diversi settori il compito di realizzare ed eventualmente condividere i piani informativi specifici, nei formati comunemente riconosciuti.

Su queste basi, seguendo le esigenze dell'utenza finale, nel corso degli anni sono stati sviluppati elementi, moduli e sottosistemi che rispondevano a criteri e si basavano su software diversi, ora liberi ora proprietari. Per tale motivo, volendo dare una risposta efficace a differenti problemi ed esigenze, mantenendo al contempo un unico ambiente di sviluppo, è stato necessario progettare e mantenere una struttura di base stabile, facendo riferimento ad un ambiente operativo modulare e sufficientemente versatile da poter ospitare elementi sviluppati secondo criteri diversi (Fig. 1.4).

1.5 SVILUPPO E GESTIONE DELLE COMPONENTI DEL SISTEMA DI SUPPORTO

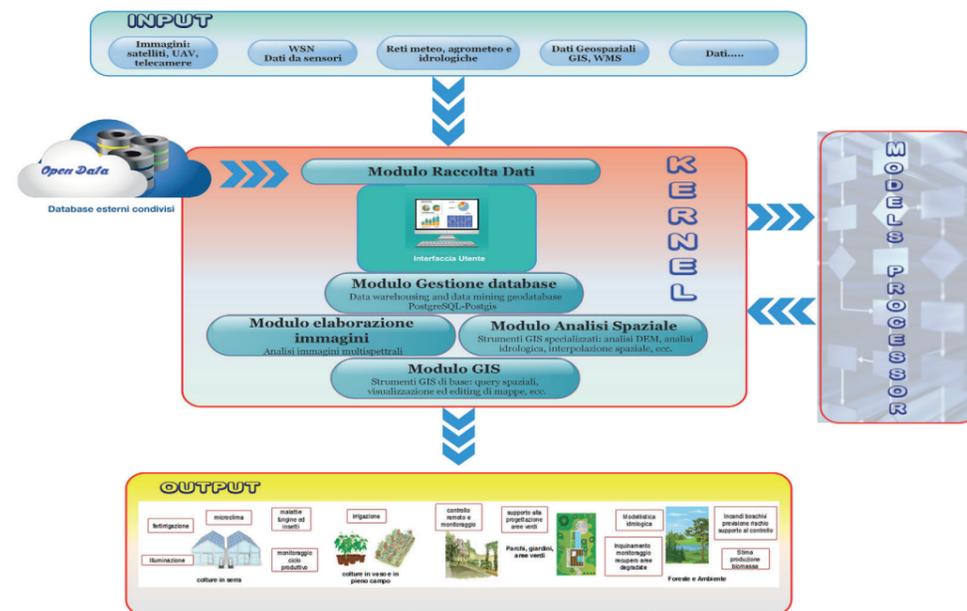


Fig. 1.4 - Struttura generale del sistema di supporto.

La struttura del Sistema di Supporto proposto come modello (Bacci et al., 2005) è stata definita agli inizi del 2000, per assicurare un ambiente di sviluppo stabile e coerente, adatto ad attività di ricerca orientate a provare, valutare e migliorare algoritmi e modelli innovativi per il settore ambientale e agricolo, prima del loro trasferimento agli utenti finali, come soluzioni stand-alone o componenti integrate all'interno di servizi dedicati.

Da allora, ciascuna applicazione, derivante da attività di ricerca e sviluppo portata avanti nel quadro di questa iniziativa, ha avuto lo scopo di aggiungere elementi che fossero in grado di potenziare le funzioni di

analisi agro-ambientale, sfruttando al contempo la base gestionale e modellistica comune. In questo modo, i nuovi moduli possono mantenere un collegamento con la piattaforma di base, estendendone le funzionalità e aprendosi a più ampie verifiche o applicazioni anche in ambiti diversi da quelli per i quali sono stati creati.

Al contempo, le nuove soluzioni hanno potuto sfruttare le componenti hardware e software già presenti sul sistema, incluse le reti di monitoraggio già attive, integrando dati e informazioni disponibili delle diverse piattaforme, anche se raccolte per scopi diversi. Alcune di queste soluzioni sono state poi integrate all'interno di servizi d'interesse economico, sociale o tecnico, con varie tipologie di utenza (Enti, segmenti produttivi, consorzi, società, tecnici o privati cittadini), rispetto alle quali la componente "ricerca" ha continuato ad assicurare manutenzione e aggiornamento.

Sempre più spesso, pur affrontando problematiche di carattere generale e d'interesse pubblico, tali attività sono portate avanti sotto la guida e nell'interesse diretto di figure private (consorzi, società, ecc.), con l'obiettivo di individuare o mettere a punto strategie/soluzioni che consentano di affrontare e risolvere problemi operativi reali, proprie di determinati settori produttivi.

In questi casi, l'utente finale assume il ruolo di guida all'interno del gruppo di ricerca, individuando le esigenze e indicando gli strumenti potenzialmente destinati ad avere una più ampia diffusione all'interno del proprio comparto, spesso anche a livello sovragregionale.

Oltre ad affrontare problematiche specifiche, i progetti di trasferimento tecnologico offrono ai partner operativi (pubblici e privati) la possibilità di accedere a informazioni, procedure e soluzioni HW/SW sviluppate nel corso di svariati anni di ricerca, trasferendole direttamente ai propri sistemi produttivi, con finalità prettamente economico-organizzative o commerciali. Nella gran parte dei casi, non tutti gli elementi disponibili sono necessari al funzionamento del Sistema di supporto, che spesso richiede poche componenti selezionate, implementate e attivate in funzione delle reali esigenze dell'utente finale.

Vi è poi la possibilità di sviluppare e applicare varie tecniche decisionali, al fine di affrontare problemi complessi che possono toccare vari livelli gerarchici. Nel prossimo futuro, tali funzioni dovranno essere ulteriormente potenziate, per ottimizzare le applicazioni rispetto alle esigenze del mondo reale, studiando in particolare gli sviluppi pratici del processo multilivello in vari campi applicativi (Jie Lu et al., 2016).

La natura del problema da affrontare o la scelta delle applicazioni determina gli elementi da caratterizzare o da monitorare e quelli che, di volta in volta, devono essere attivati e devono essere gestiti dal sistema per rispondere alle domande dell'utente finale. In principio si può assumere che più sono gli elementi da prendere in esame, più complessa sarà la struttura e l'organizzazione del Sistema di Supporto, ma questo è vero soltanto in parte, poiché non vi è una relazione lineare tra numero di elementi e complessità, che è legata soprattutto alle procedure di analisi scelte.

Gli elementi più comuni delle tre sezioni possono essere riportati all'interno di un quadro di sintesi e analizzati in relazione alle altre componenti, allo scopo di comprendere meglio anche quali siano le figure coinvolte nella loro gestione (Fig. 1.5):

- **DATA SIDE** – la gestione delle reti e le attività connesse alla raccolta e prima organizzazione dei dati sono generalmente affidate a provider esterni, che in molti casi ne rimangono proprietari. Il trasferimento dei dati al DB o agli archivi del sistema può avvenire tramite strumenti diversi, ma richiede generalmente la presenza di un software (moduli ETL "Extract, Transform and Load") per la loro gestione o la loro introduzione manuale (controlli digitali).
- **SERVER SIDE** - lo sviluppo delle componenti del sistema di supporto e la loro gestione, in generale, rimane sotto la responsabilità di Società di Servizi o Enti di ricerca, che in questo ambito proseguono il proprio lavoro di potenziamento dei moduli di analisi e modellistica ambientale. Il loro compito è anche quello di adattare e ampliare il sistema in funzione delle esigenze degli utenti finali.
- **DECISION SIDE** - è l'ambito proprio dell'utente finale, fruitore delle informazioni e responsabile delle scelte operative, direttamente connesse con la propria attività imprenditoriale. A seconda del suo profilo e delle sue attitudini, possono essere sviluppate o adattate applicazioni specifiche che gli permettano di interfacciarsi con il sistema, al fine di trarne il massimo vantaggio informativo.

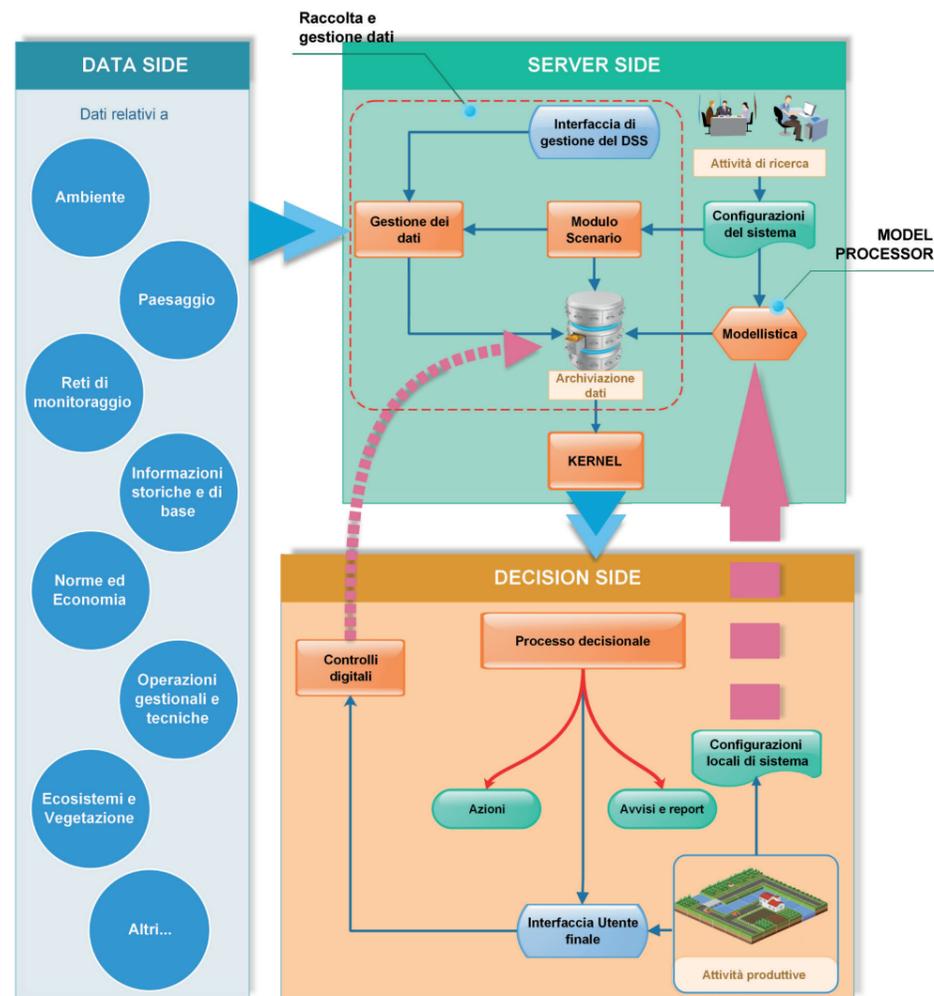


Fig. 1.5 - Struttura semplificata di un DSS multi-livello, con indicazione degli elementi interni ed esterni, suddivisi per ambito operativo: Lato Informativo e Monitoraggio (Data Side); Lato Sistema (Server Side) e Lato Utente (Decision Side).

1.5.1 COMPONENTI E FUNZIONI: "RACCOLTA DATI E INFORMAZIONI"

La disponibilità di archivi pubblici e privati, dai quali attingere per avere una prima base di dati che consenta la valutazione di aspetti generali e di contesto, è fondamentale per poter sviluppare applicazioni ambientali d'interesse operativo in tempi rapidi. Anche nel caso di progetti che prevedono vaste campagne di studio e mirano ad una piena autonomia informativa, la varietà e quantità delle informazioni richieste comporta uno sforzo d'indagine che può risultare eccessivamente oneroso o dispersivo nel caso in cui si debba partire da limitate basi conoscitive.

Fortunatamente, sul territorio nazionale e in ambito europeo, la base di dati geografici e tecnici a disposizione può essere considerata sufficiente e, in alcuni casi, eccellente. Sebbene si possano registrare errori e incompletezza dell'informazione, dovendo affrontare problematiche legate alla gestione del territorio e delle sue risorse, i dati a disposizione permettono di avere un quadro preliminare abbastanza completo almeno degli elementi geografici e ambientali, dando la possibilità di indirizzare al meglio le attività progettuali e riducendo i costi e i tempi della fase di studio preliminare.

Più delicata risulta, generalmente, la raccolta e organizzazione dei dati tecnici specifici, legati alla condizione locale della realtà d'interesse, agli strumenti e alle pratiche in uso. Anche dove le informazioni sono state raccolte, nel corso di valutazioni tecniche, studi o indagini da parte di terzi (es. consorzi, ecc.), difficilmente

queste sono organizzate in maniera organica e prontamente utilizzabile.

La tipologia e la qualità dei dati disponibili all'interno di un archivio, dipende sovente dal tipo di struttura e dall'impiego previsto, dato che la prima condiziona le informazioni di contesto (database) e la seconda l'accuratezza delle misure, anche se per applicazioni ambientali e agricole la gran parte degli archivi esistenti può essere considerata pienamente valida o facilmente adattabile a varie esigenze analitiche. Importante, da questo punto di vista, è che sia possibile collocare spazialmente e temporalmente i dati, conoscendo le metodologie impiegate per la loro produzione. A titolo esemplificativo, alcuni tra i piani informativi comunemente impiegati per applicazioni di tipo ambientale e agricolo, sono riportati nella tabella 1.3, con indicazioni delle fonti e dei formati più utilizzati.

Dai dati disponibili, mediante modelli e procedure informatiche o geostatistiche, possono essere derivate numerose altre informazioni, di crescente interesse e rilevanza operativa. A partire dagli archivi dei principali providers meteorologici, geo-pedologici, idrologici e di Osservazione della Terra, ad esempio, possono essere ricavate un gran numero di informazioni relative ai suoli, alla disponibilità idrica, allo stato dei vegetali, sul regime radiativo, ecc.. Per applicazioni stabili o continuative, tuttavia, uno sforzo deve essere fatto per raggiungere un adeguato grado di autonomia e di dettaglio informativo, sia dal punto di vista della raccolta sia da quello della gestione dell'informazione, anche tramite il coinvolgimento di personale specializzato e figure professionali esterne. Indipendente dalla fonte, alcuni controlli sulla qualità del dato sono richiesti per il loro impiego, tra i quali:

- Validità, compatibilità, affidabilità e usabilità;
- Rappresentatività spaziale e temporale;
- Completezza e coerenza.

Le analisi di carattere più generale sono condotte in termini statistici e geostatistici, in relazione al campo d'interesse, con l'obiettivo di individuare comportamenti e anomalie, ma anche definire i caratteri salienti degli elementi oggetto di studio e individuarne potenzialità, limiti o rischi intrinseci. Per tale motivo, già a livello d'interfaccia tra "lato dati" e "lato sistema" si pongono alcuni strumenti progettati per automatizzare o velocizzare il trasferimento verso il database di sistema e assicurare l'usabilità dei dati raccolti.

Questi elementi richiedono due componenti, uno messo a disposizione dal sistema di raccolta o distribuzione dei dati/informazioni "Data Side" e l'altro realizzato ad-hoc dagli sviluppatori "Server Side". Nel caso in cui si disponga di una rete di rilevamento locale, si dovranno anche adottare soluzioni specifiche per il controllo di tutte le parti costituenti (HW e SW), implementando le relative funzioni in specifici moduli gestionali. Tralasciando, per il momento, di entrare nel merito delle procedure da adottare, vediamo brevemente quale sia la tipologia di hardware che può essere gestita direttamente dai moduli "Server Side".

Aspetti critici dei sistemi locali di monitoraggio ambientale

Come abbiamo visto, lo sviluppo e il mercato della strumentazione per il monitoraggio ambientale rappresenta uno dei settori più promettenti, in grado di dare risposte concrete a diverse criticità presenti in svariati ambiti socio-economici e produttivi. In alcuni casi, con la loro adozione si osservano cambiamenti significativi, se non radicali, dei sistemi e delle pratiche gestionali, che hanno portato anche alla nascita di nuovi segmenti o discipline che ambiscono a migliorare la nostra vita, rendendola più sicura e più sostenibile dal punto di vista energetico e ambientale.

Con la nascita della "smart urban" e la diffusione delle tecniche di "precision farming", ad esempio, si è osservato un proliferare di sistemi e strategie, con grandi potenzialità per lo sviluppo di applicazioni d'interesse ambientale e naturalistico, molte delle quali sono state riunite sotto il marchio "Green": Green economy, green growth, green solutions, ecc.. La volontà di imporsi in queste nuove nicchie di mercato, tutte basate sull'uso integrato di dati provenienti da fonti diverse, ha dato il via a una corsa allo sviluppo di pratiche innovative, che tuttavia non appaiono sempre adeguatamente fondate su pratiche mature e sufficientemente affidabili.

Inoltre, malgrado le numerose soluzioni commerciali a disposizione, da quelle amatoriali fino a quelle professionali, con elevato grado di automazione, l'adattamento ai sistemi produttivi più tradizionali è ancora un processo delicato, generalmente lungo e complesso. Un aumento del numero di punti di monitoraggio, ad esempio, implica necessariamente un incremento delle esigenze manutentive e un aumento dei costi, che deve essere adeguatamente valutato. In considerazione dei classici problemi di alimentazione dei sistemi di monitoraggio, la raccolta di dati in tempo reale è essa stessa un'attività che necessita di un costante controllo sul funzionamento di tutte le sue parti, spesso giustificabile unicamente attraverso l'attribuzione e il riconoscimento

CATEGORIA	URL	
Temî cartografici di base	http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html http://www.regione.toscana.it/-/geoscopio-wms	
Descrizione	Disponibilità	Formati
Cartografia Tecnica Regionale (10K,5K,2K)	free download e servizio WMS (Web Map Service)	DXF, SHP, TIF, layer WMS
Ortofotocarte (10K, 2K)	servizio WMS	layer WMS
Limiti amministrativi e toponomastica	free download e servizio WMS	SHP, layer WMS
CATEGORIA	URL	
Cartografia tematica	http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html	
Descrizione	Disponibilità	Formati
Uso e copertura del suolo	free download	SHP, SQLite GeoDB
Pedologia	free download	SHP, SQLite GeoDB
Tematismi speciali (vincoli paesaggistici, incendi, alluvioni, ecc)	free download	SHP
CATEGORIA	URL	
Modello Digitale del Terreno	http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html https://search.earthdata.nasa.gov	
Descrizione	Disponibilità	Formati
DTM 10x10	free download	ESRI ASCII Grid
LIDAR 1x1	free download	ESRI ASCII Grid
ASTER, SRTM, ecc	free download	GEOTIF
CATEGORIA	URL	
Dati meteorologici, agrometeorologici e climatici	http://www.sir.toscana.it/ http://cma.entecra.it/Banca_dati_agrometeo/index3.htm http://www.chianticlassico.digiteco.com/ http://www.cespevi.it/meteo.htm	
Descrizione	Disponibilità	Formati
Dati giornalieri termopluviometrici	free download	CSV
Dati Rete Agrometeorologica Nazionale (dati giornalieri, decadali e mensili)	free download	CSV
Dati agrometeorologici Chianti classico (dati orari)	free download	CSV
Dati agrometeorologici stazione Cespevi (Pistoia) (dati giornalieri)	free download	Html

Tab. 1.3 - Piani informativi, fonte e formato per la Regione Toscana.

di un ruolo multifunzionale, in grado di rispondere alle esigenze di diversi ambiti operativi.

In quest'ultimo caso, assumendo che gli interessi di utenti diversi possano differire significativamente, per ciascuno di essi dovranno essere adottate specifiche procedure che, utilizzando in modo diverso i dati prodotti dal medesimo sensore/sistema, traggano il massimo vantaggio informativo per i vari ambiti operativi. Questi accorgimenti non sono applicabili a soluzioni "self-made", che per il momento non sembrano in grado di garantire un adeguato standard qualitativo dei dati raccolti, e risultano difficilmente utilizzabili anche per sistemi non professionali, che soffrono di scarsa rappresentatività e relativa validità metrologica (Tab. 1.4).

Anche nel posizionamento della strumentazione si dovrebbe tener conto di vari elementi, legati alle caratteristiche dell'area, alla sicurezza delle persone, alle esigenze degli elementi dell'ecosistema (Lin et al, 2000). Per alcuni aspetti, le nuove tecnologie offrono soluzioni interessanti (pannelli solari, controlli remoti, protezioni, miniaturizzazione, ecc.), aumentando l'adattabilità e la versatilità dei sistemi e andando incontro alle necessità tecniche per il rispetto della normativa e della regolamentazione vigente.

PARAMETRO	DESCRIZIONE
Soglia o valore di inizio o zero	Livello più basso del segnale (zero) rilevato dallo strumento
Portata o valore di fondo scala	Valore massimo della grandezza che lo strumento può misurare
Gamma di misura o Range	Differenza tra fondo scala e valore di inizio
Linearità	Misura del comportamento del sensore rispetto a quello ideale (retta a 45°)
Isteresi	L'isteresi è determinata dal fatto che la caratteristica di funzionamento rilevata per valori crescenti, della grandezza di ingresso, non coincide con quella rilevata per valori decrescenti. A parità di valore della grandezza in ingresso lo strumento dà indicazioni diverse a seconda che questo valore sia raggiunto per valori crescenti o decrescenti.
Sensibilità	Rapporto tra le variazioni della grandezza in uscita e la corrispondente variazione di ingresso $S = \frac{du}{dt}$
Risoluzione/errore	Variazione minima apprezzata dal sensore
Costante di tempo	Tempo necessario al sensore per rilevare il 63% di una variazione brusca tra due livelli della grandezza misurata
Stabilità / Deriva	Proprietà del sensore di conservare nel tempo le proprie caratteristiche
Precisione	Errore assoluto massimo che il sensore può compiere
Accuratezza	Differenza tra il valore vero e il valore medio
Ripetibilità o riproducibilità	Indicazione della dispersione dei valori ottenuti, ripetendo più volte una stessa misura, intorno al loro valore medio; dà un'indicazione dell'immunità agli errori accidentali.

Tab. 1.4 - Parametri metrologici da prendere in esame per la selezione delle componenti sensoristiche (Battista et al., 2000; Battista et al., 2002).

In aggiunta ai dati micrometeorologici forniti dalle stazioni di riferimento, temporanee o permanenti, altre informazioni dovrebbero essere raccolte sugli elementi di contesto (aria, suolo, acqua, ecc.). Questi dati, infatti, devono essere combinati per determinare il peso degli altri fattori a scala locale, la loro variabilità spaziale e l'influenza relativa sulla validità del dato raccolto.

Vi sono, infine, anche caratteristiche non metrologiche di cui bisogna tener conto, relative ad esempio alle condizioni operative o di conservazione, rispetto alle quali alcuni fattori possono entrare in gioco, modificando la validità o la durata della strumentazione (corrosione, polveri, ecc.). I requisiti minimi per l'impiego di strumenti meteorologici e idrologici sono facilmente reperibili in letteratura, anche se le direttive internazionali possono essere ottenute dagli specifici manuali dell'Organizzazione Mondiale della Meteorologia (WMO, 2008a; WMO, 2008b).

Uno sguardo alla nuova generazione di sistemi miniaturizzati

Per i più recenti sistemi miniaturizzati non ci sono indicazioni metodologiche così precise, ma alcune regole generali dovrebbero comunque essere rispettate, con principi non molto dissimili da quelli indicati per i sistemi professionali. Troppo spesso, infatti, si ricorre a software di "aggiustamento" dei dati, correggendo il valore misurato in funzione della temperatura o di altri parametri interni o esterni, accettando di fatto approssimazioni che possono anche essere molto rilevanti (Nakamura e Mahrt, 2005; Tanner et al., 1996; Richardson et al., 1999). In alcuni casi, come avviene per l'amplificazione di segnali troppo deboli, si corre addirittura il rischio di "inventare" un dato, in mancanza di una reale informazione, pescando ad esempio da valori riconducibili ad oscillazioni casuali ("rumore").

I sensori tradizionali sono elementi passivi, trasduttori elettrici di un determinato parametro, connessi generalmente ad un sistema di acquisizione, mentre la nuova generazione di sistemi miniaturizzati supporta

diverse possibilità, includendo anche un certo grado di autonomia funzionale e di capacità di elaborazione. Queste funzioni sono assicurate da *micro-controllers*, sorta di piccoli computer (SoC) su circuiti integrati singoli, contenenti un processore interno, memoria e periferiche I/O (Wang et al., 2006). Allo sviluppo di questi micro-sistemi, chiamati “*smart sensors*”, hanno contribuito i progressi tecnologici in almeno quattro campi disciplinari: micro-elettronica, micro-meccanica, radio-comunicazione e tecniche a basso consumo energetico. In generale, un nodo sensore include diversi moduli (Unità sensore, Unità di elaborazione /memorizzazione e Unità di trasmissione), facilmente programmabili e a ridotto consumo energetico (Fig. 1.6).

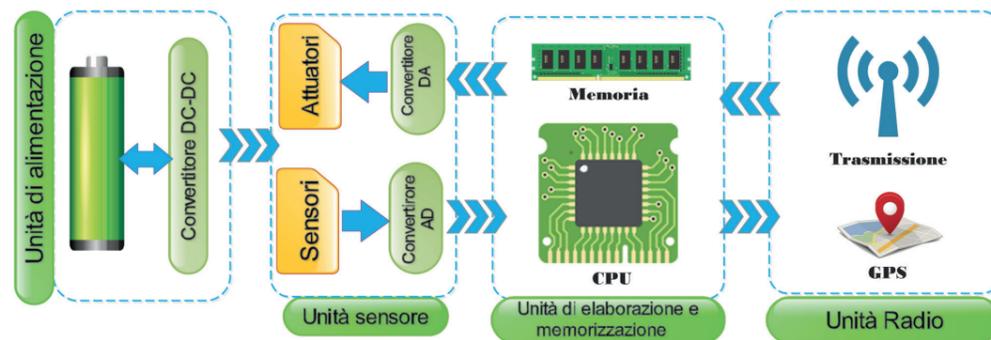


Fig. 1.6 – Architettura tipica di un nodo sensore.

I segnali analogici e digitali dei sensori sono quindi inviati al micro-processore per mezzo di un convertitore Analogico-Digitale (ADC) e unità d'ingresso digitale (DI- *Digital Input*), mentre i comandi di controllo possono essere inviati agli attuatori per mezzo di un convertitore Digitale-Analogico (DAC) e porte di uscita digitale (DO - *Digital Output*). Da notare che in questo tipo di sistemi, un singolo modulo può essere messo in condizioni di gestire diversi tipi di sensore e vari attuatori.

I sistemi MicroElettromeccanici (MEMS- *MicroElectroMechanical Systems*) sono già integrati in diversi apparati commerciali, utilizzati anche per il monitoraggio ambientale, pur mantenendo alcune importanti criticità, come quelle legate al consumo energetico. A livello operativo, il ricorso ad alcuni accorgimenti funzionali (regolazione dei tempi di acquisizione e di trasmissione, invio ottimizzato dei dati, ecc.) permette in parte il superamento di questi limiti, con un significativo aumento della durata delle batterie.

Le modalità di trasmissione dei dati cambiano in funzione delle normative del paese e del mercato, che ne condizionano la configurazione e la potenza. Molti paesi europei ammettono l'uso di diverse bande di trasmissione (Tab. 1.5), a fini industriali, scientifici e medici, ma negli ultimi anni le applicazioni si sono orientate verso lo standard 2.4 GHz. IEEE 1451.5, che supporta l'integrazione di *Smart Sensors* con diversi protocolli, come 802.11 (WiFi), 802.15.1 (Bluetooth) e 802.15.4 (ZigBee).

Un altro punto significativo per il monitoraggio ambientale è rappresentato dalla “*fault-tolerance*”, corrispondente alla capacità del sistema di svolgere autonomamente determinati compiti, anche a seguito del guasto di un qualsiasi componente della rete. Da questo punto di vista, la presenza di alcune “Unità di Acquisizione” (datalogger), di “Unità gestionali dei nodi sensori e dei dispositivi locali” e di “Unità per lo scambio di informazioni con la stazione master”, rafforza notevolmente la loro autonomia e ne riduce le esigenze manutentive.

Una rete locale di monitoraggio, per essere “sicura”, deve quindi usare un certo numero di datalogger, controllori e attuatori, il cui funzionamento è monitorato da un server remoto in grado di analizzare e interpretare i dati in modo continuo, assicurando agli utenti finali la migliore informazione possibile.

Alcuni sistemi ausiliari, come antenne direzionali e pannelli solari o batteria di backup possono essere necessari, in particolare nel caso in cui il sistema debba assicurare prestazioni elevate in condizioni critiche o nel corso di emergenze.

	IR	RF 433/868/915	WiFi	Bluetooth	Wireless USB	ZigBee™	UWB	NFC
Frequenza	800 / 900 nm	433 / 868 / 915 MHz	2.4 / 5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	868 / 902 MHz 2.4 GHz	3.1 / 10.6 GHz	13.56 MHz
Data rate	20 kbps / 16 Mbps	0.3 kbps	11 / 54 Mbps	1 Mbps	62.5 kbps	20 / 250 kbps	100 / 500 Mbps	106 / 424 kbps
Max raggio	1 / 9 m (LOS)	10 m	50 / 100 m	10 m	~50 m	10 / 100 m	< 10 m	~20 cm
Topologia di rete	Punto a punto	Punto a punto	Stella	Stella	Stella	Stella / albero / mesh	Punto a punto	Punto a punto
Complessità	Semplice	Semplice	Alta	Media / alta	Semplice	Media	Media	Semplice
Consumi	Molto bassi (10mW)	Bassi (~200mW)	Alti (~1W)	Medi (~300mW)	Bassi (~200mW)	Bassi (~100mW)	Bassi (~100mW)	Bassi
Applicazioni	Controllo remoto e trasmissione dati a corto raggio	Controllo remoto	Wireless LAN	Alternativa al cavo	Periferiche PC	Automazione e controllo	Trasmissione segnali a banda larga	trasmissione dati a corto raggio

Tab. 1.5 - Alcune caratteristiche dei più comuni protocolli di trasmissione.

Nel campo dell'agricoltura di precisione esiste un vasto range di sensori, che adottano diverse tecnologie e soluzioni commerciali, da utilizzare in fase di studio, di valutazione o gestione di vari elementi e agenti di rischio, sia biotici che abiotici (Ruiz-Garcia et al., 2009). Misure meccaniche, termiche, ottiche, chimiche sono adottate per individuare e quantificare aspetti molto diversi tra loro, come variazioni di biomassa delle colture o il loro stato di salute, la presenza o l'incidenza di agenti patogeni, definire le caratteristiche chimico-fisiche del suolo, valutare le potenzialità climatiche o i rischi meteorologici, e altro ancora. Data la varietà di sistemi impiegati, anche in questo caso, uno degli aspetti più delicati per la loro integrazione è rappresentato dalla necessità di trasferire/condividere informazioni da un sistema ad un altro, rendendo compatibili formati, protocolli e procedure messi a punto per applicazioni diverse.

Stazioni agrometeorologiche: aspetti pratici

La meteorologia applicata all'agricoltura fa affidamento su stazioni di rilevamento automatico appartenenti a reti gestite da Enti nazionali, regionali o istituzioni locali. La guida dell'Organizzazione Mondiale della Meteorologia per le pratiche di meteorologia in agricoltura (WMO 134- *Guide to Agricultural Meteorology Practices*; (WMO, 2012)) fornisce i riferimenti per classificare le stazioni agrometeorologiche in quattro categorie:

- 1. Principali:** usate per raccogliere contemporaneamente dati meteorologici e biologici, generalmente a scopo di ricerca agrometeorologica;
- 2. Ordinarie:** usate per la raccolta di dati meteorologici e biologici, in grado di supportare ricerca/programmi di studio su problemi specifici per il regime climatico locale;
- 3. Ausiliarie:** possono includere il monitoraggio di variabili e grandezze specifiche, come la temperatura e l'umidità del suolo;
- 4. Per scopo specifico:** installate per monitorare determinati fenomeni o condizioni locali.

Le caratteristiche dei sensori (Tab. 1.6) e la struttura di queste stazioni può variare in base all'applicazione ed essere modificata/aggiornata nel tempo, al fine di tener conto dei progressi tecnologici, ma nel rispetto di alcune regole, che rimangono fondamentali per consentire una corretta interpretazione/confronto dei dati raccolti (WMO Guide).

PARAMETRO	ACCURATEZZA
TEMPERATURA	
Bulbo asciutto	±0.3 °C
Estremi (min e max)	±0.5 °C
UMIDITÀ	
Bulbo umido	dipende dallo scopo
Umidità relativa	± 3 %
Temperatura di rugiada	±0.5 °C
VENTO	
Direzione	±5 ° (valore medio su un periodo di 2 minuti)
Velocità	± 0.5 m s ⁻¹ fino a 5 m s ⁻¹ ; ±10 % per valori superiori (valore medio su un periodo di 2 minuti)
PRECIPITAZIONI	
Quantità totale (valore giornaliero)	± 0.1 mm fino a 5 mm ±2 % per valori superiori
Intensità (su un periodo di 1 min)	±0.1 mm h ⁻¹ fino a 2 mm h ⁻¹ ±5 % per valori superiori
Spessore manto nevoso	±10 % del valore assoluto
EVAPORAZIONE	
Vasca evaporimetrica	± 0.1 mm fino a 5 mm ; ± 2 % per valori superiori
RADIAZIONE	
Eliofania	± 0.1 h per ogni ora
Radiazione solare globale	±1 MJ m ⁻² d ⁻¹
Radiazione netta	± 0.4 MJ m ⁻² d ⁻¹ fino a 8 MJ m ⁻² d ⁻¹ ± 5 % sopra 8 MJ m ⁻² d ⁻¹

Tab. 1.6 – Accuratezza richiesta per misure di superficie in Agrometeorologia (WMO, 2008a).

Le grandezze fisiche più comunemente monitorate da una stazione agrometeorologica sono:

- Temperatura dell'aria
- Umidità relativa dell'aria
- Intensità e direzione del vento
- Precipitazioni
- Radiazione solare globale
- Radiazione netta (opzionale)
- A.R. Photosynthetically Active Radiation (opzionale)
- Temperatura del suolo (misura puntuale o profilo: -10 ÷ -100 cm)
- Umidità del suolo (misura puntuale o profilo: -10 ÷ -100 cm)

Quando si decide di acquistare una stazione agrometeorologica occorre pertanto chiarire prima quale sia la sua funzione, al fine di definire le caratteristiche che dovranno avere le diverse componenti. In funzione delle specifiche esigenze operative, si potrà decidere se acquistare una stazione completa o assemblare i componenti richiesti sulla base delle loro caratteristiche. Ciascuna scelta, come sempre, presenterà vantaggi e svantaggi, legati alla compatibilità dei sistemi, alla facilità di gestione e alla versatilità o adattabilità.

Considerazioni pratiche e/o economiche possono far preferire la stima di alcune grandezze alla loro misura (ad esempio l'evapotraspirazione, umidità del suolo), usando dati raccolti da sensori di gestione relativamente semplice o più economici. In altri casi, la scelta può essere orientata verso soluzioni che assicurino un elevato grado di automazione, rispondendo a particolari esigenze di precisione e risoluzione, come gli anemometri sonici bidimensionali usati in sostituzione dei tradizionali anemometri a coppe. Nel caso specifico, gli anemometri sonici sono oggi quasi paragonabili per costi e caratteristiche del segnale di uscita, con il vantaggio di richiedere di una minore manutenzione.

Per quanto riguarda il "datalogger" questi deve soddisfare alcuni requisiti in relazione all'uso al quale è

destinato, espressi in termini di alcune caratteristiche quali: portabilità, flessibilità, velocità di campionamento dei canali di ingresso, basso consumo energetico, capacità adeguata della memoria dati, dimensioni, ecc.. Il convertitore analogico-digitale (ADC) dovrebbe avere una risoluzione di 14-16 bit, ingressi analogici con un range di tensione di 0÷2.5 Vdc, 0 ÷ 5 Vdc, -5 / + 5V o un sistema di autoregolazione, oltre a ingressi digitali per i pluviometri e i sensori di bagnatura fogliare. Generalmente, i sistemi di acquisizione più recenti hanno tutte queste caratteristiche e cercano di prevenire le eventuali innovazioni tecnologiche o strumentali.

Sistemi di monitoraggio specifici o di scopo

L'osservazione dei processi micrometeorologici richiede spesso dati raccolti ad un'elevata risoluzione spaziale e temporale, in particolare per sistemi che supportano attività specifiche o con i quali s'intende affrontare particolari problematiche. Parlando di agrometeorologia di precisione, vengono subito alla mente i sistemi utilizzati nei settori coinvolti nella "rivoluzione tecnologica" che ha toccato tutti i settori afferenti all'ambiente e alla gestione delle risorse naturali, ad iniziare dalla "agricoltura di precisione", che a sua volta si è andata estendendo a tutti i settori ad essa riconducibili, inclusi quello dell'orticoltura, del vivaismo e della gestione del verde.

Il campo d'applicazione dei sistemi di monitoraggio "di scopo" può quindi spaziare tra settori diversi e toccare varie scale operative, restando ferma l'esigenza di chiarezza nella definizione degli obiettivi, che rimane una condizione essenziale per la scelta della loro configurazione, l'installazione dei sensori e la messa a punto di idonee procedure di analisi dei dati raccolti.

Aspetti che per alcune applicazioni possono apparire secondari o trascurabili, per altre possono divenire condizionanti, tanto da far emergere problemi nuovi, come quelli legati all'estetica o alla dinamicità delle condizioni al contesto. La possibilità di realizzare efficienti collegamenti wireless, ad esempio, permette d'installare sensori anche in luoghi frequentati, ma al tempo stesso comporta l'introduzione di nuovi elementi di disturbo o possibile alterazione del dato. La presenza di persone o macchine, ad esempio, può ostacolarne il funzionamento, così come la miniaturizzazione può rendere i sensori più vulnerabili, soggetti a rottura o asportazione (Fig. 1.7).

In alcuni casi, come nei parchi storici o nei giardini botanici, l'aspetto estetico degli apparati potrebbe rappresentare una sfida e, al tempo stesso, un'opportunità, per realizzare sistemi sempre più rispondenti alle esigenze e alle aspettative degli utenti finali.

1.5.2 COMPONENTI E FUNZIONI "SERVER SIDE"

Senza niente togliere all'importanza delle varie componenti hardware del sistema di analisi e supporto, quello che interessa a livello operativo sono soprattutto le procedure utilizzate per il processamento dei dati raccolti e trasmessi dalle varie sorgenti. L'uso di elementi modulari, infatti, rende sufficientemente versatile il sistema da poterlo utilizzare anche in assenza di stazioni o reti locali, sulla base di piani informativi e dati provenienti da fonti diverse. Questa "elasticità", tuttavia, comporta inevitabilmente un appesantimento della sua struttura e una ramificazione degli elementi funzionali, che divengono anche più difficili da collocare in relazione alle altre componenti. Per chiarezza espositiva, quindi, si possono presentare le diverse funzioni all'interno di moduli più generali, visti come "contenitori" di applicazioni attivabili o meno, in funzione delle esigenze dell'utente finale (Fig. 1.8).

Il modulo "Gestione dei dati" rappresenta la porta d'ingresso dei dati provenienti dalle diverse fonti esterne all'interno del Sistema, che tramite software specifici viene messo nelle condizioni di accettare i più diffusi formati commerciali o scientifici, di controllarne l'integrità e la validità per i fini prefissati. Al suo interno si possono distinguere almeno due componenti, una che opera in maniera "standard", con controlli statistici di routine e comuni ad altri sistemi, e una che effettua dei controlli specifici, di tipo "funzionale", analizzando il dato in base ad aspetti operativi, priorità ed esigenze.

L'affidabilità di ciascun valore è determinata da specifiche funzioni di controllo, e "certificata" tramite opportuni "flag", salvati nel database di Sistema per eventuali successivi controlli. In caso di situazioni critiche, dovute ad esempio alla presenza di gravi anomalie, viene preparato un report da trasmettere ai gestori del sistema e/o a personale qualificato. Le diverse fonti di dati riconosciute dal modulo possono inviare direttamente i propri file o, in alternativa, salvarli all'interno di archivi o database consultabili tramite procedure concordate.

Il modulo **Scenario** permette all'operatore esperto di impostare le varie funzioni operative del Sistema,

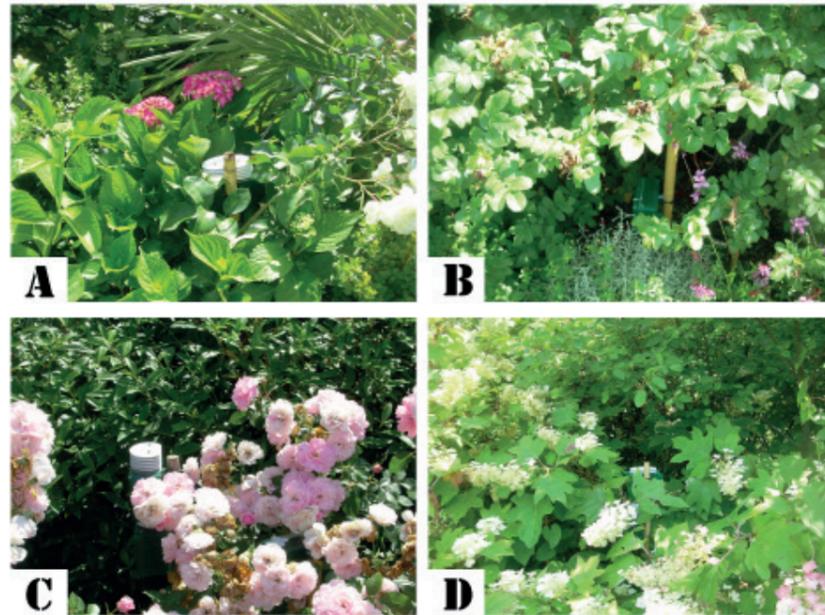


Fig 1.7 - Particolari della rete di monitoraggio wireless installata in un giardino (Bacci et al., 2013) dopo l'operazione di mimetizzazione: A) sonda di temperatura e umidità dell'aria, temperatura e umidità del suolo; B) temperatura del suolo; C) sonda di temperatura e umidità dell'aria, umidità del suolo; D) sonda di temperatura e umidità dell'aria, umidità del suolo.

28

che rispondono alle esigenze di Servizio. Tramite i suoi strumenti possono essere forniti al sistema i criteri per la valutazione del "peso" dei diversi elementi impiegati all'interno degli indici di valutazione finale, sia a livello di singoli dati sia a livello di strati informativi. Generatori di dati e procedure statistiche possono essere utilizzate per creare piani informativi o set di dati da utilizzare per indagini previsionali a medio o lungo termine, sempre che la loro struttura e il formato utilizzato siano compatibili con gli input previsti dal sistema.

Alcune analisi più complesse, come quelle legate all'integrazione di dati provenienti da fonti diverse da quelle usate generalmente dal sistema, possono essere realizzate in via preliminare da esperti delle varie discipline, con strumenti proprietari esterni al sistema. Allo stesso modo, possono essere previste procedure per la ricostruzione di eventi passati o lo studio di scenari con diverso grado di attendibilità statistica, da rendere disponibili per analisi comparative o valutazioni strategiche.

Il controllo, l'attivazione e l'impostazione dei parametri dei modelli da utilizzare per le simulazioni è reso possibile nel modulo "Configurazioni di sistema", attraverso il quale possono essere definite eventuali priorità di analisi, effettuate verifiche e simulazioni o impostate procedure per il trasferimento di dati tra modelli ("cascade modelling"). Questi strumenti risultano utili, in particolare, nelle fasi iniziali del processo di adattamento e attivazione del sistema, che possono prevedere modifiche rilevanti a livello software o procedurale per lo studio di casi specifici o la definizione delle migliori condizioni di lavoro per la realtà d'interesse. L'attivazione di queste procedure richiede, perciò, una stretta collaborazione tra le diverse figure (responsabili del servizio, esperti dei diversi settori e utenti finali), che devono poter interagire con il sistema sulla base di moduli che operano "lato server".

Una volta definite le procedure, scelti e impostati i modelli, le modifiche saranno molto più sporadiche e/o limitate ai casi di aggiornamento rispetto a mutate condizioni operative o ad esigenze legate al miglioramento delle prestazioni del sistema. Ciascuna procedura o modello, tuttavia, manterrà un certo grado di adattabilità grazie alla presenza di elementi modificabili secondo principi predeterminati (es. parametrizzazione), sui quali si potrà intervenire secondo il proprio grado di competenza, senza alterare la struttura del sistema.

Il **KERNEL** riunisce tutte le funzioni che permettono di trasferire le informazioni prodotte a livello gestionale (*Decision Side*), ovvero dall'utente finale, dai responsabili, e dalle apparecchiature controllate/gestite dal sistema di supporto. Ciascun output è organizzato in "pacchetti informativi", indirizzati a persone

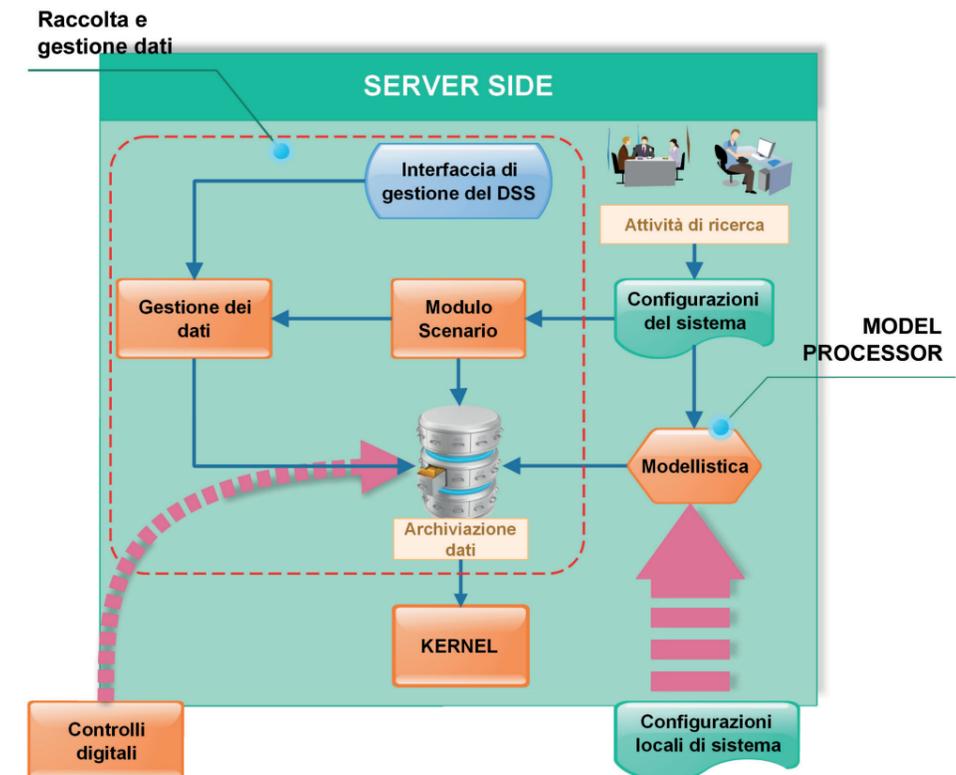


Fig. 1.8 - Principali componenti software del sistema di gestione ed elaborazione dei dati: ciascuno di questi elementi racchiude al suo interno diversi moduli secondari che sono attivati in funzione delle reali esigenze operative dell'utenza finale.

29

o specifiche applicazioni, definite in base a precise esigenze operative. Se richiesto, il sistema può condividere dati o informazioni anche con altri provider o servizi, secondo opportune modalità definite sulla base di precisi accordi tra le parti. L'adattamento delle componenti e l'attivazione delle funzioni del sistema ad un nuovo ambito operativo comporta un lavoro non indifferente, che deve seguire un preciso piano d'azione. Indicativamente, i passaggi richiesti sono i seguenti:

- **Raccolta e analisi preliminare dei dati ausiliari**

In base all'area d'interesse e alle esigenze dell'utenza finale può essere necessaria la creazione di un set di dati più o meno ampio, che consenta di caratterizzare l'ambiente operativo e contestualizzare le componenti analitiche, con informazioni anche di carattere storico.

Questo compito è affidato a personale esperto, che si occupa del reperimento dei dati necessari, della loro interpretazione e della preparazione dei piani informativi, oltre che della organizzazione dei file richiesti dalle varie componenti per le successive analisi. Se necessario, le informazioni ritenute sensibili dal punto di vista della privacy o d'interesse economico diretto, possono essere opportunamente "protette" o conservate in forma elaborata, in modo da impedirne un uso improprio.

- **Popolamento e completamento del set di dati**

La serie di dati locali utilizzata per la verifica del sistema, deve essere controllata e completata da esperti dei diversi settori, attraverso l'impiego di strumenti statistici e secondo criteri standard, che consentano di rendere pienamente confrontabili i dati raccolti con quelli presenti in serie "ufficiali". Questo passaggio, troppo spesso disatteso, risulta fondamentale sia per il funzionamento dei modelli (che non dovrebbero subire modifiche giustificate soltanto da input non conformi) sia per l'interpretazione dei dati in uscita dal sistema.

- **Correzione e adattamento dei piani informativi di base (cartografia ufficiale, ecc.)**

Sebbene vi sia la tendenza a considerare “validati” i dati forniti da enti e società di servizio, vincolati spesso a vario titolo nel loro uso e/o addirittura venduti sotto forma elaborata, spesso si deve constatare che anche queste fonti non sono totalmente soddisfacenti e devono essere verificate e, talvolta, corrette, prima di poterle impiegare a livello operativo.

Questo si verifica, in particolare, perché la precisione richiesta per la modellistica ambientale è generalmente superiore a quella necessaria per altri tipi di applicazioni. Per tale motivo, il lavoro di correzione può continuare anche dopo l'attivazione del servizio, riproponendosi ogni qualvolta si devono aggiornare i piani informativi di base.

- **Adattamento e implementazione dei modelli**

I modelli utilizzati per la simulazione di soggetti fisici o biologici, quando disponibili, necessitano di una verifica preliminare e spesso di aggiustamenti, che passano attraverso la loro ricalibrazione in funzione delle caratteristiche degli elementi d'interesse. In alcuni casi, le modifiche possono essere talmente rilevanti da dover richiedere l'implementazione di nuovo software, con tempi che inevitabilmente possono allungarsi in funzione della complessità dell'operazione richiesta. In molti casi, tra l'altro, le soluzioni adottate non pretendono di riprodurre i processi nella loro completezza, ma piuttosto di estrarre informazioni utili dal punto di vista pratico. Per questa ragione, la loro validità non è generale, ma relativa, e il loro impiego in contesti diversi esige grande attenzione.

- **Integrazione di componenti diverse**

L'uso di elementi con caratteristiche diverse da quelle previste richiede una preliminare omogeneizzazione delle informazioni in ingresso e in uscita, collegate all'individuazione di sequenze analitiche adeguate. Questa operazione dovrebbe essere condotta nel rispetto di standard riconosciuti, che permettano a soggetti terzi di comprendere a pieno le eventuali modifiche e gli aggiustamenti da apportare al sistema per assicurarne la piena funzionalità.

- **Calibrazione del sistema**

Partendo dai dati disponibili, si può procedere a una prima calibrazione delle diverse componenti del Sistema, verificandone funzionalità e validità in condizioni simulate. Questo permette di adattare procedure e modelli sulla base di criteri logici, scientifici e statistici riconosciuti. La configurazione ritenuta più efficiente, seppure provvisoria, sarà quella utilizzata nel corso della prima fase di attività. Il confronto tra dati reali e simulati, consentirà successivamente di individuare le eventuali criticità e i punti di maggiore debolezza del sistema, aggiustando le procedure per avvicinarsi progressivamente alla realtà d'interesse. Tale processo potrà ritenersi concluso quando le stime richieste saranno sufficientemente accurate e attendibili da rispondere alle esigenze operative dell'utente finale.

- **Analisi dei risultati e messa a punto dei modelli**

L'analisi delle validità delle uscite modellistiche e di Sistema viene condotta sia sul piano tecnico-scientifico, sia su quello pratico-operativo. Ciascuna delle due componenti, scientifica e operativa, viene chiamata a valutare le uscite del Sistema in maniera indipendente e a suggerire le eventuali modifiche da apportare ai modelli per un loro significativo miglioramento.

Lo scopo finale è quello di individuare soluzioni ad hoc, in grado di fornire indicazioni utili a migliorare la competitività o l'efficienza della realtà produttiva di riferimento.

- **Condivisione delle informazioni all'interno della filiera.**

Negli ultimi anni, anche a seguito della progressiva informatizzazione dei vari comparti, in campo ambientale e agro-alimentare si è assistito ad una crescente richiesta di condivisione dei dati e delle informazioni potenzialmente rilevanti per l'ottimizzazione di servizi o attività di filiera. La creazione di strumenti adeguati, in grado di rispondere alle legittime istanze di accuratezza, tempestività e sicurezza dei diversi attori, richiedere attività specifiche, correttamente impostate e condotte nell'ambito di progetti ben strutturati. Questo non impedisce, tuttavia, di fornire un primo livello di informazioni, derivati da archivi e database esterni, da condividere con il mondo esterno tramite i classici strumenti web, per motivi pre-operativi, di analisi, d'immagine o promozionali.

A dispetto della loro complessità, la struttura descritta e le procedure indicate rappresentano soltanto un *framework*, che come già ricordato per i moduli dello schema precedente racchiude al suo interno altre procedure e soluzioni informatiche, in larga parte note agli addetti ai lavori. Uno degli aspetti più delicati da questo punto di vista è rappresentato dal lavoro che sta dietro alla creazione di nuovi piani informativi e all'attività di ricerca, necessari per sviluppare nuove soluzioni. Per le finalità di questo lavoro, in relazione al primo punto, riteniamo opportuno soffermarci sulla descrizione di alcuni di questi passaggi, che possono essere effettuati in maniera autonoma da professionisti ed esperti con strumenti indipendenti o essere affidati a procedure automatiche, implementate nel sistema di supporto.

Organizzazione e analisi dei dati tramite metodologia GIS

Un Sistema Geografico Informativo (GIS – *Geographic Information System*) è definito come “un potente set di strumenti utilizzati per la raccolta, l'archiviazione, la gestione, l'analisi e la rappresentazione di dati spaziali tratti dal mondo reale per una particolare finalità” (Burrough, 1986; Burrough e McDonnell, 1998). Il GIS può essere visto anche come una tecnologia che permette di affrontare i problemi in modo integrato e multidisciplinare, consentendo di descrivere sistemi complessi mediante una serie di funzioni “relativamente” semplici. Tale tecnologia integra la capacità di effettuare operazioni sui database, come interrogazioni e analisi statistiche, con i vantaggi offerti dalla visualizzazione e dall'analisi geografica propri della cartografia digitale.

Queste capacità sono di grande ausilio per molte operazioni, legate ad esempio alla comprensione di processi o eventi naturali, alla visualizzazione di possibili scenari o alla pianificazione di strategie.

La tecnologia GIS interagisce e talvolta comprende diversi elementi o applicazioni, tra le quali le più comuni sono:

- **Sistemi di posizionamento globale (come il Global Position System - GPS).**

Si tratta di sistemi basati su costellazioni di satelliti orbitanti intorno alla Terra, in grado di fornire la posizione sulla superficie terrestre di ciascun elemento, con una precisione variabile da 100 m a qualche centimetro, espressa in latitudine e longitudine o altri sistemi di coordinate.

- **Telerilevamento (Remote Sensing – RS).**

Satelliti o altre piattaforme aeree, usate per ottenere informazioni quali-quantitative sulla superficie terrestre e sui suoi elementi, siano essi naturali (terra, acqua, vegetali o animali) o antropici (edifici, infrastrutture, sistemazioni, ecc.).

- **Software GIS propriamente detto (GISy).**

Software in grado di gestire (visualizzare, archiviare, rappresentare, manipolare, analizzare) informazioni geografiche a varie scale spaziali e temporali (Fig. 1.9).

In un sistema informativo geografico gli elementi naturali o antropici del mondo reale (rilievi, fiumi, campi, giardini, piante, serre, strade, ecc.) sono rappresentati in base alla forma, alla posizione e alle loro caratteristiche descrittive “attributi”. Per un giardino, ad esempio, negli “attributi” potremmo trovare il nome della proprietà, l'ubicazione, i limiti, le strutture, il tipo di terreno, le specie vegetali, ecc., rappresentati tramite simboli o colori, codificati nelle forme necessarie per l'analisi dei dati.

L'informazione geografica finale (Fig. 1.10), è rappresentata dell'insieme della descrizione geometrica (forma), della localizzazione (posizione) e dell'informazione descrittiva tradizionale (attributi). In ambiente GIS, gli elementi del territorio possono essere schematicamente rappresentati per mezzo di due diversi modelli, il modello vettoriale e quello raster.

Nel **modello vettoriale** gli oggetti del mondo reale sono rappresentati tramite punti, linee o poligoni. Questa struttura comporta una certa difficoltà nel monitorare o riprodurre adeguatamente alcuni processi in rapida evoluzione, ma rappresenta un vantaggio in termini di precisione e di possibilità di rappresentazione grafica degli elementi, soprattutto nel caso di elementi lineari. Il limite più importante è dato dai tempi richiesti per la creazione e l'aggiornamento dei piani informativi, che non sempre può essere significativamente ridotto con l'ausilio di procedure automatiche.

Recentemente, l'*Open Geospatial Consortium* (OGC - organizzazione internazionale no-profit, basata sul consenso volontario, che si occupa di definire specifiche tecniche per i servizi geospaziali) ha aggiornato le primitive grafiche inserendo anche nuove possibilità come le “*GeometryCollection*” per rappresentare elementi complessi (es punti su linee, per descrivere gli eventi lungo un percorso).

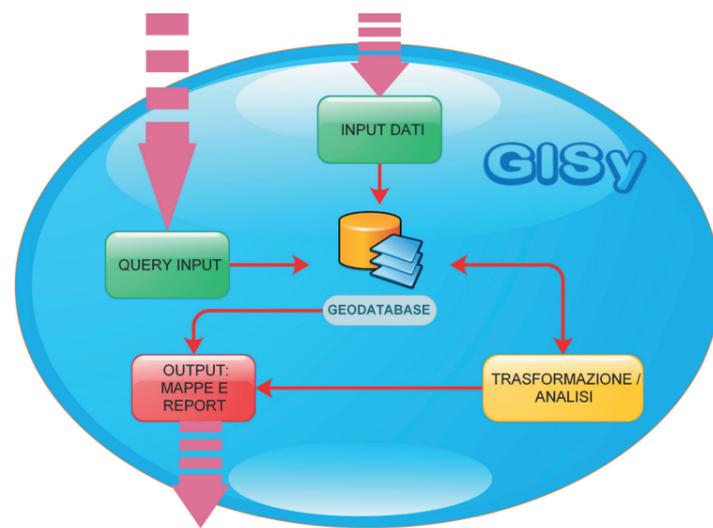


Fig. 1.9 - Architettura e componenti di un GIS (generica)

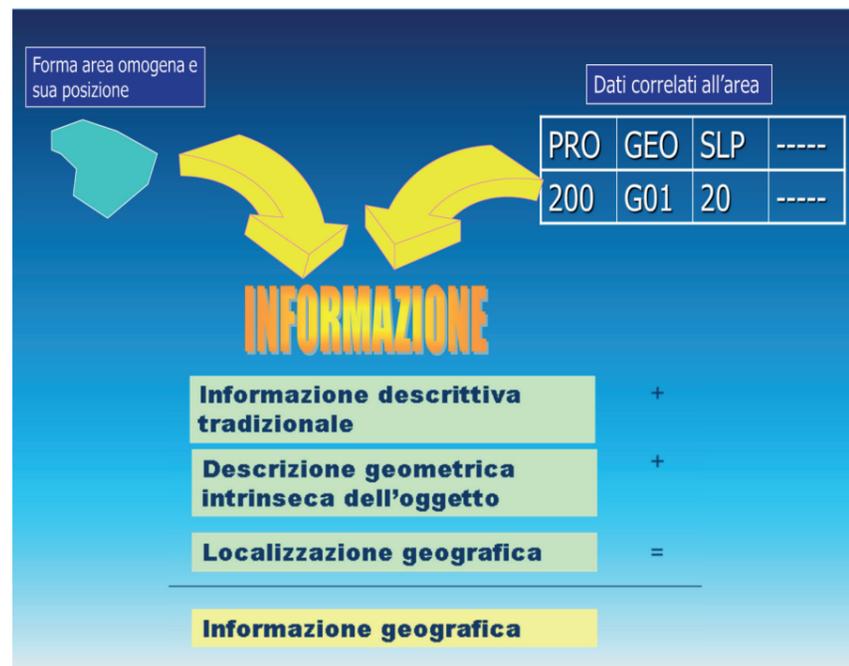


Fig. 1.10 - Componenti dell'informazione geografica.

Nel modello **raster** lo spazio viene suddiviso in una griglia, nella quale le caratteristiche di ciascun elemento (*pixel*) sono considerate uniformi. La localizzazione di ciascun oggetto è definita tramite il numero di colonna e riga, mentre le caratteristiche sono indicate dal valore contenuto. Differenti informazioni relative a quel punto o cella, sono inserite in matrici diverse. Questo modello presenta qualche problema nella rappresentazione e nell'analisi di informazioni lineari, perché non permette l'uso dell'informazione cartografica di base e comporta l'immagazzinamento e la gestione di enormi quantità di dati, mentre l'accuratezza dipende dalle dimensioni

del pixel, così che è spesso necessario accettare qualche compromesso tra accuratezza spaziale e dimensioni dei file. La struttura raster permette di utilizzare i valori direttamente in equazioni attraverso funzioni di "Map algebra" già implementate nei comuni software GIS. Per questa ragione, i raster sono particolarmente adatti per modelli di tipo distribuito.

Gli elementi geografici e i relativi attributi sono memorizzati in geodatabase, secondo specifiche strutture standardizzate dall'*Open Geospatial Consortium* (OGC). I sistemi SDBMS (*Spatial DataBase Management System*) sono dei normali database relazionali, con integrate funzionalità aggiuntive per il trattamento automatico dei dati spaziali.

A livello di sistema, in ogni caso, vi è la piena compatibilità con i più comuni software riconosciuti (MySQL, PostgreSQL, Oracle, SQLite, ecc.), e lo scambio di dati può essere organizzato secondo i consueti protocolli, anche al fine di consentire all'utente finale l'estrazione o la ricerca di informazioni dai dati sorgente. Indipendentemente dalla loro organizzazione all'interno del DB, infatti, il sistema o l'utente possono ottenere le informazioni necessarie nella forma desiderata, tabulati, listati, file o altro.

L'interconnessione tra sistemi diversi per il trasferimento dei dati, previa autorizzazione da parte dei rispettivi gestori, accresce in maniera esponenziale il valore dei database. Allo stesso tempo, mentre per il trattamento e la gestione dei dati raccolti dalle reti tradizionali vi sono procedure standard riconosciute, per i sistemi più innovativi (come droni e macchine operative agricole, dotate di sofisticate apparecchiature d'indagine), vi è ancora una certa carenza conoscitiva e permangono alcuni elementi di confusione, che possono generare incertezza sulla validità dei risultati conseguiti. Generalmente per questi dati, non standard o non strutturati, si preferisce ricorrere ad archivi, più facilmente gestibili e consultabili. Anche perché, servizi pubblici e privati sono interessati ad adottare le soluzioni più semplici ed efficaci, al fine di ottenere la maggiore efficienza possibile per i loro sistemi. In ogni caso, il mantenimento in sicurezza dei dati grezzi e delle informazioni non organizzate all'interno di archivi proprietari rimane una necessità, anche per permettere verifiche o valutazioni successive che sarebbero impossibili sui dati aggregati o elaborati.

In un Sistema Informativo Geografico, l'informazione può essere connessa e processata prendendo in considerazione diversi fattori e le loro relative variazioni nel corso del tempo; le modifiche di un dato parametro possono indurre variazioni dell'intero contesto. Questa procedura presenta significativi vantaggi nell'analisi di dati in tempo reale, ma necessita di coerenza e integrità a livello dei dati in ingresso.

Uno degli elementi più importanti per la caratterizzazione geografica del territorio è il modello digitale del terreno (DEM - Digital Elevation Model; Moore et al. 1991), perché la sua affidabilità e precisione condiziona un gran numero di applicazioni e analisi, con effetti non facilmente quantificabili (o riconoscibili) sulla validità dei risultati finali, ottenuti tramite complesse elaborazioni. Dove disponibile, una realistica rappresentazione della morfologia, con una risoluzione adeguata, permette di ottenere informazioni su un gran numero di elementi di fondamentale importanza teorico-pratica per analisi ambientali, come quelli relativi agli aspetti climatici e idrologici del territorio, estraibili tramite procedure e modelli ritenuti ormai pienamente operativi (Mitasova et al., 1995; Bruneau et al., 1995).

A partire da dati, criteri e modelli, con l'ausilio dei piani informativi necessari ai diversi tipi di analisi, i sistemi informativi consentono di estrarre le informazioni generalmente richieste per le normali attività legate al territorio e all'ambiente. Altri elementi possono tuttavia essere introdotti, come testi, fotografie e filmati, per completare il quadro necessario alla comprensione di un fenomeno o di una determinata situazione, anche se questi non rientrano direttamente nelle elaborazioni. Questa multimedialità viene considerata importante non soltanto per motivi didattici, ma soprattutto perché dà la possibilità al destinatario dell'informazione di approfondire determinati aspetti in tempo reale, senza dover cercare egli stesso le informazioni che potrebbero servirgli. Per fare un esempio, possiamo pensare ad un mosaico di aree nelle quali si usano tecniche diverse, che tuttavia possono essere facilmente spiegate con immagini fotografiche o video.

Dopo aver definito i piani informativi di base, più o meno stabili, l'attenzione deve essere rivolta agli elementi dinamici del territorio e dell'ambiente, come quelli meteo-climatici o funzionali, che devono essere adeguatamente monitorati e aggiornati, in modo da non far perdere il contatto con la realtà che s'intende controllare. Per tutti questi elementi è comunque fondamentale la scelta della corretta scala spazio-temporale (Tab. 1.7).

Scale spaziali		
Definizione	Descrizione	Utilizzo
Globale	>= 10000 km ²	Scala usata per analizzare eventi che coinvolgono l'intero pianeta o gran parte di esso.
Macro o Regionale	200 – 1000 km ²	Scala utilizzata per descrivere eventi che riguardano una regione o uno stato.
Meso	100 - 200 km ²	Scala usata per descrivere i fenomeni meteorologici, come ad esempio i fronti temporaleschi.
Locale	1 - 2 km ²	Scala usata per caratterizzare aree specifiche; (es. analisi della direzione e velocità del vento).
Micro	< 1 km ²	Scala usata per analizzare le condizioni relative ad organismi viventi (es. agricoltura di precisione).
Scale temporali		
Definizione	Descrizione	Utilizzo
Storica	>= 30 anni	Scala usata per analisi di trend. Analisi climatiche.
Decennale	10 anni	Scala minima statisticamente valida. Si può usare per descrivere differenze tra regioni o stazioni meteorologiche.
Annuale	1 anno	Scala utilizzata per descrivere i fenomeni meteorologici, come ad esempio i fronti temporaleschi.
Stagionale	3 mesi	Scala usata per considerazioni pratiche o confronto.
Mensile	1 mese	Scala utilizzata prevalentemente in analisi meteorologiche.
Decadale	10 giorni	Scala utile per studi agrometeorologici (es. stress idrico).
Pentadale	5 giorni	Scala utile per considerazioni biologiche come la previsione di attacchi da insetti.
Giornaliera	1 giorno / 24h	Scala importante per la descrizione di ritmi biologici.
Tempo reale	1 sec <= t <= 1h	Scala utilizzata per seguire in modo continuo un fenomeno. Monitoraggio continuo.

Tab. 1.7 - Scale spaziali e temporali

Nel Sistema Informativo, infatti, l'uscita modellistica diviene la "realtà", seppure virtuale, da confrontare con la "verità" del territorio, corrispondente a quanto effettivamente presente, misurato dagli strumenti o percepito dagli operatori. Agli operatori e ai gestori del sistema rimane quindi la responsabilità di mantenere aggiornate le informazioni in ingresso e garantire una sostanziale aderenza tra le condizioni simulate e quelle reali.

Alcune procedure possono comunque essere previste e implementate per valutare l'attendibilità o la coerenza delle informazioni prodotte dal sistema, in base alle informazioni di contesto (Rijks et al., 1998). Entro certi limiti, quindi, il sistema può supplire alle eventuali carenze, colmando le lacune o completando le serie di dati, anche se oltre determinate soglie non potrà fare altro che offrire indicazioni di tipo standard o generico, denunciando la mancanza di dati al gestore e all'utente finale. In questi casi, si continueranno a produrre le uscite richieste (mappe, immagini, grafici, animazioni, reports), accompagnate da avvisi e/o allarmi, contenenti le specifiche del problema rilevato.

Procedure utilizzate per la caratterizzazione del territorio

Per analisi del territorio s'intende una serie di operazioni adottate per studiare l'ambiente e i suoi elementi, ai quali vengono associate precise caratteristiche. Per prima cosa, generalmente, si dovrà definire e delimitare l'area d'interesse, preparando le informazioni richieste in piani informativi aventi le medesime dimensioni, per poi definire i criteri, gli indici e i modelli da utilizzare per l'estrazione delle informazioni desiderate.

Quando non si dispone di algoritmi o funzioni standard occorre effettuare indagini più approfondite, che consentano di individuare gli elementi e le relazioni che regolano i processi indagati, combinando le componenti di base (geografici, fisici, ambientali, ecologici, ecc.), con fattori specifici (fisici, chimici, biologici, gestionali, ecc.), secondo principi scientifici, funzionali e tecnico-operativi riconosciuti.

Comprendere quali siano gli elementi caratterizzanti di un determinato territorio dal punto di vista ambientale o agronomico è determinante per l'aspetto gestionale, sia per indirizzare le attività di campo sia per predisporre piani a medio o lungo termine. Inevitabilmente, gli elementi da prendere in esame variano a seconda dei casi studiati e possono essere standard o specifici.

La valutazione delle potenzialità produttive di un territorio, ad esempio, implica necessariamente la piena caratterizzazione delle sotto-zone che in esso sono presenti (zonizzazione), anche se queste si possono differenziare per un gran numero di fattori (esposizione, suolo, disponibilità idrica, ecc.). Nel caso, ciascuno di essi dovrà essere "pesato" in funzione dell'effetto previsto sull'elemento d'interesse (es. una determinata coltura). L'indagine preliminare più frequente per applicazioni agronomiche è quella che combina i fattori climatici con quelli pedologici (analisi pedoclimatica), con la quale si mira a valutare il livello di soddisfacimento delle esigenze vitali della coltura nel corso del suo ciclo produttivo. Le varie aree possono essere classificate in base alla distanza rilevata tra condizioni ottimali e condizioni reali.

Si dovrà comunque ricordare che gli elementi biologici possiedono una certa capacità di adattamento e che la loro risposta è spesso riconducibile a fattori difficili da individuare, risultando generalmente non lineare. Per praticità, pertanto, si definiscono dei "range di compatibilità ambientale", definiti a partire da un numero limitato di elementi. In questo modo le aree possono risultare anche molto ampie e presentare al loro interno zone con fattori limitanti, che non sono stati adeguatamente valutati. Il problema si pone, in particolare, quando si manifesta la necessità di garantire determinati risultati a livello produttivo o gestionale, in termini quali-quantitativi e di sostenibilità ambientale facendo rientrare nella valutazione aspetti biochimici, genetici, economici, culturali ed altri ancora. L'interesse verso questi strumenti, tuttavia, rimane giustificato da due ordini di considerazioni:

1. qualunque sia il livello di conoscenza acquisto, questo sarà comunque molto accresciuto, con vantaggi evidenti in termini di trasparenza informativa e metodologica;
2. l'esigenza di razionalizzare le scelte programmatiche e gli investimenti, di ridurre l'impatto ambientale delle attività produttive legate al territorio o di prevenire rischi legati ad agenti esterni, potrà trovare risposte soddisfacenti e condivise.

Negli ultimi anni, lo sforzo conoscitivo fatto per rappresentare e valutare gli elementi del territorio ha portato ad un miglioramento degli strumenti d'indagine e delle tecniche di estrazione delle informazioni, a cominciare da quelle utilizzate per l'Osservazione della Terra (OT) e il monitoraggio a distanza (RS). Vediamo, seppure in maniera sintetica, quali sono le principali tecniche e funzioni normalmente adottate per l'estrazione e l'integrazione dei dati da queste nuove fonti d'informazione.

Analisi spaziale e la spazializzazione dei dati

Si tratta dell'insieme delle tecniche usate per descrivere il comportamento di una determinata grandezza fisica nello spazio osservato, finalizzate ad avere una stima attendibile dei suoi valori in ogni punto della zona d'interesse a partire da un numero limitato di dati in ingresso. Dopo la valutazione delle informazioni ausiliarie e la validazione preliminare dei dati disponibili, è possibile utilizzare varie procedure statistiche, geometriche e grafiche, per lo studio delle relazioni esistenti, dei relativi comportamenti e degli andamenti che ne condizionano la variabilità spaziale.

Queste informazioni "preliminari" sono necessarie per definire le tecniche da applicare per la stima di dati e la scelta della "funzione di trasformazione", che consente di ottenere valori con le caratteristiche desiderate secondo regole prestabilite. In ogni caso, i vari passaggi devono essere eseguiti con attenzione e rigore, discussi e spiegati, facendo attenzione a non introdurre manipolazioni che potrebbero portare a stime errate. Le tecniche di trasformazione dei dati spaziali, infatti, possono rispondere a logiche diverse, espresse attraverso formule matematiche più o meno complesse, che dovrebbero essere espressione di relazioni fisiche verificate. In alcuni casi i punti di rilevamento, per i quali il valore della grandezza è conosciuto, possono essere mantenuti invariati in termini assoluti o relativi, mentre in altri questi subiscono essi stessi delle variazioni, considerate non influenti ai fini dell'analisi del fenomeno studiato.

Le operazioni effettuate più frequentemente sui dati spaziali sono quelle legate alla stima dei valori medi e all'applicazione di filtri d'interpolazione, con i quali si cerca di ridurre la variabilità e interpretarne gli andamenti. In realtà, si deve ricordare che gran parte di queste operazioni sono da considerarsi funzionali ad analisi specifiche e servono a rendere "idoneo" il dato prodotto al tipo di applicazione previsto o all'ottenimento di indicazioni utili a livello operativo.

Nella realtà, infatti, può darsi benissimo che vi siano scarti importanti tra punti equidistanti, anche non indotti da agenti estranei all'oggetto dell'indagine. Pensiamo, ad esempio, alle differenze che possono esserci in uno spazio chiuso, come una serra o un ufficio, tra due punti posti a pochi metri di distanza, per effetto di una

diversa circolazione dell'aria, della radiazione o di elementi di condizionamento. Queste differenze, sicuramente reali, dovrebbero essere capite, prima di autorizzare un uso associato dei dati.

Nel caso della serra, ad esempio, regimi termici significativamente diversi possono ripercuotersi sulla crescita dei vegetali, sulla loro produzione e anche sui rischi fitosanitari ai quali sono esposte le piante. Per tale motivo, l'uso di procedure personalizzate, che tengano conto delle caratteristiche della realtà di riferimento e delle esigenze informative dell'utente finale sono da preferirsi ad analisi "standard", magari eseguite con software "facili da usare", perché impostati per superare con valori di default diversi problemi procedurali e statistici.

Anche limitandosi all'interpolazione di dati in maniera lineare, dovremmo chiederci se i punti a nostra disposizione sono realmente sufficienti per descrivere la variabilità della grandezza osservata all'interno dell'area d'interesse o se le nostre conoscenze ci consentono di giungere ad informazioni attendibili anche estrapolando il valore da dati incompleti. All'esperto, quindi, già l'osservazione della distribuzione e della densità spaziale dei dati, fornisce utili informazioni sulla fattibilità e affidabilità della successiva analisi spaziale. Esistono, infatti, dei precisi modelli di distribuzione dei punti di monitoraggio (Pattern), la cui validità ancora una volta dipende dal comportamento dell'oggetto di studio, riassumibili in tre grandi gruppi: regolare; casuale e a cluster (a gruppi o grappoli).

La rappresentatività della rete di monitoraggio, pertanto, sarà funzione della variabilità della grandezza indagata e della nostra capacità di posizionare correttamente i sensori. Fermo restando il principio che la loro rappresentatività aumenta all'aumentare dei punti osservati, infatti, occorre che il punto osservato sia realmente rappresentativo della porzione di spazio alla quale è stato destinato. Il numero di punti richiesti per un corretto monitoraggio può essere determinato con l'ausilio di formule statistiche, tenendo però presente che a livello locale possono esservi condizioni che mettono in discussione tali principi.

Le tecniche adottate per l'analisi della variabilità spazio-temporale, prevedono procedure articolate, quali:

- **Auto-correlation:** valutazione della coerenza tra misure successive;
- **Cross-correlation:** valutazione della correlazione esistente tra serie di dati diverse;
- **Cross association:** confronto tra due sequenze discrete di dati ($S=m/n$).
- **Regression analysis:** analisi dell'andamento di una variabile dipendente rispetto a una indipendente.

A livello teorico, si deve osservare che variabili indipendenti con comportamento del tutto casuale, per le quali si assume non vi sia alcuna continuità temporale o spaziale, sono praticamente impossibili da stimare. Decidendo di applicare procedure geo-statistiche, si assume pertanto che i punti osservati siano in relazione tra loro, secondo principi misurabili e misurati (Fig. 1.11).

Le relazioni individuate statisticamente sono espresse da funzioni, chiamate variogrammi, con i quali si descrive la variabilità della grandezza nello spazio. Il passo successivo è l'applicazione del sistema d'interpolazione più opportuno, con il quale si stima il valore dei punti ignoti a partire dai punti misurati. Tra le procedure più usate, il Kriging è una di quelle di maggiore successo, in grado di adattarsi a diverse esigenze, dando una buona gradualità ai valori interpolati, nel rispetto degli andamenti osservati (Mitas e Mitasova, 1999).

Il ruolo del Remote Sensing

Le tecniche adottate per rilevare l'energia elettromagnetica riflessa o emessa dagli elementi terrestri tramite piattaforme satellitari o aeree, permettono di ottenere una grande quantità di dati, molto accurati e aggiornati su varie componenti naturali e antropiche, ponendosi come agenti indispensabili dei sistemi di osservazione e gestione delle risorse ambientali (Fig. 1.12).

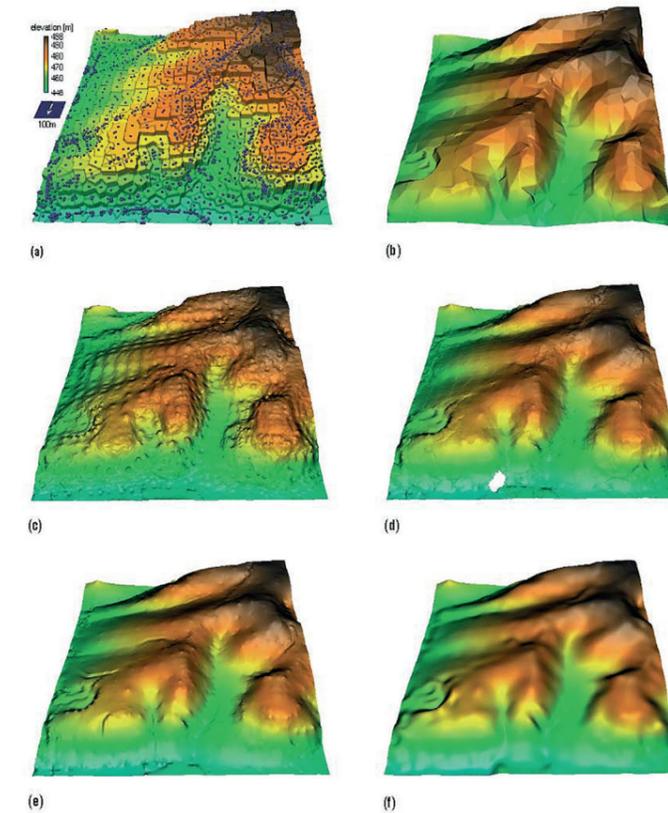


Fig. 1.11 - Interpolazione di un DEM (Digital Elevation Model) da punti dispersi usando i seguenti metodi: (a) Poligoni di Voronoi; (b) Triangolazione TIN (Triangulated Irregular Network); (c) inverso della distanza (IDW); (d) Kriging (variogramma sferico); (e) Spline con tensione; (f) Spline regolarizzata con tensione (Mitas e Mitasova (1999)).

Le costellazioni di satelliti attualmente in orbita sono in grado di coprire l'intero pianeta, offrendo dati ad alta definizione a condizioni economiche vantaggiose, tanto da sostenere una serie di attività, non solo di ricerca, ma anche operative, (<https://news.eoportal.org/web/eoportal/news/eomissions>; <https://earth.esa.int/web/guest/data-access/browse-data-products>). Questo è reso possibile dal fatto che ogni banda dello spettro elettromagnetico fornisce informazioni fondamentali su elementi fisici e chimici, consentendo la misura diretta o la stima di componenti atmosferiche, terrestri, eco-sistemiche, ecc.

A tutti i livelli ci si preoccupa di monitorare lo stato del pianeta, la salute degli esseri viventi e l'evoluzione dei processi naturali tramite tecniche di *Remote Sensing* (RS) (Eedy 1995 - modificata), che al tempo stesso continuano ad estendere le proprie competenze e funzioni:

- completando e integrando dati multidisciplinari a scala planetaria;
- scoprendo relazioni complesse tra fattori ambientali e antropici;
- valutando cause ed effetti di progressivi cambiamenti spazio-temporali;
- aggiornando sistematicamente i piani informativi di base;
- mettendo a punto e validando nuovi modelli di analisi;
- acquisendo dati multidimensionali;
- rispondendo alle esigenze di servizi pubblici e privati.

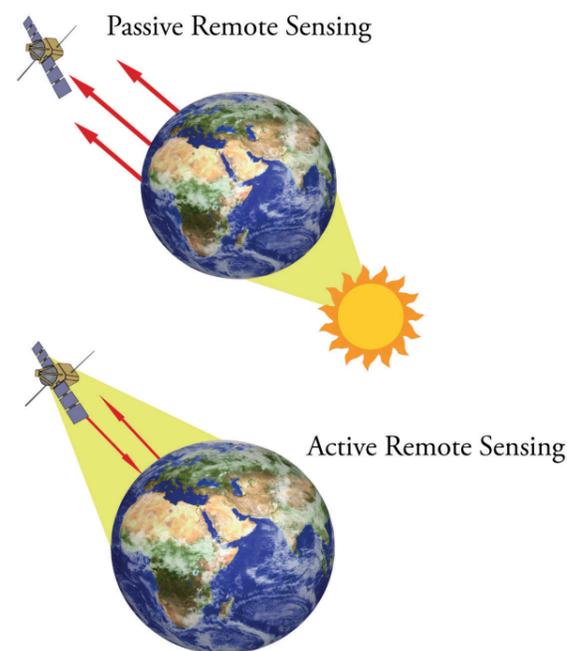


Fig. 1.12 - Tipologie di Remote Sensing, basate su fonti di energia attiva e passiva.

Una piattaforma RS può essere classificata in diversi modi, a seconda della sua posizione (fissa o mobile), del livello di automazione (manuale o automatica), della sua durata (temporanea, semipermanente o virtualmente permanente) o della quota alla quale lavora (terrestre, aerea, spaziale). In generale, si assume che la distanza degli strumenti incida sulla risoluzione e sulla precisione dell'informazione, anche se questi elementi sono legati a numerosi altri fattori e, principalmente, alla tecnologia e alla strumentazione usata, tanto che la scala delle osservazioni può variare da pochi centimetri a diversi chilometri. Tra i sensori generalmente usati per applicazioni di tipo ambientale, vi sono:

- Telecamere, che operano principalmente nel visibile, nell'infrarosso o nel termico, ma anche multibanda (provviste di più sensori);
- Scanner opto-meccanici;
- Radiometri, nelle bande del termico e con tecniche passive a microonde;
- Sensori attivi, come radar (SLAR e SAR), che non dipendono dalla luce naturale.

Ogni strumento fornisce informazioni diverse e, per questo motivo, una stazione di rilevamento è generalmente dotata di diverse tipologie di sensori. I dati acquisiti sono elaborati per l'estrazione delle informazioni, in maniera automatica e/o manuale, secondo procedure specifiche, in alcuni casi implementate all'interno di software open-source o commerciali.

Tra gli indici più largamente utilizzati in campo ambientale e agrometeorologico ricordiamo:

- **LST (Land Surface Temperature)** - buon indicatore delle condizioni climatiche e microclimatiche prevalenti vicino alla superficie, così come la brina o il terreno di umidità;
- **NDVI (Normalised Difference Vegetation Index)** - utilizzato per la determinazione della biomassa verde, dello stato dei vegetali e/o della loro efficienza nell'uso della radiazione.

Immagini RS sono normalmente usate come strati informativi all'interno di GIS e DSS, entrando in un gran numero di procedure di analisi e di valutazione operative. Uno dei metodi più semplici e immediati è rappresentato dalla sovrapposizione di queste immagini con il modello digitale del terreno (DTM), per una

rappresentazione realistica del fenomeno osservato. Per capire l'importanza dei prodotti del RS, basterà ricordare che questi sono alla base dei principali sistemi di supporto a decisioni di tipo strategico (come ad esempio il sistema di allarme FAO; il FAS degli Stati Uniti d'America, l'EXTEC della Russia, il MARS dell'UE).

Rappresentazione del mondo reale: alcuni moduli di base

Abbiamo visto come in un GIS le informazioni geografiche relative al mondo reale siano organizzate come un insieme di strati tematici omogenei (*layers* o temi), utilizzando i modelli descritti precedentemente. Sulla base di questi principi, il GIS è in grado di produrre nuove informazioni derivati direttamente o indirettamente dai dati di partenza. I piani tematici, così organizzati, possono essere trattati come matrici numeriche, da combinare secondo criteri e formule matematiche (Fig. 1.13).

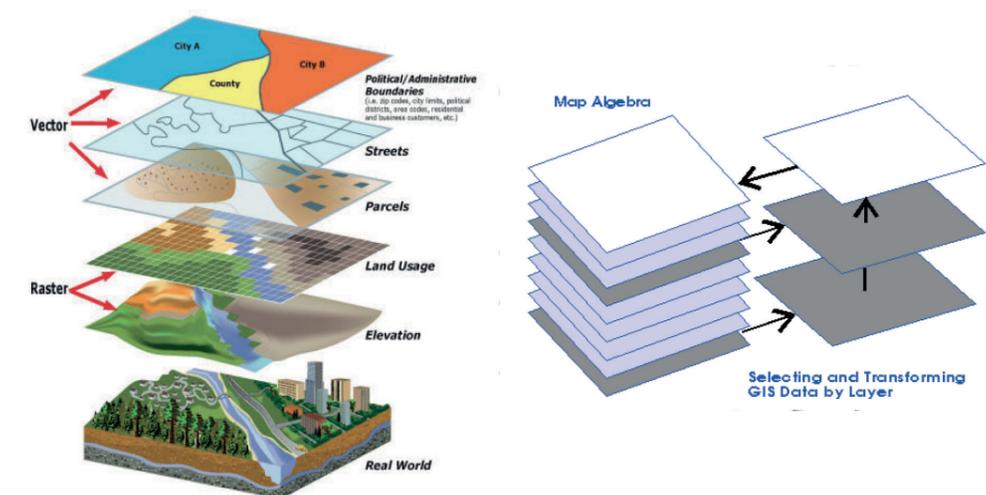


Fig. 1.13 - Organizzazione dei temi e loro uso.

In questo modo, praticamente ogni elemento antropico o naturale può essere descritto rendendo espliciti i criteri usati per valutare le inter-relazioni esistenti, altrimenti difficili da comprendere. Oggi, diversi piani di uso comune sono disponibili, così come sono chiaramente definite le procedure per il loro impiego in determinati ambiti, con i relativi pesi assunti dai più importanti fattori naturali e antropici. Per altri, tuttavia, sia le procedure sia i pesi devono essere definiti di volta in volta.

Vediamo, a titolo esemplificativo, alcune delle procedure implementate nel Sistema Integrato di Supporto, al quale il nostro gruppo di ricerca sta lavorando (www.biofuturo.net), per la creazione di piani informativi di base per applicazioni ambientali, forestali e agricole.

Modulo TERMOD (Terrain Modelling)

Il modulo permette di estrarre dal modello digitale del terreno (DEM - *Digital Elevation Model*) una serie di informazioni che consentono di descrivere la forma del terreno ed altri elementi utili per numerose indagini territoriali. Il DEM è una rappresentazione tridimensionale della superficie terrestre, che è divenuta fondamentale per analisi di tipo modellistico e studi di vario genere, anche a carattere prettamente operativo (Fig. 1.14).

Per la sua realizzazione si possono utilizzare diverse funzioni matematiche o strumenti, diretti o indiretti (fotogrammetria, lidar, IFSAR, rilievi topografici, ecc.; (Li et al. 2005)). La struttura dati, normalmente usata, è quella raster, in cui la superficie è suddivisa in una griglia regolare di elementi quadrati (pixel o celle) che contengono il valore della quota; la dimensione dell'elemento elementare definisce la risoluzione. Per alcune applicazioni (es analisi di impatto ambientale, ricostruzione di ambienti/paesaggi virtuali) si preferisce usare modelli diversi, come il TIN (*Triangular Irregular Network*), nel quale la superficie viene approssimata da una serie di triangoli (Fig. 1.15).

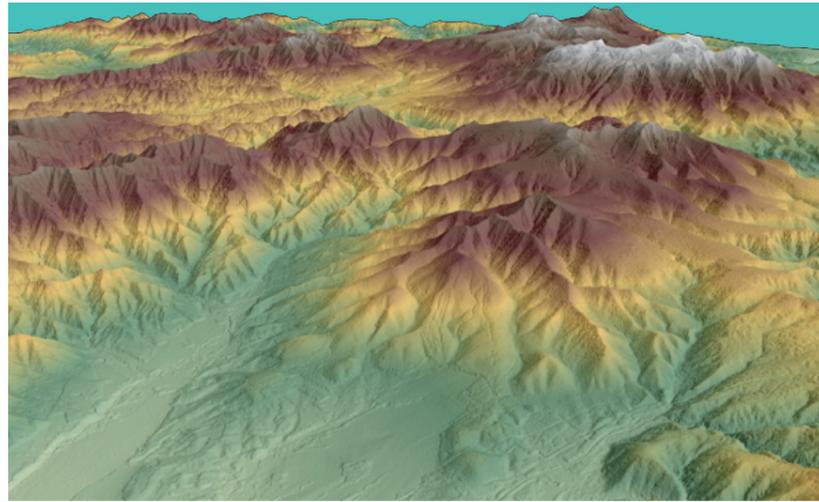


Fig. 1.14 - Rappresentazione di un DEM in 3D.

40

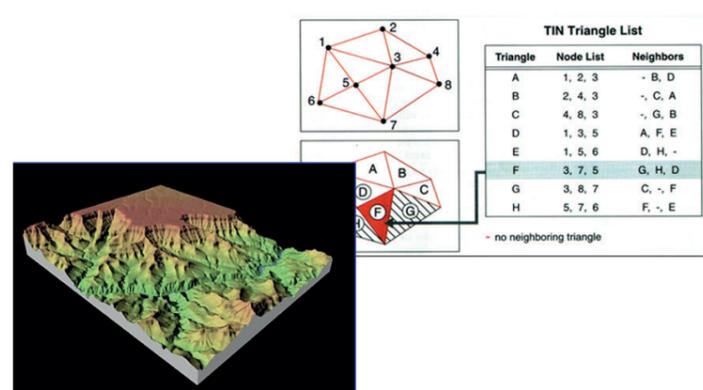


Fig. 1.15 - Struttura del modello dati TIN.

Il modulo TERMOD consente di eseguire l'analisi morfometrica del modello digitale del terreno, che consiste nell'estrazione delle principali informazioni fisiche e morfologiche implicite nel modello; assunto come la migliore rappresentazione possibile della realtà dell'area d'interesse. Gli attributi topografici che si possono estrarre sono:

- **Pendenza:** è calcolata come la massima variazione di quota tra una cella e le otto celle vicine; matematicamente rappresenta la prima derivata della superficie espressa dal DEM.
- **Esposizione:** corrisponde alla direzione della massima pendenza ed espressa in gradi (0-360°).
- **Plane and profile curvature** (forma generale del terreno): mentre le pendenze e le esposizioni rappresentano le derivate prime della superficie definita dal DEM, la curvatura, nelle sue diverse forme, rappresenta la derivata seconda. Sono utilizzata nelle analisi di rischio erosivo e dei flussi superficiali.
- **Indici di eterogeneità topografica (roughness e ruggedness):** si tratta di indici statistici applicati al modello digitale del terreno (DEM) che considerano ciascuna cella rispetto alle celle vicine (*neighbourhood analysis*). Tali indici sono utili per comprendere le caratteristiche morfologiche dell'area di studio.

Modulo SOLAR ANALYST (radiazione solare)

A scala globale i gradienti di radiazione sono dovuti alla geometria e al movimento terrestre, mentre a scala locale una serie di fattori (tempo, topografia, ombreggiamento, ecc.) concorrono nel determinare il regime radiativo, con un forte impatto sui sistemi biologici (crescita, ciclo, produzione, ecc.). Per tale motivo, una precisa modellazione di questo fattore viene considerata determinante per un gran numero di applicazioni e deve fondarsi su elementi obiettivi ed aggiornati, acquisiti con un adeguato dettaglio spaziale e temporale. Le funzioni implementate nel sistema sono raccolte in tre diversi moduli:

- **SunOnSlope:** calcola le componenti principali della radiazione (diretta, diffusa, riflessa e globale), tenendo conto delle posizioni del sole e dei piani informativi creati dal modulo TERMOD, per consentire l'analisi 3D della forma del paesaggio (pendenze, esposizioni, orizzonte visibile, ecc);
- **SunOnPoint:** calcola la radiazione incidente su un determinato punto alle scale spaziali e temporali desiderate, considerando le condizioni atmosferiche locali (temperatura, opacità, ecc.) congiunte alle informazioni prodotte da SunOnSlope;
- **SunOnPlants:** calcola la percentuale di radiazione intercettata dalle piante sulla base dei moduli precedenti e della geometria dei vegetali. La crescita delle piante e le modifiche della copertura fogliare durante l'anno possono essere considerati tramite opportuni modelli di crescita.

Modulo HYDRO (Analisi idrologica)

In figura 1.16 è mostrato uno schema semplificato dei passaggi necessari per la valutazione di alcune componenti idrologiche. Questi strumenti consentono un primo trattamento delle informazioni e di effettuare un bilancio idrico a varie scale spaziali o temporali. Gli strumenti di analisi principale per la caratterizzazione del territorio sono contenuti in moduli implementati in ARCGIS e MATLAB, con un passaggio d'informazioni e dati tra le diverse componenti. Tali passaggi sono effettuati e controllati da un esperto, che valuta la validità operativa dei prodotti intermedi e finali (direzione, concentrazione, accumulo, flusso, ecc.), almeno fino al momento in cui il sistema non viene considerato ottimizzato.

Il Sistema Integrato, grazie alle funzioni contenute in HYDRO, è quindi in grado di determinare la quantità di acqua che attraversa ciascun punto (*pixel*), anche all'interno della rete idrografica, così da ricostruire l'idrogramma di un determinato evento. Queste informazioni possono essere utilizzate per determinare le condizioni di rischio presenti in un dato tratto di fiume, in relazione alle portate misurate e ai tempi di ritorno di eventi meteo-idrologici estremi. Di fondamentale importanza, per l'ottenimento di informazioni attendibili su un determinato evento, sono la disponibilità di dati meteo-idrologici e geo-pedologici completi e accurati.

Modulo METEO (Analisi e trattamento dati meteorologici)

Le funzioni di questo modulo consentono la gestione dei dati meteorologici provenienti da diverse reti regionali, nazionali e locali. I dati organizzati per grandezze omogenee nel database centrale, dopo opportuno controllo qualitativo, possono essere usati nei vari modelli del sistema. Il modulo possiede funzioni specifiche per l'interpolazione spaziale delle grandezze meteorologiche, che consentono ad esempio l'analisi della distribuzione spaziale di un evento meteorologico, ricostruendone la dinamica evolutiva. La risoluzione spaziale e temporale, può essere adattata alle esigenze operative (Fig. 1.17).

L'indagine digitale: esempi procedurali

Con il consolidarsi delle informazioni e delle metodologie di analisi territoriale e ambientale, si osserva un crescente interesse verso l'impiego di strumenti d'indagine digitale per valutazioni di carattere operativo, in particolare su aspetti delicati legati alla programmazione delle attività a medio e lungo termine. Tali studi si basano su funzioni matematiche e algoritmi che hanno trovato conferma della loro validità in molti campi applicativi, tanto da divenire strumenti di base per numerose applicazioni d'interesse strategico negli stati più avanzati dal punto di vista tecnologico.

I linguaggi di programmazione per la simulazione dinamica sono disponibili già a partire dall'inizio degli anni '60 del secolo scorso, con l'invenzione del *Block Diagram Languages* (Karayanakis, 1995). Recentemente, la Mathworks, che sviluppa e distribuisce MATLAB®, ha sviluppato un ambiente grafico per la simulazione multidominio e il *"Model-Based Design"* denominato SIMULINK®. Tale ambiente supporta la progettazione a livello di sistema, la simulazione, la generazione automatica del codice, il *testing* e la verifica di sistemi *embedded*.

41

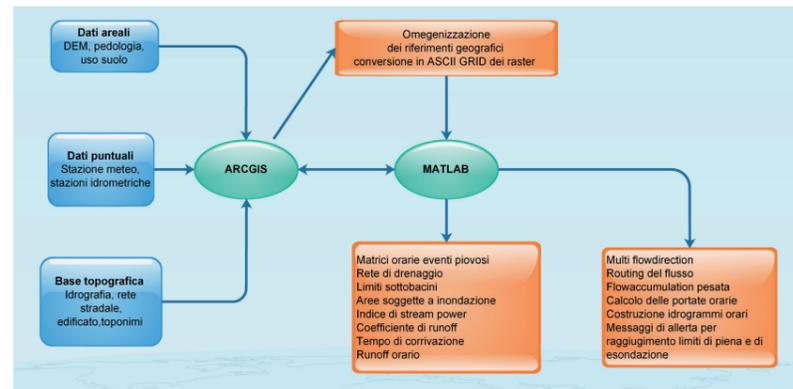


Fig. 1.16 - Schema generale del modulo HYDRO.

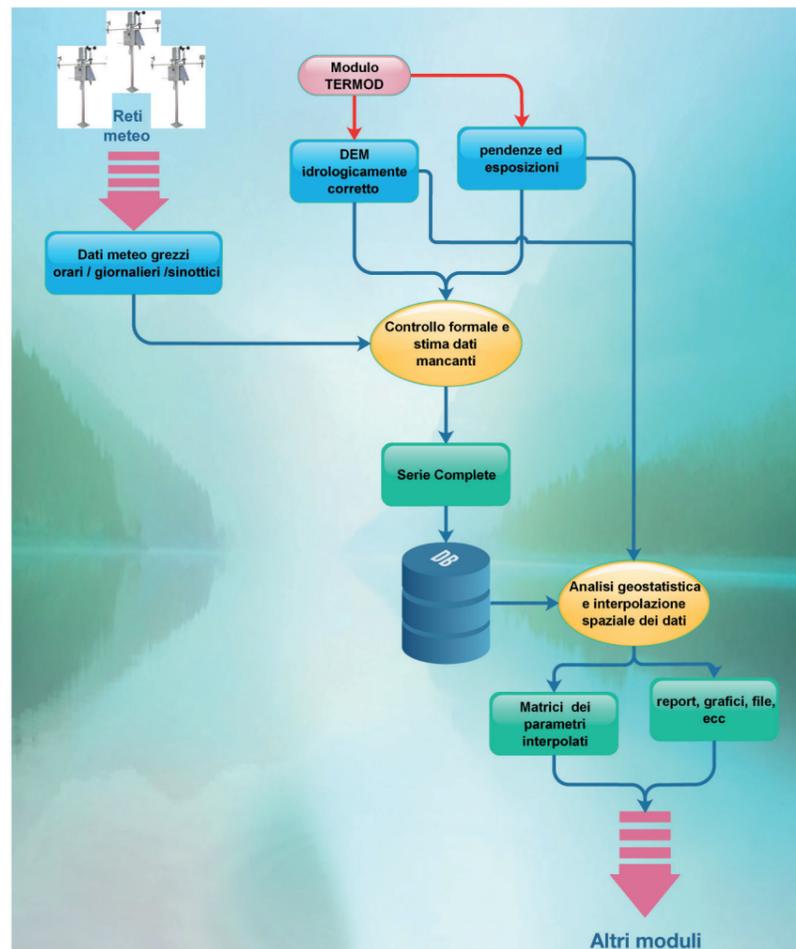


Fig. 1.17 - Struttura generale modulo METEO.

In un sistema di supporto operativo l'uniformità dei linguaggi software è un elemento chiave per evitare l'inutile complicazione delle procedure di analisi, anche se l'uso di linguaggi diversi può accelerare il passaggio dalla fase di implementazione a quella di calibrazione e valutazione. Spesso, per la corsa all'innovazione che contraddistingue alcuni settori, si preferisce comunque evitare l'integrazione dei modelli e delle procedure, mantenendoli in moduli esterni al sistema centrale e assicurando le necessarie interconnessioni mediante procedure gestionali, interne al DB o tra archivi.

Nella scelta di una procedura o di un modello, comunque, si dovrà tener conto dell'omogeneità dell'informazione, sia in ingresso che in uscita, oltre che della conformità alle esigenze informative, ricordando che la presenza di eventuali errori può ripercuotersi su tutte le elaborazioni a valle, rendendole incerte o non affidabili. In molti casi, strade diverse possono essere seguite per ottenere le stesse informazioni e, quando possibile, può essere utile confrontare i risultati ottenuti con strumenti di analisi diversi, per una migliore interpretazione della realtà.

L'analisi territoriale semplificata

I piani geografici e i dati georeferenziati devono essere dotati di precise indicazioni sulle loro relazioni spaziali con gli altri elementi del territorio, tenendo conto dello scopo del lavoro d'indagine. Le metodologie proposte si basano su un approccio semplificato di gestione delle informazioni territoriali, generalmente applicabile almeno in abito europeo. Infatti, le informazioni di base richieste sono disponibili nei paesi dell'Unione Europea a livello di pubblica amministrazione e le procedure possono comunque essere adattate ad esigenze diverse. Analizzando le pubblicazioni scientifiche e tecniche, ad esempio, si può rilevare come la base dei dati richiesta per una valutazione preliminare della vocazionalità agricola sia stata fatta variare in funzione delle specie vegetali e delle esigenze tecniche, ma anche della disponibilità di informazioni utili presenti sull'area d'interesse.

Tra i piani comunemente utilizzati vi sono: a) il Modello Digitale del Terreno (DTM, *Digital Terrain Model*), usato per caratterizzare l'area in termini di quota, esposizione e pendenza; b) le mappe digitali del suolo, che permettono di definire l'affinità edafica con le esigenze dei vegetali; c) i dati meteo-climatici, per valutare la compatibilità ambientale; d) i dati sulla specie vegetale, richiesti per definire le esigenze e le potenzialità produttive; e) le informazioni agronomiche, per la stima degli effetti gestionali; f) le immagini telerilevate, per l'aggiornamento dei piani informativi e la loro contestualizzare; g) i dati e le informazioni su elementi ausiliari.

L'uso di ciascuno di questi piani richiede l'applicazione di criteri scientifici di attribuzione, per una corretta ponderazione dell'azione degli elementi sul comportamento della grandezza d'interesse e una valutazione della risposta dei vegetali alle condizioni locali.

In un'analisi territoriale semplificata, il numero di piani informativi e la quantità di dati può essere ulteriormente ridotto, prendendo in esame soltanto gli elementi strettamente necessari ad una caratterizzazione generale del territorio, dalla quale il decisore potrà comunque estrarre alcune importanti informazioni a completamento delle proprie conoscenze.

Al tempo stesso, tuttavia, il quadro si può complicare se vengono richieste analisi di maggiore dettaglio, che tengano conto di parametri specifici, ad esempio per la stima di rischi abiotici o biotici, indagini epidemiologiche o stime qualitative.

Impostazione delle procedure

Il modulo software implementato nel Sistema Integrato fornisce una serie di strumenti per l'organizzazione dei diversi passaggi previsti dal processo di analisi, compreso l'inserimento di operazioni specifiche. L'eventuale adattamento o riclassificazione dei pesi da dare agli elementi di ciascun piano informativo può essere fatto modificando i valori di default contenuti all'interno di semplici tabelle, nelle quali all'elemento è affiancato il dato corrispondente.

Attraverso questa operazione si determina l'importanza relativa del singolo componente che si trova all'interno dell'area d'interesse, in relazione allo studio condotto. Qualsiasi variazione di questi parametri, così come qualsiasi altra modifica delle procedure di analisi (sequenza di elaborazione, cambiamento di fonti informative, ecc.) comporta di fatto la creazione di un nuovo scenario, contenente informazioni che potranno essere anche molto diverse da quelle di partenza.

Le stesse procedure possono essere seguite per valutare l'effetto di diverse condizioni climatiche o di scelte tecnico-gestionali o la risposta di agenti biologici (varietà, cultivar, insetti, funghi, ecc.). In molti casi, le

dimensioni dell'area influiscono sul numero di variabili che devono essere prese in considerazione, rendendo preferibile individuare un giusto compromesso tra dimensioni dell'area e dettaglio richiesto per l'analisi, anche per rendere più facilmente interpretabile il prodotto finale dell'elaborazione, che potrebbe far riferimento ad un numero eccessivo di classi e sottoclassi.

Analisi dello scenario

Un dato scenario può essere utilizzato per effettuare studi e valutazioni di tipo diverso, giungendo a classificazioni del territorio in funzione di principi anche molto lontani o in disaccordo tra loro. In pratica si può verificare che una medesima zona venga classificata in modo addirittura opposto e che ciascuna di queste classificazioni sia pienamente legittima. Il problema, pertanto, risiede nella scelta dei criteri, che divengono decisivi nel determinare la validità delle assunzioni iniziali e della conclusioni finali.

Difficilmente, continuando ad aggregare e a classificare si otterranno indicazioni pienamente soddisfacenti e affidabili da tutti i punti di vista, a meno che non vi siano elementi di esperienza solidi e consolidati nel tempo. Per una corretta valutazione dei risultati, pertanto, diviene decisiva la comprensione dello scenario iniziale, delle procedure adottate e dei criteri imposti.

Sapere, ad esempio, che il valore assegnato a ciascuna area è un valore medio, ottenuto dall'analisi parziale della variabilità interna di quella determinata grandezza, permette di farsi un'idea sulla necessità o meno di disporre anche di informazioni sul suo range di variazione, nel tempo e nello spazio, e/o sui valori che possono comunque essere considerati "ottimali", "compatibili" o "limite".

Una volta definiti i criteri e resi conformi con le caratteristiche della ricerca, è possibile effettuare un'analisi dei risultati, ottenendo dati confrontabili e oggettivi. Infine, per essere considerata soddisfacente, occorre che l'analisi sia condotta in accordo con le conoscenze e le esigenze dell'utente finale, alla ricerca di un'armonia tra conoscenze empiriche, modelli, criteri e principi scientifico-razionali.

Le eventuali modifiche dei parametri dovranno essere pertanto mantenute entro i limiti previsti dai modelli, inserendo nel documento d'accompagnamento della valutazione (report) note che consentano una valutazione a posteriori dell'operato, anche a persone esterne e dopo molto tempo.

Vocazionalità del territorio per le colture

Ciascun fattore (edafico, climatico, geomorfologico, ecc.) viene pesato in funzione delle caratteristiche che influiscono sulla crescita e sulla produzione della coltura d'interesse. La compatibilità ambientale, per esempio, può essere valutata per mezzo di indici agrometeorologici (termici o elioterfici), mentre i suoli sono classificati per le loro caratteristiche fisico-chimiche. Le procedure permettono di individuare gli ambiti territoriali nei quali la coltura trova le condizioni migliori e quelli nei quali vi sono diversi gradi di limitazioni (Fig. 1.18).

In ambiente GIS, la valutazione degli elementi geografici, climatici ed edafici risulta agevole e basata su principi ritenuti generalmente validi, viene effettuata anche nel caso di studi più approfonditi.

Studio della variabilità

In ambito forestale, agricolo o di gestione del verde, l'uso di modelli può essere d'ausilio per una valutazione delle prestazioni economico-produttive delle piante e/o per stime su rischi fitosanitari. I modelli di simulazione, tuttavia, si basano su dati e principi generali, che possono discostarsi in maniera significativa dalla realtà di campo. Per tale motivo, la loro combinazione con informazioni diverse, come la densità o lo stato della vegetazione, ottenute tramite strumenti di *Remote Sensing*, consente di giungere a conclusioni più aderenti alle condizioni operative.

I due metodi d'indagine, infatti, si completano a vicenda fornendo da una parte indicazioni relative alle variazioni temporali (modelli) e dall'altra differenze puntuali in precisi momenti del ciclo produttivo (immagini). I piani informativi di base possono essere successivamente combinati con altre informazioni, per ottenere indicazioni ancora più precise.

Vediamo, in forma estremamente sintetica, le funzioni dei moduli riportati nel diagramma di flusso, relative all'analisi della variabilità all'interno di un vigneto o di un comprensorio produttivo (Fig. 1.19).

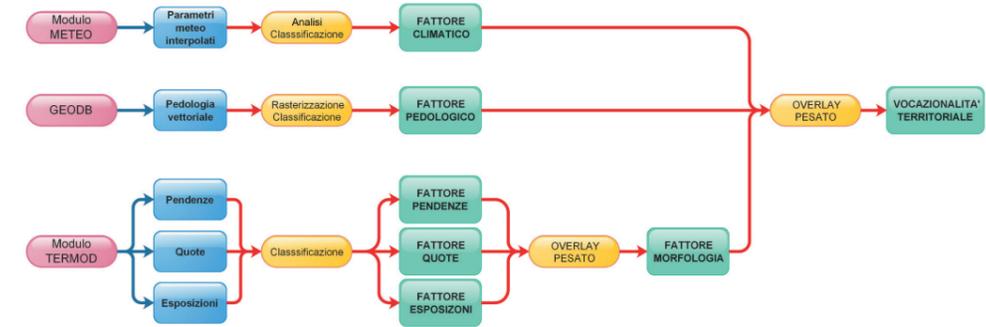


Fig. 1.18 - Schema generale: stima vocazionalità territoriale.

- Modulo climatico-gestionale**
 Il numero di dati richiesti in ingresso può essere ridotto, adattando le procedure alle esigenze operative locali. Le uscite principali del modulo consistono in mappe a scala catastale, che mostrano le variazioni di grandezze e indici climatici. Si tenga presente che a livello locale alcuni elementi gestionali possono modificare le condizioni di campo e, per tale motivo, questo tipo d'informazione deve essere introdotto e preso in esame nella procedura di analisi o almeno nella fase di valutazione
- Modulo territoriale**
 Questo modulo consente l'estrazione delle componenti principali del territorio e l'introduzione di soglie e criteri per pesarne gli effetti sulle condizioni di crescita dei vegetali. Alcune componenti ambientali, come la rete idrologica e la radiazione solare, possono essere introdotte per mezzo di specifici modelli matematici, facendo attenzione alla coerenza informativa, anche per evitare di pesare più volte un determinato fattore. L'uso della radiazione solare proveniente da misure o modelli, ad esempio, potrebbe sovrapporsi alla procedura che tiene conto del regime radiativo a partire dall'esposizione e dai fattori geografici.

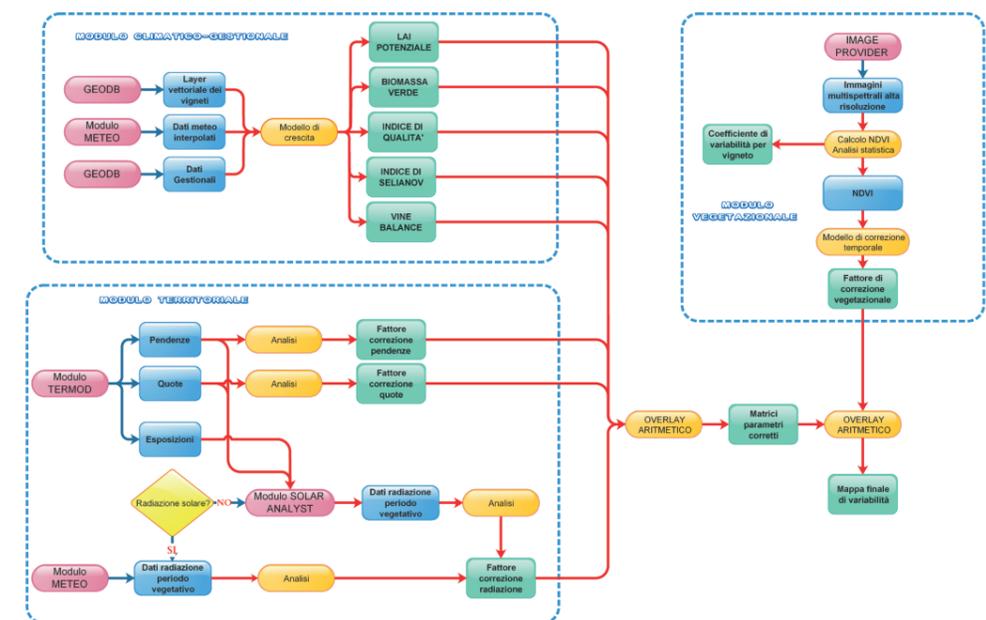


Fig 1.19 - Schema generale: analisi variabilità.

- **Modulo vegetazionale**

L'estrazione di informazioni di dettaglio sullo stato e sulla distribuzione reale della vegetazione in un determinato momento richiede immagini ad alta risoluzione, che possono essere fornite da diverse piattaforme e con differenti frequenze spazio-temporali. In ogni caso, per poter essere utilizzate nella procedura di analisi, le immagini devono essere georeferenziate e ortorettificate. Alcuni indici, come l'NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*), possono essere applicati per l'estrazione di informazioni confrontabili con quelle prodotte dai modelli (es. biomassa, LAI, ecc.), tramite procedure di correzione e ricalibrazione in "tempo reale" delle simulazioni.

Nel caso in cui gli elementi morfologici ed edafici mostrino un'alta variabilità, congiuntamente a una frammentazione produttiva, tecnici e produttori possono esaminarne gli effetti quantitativi e qualitativi, finalizzati alla programmazione degli interventi; come avviene, ad esempio, per la vendemmia manuale per prodotti di qualità, con la selezione dei grappoli in base al grado di maturazione.

Valutazioni specifiche, distribuite o locali

Una serie di moduli software indipendenti, logicamente interconnessi tra loro e provvisti di relative interfacce, assicura l'accesso ai modelli operativi che possono essere utilizzati a scala locale, in completa autonomia. Questa sezione del sistema integra i dati memorizzati nel DB geografico con informazioni e archivi locali, modificabili direttamente dall'utente. L'integrazione tra questi e i moduli di elaborazione è supportata da un *framework Java multithreading*, che gestisce anche l'invio di eventuali avvisi e allarmi.

Elementi critici di questi moduli sono rappresentati dall'affidabilità locale dei dati e dal loro aggiornamento, oltre che da una corretta validazione dei modelli disponibili e dalle funzioni specifiche introdotte per ciascuna realtà produttiva. La prima fase della procedura, infatti, consiste nell'individuazione di aree omogenee e nel popolamento del DB geografico. La validità delle informazioni introdotte dipende, tuttavia, anche dalla disponibilità e rappresentatività di una efficace rete di monitoraggio locale e dalle operazioni esterne di validazione dei dati.

Per quanto riguarda la gestione di vegetali o aree verdi, a titolo di esempio, le operazioni più comuni possono essere raccolte in quattro grandi gruppi: 1. Caratterizzazione ambientale; 2. Attività gestionale; 3. Difesa dei vegetali; 4. Programmazione.

1 - Caratterizzazione ambientale

Utilizzando set di dati meteorologici e agronomici pluriennali, il sistema esegue analisi di tipo geostatistico, applicando anche indici agrometeorologici e agronomici allo scopo di fornire indicazioni sull'ambiente e sulle sue potenzialità produttive. Oltre a caratterizzare l'area dal punto di vista microclimatico, il modulo consente di ottenere indicazioni sui rischi ambientali (gelate, siccità, ecc.) e sull'efficienza/sostenibilità delle scelte agro-tecniche adottate.

2 - Attività gestionale

I dati specifici raccolti in tempo reale da reti di monitoraggio locale o ricavati tramite procedure affidabili (modelli), possono essere impiegati per supportare le attività in pieno campo, non solo per l'agricoltura. Ad esempio i bilanci idrici possono essere utilizzati per la gestione dell'irrigazione, per studi idrologici o per stabilire la trafficabilità/lavorabilità di un suolo. In presenza di dati e funzioni specifiche, inoltre, il sistema può seguire l'evolversi di parametri ambientali, rilevando eventuali anomalie e segnalando eventuali criticità.

3- Difesa dei vegetali

Questo modulo comprende una serie di sotto-modelli che consentono di determinare il rischio di danneggiamento della coltura da agenti abiotici (gelo, vento, ecc.) o biotici (insetti, funghi e batteri). Il modulo può essere legato anche a servizi di previsione meteorologica, per anticipare e rendere più utili le previsioni di rischio. Tali modelli possono anche essere integrati con altri, secondo procedure specifiche, per valutare l'efficacia di eventuali interventi di lotta o prevenzione.

4 - Programmazione

Per agevolare le pratiche di programmazione d'interventi o lavori, dopo un'attenta caratterizzazione dell'ambiente produttivo e dei vari fattori specifici, il sistema può essere messo in condizione di dare indicazioni di tipo previsionale su un gran numero di elementi (fasi fenologiche, esigenze nutritive, interventi, ecc.). Disponendo di modelli calibrati e validati si potranno anche creare scenari che consentano di confrontare scelte o strategie diverse, ottenendo valutazioni su basi statistiche della loro validità tecnico-economica.

1.5.3 COMPONENTI E FUNZIONI: "DECISION SIDE"

Ciascun utente o servizio, al quale sono destinati i dati prodotti dal sistema di supporto adotta una propria procedura per la gestione dei dati e l'organizzare delle attività, espressione delle priorità operative, delle competenze acquisite e del livello tecnologico. L'organizzazione delle procedure e la scelta delle tecniche per lo scambio e la condivisione dei dati e delle informazioni tra il sistema e le diverse tipologie di utenza richiede una grande attenzione e una conoscenza approfondita di tutte le componenti del sistema: monitoraggio, elaborazione dei dati e servizio.

In molti casi, infatti, viene richiesto un elevato grado di personalizzazione, che passa attraverso un proficuo scambio di idee, l'integrazione di componenti HW/SW già in uso presso l'utente finale e il design di nuovi elementi. Talvolta, sia per questioni economiche che di urgenza, si preferisce accettare una certa quota di ridondanza nei dati, piuttosto che curare nel dettaglio tutti gli aspetti formali legati alla razionalizzazione e ottimizzazione delle procedure. Le problematiche riconducibili a queste scelte sono soltanto apparentemente superate tramite l'adozione di procedure e soluzioni "standard" o commerciali, perché l'utilizzatore non percepisce le inefficienze e disfunzioni presenti nelle diverse applicazioni, che quasi sempre operano in modo indipendente (e quindi non ottimizzato) dalle altre.

Questa realtà è particolarmente evidente nei settori afferenti all'ambiente e all'agricoltura, dove soltanto recentemente si è imposta la consapevolezza dell'importanza di condividere determinate informazioni e rendere sostenibili alcune importanti pratiche gestionali. Nel settore del monitoraggio, ad esempio, possiamo ricordare la sovrapposizione di punti di misura di alcune reti meteorologiche e/o agrometeorologiche, dove troviamo aree nelle quali ancora oggi si contano tre o più stazioni appartenenti a reti diverse e, al contempo, zone che rimangono completamente scoperte.

Almeno in questi settori, per evidenti motivi di opportunità, all'istintiva ricerca di autonomia o di autosufficienza dovrebbe gradualmente sostituirsi una più matura volontà di progresso e crescita comune, sicuramente vantaggiosa in termini di costi, oltre che di affidabilità e precisione.

Anche nel settore pubblico, viste le risorse assorbite dalla manutenzione delle varie reti di monitoraggio e dalla gestione dei servizi, dovrebbe esservi una maggiore attenzione verso le proposte che vengono dal privato, sul modello di quanto si è cominciato a fare nel settore energetico, con il conferimento in rete dell'energia prodotta dal fotovoltaico, anche a livello della singola abitazione. In alcuni paesi, dove la copertura wireless è già assicurata su gran parte del territorio in modo gratuito e con libero accesso, la condivisione di dati e informazioni ambientali è già una realtà, con effetti positivi, e la nascita di nuovi e più efficienti servizi. Al tempo stesso, a questi vantaggi si affiancano inevitabilmente problematiche legate alla sicurezza e all'usabilità dei dati, che devono essere affrontate con soluzioni sempre più sofisticate.

Indipendentemente dal livello di ottimizzazione dei sistemi gestionali, alcuni elementi sono pressoché costanti, sia come componenti del diagramma di flusso dei dati sia come passaggi del processo decisionale (Fig. 1.20). La presenza di archivi o database specifici, indipendentemente dal titolare o gestore, rappresenta un elemento di chiarezza, che consente un uso più rapido e intelligente dei dati funzionali raccolti a livello locale, con scambio di informazioni tra sistemi diversi.

Un discorso simile può essere fatto anche per i dati elaborati dal sistema di supporto, che devono poter essere facilmente controllabili dall'utente finale ("Controlli digitali"), ma ancor più per le componenti modellistiche, le cui impostazioni ("Configurazioni locali di sistema") incidono in maniera significativa sulla rispondenza delle uscite alle esigenze operative. All'utente, pertanto, deve essere assicurata la possibilità di controllare quanto fatto dal sistema a livello di "Kernel", attraverso specifiche interfacce grafiche ("Interfaccia utente finale").

In considerazione della grande diversità di esigenze, anche dopo la sua attivazione, l'architettura delle

componenti "Lato Utente" può subire importanti modifiche, per adattarsi a mutate condizioni operative. In generale, pertanto, può essere preferibile iniziare con interfacce semplici e verificare la necessità delle variazioni e delle funzioni richieste "in corso d'opera", dopo l'inizio del servizio.

L'interazione tra l'utente e il sistema è resa possibile da una specifica interfaccia, che permette l'accesso diretto ai principali componenti per la gestione dei dati, l'impostazione delle simulazioni e la creazione degli scenari. Le uscite più interessanti possono essere visualizzate direttamente sulle pagine di accesso che, come un cruscotto, contengono generalmente le informazioni ritenute essenziali sulle condizioni degli elementi d'interesse. Salvo esigenze particolari, il Sistema Integrato prevede per gli utenti tre possibili livelli di accesso:

- Cruscotto (Monitoraggio);
- Impostazione e analisi (Setting + scenari possibili);
- Scenario Operativo ("condizione operativa attuale").

L'accesso ai vari livelli è regolato da password, ma possono essere previsti anche livelli di sicurezza più elevati, nel momento in cui si chiede l'accesso a dati sensibili o a componenti di particolare interesse operativo per la cui gestione sono richieste competenze specifiche.

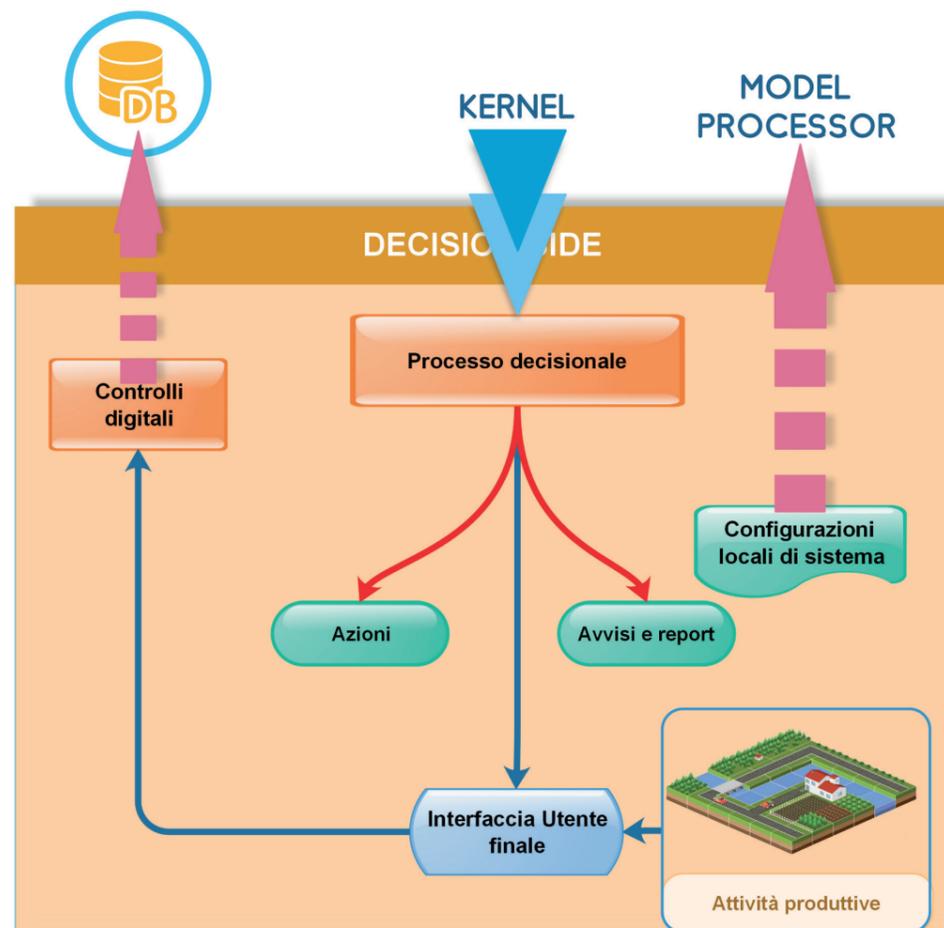


Fig. 1.20 - Diagramma di Flusso "Decision Side: Lato Utente".

Cruscotto (Monitoraggio)

Dalla pagina principale del sistema l'utente accede a tutte le informazioni a sua disposizione e alle funzioni per le quali è abilitato. La schermata iniziale visualizza le opzioni impostate e le scelte operative effettuate, incluse le componenti grafiche, con i relativi rapporti o documenti analitici, ponendo in evidenza eventuali avvisi ritenuti rilevanti ai fini di una corretta gestione delle attività. Questo permette di prevedere diversi livelli di utenza, organizzati in base al dettaglio informativo richiesto e contenenti indicazioni di tipo gestionale, economico o tecnico. Immaginando, di dover gestire terreni distanti tra loro e con varie problematiche, il medesimo utente può configurare le "pagine" corrispondenti al livello informativo in base alle proprie necessità (Fig. 1.21).

Attualmente i template previsti sono di tre tipi

- **Schermata iniziale o di I livello**, con un elenco dei siti monitorati evidenziati in colori diversi in base all'urgenza degli interventi previsti. A lato è posto un datario delle operazioni consigliate, realizzato tenendo conto delle risorse a disposizione e di altri parametri predefiniti. Cliccando sul nome del sito si accede alla schermata di II e III livello.
- **Schermata di II livello**: visualizzazione di una mappa di dettaglio del sito selezionato, con indicati i punti per i quali è richiesto l'intervento specifico e indicazioni sulla tipologia e tempi previsti.
- **Schermata di III livello**: visualizzazione di dati e grafici relativi al sito selezionato, elaborati secondo le indicazioni dell'utente.



Fig. 1.21 - Template dei tre livelli del "Cruscotto".

Ogni indicazione data dal sistema è il risultato dell'applicazione di indici e modelli già sperimentati e adattati a quella realtà produttiva, la cui validità viene costantemente monitorata assieme all'utente finale. Nei casi di rischio reale per i vegetali, gli animali o gli apparati produttivi, se richiesto, il sistema può inviare avvisi e/o allarmi, con link ai dati e ai rapporti che li hanno generati.

Impostazione e analisi (Setting + scenari)

L'interfaccia consente all'utente l'accesso al database del sistema e agli elementi, usati per l'impostazione dei parametri dei modelli e delle analisi. Se necessario, gli utilizzatori possono completare il quadro funzionale-operativo, riempiendo i campi necessari all'attivazione del servizio desiderato. Al fine di agevolare l'utente in queste operazioni, le tabelle sono visualizzate complete di valori medi e indicazioni sul range ritenuto "normale" per ciascun parametro.

Da queste pagine, secondo una struttura ad albero, si accede agli elementi diretti (caratteristiche dei vegetali, impianti, ecc.) e derivati (patogeni, rischi, trattamenti, ecc.). Selezionando un dato elemento, ad esempio un agente patogeno, si attiva l'accesso a tutte le funzioni ad esso associate.

Ciascun componente può essere attivato/disattivato tramite una particolare sezione, nella quale viene visualizzato uno schema che descrive le interconnessioni tra i vari elementi all'interno del sistema e ne consente la modifica, tramite accesso diretto. Allo stesso livello, si possono visualizzare rappresentazioni grafiche dell'area d'interesse (Mappe), tramite il caricamento dei dati da database esterni (es. Google Map) e la visualizzazione della posizione dei sensori.

Oltre a funzioni, modelli e indici, gli utenti possono impostare gli scenari operativi, selezionando i criteri e gli elementi da utilizzare per la zona d'interesse e adattando i relativi parametri o creando realtà ipotetiche (scenari virtuali), con differente grado di accordo con la situazione reale. Questi interventi possono riguardare sia la parte relativa ai dati introdotti dall'utente, incluso la parametrizzazione dei criteri gestionali e degli interventi, sia la parte meteo-climatica, modificando i dati da utilizzare per le simulazioni; ad esempio sostituendo i dati reali con quelli generati in modo da tener conto dei cambiamenti climatici o di eventuali modifiche all'impianto.

Scenario operativo

Sulla base delle esigenze manifestate dall'utente in fase di impostazione dello scenario (fase di Setting), il sistema visualizza i dati provenienti dalle reti di monitoraggio ed effettua le simulazioni richieste. Le uscite possono essere visualizzate sulle pagine web dedicate o sulle periferiche scelte (pc, tablet, smartphone, ecc.), in base alle esigenze e alle autorizzazioni di ciascun utente. Una medesima informazione può essere inviata anche in forme diverse e a vari utenti.

Ciascun intervento in campo dovrebbe essere registrato nel "diario di campagna", in modo da mantenere aggiornato il sistema ed evitare una progressiva perdita di rappresentatività delle simulazioni.

Tramite periferiche esterne (pc, tablet, ecc.), in maniera semplice e diretta, è possibile accedere ai risultati tramite la sezione "Uscite", selezionando il tipo di informazione, il periodo della simulazione ed esportare i dati verso altre piattaforme.

Considerazioni operative

Attualmente non esiste nel nostro paese un sistema aperto a qualsiasi tipo di utente in grado di fornire informazioni affidabili su una serie così rilevante di fattori ambientali, biologici e tecnici. Alcune organizzazioni, enti o consorzi hanno sistemi proprietari (HW/SW) per assistere i propri associati in un determinato numero di compiti, ma raramente dati e procedure sono condivise per un uso coerente con altri attori o all'interno della filiera.

Sembra opportuno ricordare che condividere dati e informazioni non significa perderne la proprietà né, tantomeno, dare l'accesso ad altri ad informazioni riservate. I problemi derivanti da queste legittime esigenze, proprietà e riservatezza, sono pienamente tutelati anche in sistemi che si avvalgono di dati provenienti da settori diversi, proprio perché queste informazioni vengono utilizzate in forma aggregata, elaborata o adimensionale.

A livello pratico, per gli utenti finali, la possibilità di ricevere supporto operativo e consulenza sulla base di risultati provenienti da ricerche esterne o esperienze fatte da partner della propria filiera produttiva, può rappresentare un'opportunità e una garanzia per il miglioramento delle proprie procedure produttive. Tanto più che le applicazioni messe a punto e validate in situazioni diverse nel corso degli anni possono diventare "pronte all'uso" ed essere considerate come prodotti a sé stanti, con un notevole valore aggiunto. La collaborazione

tra figure della medesima filiera produttiva, inoltre, rafforza l'intero settore, sia a livello locale che rispetto a concorrenti esterni, aumentando la capacità di penetrazione e aprendo la strada ad azioni sempre più incisive ed ambiziose. L'interesse del "team" di consulenti esterno è principalmente nella messa a punto di procedure e strumenti che, resi operativi, siano in grado di migliorare la qualità del servizio e dei prodotti offerti dal sistema.

Molti investitori istituzionali sostengono società e *start-up* che propongono soluzioni innovative per il monitoraggio ambientale, l'agricoltura di precisione e la gestione del verde, con proposte che affrontano problemi chiave e servizi basati su nuove tecnologie e nuove procedure per la gestione delle risorse. Tecnologie che in questo caso sono utilizzate per aumentare l'efficienza e la competitività dell'agricoltura, al fine di ridurre i costi e l'impatto ambientale delle diverse attività.

Tra i settori nei quali sono state proposte le soluzioni più interessanti e innovative si ricordano: la gestione aziendale, l'agricoltura di precisione, la previsione di criticità ambientali, la razionalizzazione degli interventi idraulici e agrari, il monitoraggio e la previsione delle produzioni, il monitoraggio ambientale, il controllo dell'irrigazione, la lotta ai fitopatogeni e le attività di filiera.

1.6 ADATTAMENTO DELLE PROCEDURE DI ANALISI E ATTIVAZIONE DEL SERVIZIO

Durante la fase preliminare di valutazione delle esigenze e di analisi del sito gestito dall'utente finale, vengono acquisite le informazioni necessarie per la configurazione e progettazione della rete di monitoraggio e quelle richieste per le elaborazioni. I passaggi riportati in questo paragrafo consentono di entrare nel merito di alcune problematiche sollevate da queste operazioni.

La consulenza di esperti dei settori coinvolti, specialmente se con competenze dirette sulla realtà d'interesse, rappresenta un elemento decisivo, sia per una corretta impostazione del lavoro sia per l'introduzione nel sistema finale di una giusta quota di "personalizzazione" delle procedure.

A partire da una prima valutazione degli archivi di dati disponibili, sulla base di accordi formali, possono essere immediatamente avviate alcune attività che coinvolgono il gruppo di ricerca anche in ambiti diversi, come quelli legati all'individuazione di opportunità di collaborazione per l'impostazione di indagini preliminari, prove sperimentali o l'installazione di strumentazione scientifica.

In forma indicativa, gli elementi principali delle procedure di attivazione di un servizio di supporto ad attività produttive sono riportati nello schema di figura 1.22. Tutte le sezioni del DB geografico devono essere completate sulla base delle esigenze informative definite, prendendo in considerazione il peso di ciascun elemento nel contesto d'interesse e all'interno delle varie elaborazioni o simulazioni. Le principali sezioni "sito-specifiche" sono:

- Geografica
- Agrometeorologica
- Botanica (vegetazionale)
- Tecnica
- Modellistica
- Prodotti (uscite del sistema)

Questo lavoro di adattamento è condotto nell'ambito di azioni diverse che, in estrema sintesi, prevedono i seguenti passaggi:

- **Posizionamento dell'area e degli elementi**
i dati sono acquisiti nel corso delle indagini condotte direttamente sul campo, controllando i dati cartografici tramite GPS e altri strumenti geografici e trasmettendo le informazioni necessarie (coordinate, dimensioni, limiti, pendenza, ecc.) al server centrale (Fig. 1.23).
- **Creazione dei piani informativi**
i temi richiesti sono creati da specialisti GIS, utilizzando i dati acquisiti nella precedente azione e le procedure geostatistiche idonee per ciascuna grandezza selezionata (Fig. 1.24). Lo scopo è quello di ottenere informazioni su base spaziale (DEM, uso suolo, piante, ecc.), da sottoporre agli esperti locali e ai decisori, come base di confronto iniziale.

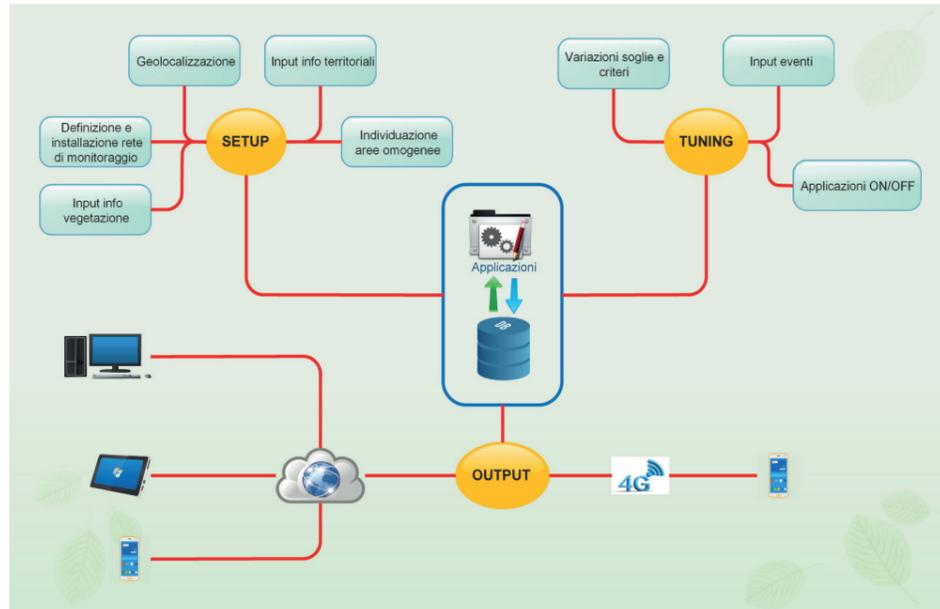


Fig. 1.22 - Componenti sui quali è necessario intervenire per l'attivazione di funzioni sito-specifiche.



Fig. 1.23 - Esempio di rilievo piano quotato per un giardino.

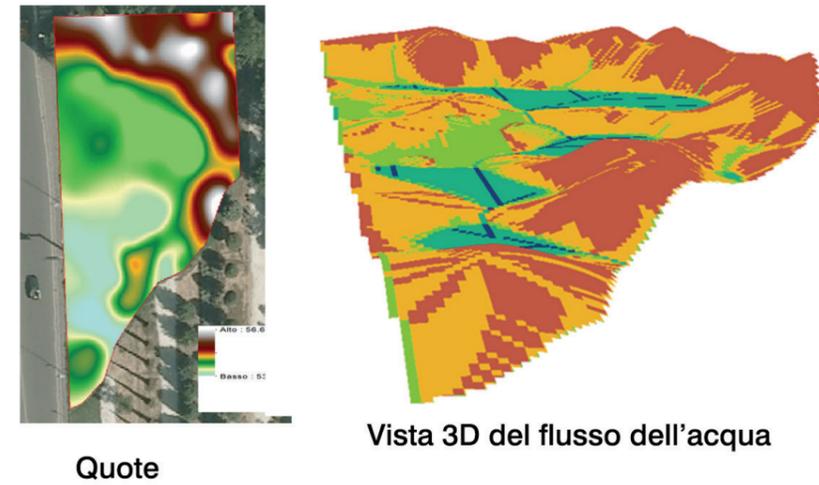


Fig. 1.24 - Esempi di piani informativi.

- **Caratterizzazione della zona di interesse**
 questa operazione deriva dalla valutazione dei livelli informativi disponibili, ottenuti nell'ambito dell'azione precedente. Include l'aggiornamento e il completamento delle informazioni tecniche, compresa la conoscenza delle apparecchiature esistenti, la definizione delle pratiche di gestione, la raccolta delle informazioni botaniche, la valutazione degli aspetti fitosanitari e vari altri fattori. L'individuazione di aree omogenee secondo criteri gestionali o ambientali, è in alcuni casi una condizione necessaria per poter intervenire sull'ottimizzazione delle pratiche gestionali (Fig. 1.25).

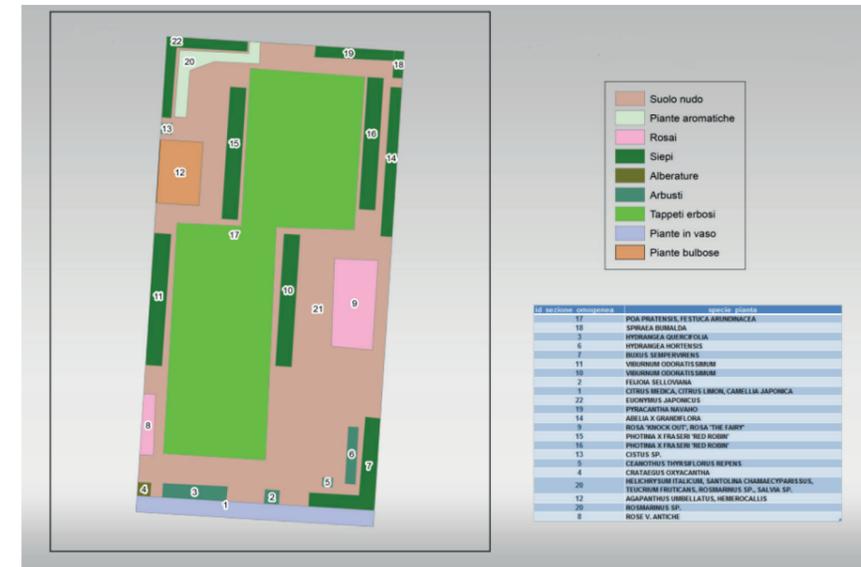


Fig. 1.25 - Esempio di definizione di aree omogenee.

- **Installazione ed attivazione della rete di monitoraggio locale**
 dopo la caratterizzazione della zona d'interesse in funzione delle esigenze informative, i componenti della rete di monitoraggio locale possono essere installati (Fig. 1.26). Ogni sensore può essere associato a uno o più compiti (soglie di controllo) e altri "sensori virtuali" possono essere creati per "controllare" un numero maggiore di parametri o settori.

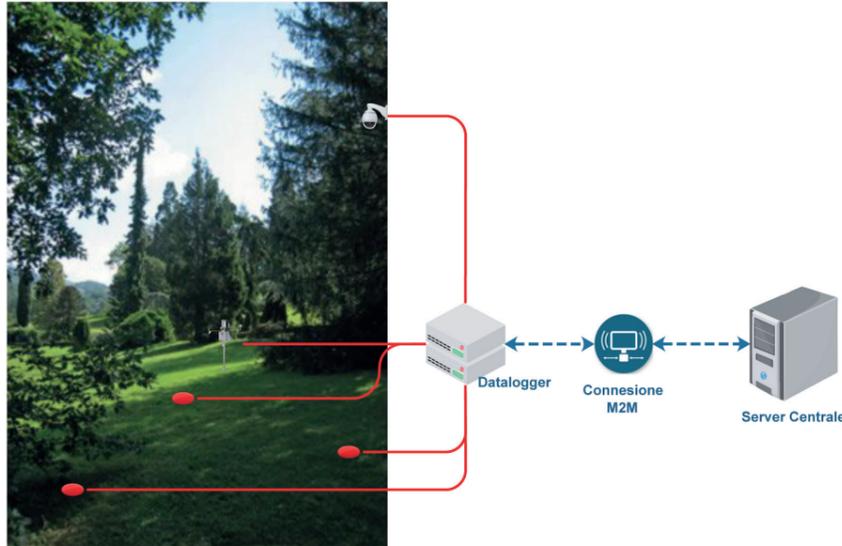


Fig. 1.26 - Schema installazione e attivazione rete di monitoraggio.

- **Attivazione del sistema**
sulla base dello scenario impostato, i dati raccolti in tempo reale sono trattati per il controllo della condizione di ciascun elemento d'interesse operativo. Il sistema fornisce all'utente le informazioni, in forma grafica o testuale, tramite i più diffusi sistemi di comunicazione (Fig. 1.27).

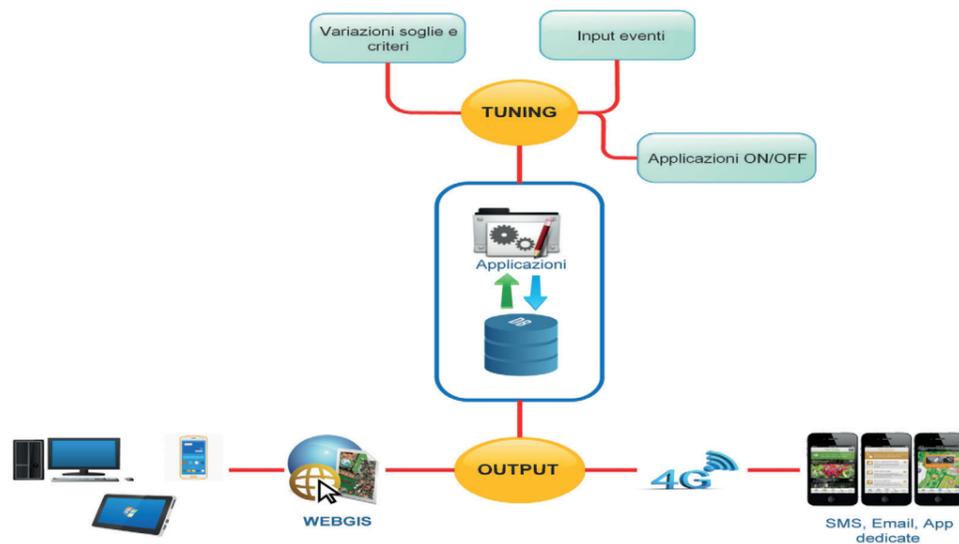


Fig. 1.27 - Schema attivazione sistema.

Scopo di queste attività non è quello di riprodurre il processo decisionale locale, ma piuttosto quello di supportare l'utente nel miglior modo possibile, creando una base comune di conoscenze, che permetta di progredire nella comprensione dei processi, al fine di ottimizzarne la gestione.

L'approccio rimane lo stesso anche di fronte a differenti modelli decisionali, prendendo in esame la medesima realtà sotto punti di vista diversi, per lo più ricavati da esperienze pregresse (Auby et al., 1998; Donatelli et al., 2006; Martin et al., 2013; Robert et al., 2016). Il bilancio finale, ottenuto dal confronto tra aspetti positivi e negativi derivanti dall'uso di un sistema che può risultare complesso, dipendono da un gran numero di fattori, in parte connessi alla natura delle componenti produttive e in parte dovuti alle peculiarità ambientali che si manifestano a livello locale. Dal punto di vista concettuale, i passaggi richiesti per la produzione di informazioni sono:

1. **Studio:** definizione e comprensione del problema, individuazione del contesto operativo e degli strumenti di indagine e supporto.
2. **Progettazione:** scelta delle componenti del sistema di supporto, design logico-formale del flusso dei dati e del sistema di processamento, fino alla produzione degli output finali.
3. **Test:** verifica delle funzioni del sistema e della loro rispondenza alle esigenze informative e operative, per un progressivo miglioramento delle prestazioni del sistema.
4. **Supporto:** confronto di opinioni, strategie e scelte, finalizzato all'individuazione di soluzioni operative adatte alla realtà osservata e alla quantificazione dei vantaggi economici e ambientali.

Gli aspetti economici e tecnici influiscono su tutte le scelte, sia in fase di progettazione sia in fase di messa a punto, ed è importante che vi sia estrema chiarezza negli obiettivi, così da poter valutare correttamente il livello d'investimento e i margini di ritorno attesi per ciascuna opzione.

La durata delle azioni dipenderà dal livello di conoscenza iniziale e dalla complessità dei problemi affrontati, anche se in linea di principio è possibile prevedere un piano graduale che risponda meglio alle esigenze dell'utenza. Si può dire, infatti, che nella gran parte dei casi l'architettura del sistema di monitoraggio e di supporto alle decisioni rimane sostanzialmente invariata, anche se alcuni moduli/funzioni assumono ruoli e pesi diversi a seconda del contesto operativo (Fig. 1.28).

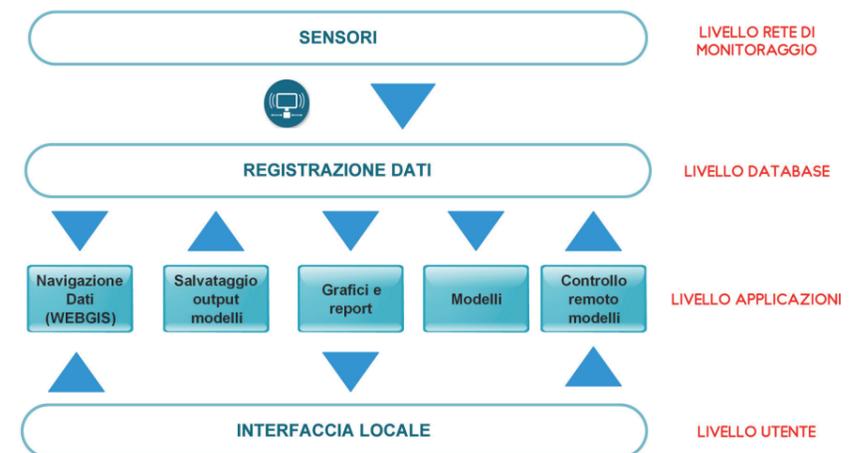


Fig. 1.28 - Flusso principale dei dati ed elementi di controllo a livello applicativo.

Si deve comunque tener presente che un sistema di supporto si basa su elementi che possiedono un elevato grado di affidabilità e che eventuali innovazioni necessitano di verifiche sperimentali, da condursi all'interno di un rigoroso programma di ricerca.

Gli utenti finali devono, pertanto, essere consapevoli della natura delle soluzioni proposte e del livello di affidabilità raggiunto da ciascuna componente. In questa fase è fondamentale che il gruppo di ricerca e quello imprenditoriale cooperino in modo pieno e costruttivo alla creazione dei presupposti per l'avvio o il potenziamento di attività che diano garanzie di progresso e sviluppo a medio e lungo termine. In molti casi, a

questi due attori se ne aggiungono altri, in grado di assicurare l'aggiornamento e la manutenzione di componenti (HW/SW) e procedure. Al termine di questo processo, dopo aver chiarito tutti gli aspetti formali relativi agli accordi tra i vari attori, il sistema di supporto potrà finalmente ritenersi operativo.

Prima di passare all'analisi dei casi di studio, nei quali si presentano alcune tra le metodologie sviluppate nel corso di questi anni, si propone una tabella riassuntiva dei livelli di operatività raggiunti in capo ambientale e agrometeorologico (Tab. 1.8). Pur risultando meramente indicativa e incompleta, la tabella mette in evidenza il relativo grado di avanzamento, distinguendo tra sistemi che possiedono una tecnologia "matura" e quelli che devono considerarsi ancora sperimentali o pre-operativi.

Pianificazione strategica					
Attività	Funzione	Apparecchiatura	Modelli validati	Sistema integrato	Livello servizio
Vocazionalità territoriale	Selezione specie vegetali	No	Si	Si	Si
Caratterizzazione territoriale	Definizione potenzialità ed esigenze	Si	Si	Si	Si
Servizi catastali	Delimitare campi ed aree	Si	Si	Si	Si
Stima della biomassa	Quantificazione della biomassa	Si	Si	Si	Si
Sostenibilità	Valutazione delle esigenze	No	incerto	Si	Indicazioni
Fenologia	Stima date fasi fenologiche	No	incerto	Si	Si
Programmazione dei lavori di campagna					
Attività	Funzione	Apparecchiatura	Modelli validati	Sistema integrato	Livello servizio
Variabilità	Caratterizzazione area	Si	Si	Si	Si
Irrigazione	Quantificazione e gestione	Si	Si	Si	Per vivai, parchi e giardini
Fertilizzazione	Quantificazione e gestione	Si	Si	Si	Vivai e aree di valore
Fertirrigazione	Quantificazione e gestione	Si	Si	Si	Vivai e aree di valore
Trattamenti antiparassitari	Quantificazione e guida	Non affidabile	non completo	Non completo	Per realtà avanzate
Salute delle colture	Valutazione	Incerto	incerto	incerto	incerto
Danni	Quantificazione	Si	Si	Si	Si
Sicurezza / Previsione					
Attività	Funzione	Apparecchiatura	Modelli validati	Sistema integrato	Livello servizio
Tempo meteorologico	Previsione / protezione	Si	Si	Si	Si
Siccità	Monitoraggio / avvisi	Si	Si	Si	Si
Funghi patogeni	Monitoraggio / avvisi	No	incompleti	Si	Si
Insetti	Monitoraggio / avvisi	Si	incompleti	Si	Si
Specie aliene	Monitoraggio / avvisi	Si	Si	Si	Si
Compattazione suolo	Protezione del suolo	No	Si	Si	A livello di campo
Incendi	Avvisi	Si	Si	Si	A livello di bacino
Erosione	Quantificazione	Si	Si	Si	A livello di bacino
Alluvioni	Allerte	Si	Si	Si	A livello di bacino
Automazione					
Attività	Funzione	Apparecchiatura	Modelli validati	Sistema integrato	Livello servizio
Taglio prati	Controllo accrescimento	Si	Si	Si	Si
Irrigazione	Ottimizzazione dell'uso dell'acqua	Si	Si	Si	Si

Tab. 1.8 - Livello di operatività di alcune applicazioni d'interesse ambientale e agrometeorologico.

1.7 BIBLIOGRAFIA

- Agrios G.N. (2005). *Plant Pathology. 5th edition*, Academic Press, New York, NY, USA, pag. 952.
- Aubry C., Papy F., Capillon, A. (1998). *Modelling decision-making processes for annual crop management*. Agric. Syst. 56 (1), 45-65.
- Bacci L., Conese C., Maracchi G., Miglietta F. (1987). *Modelling of vineyard productivity in relation to radiation and topography I. Radiation regimes. Proc. of the IASTED International Symposium Identification "Modelling and Simulation"*, Paris, France, June 22-24: 306-310.
- Bacci L., Conese C., Maracchi G. (1988). *Modello per il calcolo della radiazione solare in un vigneto. Riv. di Frutticoltura*, Anno L, 7-8: 75-79.
- Bacci L., Giuntoli A., Gozzini B., Maselli F., Orlandini S., Rapi B. (1992). *Applicazione di tecnologie avanzate per la stima dei danni prodotti da fitopatogeni*. Atti del 2° Convegno Nazionale "Informatica e Agricoltura", Firenze 17-18 Dicembre: 61-69.
- Bacci L., Giuntoli A., Gozzini B., Maselli F., Orlandini S., Rapi B., Zipoli G. (1993). *L'analisi della riflettanza nella valutazione di infezioni fungine su foglie di vite*. Atti del Convegno Nazionale "Protezione delle colture: osservazioni, previsioni decisioni", Pescara, 7-8 Ottobre: 129-143.
- Bacci L., Battista P., Rapi B., Pardossi A., Incrocci L., Carmassi G. (2005). *A system for fertigation management in closed-loop soilless culture of tomato. 3° International Symposium on "Applications of Modelling as an Innovative technology in the Agri-Food Chain"*, 29 May- 2 June 2005, Leuven, Belgium. ACTA Horticulturae, 674, p. 263-268.
- Bacci L., Battista P., Rapi B., Pardossi A., Incrocci L., Carmassi G. (2008). *Nuove funzioni di SGx 1.1 e verifica delle uscite del sistema*. Atti Workshop "INCONTRI FITOIATRICI 2008. Problemi fitosanitari delle colture ortoflorofrutticole ed evoluzione delle strategie di difesa". Torino, 28 Febbraio 2008, Ed. Ace International, p. 4-7, 81.
- Bacci L., Battista P., Rapi B., Romani M. (2012). *Garantes Project - Advanced management and remote control of green areas: new techniques for the sustainability*. GREEN WEEK 2012, Brussels (Belgium), 23 May 2012.
- Bacci L., Battista P., Fiorillo E., Rapi B., Rocchi L., Romani M., Sabatini F., Zantonetti S., Mati F., Moro M., Tredici F., Cacini S., Pacifici S., Burchi G. (2013). *GARANTES - Gestione Avanzata e controllo Remoto di Aree verdi: Nuove Tecniche per la Sostenibilità*: Relazione tecnico- scientifica Coordinata. Pistoia, 12 dicembre 2013, pag. 40.
- Battista P., Maracchi G., Sabatini F., Sivakumar M.V.K., Zaldei A. (2000). *Instrumentation and Operations for Automatic Weather Stations for Agrometeorological Application*. WMO-AGM training manual, Geneva, Switzerland, pag. 258.
- Battista P., De Vincenzi M., Fasano G., Materassi A. (2002). *Misura delle grandezze meteorologiche. In F. Benincasa, G. Maracchi (Eds.) - Dai parametri meteorologici ai modelli per lo sviluppo e la crescita delle colture: acquisizione e validazione dei dati meteorologici*. Collana Tecnico-Scientifica IBIMET- CNR, Quaderno n°12, Dicembre 2002, Firenze, p. 1-30.
- Bruneau P., Gascuel-Oudou C., Robin P., Merot P., Beven K. (1995). *Sensitivity to space and time resolution of a hydrological model using digital elevation data*. Hydrol. Processes, 9: 69- 81.
- Burrough P.A. (1986). *Principles of geographic information system for land resource assessment. Monographs on soil and resources survey No.12*. New York: Oxford Science Publications.
- Burrough P.A., McDonnell R.A. (1998). *Principals of geographical information systems*. University Press.
- Buyya R., Ranjan R., Calheiros R.N. (2010). *InterCloud: Utility-Oriented Federation of Cloud Computing Environments for Scaling of Application Services*. In: Hsu CH., Yang L.T., Park J.H., Yeo SS. (eds) Algorithms and Architectures for Parallel Processing. ICA3PP 2010. Lecture Notes in Computer Science, vol. 6081. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Cacini S., Battista P., Massa D., Rapi B., Romani M., Sabatini F. (2016). *GARANTES: un sistema di supporto per una gestione sostenibile degli interventi irrigui e del controllo dei fitoparassiti in aree*

- verdi urbane. Conferenza "Tecnologie e innovazione per una gestione sostenibile dell'agricoltura dell'ambiente e della biodiversità (Ti4AAB), 7-8 Luglio 2016, Certosa di Calci (PI), Università di Pisa. https://www.researchgate.net/publication/306077586_GARANTES_un_sistema_di_supporto_per_una_gestione_sostenibile_degli_interventi_irrigui_e_del_controllo_dei_fitoparassiti_in_aree_verdi_urbane
- Caldwell D.G. (2012). *Robotics and automation in the food industry. Series in Food Science, Technology and Nutrition*. Num. 236. Woodhead Publishing Limited, Cambridge CB22 3HI, UK. pag. 503.
- Conese C., Maracchi G., Miglietta F., Bacci L., Romani M. (1988). *Metodologia di formazione e gestione di una banca dati territoriali e modelli agroclimatici di produttività*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Quaderno I.P.R.A. n.20 (Roma), pag. 87.
- DBV (2015). *Situationsbericht 2015/16. Kapitel 3. Agrarstruktur. Deutscher Bauernverband* [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/581892/EPRS_STU\(2016\)581892\(ANN\)_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/581892/EPRS_STU(2016)581892(ANN)_EN.pdf)
- Donatelli M., Van Evert F., Di Guardo A., Adam M., Kansou Kamal (2006). *A component to simulate agricultural management*. International Congress on Environmental Modelling and Software, 415.
- EPRS-STOA (2016). *Precision agriculture and the future of farming in Europe. Annex 1: Technical Horizon Scan*. Scientific Foresight Unit, European Parliamentary Research Service. Brussels, August 2016, pag. 274. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/581892/EPRS_STU\(2016\)581892\(ANN\)_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/581892/EPRS_STU(2016)581892(ANN)_EN.pdf)
- Handel J. (2015). *Whitepaper: Semiconductor Industry from 2015 to 2025*. International Business Strategies (IBS), 4 Agosto 2015. <http://www.semi.org/en/node/57416>
- ISTAT (2010). *6° Censimento generale dell'agricoltura 2010, Caratteristiche strutturali delle aziende agricole*. Istituto Nazionale di Statistica. Roma, pag. 224. http://www.istat.it/it/files/2011/03/1425-2_Vol_VI_Cens_Agricoltura_INT_CD_1_Trimboxes_ipp.pdf
- Jie Lu, Jialin Han, Yaoguang Hu, Guangquan Zhang (2016). *Multilevel decision-making: A survey*. *Information Science* 346-347: 463-487.
- Karayanakis N. M. (1995). *Advanced System Modelling and Simulation with Block Diagram Languages*. CRC Press, pag. 368. <https://www.crcpress.com/Advanced-System-Modelling-and-Simulation-with-Block-Diagram-Languages/Karayanakis/p/book/9780849394799>
- Küsel C., Schreiber D. (2012). *Green economy – the economy of the future Approaches for inclusive, resource-efficient and low-carbon development*. (GIZ) GmbH, Bonn and Eschborn, Germany. 2nd edition Printed by ColorDruck, Leimen August 2012. <https://www.giz.de/fachexpertise/downloads/giz2012-en-green-economy-factsheets.pdf>
- Li Z., Zhu Q., Gold C. (2005). *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*. CRC Press, Boca Raton, FL, pag. 319.
- Lin X., Hubbard G. K. (2000). *Relating Temperature errors to Underlying Surface Characteristics. Proceedings of International Workshops on Automated Weather Stations for applications in Agriculture and Water Resources management*, 6-10 March 2000, Lincoln Nebraska USA. AGM-3 WMO/TD No. 1074
- Magarey R.D., Travis J.W., Russo J.M., Seem R.C., Magarey P.A. (2002). *Decision Support Systems: Quenching the Thirst*. *Plant Disease* 86 (1), 4–14.
- Maracchi G., Conese C., Miglietta F., Bacci L. (1988). *ISAP: An Information System for Agriculture Productivity. In: Sustainable Development in Agriculture*. Martinus Nijhoff Publishers (Dordrecht, The Netherlands): 59-97.
- Maracchi G., Miglietta F., Bacci L., Romani M. (1989). *Metodo di stima della radiazione globale mediante la temperatura dell'aria*. *Bollettino Geofisico Italiano*, Anno XII, 1: 141-148.
- Martin G., Martin-Clouaire R., Duru M. (2013). *Farming system design to feed the changing world. A review*. *Agron. Sustain. Dev.* 33 (1), 131–149.
- McCown R.L. (2002). *Locating agricultural Decision Support Systems in the problematic history and socio-technical complexity of 'models for management*. *Agricultural Systems*, 74: 11–25.
- McCown R.L. (2012). *A cognitive systems framework to inform delivery of analytic support for farmers' intuitive management under seasonal climatic variability*. *Agricultural Systems* 105 (1): 7–20.
- Mitas L., Mitasova H. (1999). *Spatial interpolation*. In Longley P., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W. (Eds.), *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*. Geoinformation International, Wiley, 481-492.
- Mitasova H., Mitas L., Brown W. M., Gerdes D. P., Kosinovsky I., Baker T. (1995). *Modelling spatially and temporally distributed phenomena: New methods and tools for GRASS GIS*. *Geogr. Inf. Syst.* 9:433–446.
- Moore I. D., Grayson R. B., Ladson A. R. (1991). *Digital Terrain Modeling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications*. *Hydrological Processes* 5: 3-30
- Nakamura R., Mahrt L. (2005). *Air temperature measurement errors in naturally ventilated radiation shields*. *J. Atmos. Oceanic. Technol.*, 22: 1046-1058.
- OECD (2008a). *Towards Green ICT Strategies: Assessing Policies and Programmes on ICT and the Environment*. DSTI/ICCP/IE(2008)3/FINAL. Directorate for Science, Technology and Industry, OECD, Paris.
- OECD 2008b OECD (2008b). *Measuring the Relationship Between ICT and the Environment*. DSTI/ICCP/IE(2008) 4/FINAL. Directorate for Science, Technology and Industry, OECD, Paris.
- OECD (2009a). *Network Developments in Support of Innovation and User Needs*. DSTI/ICCP/CISP(2009)2/REV1, Secretariat working paper.
- OECD (2009b). *Smart Sensor Networks: Technologies and Applications for Green Growth*. DSTI/ICCP/IE(2009)4/FINAL, OECD Secretariat, December 2009, pag. 48.
- Pala E. (2015). *Internet of Things & Smart Agriculture*. Presentazione Expo, 10 Settembre 2015, Milano. <https://www.slideshare.net/TechAndLaw/emanuela-pala-internet-of-things-smart-agriculture>
- Parker C.G., Champion S., Kure H. (1997). *Improving the uptake of decision support systems in agriculture*. In Thysen I., Kristensen A.R. (Eds), *Proceedings of the First European Conference for Information Technology in Agriculture*. 15-18 June, 1997, Copenhagen, Denmark, 129-134.
- Pavlov P. Y., Andreev R.D. (2013). *Decision Control, Management, and Support in Adaptive and Complex Systems: Quantitative Models*. IGI Global- Information Science Reference, pag. 267.
- Richardson S.J., Brock F.V., Semmer S.R., Jirak C. (1999). *Minimizing Errors Associated with Multiplate Radiation Shields*. *J. Atmos. Oceanic. Technol.*, (16): 1862-1872.
- Rijks D., Terres J.M., Vossen P. (eds) (1998). *Agrometeorological applications for regional crop monitoring and production assessment*. Joint Research Centre European Commission, Italy. EUR 17735 EN, p. 505.
- Robert M., Dury J., Thomas A., Therond O., Sekhar M., Badiger S., Ruiz L., Bergez J-E (2016). *CMFDM: A methodology to guide the design of a conceptual model of farmers' decision-making processes*. *Agricultural Systems* 148: 86–94.
- Roland Berger (2015). *Business opportunities in Precision Farming: Will big data feed the world in the future?* Munich, Germany. https://www.rolandberger.com/publications/publications_pdf/roland_berger_business_opportunities_in_precision_farming_20150803.pdf
- Rose D.C., Sutherland W.J., Parker C., Lobley M., Winter M., Morris C., Twining S., Foulkes C., Amano T., Dicks L. (2016). *Decision support tools for agriculture: Toward effective design and delivery*. *Agricultural Systems*. 149 (2016), 165-174.
- Ruiz-Garcia L., Lunadei L., Barreiro P., Robla J.I. (2009). *A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends*. *Sensors* 2009, 9(6), 4728-4750.
- Son J. (2013). *Automated decision system for efficient resource selection and allocation in inter-clouds*. Diss. The University of Melbourne, 2013.
- Sonka S.T., Bauer M.E., Cherry E.T. (1997). *Precision Agriculture in the 21st Century: Geospatial and Information Technologies in Crop Management*. National Academy Press, Washington, D.C., USA, 168 pp.
- Tanner B. D., Swiatek E., Maughan C. (1996). *Field comparisons of naturally ventilated and aspirated radiation shields for weather station air temperature measurements*. Proc. 22° Conf. on Agricultural and Forest Meteorology, Atlanta, Amer. Meteor. Soc., 227-230.

- Taylor J.R., Loescher H.L. (2013). Automated quality control methods for sensor data: a novel observatory approach. *Biogeosciences*, 10, 4957–4971.
- Turban E., Leidner D., McLean E., Wetherbe J. (2007). *Information technology for management: transforming organizations in the digital economy*. John Wiley & Sons, Inc., 2007, p. 720.
- Viool V., Bogaardt M.J., Poppe K., van Zuidam E. (2015). *Cybersecurity in the Agrifood Sector*. Capgemini Consulting & Wageningen UR.
- Wang N., Wang M.H., Zhang N.Q. (2006). Wireless sensors in agriculture and food industry. Recent development and future perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 50 (1): 1-14.
- WMO (2008a). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. World Meteorological Organization n° 8, Seventh edition, Geneva, Switzerland, p. 681.
- WMO (2008b). *Guide to Hydrological Practices. Volume I: Hydrology – From Measurement to Hydrological Information*. World Meteorological Organization n° 168, Sixth edition, Geneva, Switzerland, p. 681.
- WMO (2012). *Guide to Agricultural Meteorology Practices*. World Meteorological Organization n° 134, ed. 2010 updated in 2012, Geneva, Switzerland, p. 799.

Capitolo secondo

Esempi applicativi e casi di studio

2

ESEMPI APPLICATIVI E CASI DI STUDIO

Nel presentare brevemente gli articoli riportati in questa parte “speciale”, dobbiamo per prima cosa precisare che si tratta di elaborati che descrivono applicazioni e prodotti realizzati nell’ambito di progetti che hanno visto la partecipazione di numerosi partner e l’attivazione di importanti collaborazioni, essenziali ancora oggi per il loro sviluppo e rafforzamento a livello operativo. Si tratta di articoli nei quali sono presentati risultati pregressi, ma che al contempo avanzano proposte per il futuro, che si spera possano suscitare l’interesse di operatori e utenti finali, stimolando nuovi contatti e progetti.

Data l’ampiezza del quadro di attività, che spazia da applicazioni a scala regionale a studi per soluzioni domotiche, quelli mostrati sono soltanto alcuni esempi attraverso i quali, tuttavia, si cerca di dare un’idea delle potenzialità della strumentazione e delle metodologie adottate in alcuni settori afferenti all’ambiente, all’agricoltura e alla gestione delle risorse.

L’ordine seguito mira a chiarire anche il ruolo dei diversi attori, da quelli istituzionali a quelli privati, ai quali viene chiesto di prendere parte a tutte le attività richieste per realizzare soluzioni che possiedano un reale interesse operativo nei vari ambiti produttivi: dal coordinamento delle attività di raccolta e organizzazione dei dati regionali fino alla progettazione di nuovi sistemi per l’utenza privata.

Volendo mantenere un approccio di tipo schematico nella descrizione del lavoro richiesto ai vari livelli, ma anche una certa originalità rispetto a quanto normalmente presente in pubblicazioni simili, la scelta è caduta su applicazioni/prodotti che hanno fatto ricorso a soluzioni rispetto alle quali s’intravedono ancora notevoli potenzialità di sviluppo.

Vediamo, in sintesi, gli argomenti proposti e quale tassello rappresentano nel grande puzzle composto fino a questo momento.

Il primo contributo riguarda un lavoro d’interesse generale, coordinato dalla Regione Toscana in collaborazione con numerose istituzioni regionali di ricerca e sviluppo, per la valutazione del fondo naturale geochimico (*geochemical baseline*), uno strumento essenziale per valutazioni ambientali sui fenomeni di contaminazione. In maniera emblematica rispetto alle esigenze informative di base ricordate nel precedente capitolo, il database frutto di questo sforzo (GEOBASI) si pone come servizio informativo ad accessibilità diretta da parte dell’utente, tramite un geo-portale i cui servizi esposti rispondono agli standard dell’OGC (*OpenGeospatialConsortium*).

A questo seguono tre lavori a carattere applicativo, su temi di grande rilevanza ambientale e attualità (rischio meteo-idrologico, erosione e incendi), dedicati ad altrettanti sistemi di supporto messi a punto nell’ambito di progetti di ricerca e sviluppo, con precise prospettive di carattere applicativo a livello regionale. Da questi lavori emerge con chiarezza la crescente necessità di una maggiore interazione tra i vari livelli amministrativi, ma anche tra realtà pubbliche e private, come strada maestra per dare risposte efficaci alle numerose sfide ambientali.

Il successivo lavoro, condotto sul Parco nazionale dell’Asinara, mostra l’importanza di disporre

di informazioni diversificate e di adeguati sistemi di analisi ambientale per la salvaguardia dei delicati equilibri naturali che sostengono le aree protette, con la diffusione di informazioni che devono raggiungere varie tipologie di utenza. D'altra parte, anche in questi casi, una corretta gestione delle risorse può garantire importanti ricadute socio-economiche, nuovi stimoli e risorse per la loro tutela e valorizzazione.

Alcuni lavori sui sistemi di supporto alle decisioni per il settore agricolo cercano di trasmettere la misura potenziale del ruolo che potrebbe essere assunto da questi strumenti, soprattutto nelle realtà meno progredite o concorrenziali. Si tratta di applicazioni che utilizzano in maniera integrata strumenti di telerilevamento, monitoraggio agrometeorologico e modellistica, per dare indicazioni obiettive e ripetibili su diversi ambiti produttivi, tra i più importanti a livello regionale.

Tramite questi esempi si cerca, in particolare, di stimolare un dialogo costruttivo tra soggetti privati ed Enti di Ricerca, proprio per affrontare problematiche specifiche e individuare soluzioni, che possano essere di aiuto nel potenziare o rilanciare i vari settori in modo intelligente e sostenibile.

Il capitolo si chiude con la descrizione di tre lavori su progetti d'attualità, che toccano l'ambiente urbano e la gestione delle risorse da parte dei singoli cittadini. Si tratta di una procedura per la valutazione del consumo del suolo in ambiente urbano e la stima dei possibili effetti sul microclima, di un sistema di supporto alla gestione del verde (parchi e giardini) e di alcuni studi sulle nuove tendenze progettuali, con soluzioni di supporto sempre più interattive e pervasive rispetto al rapporto tra l'uomo, l'abitare e la gestione delle risorse naturali (acqua, suolo, aria, ecc.).

Malgrado l'inevitabile eterogeneità di questi contributi, riteniamo che nel loro insieme possano riuscire a sollecitare la curiosità e l'interesse di esperti dei diversi settori, che sapranno cogliere gli elementi di coerenza, ma al tempo stesso di originalità, rispetto a quanto già noto.

2.1

STRUMENTI APPLICATIVI PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE:
l'esperienza di GEOBASI il database geochimico della Regione Toscana

Corongiu M.⁽¹⁾, Mari R.⁽²⁾, Romanelli S.⁽³⁾, Manetti F.⁽¹⁾, Bottai L.⁽¹⁾, Gozzini B.⁽²⁾, Raco B.⁽³⁾, Nisi B.⁽³⁾, Masetti G.⁽³⁾, Buccianti A.⁽⁴⁾, Macera P.⁽⁵⁾, Protano G.⁽⁶⁾, Menichetti S.⁽⁷⁾, Lavorini G.⁽⁸⁾

1 Consorzio LaMMA, via Madonna del Piano 10, Sesto Fiorentino (FI)

2 CNR-Istituto di Biometeorologia ; Consorzio LaMMA, via Madonna del Piano 10, Sesto Fiorentino (FI)

3 CNR-Istituto di Geoscienze e Georisorse, via Moruzzi 1, Pisa

4 Università Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra, via La Pira 4, Firenze

5 Università Pisa, Dipartimento di Scienze della Terra, via Santa Maria 53, Pisa

6 Università Siena, DSFTA, via Laterina 8, Siena

7 ARPAT SIRA, via N. Porpora 22, Firenze

8 Regione Toscana, SITA, via di Novoli 26, Firenze

2.1.1 INTRODUZIONE

La valutazione del fondo naturale geochimico (*geochemical baseline*) è uno strumento essenziale ogni qual volta si voglia comprendere se le variazioni di concentrazione di una determinata specie chimica in una data matrice siano legate a processi naturali o dovute a fenomeni di contaminazione. Per tali ragioni la valutazione della *geochemical baseline* è uno strumento estremamente utile per guidare decisioni politiche concernenti problematiche ambientali (bonifica di siti contaminati, qualità e potabilità delle acque, etc.). Negli ultimi 20 anni su questo tema si è focalizzata l'attenzione degli enti preposti al controllo ambientale in risposta al crescente bisogno di introdurre regole efficaci per riconoscere, prevenire, ridurre e contrastare l'inquinamento chimico dell'ambiente. La tutela delle risorse idriche, la loro corretta gestione, la pianificazione delle attività antropiche nel territorio regionale e le azioni di bonifica eventualmente necessarie per riportare le concentrazioni di possibili contaminanti entro valori accettabili, non possono prescindere dalla conoscenza dei valori del fondo geochimico naturale, soprattutto per quanto concerne gli elementi e le specie potenzialmente pericolose per gli esseri viventi. Oltre alle opportune metodologie di tipo statistico (quali, ad esempio, i diagrammi di probabilità e le tecniche di *partitioning*) e geostatistico (quali, ad esempio, il variogramma e gli interpolatori spaziali), la definizione delle *geochemical baseline* (Gałuszka 2005, 2006, 2007) è il fondamento della conoscenza delle caratteristiche geochimiche e geolitologiche dell'area di studio. La significatività dei valori così definiti è strettamente dipendente anche dai metodi di campionamento, di preparazione dei campioni e di determinazione dei vari componenti chimici inorganici.

Sebbene l'importanza di definire in modo corretto i valori di fondo sia nota a tutti gli operatori del settore geoambientale, attualmente le concentrazioni che definiscono la soglia di contaminazione (D.Lgs. 152/06) sono state definite a livello nazionale e derivano dal recepimento di direttive europee, che a loro volta spesso ricalcano la legislazione di paesi come Stati Uniti d'America e Canada.

È abbastanza evidente che, a una scala di maggior dettaglio, tali valori risultino poco significativi nel contesto delle specificità geologiche e geochimiche di più limitate porzioni di territorio. Per tale motivo e per rispondere alle criticità e necessità delineate, la Regione Toscana ha costituito un gruppo di lavoro nel quale esperti in geochimica, geochimica applicata e computazionale, coadiuvati da geologi e idrogeologi provenienti da vari enti di ricerca presenti sul territorio regionale (Università di Firenze, Università di Pisa, Università di Siena e Consiglio Nazionale delle Ricerche), hanno il compito di individuare metodologie condivise riguardanti sia il campionamento e l'analisi, sia l'elaborazione e l'interpretazione dei dati geochimici nel contesto del sistema naturale definito (Bottaini et al., 2011; Buccianti et al., 2011; Buccianti et al., 2011; Buccianti et al., 2014). Le risultanze di progetto emerse sono evidenti nella progettazione di una banca dati ad hoc inclusi l'interfaccia WEBGIS di consultazione e gli strumenti di interrogazione e rappresentazione spaziale. Tale ruolo è stato assolto dal Consorzio LaMMA. In quest'ambito il database Geobasi si propone come servizio informativo di diretta accessibilità da parte dell'utente, anche differenziato nei vari ambiti professionali, i cui contenuti possano essere

liberamente interrogati e fruiti tramite un geoportale (<http://www506.regione.toscana.it/geobasi/index.html>), i cui servizi rispondano agli standard dell'OGC (*OpenGeospatialConsortium* - www.opengeospatial.org) (Buccianti et al., 2015).

2.1.2 OBIETTIVI

L'obiettivo della banca dati geochimica è quello di fornire un importante riferimento conoscitivo nel campo delle informazioni geochimiche relative alle varie matrici geoambientali, campionate nel territorio toscano. Lo sforzo nella fase di progettazione (Fig. 2.1) è stato orientato non solo a favorire la piena fruizione dei dati disaggregati già disponibili, sulla base di una potente interfaccia WEBGIS, ma anche l'utilizzo di strumenti grafici e numerici di analisi statistica mediante i quali:

- comprendere la variabilità del fenomeno oggetto di studio nella sua caratterizzazione spaziale;
- individuare la posizione geografica di valori anomali;
- confrontare gli esiti di diverse metodologie analitiche sperimentali per uno stesso elemento e/o specie chimica;
- estrarre dati relativi ad un determinato periodo temporale e/o ad una determinata area, verificando la presenza di informazione.

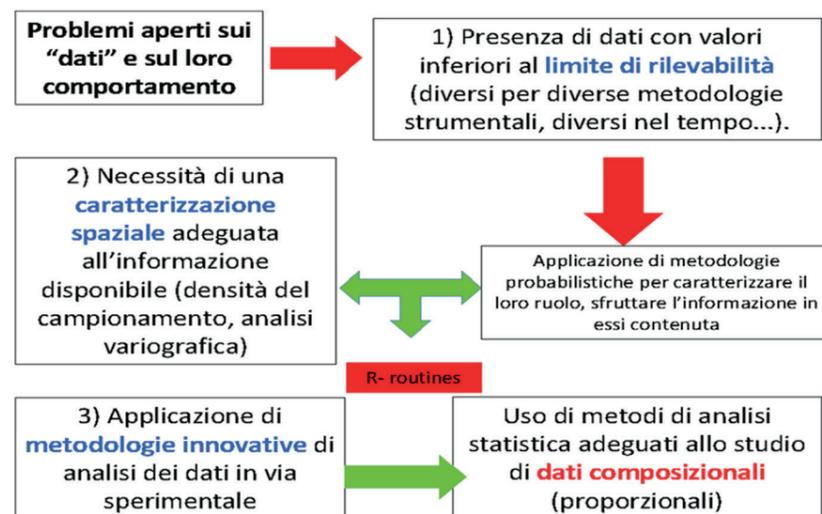


Fig. 2.1 - Processi di studio del comportamento dei dati geochimici.

La banca dati geochimica è articolata sulle matrici ambientali: suolo, sedimenti fluviali, acque di scorrimento superficiale, acque sotterranee. Su tale banca dati è attualmente in corso la fase di definizione del modello geochimico concettuale di un'area scelta come pilota (pianura costiera e bacino idrografico di Follonica- Scarlino, più oltre specificato), ottenuta attraverso una caratterizzazione grafico-numerica innovativa e la definizione del protocollo metodologico operativo per la determinazione del valore di fondo. La strutturazione ed il popolamento della banca dati geochimica della Regione Toscana e lo studio sperimentale riguardante un'area pilota ne rappresentano i prodotti principali. Le caratteristiche di condivisione e fruibilità da parte di differenti soggetti rappresentano, altresì, un obiettivo fondamentale, andando ad intercettare gli esiti analitici di campionamenti, in primis quelli prodotti da ARPAT, nel momento in cui vengono resi disponibili e di poterli rendere patrimonio comune di conoscenza del territorio. Inoltre, come obiettivi secondari, sono stati definiti i processi di transizione del pregresso sul nuovo ed i formati di interscambio e di download delle nuove informazioni secondo modalità standard.

In quest'ottica di integrazione e condivisione, sono stati presi in considerazione i contenuti provenienti da ulteriori ambiti, quali quello pedologico, cosicché la banca dati possa recepire le analisi necessarie al monitoraggio dei suoli. Analogamente sono state valutate, e ove possibile integrate, le istanze avanzate

da ARPAT in merito alle modalità di controllo sull'inserimento dei dati con sistemi supportati da analisi statistiche.

2.1.3 MATERIALI E METODI

Recupero del pregresso e aggiornamento multifonte

Uno dei requisiti fondamentali della nuova banca dati ha riguardato la derivazione delle informazioni presenti nelle pregresse banche dati, mantenendo memoria dell'origine e delle modalità di recupero nei metadati corrispondenti. La basi delle informazioni pregresse fanno riferimento essenzialmente ai seguenti archivi:

- Archivio Geochimico Nazionale;
- Geobasi – Toscana (Piano Regionale di Azione Ambientale – PRAA 2009; Obiettivo E – Tutela della Risorsa Idrica);
- Monitoraggio Acque sotterranee (MAT) e Monitoraggio acque superficiali interne (MAS) di ARPAT.

Un secondo requisito di cui si è tenuto conto nelle fasi progettuali ha riguardato la pianificazione delle modalità di aggiornamento in continuo e da fonti differenti. A tal proposito sono state approfondite anche le metodiche di orientamento all'integrazione dei dati esistenti con funzioni di controllo della correttezza semantica e procedurale dei nuovi dati da inserire a monte delle operazioni di download e come controlli e verifiche di compatibilità con i dati esistenti.

Accessibilità, analisi ed interoperabilità delle informazioni

Le modalità di verifica e validazione dei contenuti sono sinergiche rispetto alle metodologie di accesso e interrogazione di tipo statistico della banca dati messa a disposizione nell'interfaccia web di consultazione (Fig. 2.2). I servizi web sviluppati nella banca dati sono appunto il terzo requisito imposto nelle fasi di progettazione in termini di fruibilità e potenzialità di analisi sui dati anche da parte di utenti, client con modalità differenti dal *database administrator*. In questo senso, peraltro, è richiesta una conoscenza specifica e di merito in ambito geochimico, in grado di intervenire correttamente sui differenti criteri di selezione e visualizzazione delle informazioni della banca dati.

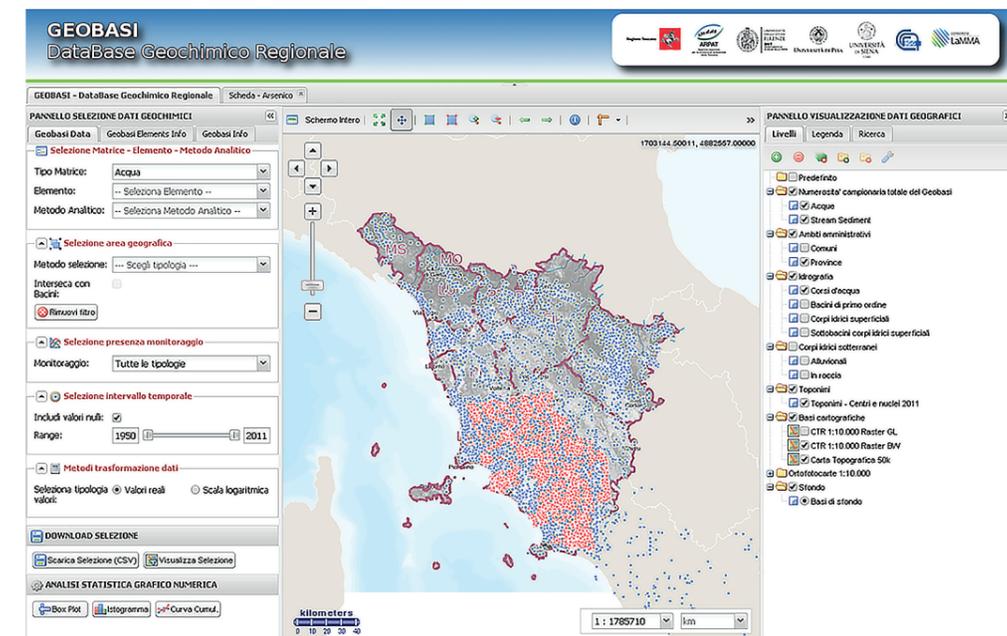


Fig. 2.2 - Interfaccia WEB di selezione e analisi.

Le dimensioni temporali e spaziali, inoltre, sono integrate nella banca dati costituendone le caratteristiche di accuratezza e scalabilità delle informazioni da gestire/analizzare.

L'interfaccia WEBGIS è stata realizzata basandosi su un sistema standard OGC per ricerca, interrogazione, visualizzazione, ecc. dei dati inseriti, sinergicamente all'infrastruttura (software e dei servizi) del Geoportale del Consorzio LaMMA (Giannecchini et al., 2013) integrato anche da sistemi più complessi come quelli di visualizzazione grafico-numerica delle distribuzioni selezionate o di download di dataset d'interesse da parte dell'utente in formato CSV (*Comma Separated Values*).

Una caratteristica fondamentale dell'applicazione geobasi consiste nella sua dinamicità, sia dal punto di vista dei contenuti (upload in continuo dei monitoraggi ARPAT) che degli strumenti messi a disposizione per una loro analisi; ad esempio al momento sono in fase di approfondimento alcune procedure per l'elaborazione dei dati, quale la spazializzazione di una variabile. La realizzazione di tale sistema è fondamentale rispetto alle prerogative di progetto, rappresentando lo strumento che consente di validare i dati disponibili, effettuare confronti, verificare la copertura spaziale dell'informazione, individuare errori e/o omissioni ed implementare le conoscenze con successive integrazioni, orientando infine la progettazione verso la definizione delle strategie di nuove analisi. Come aspetto caratterizzante sono stati distinti i dati rilevati da quelli spazializzati o ottenuti per sovrapposizione con altre banche dati geografiche. Il *core* è rappresentato dalle sole analisi chimiche mentre tutte le informazioni derivate sono di tipo qualitativo e funzionali all'inquadramento del contesto delle analisi (Fig. 2.3).

L'interfaccia web è un esempio di applicazione del Sistema Federato Toscano (Fig. 2.4), che richiamando i servizi web messi a disposizione da Regione Toscana, espone i servizi e le elaborazioni statistiche di geobasi utilizzando gli stessi dati (ortofoto, limiti comunali, etc.) di Geoscopio della Regione Toscana (<http://www.regione.toscana.it/-/geoscopio>). Le varie componenti relative al *database repository*, le banche dati ausiliarie e l'interfaccia WebGIS sono integrate secondo lo schema generale riportato in figura 2.5.

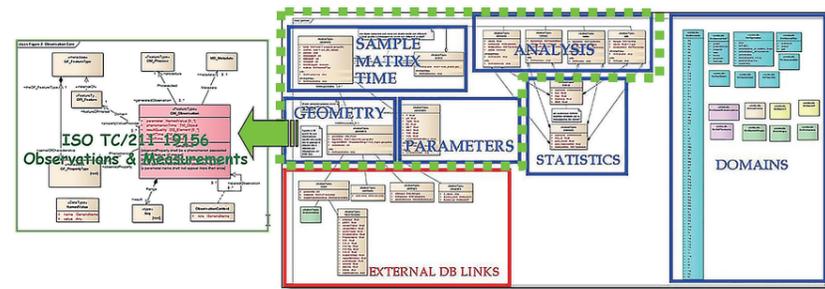


Fig. 2.3 - Schema del Database.

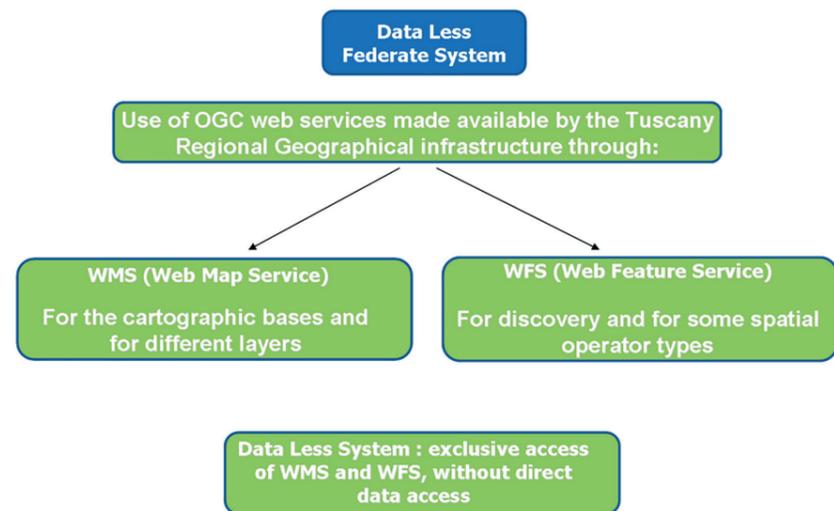


Fig. 2.4 - Sistema Federato DataLess con servizi di Regione Toscana.

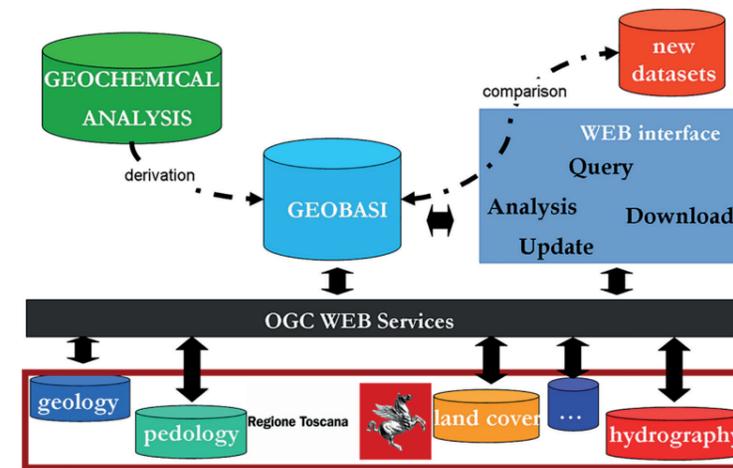


Fig. 2.5 - Interconnessione tra GEOBASI e strumenti WebGIS.

Integrazione tra database geografici e strumenti di elaborazione statistica

Una volta che i dati sono immagazzinati in un repository adeguato e facilmente interrogabili è possibile prevedere l'uso di tecniche di analisi statistica grafico-numerica di natura esplorativa, che consentano di collegare i tenori di elementi e specie chimiche con la loro localizzazione spaziale. Ciò al fine di collegare le abbondanze chimiche in varie matrici geologiche con la geologia dell'area investigata, l'uso del suolo e/o qualsiasi altra informazione utile ai fini interpretativi dei risultati analitici rilevati. Tra le analisi esplorative sviluppate nella prima fase del progetto, vi è la possibilità di visualizzare la distribuzione dei dati per una specifica matrice geologica e per variabili selezionate (con ulteriori vincoli sull'intervallo temporale se richiesto) mediante la costruzione dell'istogramma di frequenza, del diagramma a scatola e della curva cumulativa (Fig. 2.6).



Fig. 2.6 - Strumenti di elaborazione statistica in ambiente WebGIS. Box-plot, istogramma di frequenza e curva cumulativa sono strumenti fondamentali per indagare il comportamento di una variabile geochimica. La posizione spaziale dei dati di ogni classe dell'istogramma possono essere visualizzati mantenendo sulla mappa il colore di appartenenza alla colonna di frequenza (esempio riguardante l'abbondanza di Ca²⁺ in acqua).

Nel caso di curva cumulativa (Fig. 2.6) è utile individuare la presenza di valori anomali, evidenziando la linea rossa corrispondente al 95^{mo} percentile. L'analisi dei cambiamenti della pendenza della curva sono utili per indagare se il comportamento delle specie chimiche sia frammentato e se la multimodalità possa meglio rappresentare il fenomeno. Le analisi grafico numeriche disponibili, inoltre, possono essere visualizzate servendosi della conversione in logaritmo naturale al fine di migliorarne la rappresentazione. Infine è stata sviluppata anche la modalità di rappresentazione dei valori anomali, così come la loro localizzazione spaziale (Fig. 2.7). In ognuno dei casi indicati vi è la possibilità di collegare intervalli di valori o singole abbondanze con la diffusione e/o localizzazione geografica. Successivi sviluppi prevedono l'implementazione di questa fase con routine disponibili nel software R così come l'applicazione di metodologie geostatistiche. Il bacino pilota scelto servirà a questo proposito per verificare l'efficacia e la potenzialità di diversi metodi di analisi, nonché per affrontare la problematica della natura compositiva dei dati ed i suoi effetti sulle analisi statistiche classiche (Aitchison, 1986).

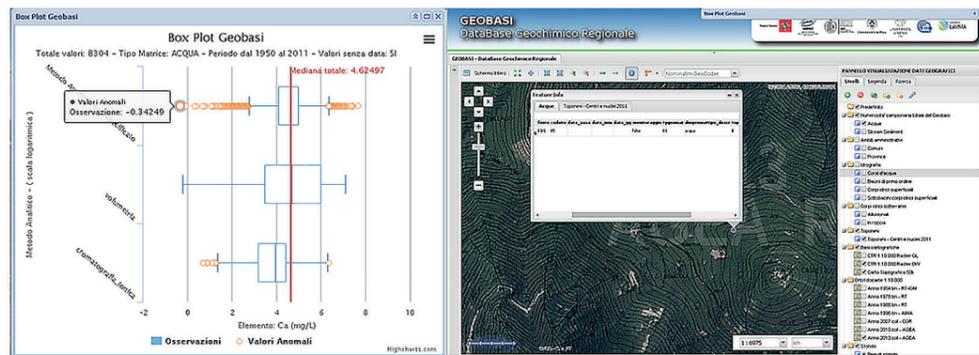


Fig. 2.7 - Valori anomali bassi per il (mg/L) identificati nel Box-plot (a sinistra in scala logaritmica) e loro localizzazione geografica.

La seconda fase del progetto, ha visto l'integrazione dei dati geochimici dello specifico corpo idrico, mediante il campionamento e l'analisi chimica di nuovi punti d'acqua, sia superficiali che sotterranei (fiumi, sorgenti, pozzi). L'area della pianura costiera e il bacino idrico di Follonica-Scarlinio (Fig. 2.8) è stata selezionata come area pilota, data la compresenza di fonti di contaminazione puntuali e diffuse sia antropiche che naturali.

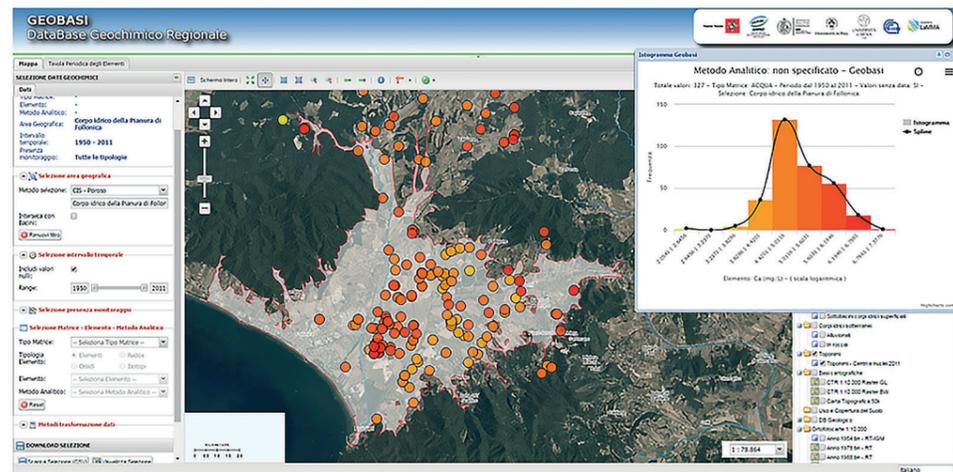


Fig. 2.8 - Area pilota Corpo idrico della pianura di Follonica.

Le peculiarità dell'area pilota complicano, e non poco, la valutazione dei valori di fondo naturale: la loro determinazione deve essere effettuata tenendo conto della distribuzione spaziale delle potenziali singole sorgenti inquinanti e quindi deve essere eseguita attraverso metodologie non solo di tipo statistico ma anche di tipo geostatistico (Fig. 2.9). Sulla distribuzione spaziale dei nuovi dati raccolti, opportunamente inseriti nel database, sono in corso di implementazione le metodologie per la mappatura geochimica. Infine, come ultima fase di progetto si sta definendo il protocollo metodologico per la valutazione del valore di fondo a partire dalla fase del campionamento e dalla scelta della distribuzione spaziale dei punti di misura.

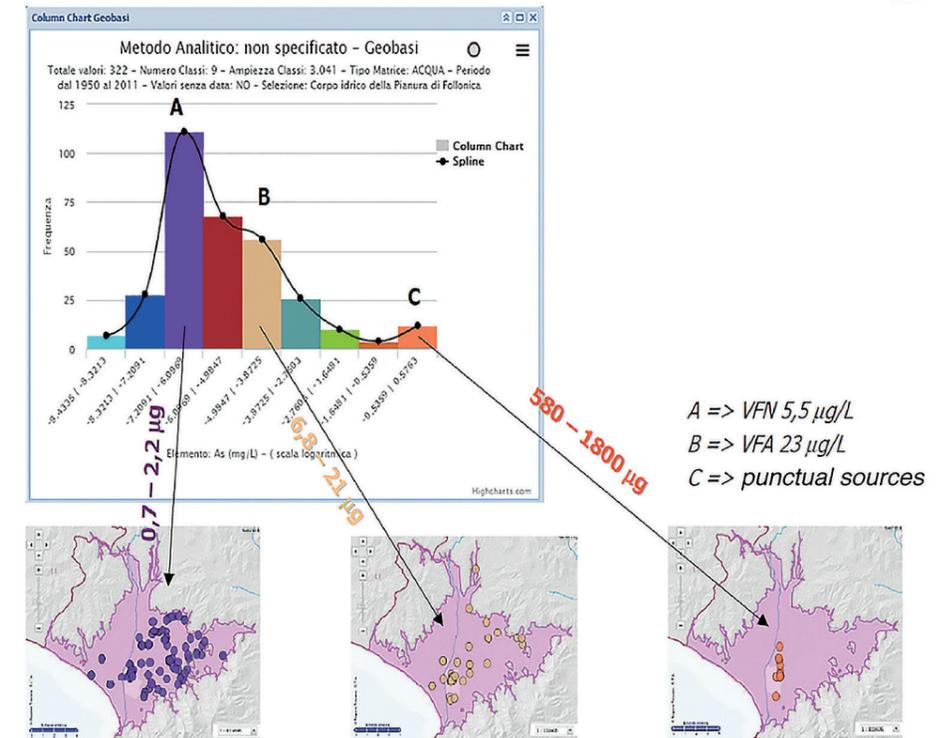


Fig. 2.9 - Esempio di applicazione degli strumenti Geobasi nell'area pilota: analisi della frequenza di distribuzione dell'arsenico As (mg/L) in acqua e distribuzione spaziale dei dati di alcune classi dell'istogramma (VFN = valori di background naturale, VFA= valori di background).

2.1.4 Conclusioni e sviluppi futuri

Come già detto, la fondamentale caratteristica di questo progetto consiste nella sua manutenzione e aggiornamento in continuo nel tempo, così da costituire un elemento conoscitivo di riferimento per tutti gli operatori del settore. Per tale motivo i presupposti di progettazione sia delle piattaforme tecnologiche che di aggiornamento dei contenuti e degli strumenti messi a disposizione sono in continua implementazione. Tale presupposto è garantito da un'ampia ed approfondita analisi dei requisiti e dall'adozione di tecnologie aperte e flessibili (oltre che *opensource*) in grado di reggere il livello di dinamicità richiesto per tale applicazione. L'implementazione dell'infrastruttura necessaria ad attuare ciò è stata effettuata seguendo un approccio di tipo multidisciplinare per i database geografici complessi (Corongiu et al., 2013) ed in conformità ai principi della direttiva europea INSPIRE (Directive 2007/2/EC; <http://inspire.ec.europa.eu/>).

A testimonianza dei risultati perseguiti, lo stato dell'arte riguardante la banca dati, gli strumenti e la documentazione informativa accessoria sono liberamente accessibili e disponibili all'indirizzo

<http://www506.regione.toscana.it/geobasi/index.html>. Su tale nodo si renderanno disponibili tutti i futuri sviluppi del progetto Geobasi. A medio termine alcuni obiettivi sono tuttavia anticipabili, tra questi il supporto informativo da utilizzare come base conoscitiva per la definizione di un protocollo operativo finalizzato alla determinazione del valore di fondo, prevedendone la sperimentazione sul campo nelle aree d'interesse selezionate, prima di estenderlo all'intero territorio regionale. Tale protocollo, riguarderà non solo le concentrazioni totali dei costituenti chimici principali (elementi maggiori), ma anche alcuni elementi in traccia di particolare rilevanza ambientale (es. As, Cr, Hg, Sb, U) in varie matrici di interesse (per es., acque superficiali e sotterranee, sedimenti fluviali e suoli). In tale contesto, di particolare rilevanza sarà lo sviluppo di metodologie grafico-numeriche innovative per dati composizionali al fine di tener conto della geometria del loro spazio campionario, paragonando i risultati con quelli ottenibili su base statistica classica. La scelta delle specie chimiche da analizzare sarà valutata in funzione dell'interesse degli Enti "sensibili" (Regione Toscana, ARPAT, AATO) e delle risorse economiche realmente disponibili.

2.1.5 BIBLIOGRAFIA

- Aitchison J. (1986). *The statistical analysis of compositional data*. Reprint by The Blackburn Press, New Jersey, USA, 2003.
- Bottaini N.J., Buccianti A., Di Lella L.A., Macera P., Marini L., Nannoni F., Protano G., Raco B. (2011). *Testing of innovative approaches in geochemical mapping: the experience of the Geobasi Toscana project*. VIII forum Italiano di Scienze della Terra, Geoitalia 2011, Torino, 19-23. Poster. Epitome 4, 04-0330, pp. 90.
- Buccianti A., Macera P., Marini L., Protano G., Raco B. (2011). *Progetto: GeoBasi – Toscana*. Piano Regionale di Azione Ambientale-PRAA 2009 Obiettivo E–Tutela della Risorsa Idrica, Relazione Finale. Dicembre 2011, pp. 176.
- Buccianti A., Nisi B., Raco B. (2014). *Compositional background for groundwater chemistry: the experience of the Geobasi project, Tuscany region (central Italy)*. GeoMap Workshop proceeding 17-20 June, Olomouc, Czech Republic.
- Buccianti A., Corongiu M., Lavorini G., Macera P., Manetti F., Mari R., Menichetti S., Nisi B., Protano G., Raco B., Romanelli S. (2015). *GEOBASI: The geochemical Database of Tuscany Region (Italy)*. Acque Sotterranee, Italian Journal of Groundwater n°1/139 DOI 10.7343/AS-100-15-0127.
- Corongiu M., Bottai L., Brandini C., Gozzini B., Grasso V., Ortolani A. (2013). *A complex multidisciplinary approach between research and services*. INSPIRE Conference, June 23-27, 2013, Florence, Italy. Poster.
- Gałuszka A. (2005). *The chemistry of soils, rocks and plant bioindicators in three ecosystems of the Holy Cross Mountains, Poland*. Environ. Monit. Assess. 110: 55–70.
- Gałuszka A. (2006). *Methods of determining geochemical background in environmental studies. Problems of landscape ecology*. Polish Association of Landscape Ecology, Warsaw, XVI/1: 507–519.
- Galuszka A. (2007). *A review of geochemical background concepts and an example using data from Poland*. Environ. Geol. 52: 861–870.
- Gianecchini S., Mari R., Corongiu M., Bottai L., Fibbi L., Pasi F. (2013). *Geoportale del Consorzio LaMMA*. Rivista Geomedia 5: 12-16.

2.2

MONITORAGGIO E MODELLIZZAZIONE DI EVENTI METEO-IDROLOGICI

Battista P.⁽¹⁾, Rapi B.⁽¹⁾, Romani M.⁽¹⁾, Gozzini B.⁽²⁾, Conese C.⁽¹⁾

¹ CNR-Istituto di Biometeorologia, via Madonna del Piano 10, Sesto Fiorentino (FI)

² Consorzio LaMMA, via Madonna del Piano 10, Sesto Fiorentino (FI)

2.2.1 INTRODUZIONE

Il progetto WiLife (Tecnologie WireLess e ICT per un efficiente e integrato sistema per la prevenzione e gestione delle situazioni di crisi e delle Emergenze), finanziato dalla Regione Toscana nell'ambito del programma POR CREO FESR 2007-2013 (Linea 1.5.a- 1.6; bando R&D 2012), coordinato da Selex ES S.p.A., ha avuto l'obiettivo di proporre e sviluppare strumenti innovativi per la gestione delle emergenze, capaci di coniugare efficacemente le nuove richieste operative con gli sviluppi tecnologici del settore ICT. Le moderne metodologie di gestione delle emergenze rendono indispensabile disporre di informazioni di contesto specifiche, tipicamente multimediali, per poter meglio organizzare, coordinare e attuare le operazioni di intervento e soccorso. Per poter rispondere efficacemente a queste esigenze, occorre che le reti professionali di nuova generazione si evolvano acquisendo la caratterizzazione tipica di reti broadband pervasive, sicure ed affidabili. È in questo contesto che si colloca il progetto WiLIFE il cui scopo è stato di creare un modello d'integrazione funzionale tra reti di comunicazione professionali di nuova concezione, reti di sensori specifiche (classiche e WSN) e strumenti di Social Network, in modo da favorire lo scambio di informazioni con i cittadini in forma pervasiva ed ubiquitaria (www.wilife-project.it; Bartoli et al., 2015; Carlà et al., 2014).

Tra le varie e gravi criticità ambientali, il rischio idrogeologico rappresenta una delle emergenze più gravi per il nostro Paese, responsabile di circa 2000 eventi alluvionali registrati tra il 2002 e il 2014, con la perdita di 293 vite umane e ingenti danni a proprietà, produzioni e infrastrutture. Ancora oggi, in Italia, oltre 1.260.000 immobili sono considerati esposti a rischio idrogeologico, dei quali 6.251 sono edifici scolastici e 547 strutture ospedaliere; in pratica la metà della popolazione vive in aree a rischio medio o alto (<http://www.anbi.it/>). Tra le diverse regioni, il territorio toscano è tra i più esposti e la sua messa in sicurezza, oltre che il controllo delle condizioni di rischio e il monitoraggio ambientale, deve essere considerata un impegno programmatico imprescindibile. Nel "Piano 2014 per la riduzione del rischio idrogeologico", l'ANBI ha stimato in 1.2 miliardi di euro la cifra necessaria per l'adeguamento delle opere di bonifica in Toscana.

Per tale motivo, nell'ambito del progetto WiLIFE, si è scelto di dare priorità a questo tipo di problematiche, studiando un sistema di raccolta, integrazione ed elaborazione di dati meteo-idrologici provenienti da reti miste (pubbliche e private), in grado di elaborare le informazioni ambientali richieste per la valutazione in tempo reale del livello di rischio idrogeologico.

In questo articolo vengono presentate alcune delle procedure adottate per l'integrazione dei dati ambientali e implementate all'interno del sistema denominato EDMS (*Environmental Data Management System*), per permettere una verifica della funzionalità e dell'efficienza del dimostratore WiLIFE (Battista et al., 2014b).

Lo scenario operativo scelto è quello corrispondente a un evento meteo-idrologico eccezionale, con tempi di ritorno maggiori di 100 anni (CFR, 2011), verificatosi nel 2011 nel bacino dell'Alto Magra,

uno dei bacini maggiormente esposti della Regione Toscana. Nel caso di eventi localizzati e intensi come quello in esame, il tempo che intercorre tra l'inizio della pioggia e il manifestarsi della piena del corso d'acqua può essere molto breve. In questo contesto, perciò, le attività di previsione e prevenzione acquisiscono un'importanza strategica, purché basate su dati e strumenti affidabili. Lo studio, quindi, si è posto come obiettivo la messa a punto di una metodologia che consentisse di utilizzare in maniera efficiente i dati disponibili e permettesse di supportare analisi tecnico-scientifiche a carattere preliminare sulle dinamiche in atto in bacini ad orografia complessa, oltre che sull'adeguatezza delle reti di rilevamento.

2.2.2 PROCEDURE IMPLIMENTATE NEL SISTEMA EDMS

Lo sviluppo del sistema di gestione dei dati ambientali EDMS, secondo le specifiche definite dai partner operativi, ha richiesto l'individuazione di soluzioni e procedure integrate, da implementare all'interno di un dimostratore per il monitoraggio e la gestione ambientale in condizioni critiche o di emergenza (www.wilife-project.it; <http://news.interstudio.net/2014/04/12/>).

Il sistema EDMS (Fig. 2.10) si compone di diversi moduli software che operano sotto il sistema operativo Windows. Tra i più importanti vi sono quelli messi a punto per la preparazione dei piani informativi e la restituzione cartografica, implementati in ambiente ArcGIS Arcview, e quelli per l'analisi geostatistica e modellistica, implementati in ambiente MATLAB®.

Le procedure seguite, per il momento, rimangono manuali per le componenti realizzate in ambiente ArcGIS®, mentre sono state automatizzate per i moduli implementati in MATLAB®. Trattandosi di un sistema prototipale e dimostrativo, per quanto possibile, le diverse componenti sono state integrate mantenendo il linguaggio software nativo.

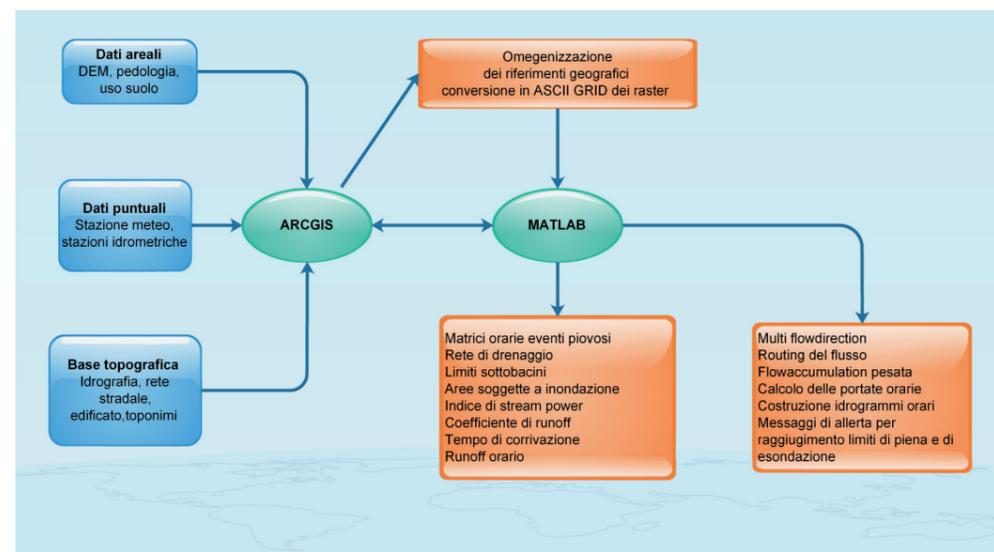


Fig. 2.10 - Schema a blocchi del sistema EDMS, sviluppato nell'ambito del progetto WILIFE.

La procedura di analisi (Fig. 2.11) usa alcuni dei moduli standard, per la creazione di piani informativi di base, e funzioni specifiche, per la riproduzione dell'evento meteo-idrologico.

Al fine di facilitare l'interpretazione delle uscite e permettere una comprensione delle funzioni e del modo di procedere del dimostratore WILIFE, di seguito sono descritti sinteticamente alcuni elementi inseriti all'interno dei principali moduli di analisi.

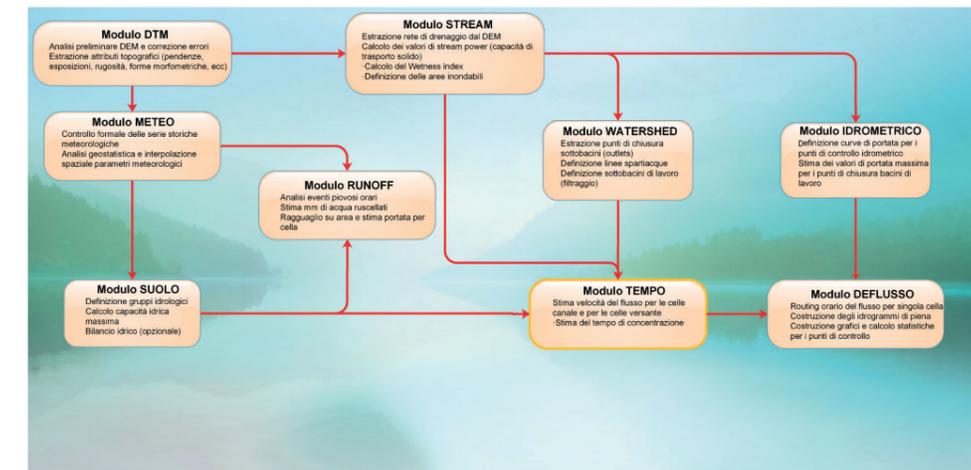


Fig. 2.11 - Diagramma di flusso del sistema di analisi dei dati ambientali a scala di bacino.

Modulo DTM

A partire dal modello digitale del terreno della Regione Toscana (<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html>), prodotto dalla DG Governo del Territorio- Sistema Informativo Territoriale Ambientale (risoluzione di 10x10 m; licenza CC BY 3.0 IT), tagliato sulla base delle mappe della cartografia tecnica regionale (CTR-1:10.000), si è provveduto all'estrazione della curvatura del DTM, mettendo in evidenza errori e disallineamenti che sarebbero stati d'ostacolo all'applicazione di qualsiasi modello idrologico. Per l'ulteriore affinamento sono state utilizzate immagini LIDAR 2010-2012 (1x1 m di risoluzione), disponibili sulla piattaforma "Geoscopio" (licenza DGGT-SITA, CC BY 4.0). Questo ha consentito di realizzare un nuovo DEM corretto (10 x10 m), validato per lo studio dei flussi idrologici, sul quale è stata applicata la funzione "FilterDem" (Tarboton et al., 1991), al fine di verificare la continuità di flusso. Il modulo DTM (Fig. 2.12a) permette, adesso, di ottenere un modello digitale del terreno idrologicamente corretto (Fig. 2.12b), e fornisce una serie di strumenti per la caratterizzazione geomorfologica dell'area di studio. I singoli output possono essere utilizzati per produrre cartografia o come input per altri moduli del sistema o modelli esterni ad esso.

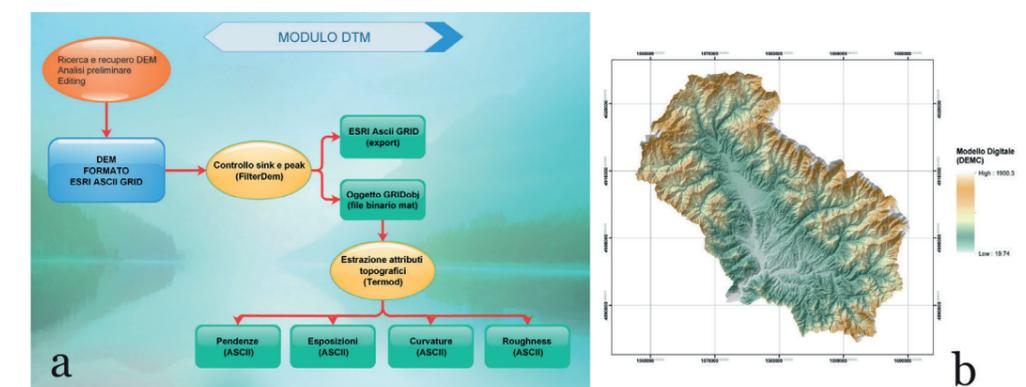


Fig. 2.12 - a) Diagramma modulo DTM; b) DEM corretto (10x10 m) del bacino dell'Alto Magra, utilizzato per le analisi idrologiche.

L'analisi morfometrica del modello digitale del terreno consiste nell'estrazione delle principali informazioni fisiche e morfologiche implicite nel modello, assunto come la migliore rappresentazione possibile della realtà dell'area d'interesse. Gli attributi topografici che si possono estrarre sono:

- Pendenze
- Esposizioni
- Curvature (*Planform curvature, Profile curvature, Tangential curvature*)
- Indici di eterogeneità topografica (*Roughness, Topographic Ruggedness Index, Surface roughness factor*)

Pendenza – espressa come variazione massima di quota tra la cella centrale del *kernel* di analisi (3 x 3 celle) e le otto celle vicine; rappresenta la derivata prima della superficie definita dal DEM.

Esposizione – corrisponde alla direzione della normale alla superficie, ritenuta da alcuni autori (Gómez-Plaza et al., 2001), più rappresentativa del contenuto idrico dei suoli, data la sua alta correlazione con l'insolazione massima del versante. L'esposizione è espressa in gradi (0-360°, da Nord in senso orario).

Curvatura - rappresenta la derivata seconda della superficie definita dal DEM. La curvatura di una superficie rispetto ad un punto è la curvatura di una linea formata dall'intersezione della superficie con un piano passante per il punto, con uno specifico orientamento (Olaya V., 2009). Il valore della curvatura è il reciproco del raggio di curvatura e viene espresso in radianti. È calcolata sia per il piano orizzontale che passa per una specifica cella (*Planform curvature*), sia per la superficie nella direzione di massima pendenza (*Profile curvature*), al fine di ottenere indicazioni sulla velocità del deflusso dell'acqua.

Indici di eterogeneità topografica – si tratta di indici statistici applicati su finestre di 3x3 celle, usati per analisi di prossimità sugli elementi del Modello Digitale del Terreno. Questi indici sono utili per comprendere le caratteristiche morfologiche dell'area di studio e valutarne la discontinuità: *Roughness*, differenza massima in quota tra una cella e le 8 celle vicine (Hobson, 1972); *Topographic Ruggedness Index*, differenza tra le celle adiacenti di un DEM, corrispondente alla deviazione standard all'interno di una finestra di 3x3 celle (Riley, 1999).

Modulo STREAM

Il modulo consente la ripartizione dell'acqua ruscellata nelle celle sottostanti sulla base di criteri di pendenza e orientamento, indicando anche la direzione assunta in ciascun punto. Il modulo permette inoltre di definire il reticolo idrografico, il profilo delle aste fluviali e l'estrazione delle aree inondabili (Fig. 2.13).

Direzione del flusso (*Flowdirection*) - determina la direzione prevalente del flusso dell'acqua e dei sedimenti trasportati sulla superficie del terreno. Per tenere in considerazione il flusso laterale, la quantità d'acqua totale è suddivisa in percentuale tra le celle riceventi sulla base dei relativi gradienti (Quinn et al, 1991; Arge et al., 2001; Coultard et al, 2002).

Accumulazione del flusso (*Flowaccumulation*) - calcola il numero di celle che riversano la propria acqua su un dato punto, producendo una stima della zona di drenaggio e della conseguente quantità di acqua presente in ciascuna cella a seguito di un evento piovoso.

Estrazione del reticolo idrografico - l'estrazione della rete di drenaggio (Fig. 2.14) è ottenuta applicando soglie di "*flowaccumulation*", dove ciascun arco dello "*shapefile*" rappresenta una porzione della rete dei canali, collegato ad un record di attributi contenente anche la classe degli elementi secondo il metodo Horton-Strahler (AA. VV, 2006).

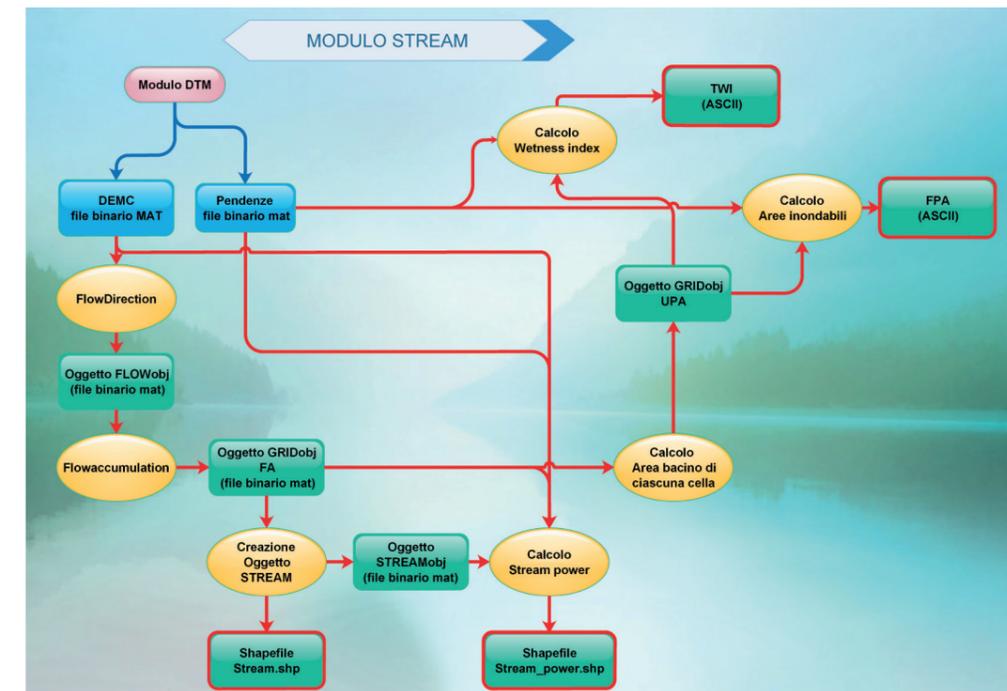


Fig. 2.13 - Diagramma del modulo STREAM.

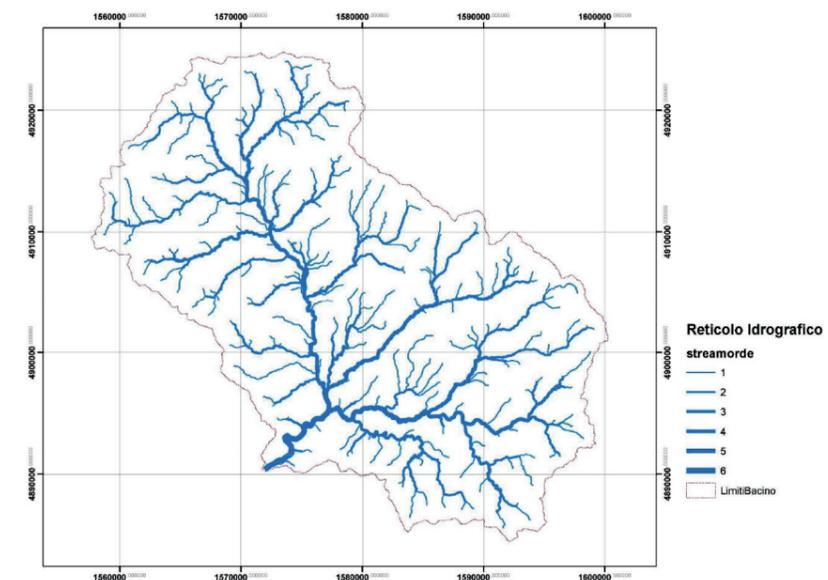


Fig. 2.14 - Reticolo idrografico.

Stream power - consente il calcolo della potenza cinetica di ciascuna porzione della rete di deflusso, in relazione alla pendenza e alle caratteristiche del canale (Fig. 2.15):

$$\frac{dz}{dt} = U - kA^m \left(\frac{dz}{dx}\right)^n$$

dove U=velocità del materiale solido; A=area del bacino che drena nella cella; dz/dx=pendenza;
k e m = coefficienti

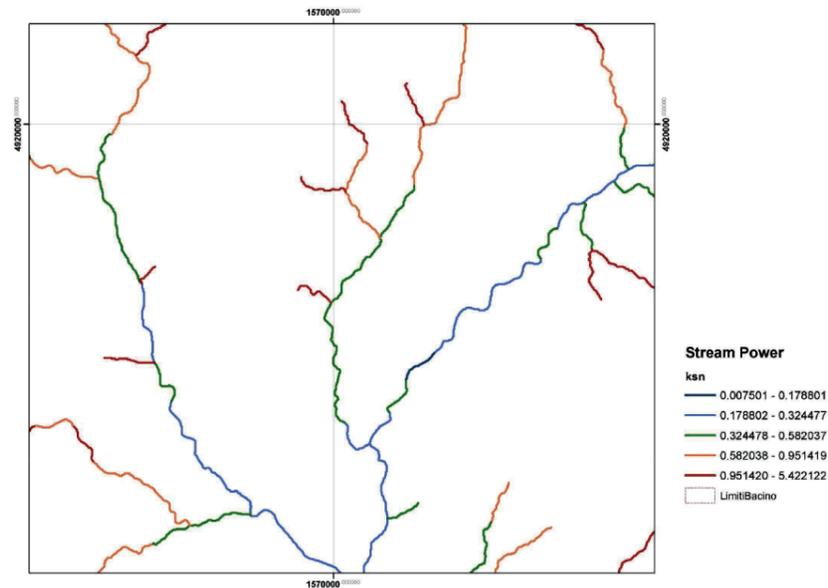


Fig. 2.15 - Particolare mappa dell'indice di "stream power".

Topographic Wetness Index (TWI) - definisce la tendenza dell'acqua a concentrarsi in aree a bassa pendenza, prossime alla rete idrologica, fornendo indicazioni sui rischi di inondazione (Beven and Kirkby 1979; Western et al., 2004):

$$TWI = \ln\left(\frac{A}{\tan(\theta)}\right)$$

dove

$\tan(\theta)$ = tangente all'angolo della pendenza;

$$A = \frac{1}{b} \sum_1^{n_j} a_j = \text{Area del bacino a monte di ciascuna cella per metro lineare [m}^2 \text{ m}^{-1}\text{]};$$

con

b = dimensione della cella (risoluzione)

$$\sum_1^{n_j} a_j = \text{"Upslope area", ovvero output della Flowaccumulation (somma delle } n_j \text{ celle che drenano nella cella } j \text{ di area } a).$$

In figura 2.16 è riportata un particolare della mappa TWI relativa all'area di studio, a valori crescenti dell'indice corrisponde una potenziale maggiore quantità di acqua al termine del processo di deflusso.

Flood prone areas - identifica le aree potenzialmente inondabili, utilizzando l'algoritmo della funzione r.hazard.flood (Manfreda et al., 2011; Di Leo et al., 2011) di GIS-GRASS. Questo metodo differisce dall'indice TWI precedente visto, soltanto per l'applicazione di un esponente n, funzione della

dimensione della cella, all'area A:

$$MTI = \ln\left(\frac{A^n}{\tan(\theta)}\right)$$

con $n = 0.016 * (\text{cellsize})^{0.46}$

Le celle con un valore dell'indice MTI superiore ad una soglia predefinita sono identificate come inondabili (Fig. 2.17). Attualmente la soglia è determinata mediante la seguente equazione:

$$\text{mti_th} = 10.89 * n + 2.282$$

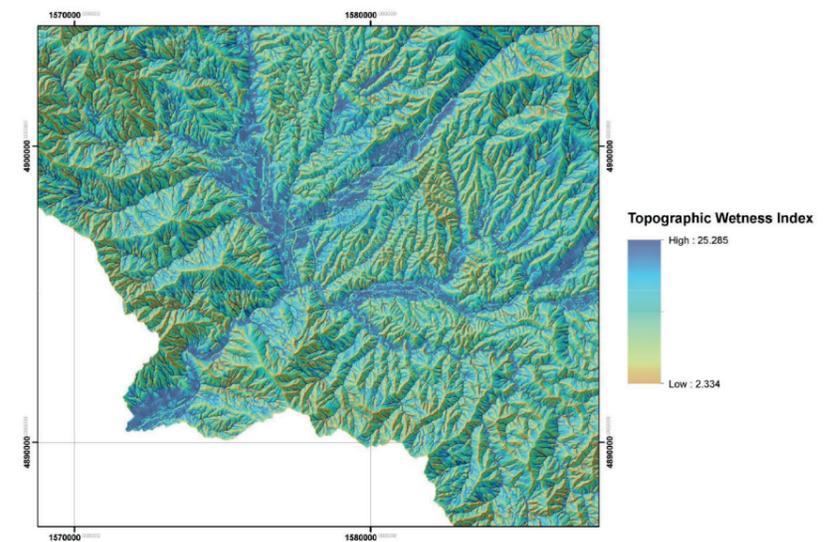


Fig. 2.16 - Particolare mappa dell'indice TWI.

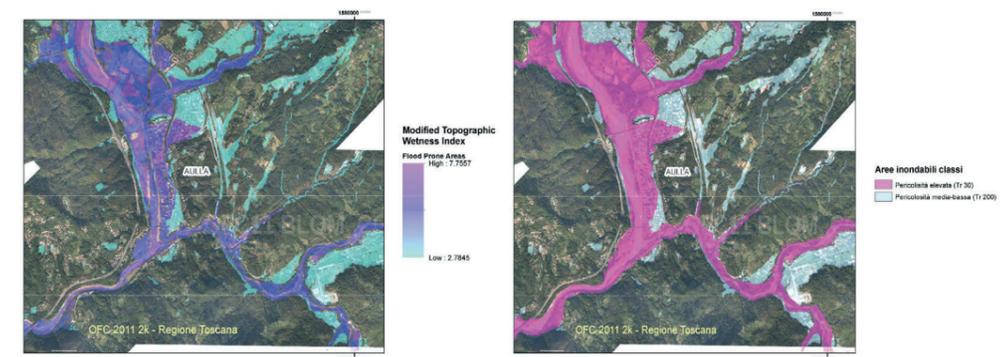


Fig. 2.17 - Indice MTI e relativa classificazione: Particolare abitato di Aulla.

Modulo WATERSHED

Il modulo, parzialmente automatizzato, permette di definire, in base alla rete idrografica e alle linee di flusso, i punti di chiusura (*outlet o "pour point"*) e i limiti dei sottobacini principali utili per le successive analisi del runoff superficiale (Fig. 2.18). I bacini estratti vengono successivamente filtrati

per dimensione tramite gli strumenti di editing di ArcGIS al fine di ottenere la mappa dei sottobacini definitivi e lo *shapefile* degli outlet relativi (Fig. 2.19).

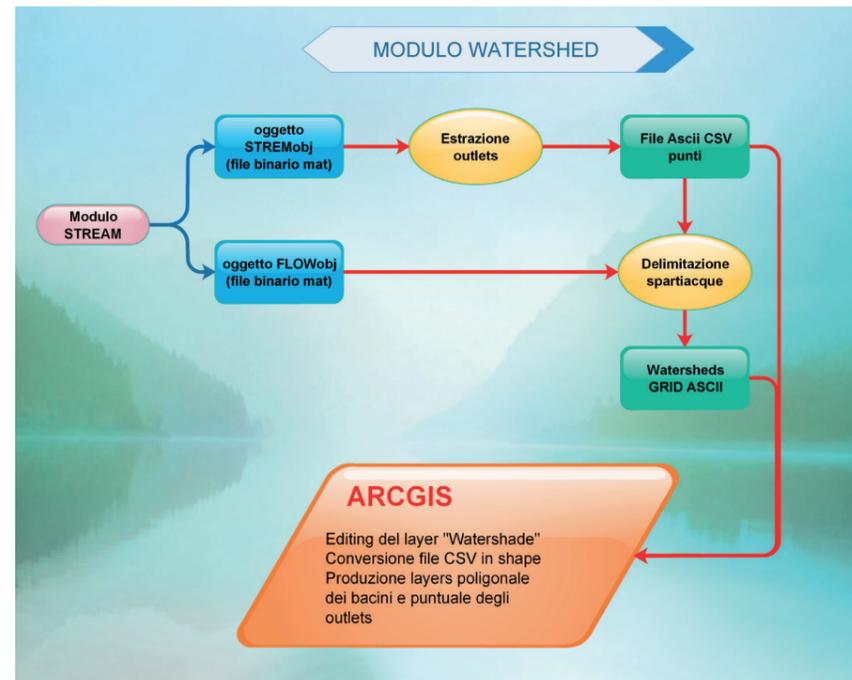


Fig. 2.18 - Diagramma del modulo WATERSHED.

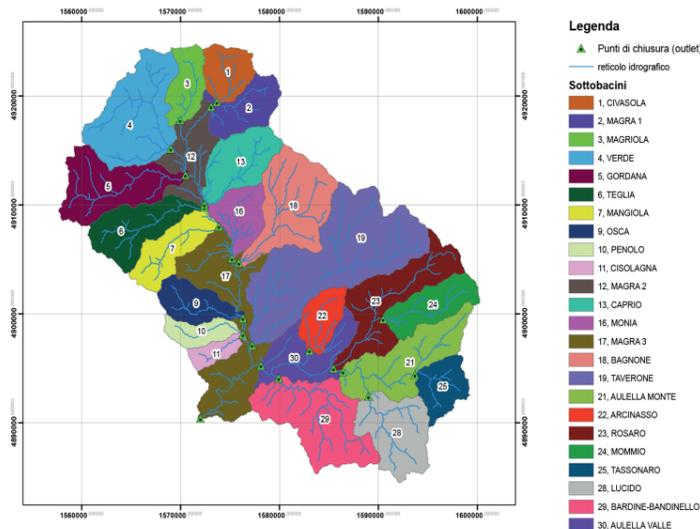


Fig. 2.19 - Bacino dell'Alto Magra: mappa dei sottobacini principali e i relativi punti di chiusura (outlet).

Modulo METEO

Il modulo METEO, sulla base dei dati delle stazioni attive sul territorio, effettua l'interpolazione dei dati orari, utilizzando le informazioni riguardanti la posizione dei pluviometri e le caratteristiche

geomorfologiche estratte dal DEM, al fine di determinare le matrici di pioggia del bacino in esame, con una risoluzione 10 x 10 m (Fig. 2.20). I dati grezzi raccolti sono sottoposti a un'analisi di validazione. La procedura di validazione è strutturata in livelli che indicano il diverso grado di confidenza nei dati:

- Congruenza temporale e interna: Individuazione di valori fuori soglia o incongruenti
- Controllo formale: Individuazione di valori definiti "impossibili" e mancanti.

Ai valori identificati come anomali viene assegnato un flag e sono considerati come dati mancanti. Questi sono quindi stimati utilizzando una tecnica di spazializzazione, basata su una superficie interpolante 3D costruita a partire dai dati ritenuti validi delle stazioni meteorologiche presenti sul territorio. La superficie interpolante è costruita utilizzando la funzione "scatteredInterpolant" che usa il metodo della triangolazione di Delaunay (George and Borouchaki, 1998) su un piano tridimensionale.

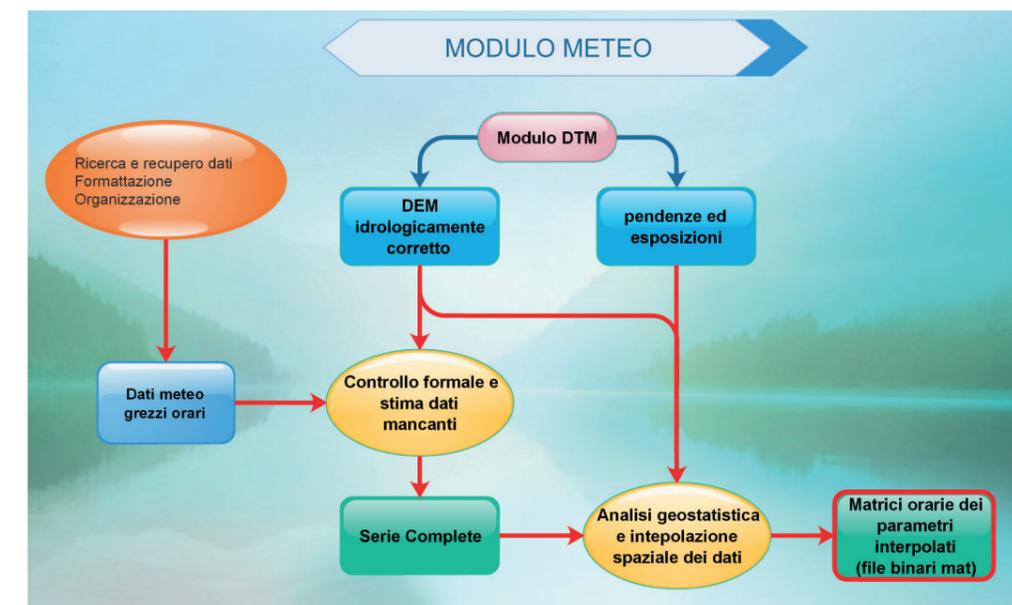


Fig. 2.20 Diagramma modulo METEO

2.2.3 CASO DI STUDIO: RICOSTRUZIONE DELL'EVENTO METEO-IDROLOGICO DEL 25 OTTOBRE 2011

Per la valutazione dell'affidabilità delle procedure implementate nel sistema EDMS, sono stati utilizzati i dati reali raccolti in occasione del drammatico evento registrato nel bacino del fiume Magra nell'ottobre del 2011, che ha causato la morte di 12 persone e provocato ingenti danni in molti comuni del comprensorio (Fig. 2.21). Per la ricostruzione dell'andamento meteo-idrologico sono stati utilizzati i dati orari della rete Dati Agrometeo-Climatici (dati ex ARSIA) e della rete del Servizio Idrografico della Regione Toscana (22 stazioni meteorologiche e 6 stazioni idrologiche), in modo da poter ricostruire in maniera realistica le condizioni al suolo esistenti nelle ore critiche.

In considerazione della morfologia del bacino del Magra, la spazializzazione dei dati pluviometrici è stata effettuata, applicando una spline regolarizzata con tensione (Mitasova and Mitas, 1993), che ha consentito di ottenere buone stime delle precipitazioni a terra durante tutta la durata dell'evento (Fig. 2.22). La scala spaziale utilizzata per i piani informativi e per le simulazioni è stata quella del DEM corretto (10 x10 m), ottenuto nel modulo DTM a partire dal modello digitale del terreno della Regione Toscana. La calibrazione e valutazione dei modelli idrologici è stata fatta, in via preliminare, confrontando le uscite di alcune simulazioni degli eventi più significativi del 2011, con i dati di livello e portata misurati dalle stazioni idrologiche.

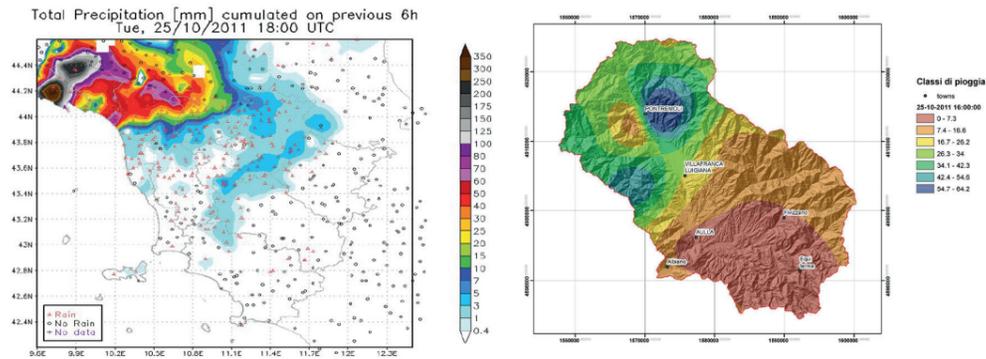


Fig. 2.21 - Precipitazioni osservate tra le 12 e le 18 UTC del 25/10/2011 (Dati CFR Toscana). Fig. 2.22 - Esempio di matrice di pioggia relativa alle ore 16 del 25 ottobre 2011.

La stima dei volumi di *runoff* superficiale in occasione degli eventi piovosi si basa sul metodo *SCS Curve Number* per la definizione della capacità massima dei suoli per condizioni di umidità antecedente all'evento (elevata, media e scarsa), e sull'applicazione di un bilancio idrico del suolo che, tenendo conto delle componenti di infiltrazione, percolazione profonda ed evapotraspirazione, stima un indice di saturazione per ciascuna ora del periodo di analisi.

Il metodo "*Curve Number*", sviluppato dal *Soil Conservation Service (SCS)* del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (USDA, 1986), permette di determinare il deflusso diretto o pioggia efficace (P_e), cioè la frazione della pioggia totale (P), che direttamente e in maniera preponderante contribuisce alla formazione dell'evento di piena. La pioggia efficace è calcolata tramite la seguente equazione:

$$P_e = \frac{P_n^2}{P_n + S}$$

dove

P_e - pioggia efficace o deflusso diretto (mm)

S - capacità idrica massima del suolo o volume specifico di saturazione (mm)

P_n - pioggia netta (mm) con $P_n = P - IA$

dove

P = pioggia totale (mm)

IA = perdite iniziali (mm), definite come $IA = K_{ia} * S$

con K_{ia} coefficiente empirico generalmente pari a 0.2; alcuni autori lo fanno variare tra 0.05 e 0.1 (Hawkins et al., 2002).

Le perdite iniziali (IA) sono dovute ad alcuni processi, quali l'intercettazione della pioggia da parte delle chiome della vegetazione e l'accumulo in avvallamenti locali e dall'imbibizione iniziale del terreno.

Poiché la procedura proposta dal SCS, per aree coltivate, stima perdite iniziali pari a un quinto del volume specifico di saturazione del terreno (S), il metodo proposto si basa solo sul parametro S , che dipende dalla natura litologica e pedologica del terreno e dall'uso del suolo. Sostituendo P_n e IA nell'equazione precedente, si ottiene infatti la seguente relazione:

$$P_e = \frac{(P - K_{ia} S)^2}{(P + S(1 - K_{ia}))}$$

esplicitando il valore di S in funzione di CN si ottiene:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Il parametro CN esprime le condizioni del complesso suolo-soprassuolo, tramite la valutazione delle condizioni di umidità nei cinque giorni antecedenti l'evento di piena. La procedura è utilizzata anche da modelli operativi distribuiti, di tipo non deterministico, per indicare l'attitudine del bacino di rilasciare l'acqua attraverso il deflusso. Con valori di CN uguali o prossimi a 0, la superficie si comporta come una "spugna", mentre con valori vicini a 100 la precipitazione si trasforma interamente o quasi in deflusso ($P = P_e$), contribuendo a creare l'evento di piena. I valori di CN possono essere determinati a partire dalle informazioni di copertura del suolo e della capacità di infiltrazione dei suoli, espressa in funzione della classe idrologica (Tab. 2.1; 2.2).

Nella figura 2.23 è mostrato lo schema concettuale del passaggio dell'acqua da una cella all'altra. Le varie celle, con valore di CN definito, si attivano oltre un valore soglia che, per ognuna di esse, è rappresentato dal valore delle perdite iniziali, ma il loro contributo non è lineare, se è riferito all'entità della precipitazione. Nel modello distribuito, assegnando a ciascuna porzione di suolo un appropriato valore di CN , il deflusso diviene un prodotto specifico di ogni cella che si orienta e si propaga lungo il reticolo idrografico permanente e/o temporaneo.

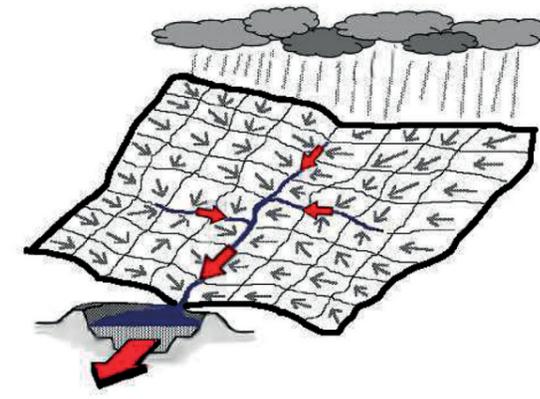


Fig. 2.23 - Schema concettuale di trasferimento della pioggia efficace distribuita nello spazio e nel tempo.

Classi idrologiche	Capacità infiltrazione
A	elevata infiltrazione, per suoli con strati sabbiosi o di loess profondi, a siltosi aggregati (diametro 0.002-0.05 mm)
B	Infiltrazione moderata, per suoli con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, quali limi sabbiosi
C	infiltrazione lenta, per suoli con tessitura fine, quali argille limose, deboli strati di limo sabbioso, suoli con debole contenuto organico
D	infiltrazione molto lenta, per argille plastiche e compatte.

Tab. 2.1 - Classi idrologiche.

Valori del parametro CN (adimensionale)				
Tipologia di uso suolo	Tipo idrologico suolo			
	A	B	C	D
Coltivazioni (in presenza di pratiche di conservazione del suolo)	62	71	78	81
Coltivazioni (in assenza di pratiche di conservazione del suolo)	72	81	88	91
Terreno da pascolo in cattive condizioni	68	79	86	89
Terreno da pascolo in buone condizioni	39	61	74	80
Boschi (in presenza di copertura rada e senza sottobosco)	45	66	77	83
Boschi (in presenza di copertura fitta con sottobosco)	25	55	70	77
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali e commerciali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone industriali e commerciali (area impermeabile 85%)	89	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 550 m ² (area impermeabile 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti di 500 - 1000 m ² (area impermeabile 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti di 1000 - 1500 m ² (area impermeabile 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali, lotti di 1500 - 2000 m ² (area impermeabile 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti di 2000 - 5000 m ² (area impermeabile 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000 - 10000 m ² (area impermeabile 12%)	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade, ecc.	98	98	98	98
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
Strade con letto di ghiaia	76	85	89	91
Strade battute in terra	72	82	87	89

Tab. 2.2 - Valori del parametro CN in funzione della tipologia di uso del suolo e della classe idrologica (USDA, 1986).

Le matrici orarie dei dati di pioggia, ottenute mediante il modulo METEO, sono utilizzate per effettuare il calcolo delle sommatorie giornaliere e il bilancio idrico semplificato del suolo, a livello di singola cella (10 x 10 m). Sulla base delle caratteristiche pedologiche (output del modulo SUOLO), per ciascun evento, il modulo RUNOFF permette di stimare la quantità d'acqua disponibile a livello di singola cella, destinata a defluire nelle celle sottostanti. Il processo di runoff (ruscellamento superficiale) si attiva quando il contenuto idrico del suolo supera il livello di saturazione o quando l'intensità della pioggia supera la capacità di infiltrazione del suolo. Una volta calcolato il dato di runoff della singola cella, considerate la pioggia effettiva e il bilancio idrico, il volume di acqua al secondo è ottenuto mediante l'equazione (Beven, 2012):

$$Q=0.277 \cdot A \cdot h \cdot \alpha$$

dove

Q - picco di deflusso per singola cella (m³/s)

0.277- coefficiente di conversione per esprimere la portata Q in m³/s

A - area effettiva della cella (km²)

h - runoff orario (mm/h)

α - coefficiente di runoff (rapporto tra ruscellamento e pioggia totale oraria)

Per ciascun sottobacino, il sistema calcola la velocità di deflusso dell'acqua e i tempi richiesti per il suo spostamento all'interno del bacino, tenendo conto delle pendenze e dell'uso suolo:

- **Tempo di corrivazione:** tempo richiesto a una goccia d'acqua per scorrere idraulicamente dal punto più distante nel bacino al punto di chiusura dello stesso o a un punto definito. Per il bacino del Magra $T_c = 1.72 \cdot A^{0.19}$, dove A è l'area del bacino espresso in Km².
- **Tempo di concentrazione o ritardo (Lag):** ritardo temporale tra l'idrogramma di piena e lo ietogramma che lo ha generato. Viene calcolato tramite l'equazione di Manning (Manning, 1891):

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2}$$

dove

V- velocità media del flusso (m/s)

n- coefficiente di rugosità della superficie

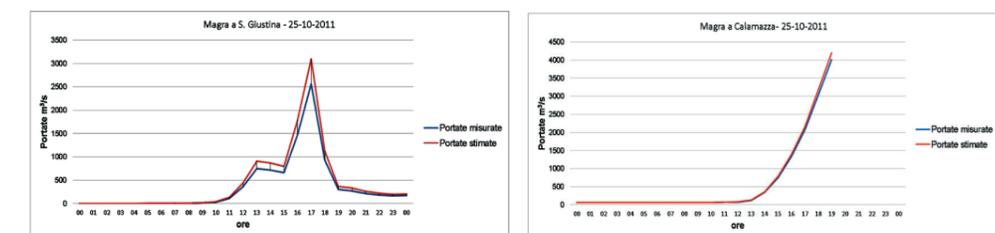
R_h - raggio idraulico (m)

S- pendenza (m/m)

L'equazione di Manning può essere semplificata, collegando i valori di n e R_h alle tipologie di uso del suolo e inglobandole in un unico coefficiente k ($k = R_h^{2/3}/n$), in modo da poter considerare la velocità di flusso, V, come una funzione diretta della pendenza (McCuen, 1998; Petroselli et al., 2010):

$$V = kS^{0.5}$$

Sulla base degli output dei moduli **Tempo, Stream, Runoff e Idrometrico**, il modulo **Deflusso** stima la quantità d'acqua in transito in un determinato punto (portata), fornendo in uscita l'idrogramma orario (Fig. 2.24). Secondo i dati misurati dalle stazioni idrologiche della Regione Toscana, il 25 ottobre le stazioni di Calamazza, S. Giustina e Piccatello hanno raggiunto livelli mai registrati in precedenza (Fig. 2.25). Calamazza, in particolare, posizionata in prossimità della chiusura del bacino del fiume Magra, è stata danneggiata dall'esondazione, fermando l'acquisizione alle ore 18:00. Confrontando i dati di portata oraria misurati con quelli simulati dal Sistema secondo le procedure descritte, si rileva come i due comportamenti siano in sostanziale accordo (Fig. 2.24). Sebbene vi sia una leggera sottostima (circa del 20 %) del flusso idrico e un certo ritardo nella percezione dei fenomeni, dal punto di vista operativo, cioè per la determinazione del rischio connesso alle quantità di precipitazione in gioco, si può dire che il sistema si è mostrato in grado di dare indicazioni utili, sia sulla quantità d'acqua in transito presso i punti d'interesse sia su quella prevista in arrivo dai diversi bacini.



S. Giustina (Pontremoli):

- portata misurata (blu)

- portata stimata (rosso)

Calamazza - i dati si interrompono bruscamente perché l'idrometro è stato distrutto dall'ondata di piena.

Fig. 2.24 - Andamento orario delle portate (misurate e stimate) nel corso dell'evento meteo-idrologico del 25 ottobre 2011, su due punti della rete di rilevamento: S. Giustina e Calamazza.

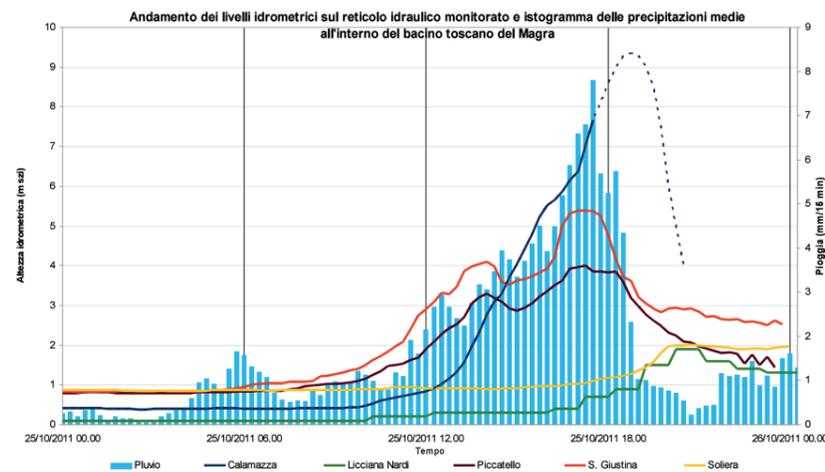


Fig. 2.25 - Livelli idrometrici orari misurati all'interno del Bacino del Magra il 25.10.2011 da cinque stazioni della rete di monitoraggio della Regione Toscana. La registrazione della stazione di Calamazza si blocca alle ore 18, per i danni causati dall'esondazione (CFR, 2011).

In caso di eventi meteorologici caratterizzati da elevata variabilità e dinamiche complesse, la rappresentatività della rete di monitoraggio è determinante per fornire stime affidabili sul comportamento dell'acqua nei sottobacini e sui relativi rischi ambientali. Nel caso sperimentale, entro certi limiti, un aumento del numero di pluviometri può comportare un progressivo miglioramento della stima, con effetti significativi sulla validità delle informazioni prodotte. In particolare, un'analisi sull'influenza della densità della distribuzione dei punti di rilevamento pluviometrico sulle prestazioni del modello idrologico nel bacino del fiume Magra (Battista et al., 2014a), ha messo in evidenza un miglioramento significativo in termini di precisione nella stima dell'evento simulato (usato come riferimento/verità) fino ad un valore ottimale di 40 pluviometri (Fig. 2.26), mentre un'ulteriore incremento dei punti di misura della rete di monitoraggio non porta reali vantaggi nella stima dell'ondata di piena o della quantità di acqua che ha raggiunto i punti monitorati.

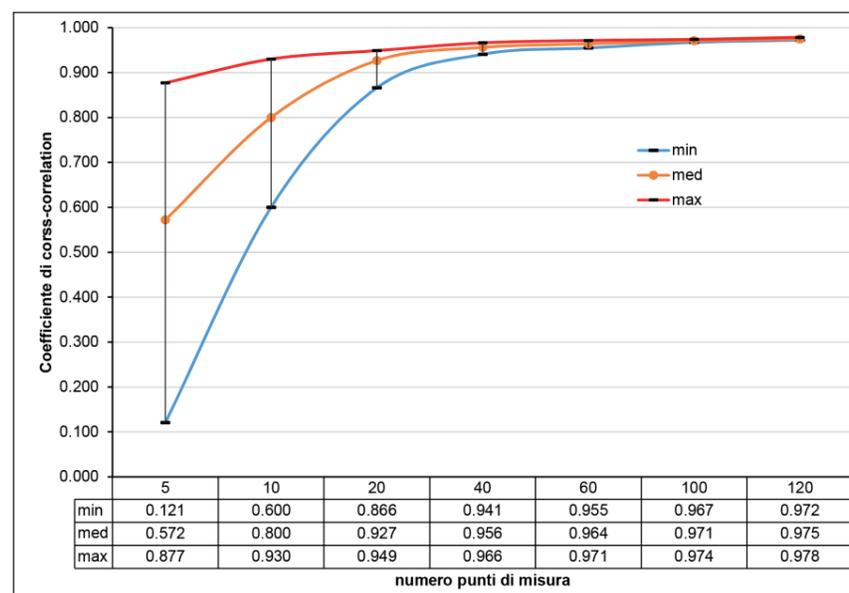


Fig. 2.26 - Correlazione tra dati misurati e stimati a partire da reti meteo-climatiche a diversa densità e distribuzione variabile (Battista et al., 2014a). La variabilità statistica è ottenuta prendendo in considerazione serie di 10 reiterazioni del confronto per ciascuna rete di monitoraggio (5, 10, 20, 40, 60, 100, 120 pluviometri), modificando la posizione dei sensori sul terreno in maniera random.

In figura 2.27 è mostrato l'effetto, in termini di errore percentuale, dell'impiego di reti di monitoraggio pluviometrico di diversa consistenza, sulla stima finale dei deflussi per alcuni sottobacini. I valori riportati nel grafico si riferiscono agli scenari "migliori", scelti tra 10 simulazioni effettuate per ciascuna combinazione (120, 60 e 5 punti di rilevamento) rispetto allo scenario di riferimento (180 pluviometri).

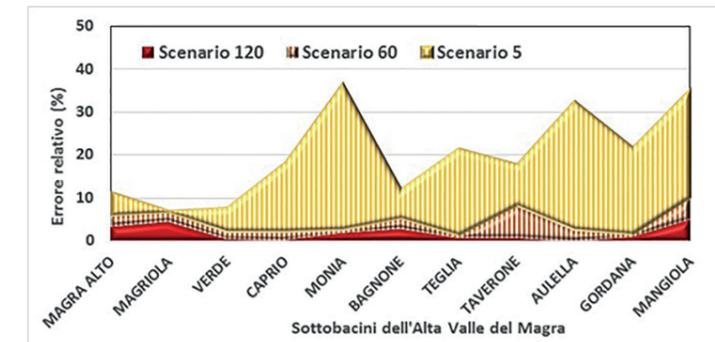


Fig. 2.27 - Errore minimo (%) commesso su 10 simulazioni, nella stima del deflusso idrico nei punti di chiusura dei principali sottobacini del fiume Magra, rispetto al quadro di riferimento.

2.2.4 CONCLUSIONI

Con l'ausilio di sistemi come WiLIFE, per l'uso integrato ed efficiente di dati provenienti da reti ambientali e social network, molti dei problemi connessi alla tempestività dei soccorsi e all'indirizzamento degli sforzi organizzativi e gestionali potrebbero trovare risposte adeguate. Questa piattaforma dimostra che è possibile mettere in connessione le figure professionali e sociali incaricate della gestione delle emergenze con istituzioni e semplici cittadini, superando le attuali barriere tecnico-operative e creando i presupposti per la produzione di informazioni ambientali ad alta affidabilità, assicurata anche nel corso delle emergenze più gravi.

La raccolta capillare delle informazioni sul territorio, tramite il monitoraggio di dati ambientali e degli avvisi dei cittadini presenti nelle aree a rischio, l'immediatezza dell'analisi e l'eventuale allertamento di tutte le persone interessate consentirebbe, come dimostrato dal progetto WiLIFE, di intervenire con una maggiore tempestività ed efficacia sia nel salvataggio di vite umane sia nell'organizzazione delle azioni di contrasto e protezione.

A tale scopo, nell'ambito del progetto, al sistema EDMS è stato affidato il compito di simulare l'evoluzione della condizione meteo-idrologica del bacino del Magra, in particolare nel corso degli eventi meteo-idrologici verificatisi nell'area tra settembre e ottobre del 2011. Nel caso di bacini di dimensioni ridotte, ma con caratteristiche geografiche e ambientali complesse come quelle esaminate, la corretta stima dei valori di pioggia può risultare decisiva per la gestione delle situazioni di crisi, in particolare in prossimità della foce. La disponibilità di una rete di monitoraggio pluviometrico e idrologica realmente rappresentativa, accompagnata da un livello adeguato di capacità di analisi dei dati e di velocità nella diffusione delle informazioni, può aumentare significativamente il livello di sicurezza del territorio e contribuire a salvare molte vite umane. Anche se in forma preliminare, la validazione delle uscite del modello meteo-idrologico implementato, effettuata tramite il confronto diretto con i dati misurati, ha evidenziato un sostanziale accordo tra gli andamenti previsti e quelli reali, pur mantenendo una sottostima di circa il 20% del flusso idrico nei punti di chiusura e tempi di preavviso ancora non completamente soddisfacenti per tutti i possibili scenari.

Nella piattaforma WiLIFE sono attualmente implementate una serie di regole di base che, mediante il monitoraggio dei valori pluviometrici e idrometrici, elaborano indicazioni per la gestione dell'evento secondo modalità ritenute operativamente adeguate. Per quanto riguarda il monitoraggio e l'analisi dei messaggi provenienti dai social network relativi a situazioni di emergenza, invece, il potenziamento dei sistemi di machine learning e data mining, per la previsione di calamità

naturali e il contenimento del rischio, potrebbe rappresentare un importante salto in avanti, verso l'individuazione delle criticità esistenti a livello sociale e ambientale. Nei prossimi anni, pertanto, un ulteriore sforzo dovrà essere fatto per integrare le informazioni prodotte da strumenti di monitoraggio e analisi geografica con quelle raccolte o derivate da soluzioni social, con uno impegno crescente di comprensione e condivisione anche da parte di esperti e operatori di tutti i settori coinvolti.

2.2.5 BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2006). *Piano stralcio "assetto Idrogeologico" del Bacino del Fiume Magra e del Torrente Parmignola* – Relazione generale. Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Magra, pp. 209.
- Arge L., Chase J.S., Halpin P.N., Toma L., Vitter J.S., Urban D., Wickremesinghe R. (2001). *Flow computation on massive grids*. In Proc. ACM Symposium on Advances in Geographic Information Systems.
- Bartoli G., Fantacci R., Gei F., Marabissi D., Micciullo L. (2015). *A Novel Emergency Management Platform for Smart Public Safety*. *International Journal of Communication Systems*, Wiley Vol. 28 (5): 928-943 (on line first 20 Dicembre 2013).
- Battista P., Rapi B., Romani M., Gozzini B., Conese C. (2014a). *Influenza della densità della distribuzione dei punti di rilevamento pluviometrici sulle prestazioni di un modello idrologico nel bacino del fiume Magra*. Proc. Fifth Inter. Symposium Monitoring of Mediterranean Coastal Areas: Problems and Measurement Techniques. Livorno (Italy), 17-18-19 June 2014, pp. 471-480.
- Battista P., Rapi B., Romani M., Conese C. (2014b). *Delirevable D3_040 – Report sullo sviluppo componente Gestione Dati Ambientali*, Report Progetto WILIFE, 19 Novembre 2014, pp. 64.
- Beven K. J., Kirkby M. J. (1979). *A physically based, variable contributing area model of basin hydrology*. *Hydrological Sciences Bulletin* 24: 43–69.
- Beven K. (2012). *Runoff-Rainfall Modelling*. The Primer. Wiley-Blackwell
- Carlà L., Fantacci R., Gei F., Marabissi D., Micciullo L., Capodici P., Frosali F., Mariotta G., Sciuto P., Spinacci L. (2014). *An Evolved Framework for Public Safety Management, Relying on Heterogeneous Technologies for Environment Monitoring, Data Processing and Professional Broadband Communications*. *Polaris Innovation Journal*, Selex ES, Vol.19.
- CFR (2011). *Report evento meteo-idrologico del giorno 25 ottobre 2011: focus sul bacino Toscano del fiume Magra*. Regione Toscana - Servizio Idrologico Regionale, Centro Funzionale della Regione Toscana, 4 Novembre 2011, pp. 35.
- Coulthard T.J., Macklin M.G., Kirby M.J. (2002). *A Cellular Model Of Holocene Upland River Basin And Alluvial Fan Evolution*. *Earth Surf. Proc. Land*. 27: 269-288.
- Di Leo M., Manfreda S., Fiorentino M. (2011). *An Automated procedure for the detection of flood prone areas: r.hazard.flood*. *Geomatics Workbooks n° 10*, FOSSGit, Trento 2011.
- George P.L., Borouchaki H. (1998). *Delaunay triangulation and Meshing*. Editions HERMES, Paris.
- Gómez-Plaza A., Martínez-Mena M., Albaladejo J., Castillo V. M. (2001). *Factors regulating spatial distribution of soil water content in small semiarid catchments*. *Journal of Hydrology* 253: 211-226.
- Hawkins R.H., Jiang R., Woodward D.E., Hjelmfelt A.T., Van Mullem J.A. (2002). *Runoff Curve Number Method: Examination of the Initial Abstraction Ratio*. Proceedings of the Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference, Las Vegas, Nevada (U.S. Geological Survey).
- Hobson R.D. (1972). *Surface roughness in topography: quantitative approach*. In Chorley R. J., editor, *Spatial analysis in geomorphology* pp. 225–245.
- McCuen R. H. (1998). *Hydrologic Analysis and Design*. Pearson Edition.
- Manfreda S., Di Leo M., Sole A. (2011). *Detection of Flood-Prone Areas Using Digital Elevation Models*. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16 (10): 781-790.
doi: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000367](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000367)
- Mitasova H., Mitas L. (1993). *Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. Theory and Implementation*. *Mathematical Geology* 25: 6.
- Olaya V. (2009). *Basic land-surface parameters*. In: Hengl. T. & Reuter H. I. (Eds.), *Geomorphometry. Concepts, Software, Applications*. Elsevier 33: 141-169.
- Petroselli A., Grimaldi S., Alonso G., Nardi F. (2010). *Modelli afflussi deflussi per piccoli bacini idrografici non strumentati*. XXXII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Palermo, 14-17 settembre 2010.
- Quinn P., Beven K., Chevallier P., Planchon O. (1991). *The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models*. *Hydrol. Process.* 5: 59-79.
- Riley S.J. (1999). *Integration of environmental, biological, and human dimensions for management of mountain lions (puma concolor) in Montana*. Ph.D Dissertation, Cornell University, Ithaca, NY.
- Tarboton D. G., Bras R.L., Rodriguez-iturbe I. (1991). *On The Extraction Of Channel Networks From Digital Elevation Data*. *Hydrological Processes* 5: 81–100.
- USDA (1986). *Urban hydrology for small watersheds. Technical Release 55* (Second ed.). United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division.
- Western A. W., Zhou S.-L., Grayson R. B., McMahon T. A., Blöschl G., Wilson D. J. (2004). *Spatial correlation of soil moisture in small catchments and its relationship to dominant spatial hydrological processes*. *J. Hydrol.* 286: 113–134.

2.3

MONITORAGGIO DEL TRASPORTO SOLIDO E STIMA DELL'EROSIONE IDRICA

Conese C.⁽¹⁾, Rapi B.⁽¹⁾, Romani M.⁽¹⁾, Del Gaia F.⁽²⁾, Battista P. ⁽¹⁾

¹ CNR-Istituto di Biometeorologia, via Madonna del Piano 10, Sesto Fiorentino (FI)
² GEURO, Sansepolcro (AR)

2.3.1 INTRODUZIONE

Nonostante la crescente consapevolezza della necessità di assicurare una reale sostenibilità dell'uso della risorsa suolo, l'urbanizzazione prosegue in tutto il mondo a tassi elevati e si stenta a riconoscere la gravità dei problemi legati alla perdita di suolo e di fertilità. In Toscana, la variazione media annua tra il 2007 e il 2010 è ancora a favore delle superfici edificate, con un consumo medio giornaliero di suolo di 2.99 ettari in questi tre anni, valore ancora intorno al 60% di quanto veniva perso nel periodo del grande boom edilizio 1954-1988 (4.9 ha). Molto più grave è divenuto, tuttavia, l'abbandono del territorio rurale, con quasi 95836 ha di superficie agraria utilizzata in meno, nel periodo 2006-2010 (dati ARTEA). Anche guardando ai piani strutturali i dati non sono incoraggianti, visto che si continua a preferire l'impegno di nuove superfici, piuttosto che il reimpiego dell'esistente.

Le principali minacce che insidiano i suoli sono legate a processi (erosione, contaminazione, impermeabilizzazione, compattazione, perdita di sostanza organica, diminuzione della biodiversità, dissesto, frane e alluvioni, salinizzazione e desertificazione) rispetto ai quali l'uomo può e deve intervenire, non soltanto dal punto di vista normativo, ma con precisi piani di controllo e stabilizzazione.

Il territorio toscano è interessato per circa 525000 ha da affioramenti di depositi sabbiosi e argillosi di origine fluvio-lacustre o marina e di questi, circa 210000 ha sono utilizzati dall'agricoltura. Gli elementi morfologici prevalenti sono rappresentati da versanti complessi con frane e movimenti di massa e da versanti con canali di erosione di notevoli dimensioni. Nei circa 65000 ha di superfici coltivate con pendenza superiore al 15%, la naturale propensione al dissesto di queste aree può essere esaltata dalle lavorazioni a ritochino e dalla formazione di consistenti suole di lavorazione spesso destinate a rappresentare, ad esempio nei depositi lacustri del Valdarno, la superficie di scivolamento di frane superficiali e colamenti. Per quanto riguarda l'erosione del suolo causata dalle acque meteoriche è stata recentemente effettuata una stima del grado di erosione potenziale applicando il modello USLE. Dai risultati di tale studio, sulla base dei dati presenti in letteratura e in ragione delle banche dati utilizzate, emerge che circa il 5% del territorio regionale presenta perdite di suolo superiori alla soglia di tollerabilità, che è stata fissata a 20 t ha⁻¹ anno⁻¹.

La restituzione cartografica del contenuto in sostanza organica nel suolo, sul territorio regionale, mostra come questa sia strettamente correlata con il fattore climatico associato alla presenza di vegetazione forestale, con valori che crescono gradualmente spostandosi dal mare ai rilievi interni e appenninici. Le aree collinari destinate ad usi agricoli (colline interne plioceniche, Mugello, Valdichiana, Valdarno) risultano le aree con un minore tenore di sostanza organica, assieme alle aree dunali estremamente sabbiose. In queste aree, il ricorso a forme spinte di meccanizzazione, il livellamento delle pendici, l'abbandono delle sistemazioni idraulico-agrarie tradizionali e la specializzazione delle colture, non fanno che aumentare la suscettibilità del terreno e accelerare i processi erosivi.

I danni arrecati dall'erosione, richiedono spesso interventi correttivi che, tuttavia, possono mirare al massimo alla conservazione delle condizioni minime di produttività. Per ridurre i danni, quindi, in via preliminare si dovrebbero intensificare le reti di monitoraggio e controllo, al fine di individuare gli elementi di criticità e le azioni di salvaguardia da intraprendere. Nella maggior parte dei casi, l'uso integrato di stazioni idrologiche e di componenti modellistiche può garantire l'acquisizione di dati adeguati alla valutazione delle dinamiche in atto e aiutare a definire gli interventi di contrasto da proporre (es. regimazioni, lavorazioni diverse, ecc.).

Nei bacini con corsi d'acqua a carattere torrentizio, i modelli esistenti per la stima del trasporto solido risentono della grande variabilità degli eventi; si tratta, infatti, di canali i cui flussi sono soggetti a continui e repentini cambiamenti, con depositi e asportazioni che modificano lo stesso alveo fluviale. I vari tipi di modelli idrologici (fisici, matematici, ecc.) possono essere considerati validi entro i limiti di definizione, ma in molti casi presentano errori crescenti per situazioni estreme o molto diverse da quelle che hanno portato alla loro realizzazione. Per tale motivo, generalmente, è necessario prevedere una fase di validazione e di adattamento, prima di passare ad un loro impiego operativo, con l'ausilio di dati meteo-idrologici rappresentativi del bacino in esame, acquisiti mediante misure dirette o campionamenti automatici. Tuttavia, sebbene la qualità e la quantità dei dati territoriali oggi disponibili (es. morfologia, uso del suolo, reticoli idrografici) sia enormemente cresciuta rispetto ai decenni passati, i dati sui corsi d'acqua e di contorno risultano ancora scarsi e frammentari, e comunque per molti aspetti non adeguati a fornire un quadro conoscitivo sufficiente alla valutazione delle principali dinamiche interne al bacino.

A tal fine, nella cornice dei progetti EPOCH (*European Programme on Climatology and Natural Hazard*) e MEDALUS (*Mediterranean Desertification and Land Use*), finanziati dalla UE, è stato messo a punto un Sistema Integrato per la Valutazione dell'Erosione (SIVE), in grado di misurare l'energia della pioggia al momento dell'impatto con il terreno e di stimare la quantità di materiale solido trasportato dalla corrente, attraverso la misura della torbidità dell'acqua (Battista et al., 1992; Benincasa et al., 1996). In tale ambito è stato preso in esame il bacino idrografico del Sinigiola (Pieve S. Stefano, AR), affluente del fiume Tevere, al fine di provare la validità del SIVE e la sua utilità per la validazione dei modelli d'erosione in quell'area.

2.3.2 MATERIALI E METODI

Area di Studio: Il bacino del torrente Sinigiola

Il bacino del torrente Sinigiola è situato nell'Alta Val Tiberina nei pressi della città di Pieve S. Stefano (AR) ed è compreso tra i 43°38' e i 43°41' lat. N e tra i 12°45' e i 12°50' di long. E. Le informazioni relative alla morfologia sono state ottenute dall'elaborazione delle isoipse, acquisite dalla carta tecnica regionale, scala 1:25.000, e verificate tramite rilevamento di campagna. Le informazioni dei meccanismi d'evoluzione morfologica derivano interamente dai dati acquisiti in campagna e dalla loro elaborazione. Partendo dalle carte derivate dal modello digitale (DTM), si riscontrano i seguenti valori:

Area totale	15.3 km ²
Quota media	759 m s.l.m.
Quota minima	396 m s.l.m.
Quota massima	1222 m s.l.m.
Pendenza media	19%
Pendenza massima	61%
Lunghezza asta principale	6.8 km
Pendenza media dell'asta principale	8.5%

Le informazioni geo-litologiche sono state acquisite dalla carta dell'Alta Val Tiberina (Bini e Del Sette, 1982) e verificate tramite rilevamento geo-litologico e geo-strutturale di campagna. Dal punto di vista pedologico la zona è stata caratterizzata attraverso lo studio della carta dei suoli dell'Alta Val Tiberina, redatta da Bini e Del Sette (1982); in tabella 2.3 vengono riportate le percentuali delle diverse associazioni di suoli presenti nel bacino.

Associazioni	Presenza %	Tessitura	Struttura	Permeabilità
1	38.5	Franco	Granulare fine	Elevata/media
2	22.1	Franco-argillo-limoso	Granulare fine	Media
3	12.4	Argillo-limoso	Granulare media	Scarsa/molto scarsa
4	12.0	Argilloso	Granulare fine	Molto scarsa
5	3.6	Argillo-limoso	Granulare fine	Molto scarsa
6	3.2	Franco-sabbio-argilloso	Granulare fine	Molto scarsa
7	1.7	Franco-argilloso	Granulare media	Elevata/molto elevata
8	6.5	Materiale colluviale	Granulare fine	media

Tab. 2.3 - Percentuali delle diverse associazioni di suoli.

L'uso suolo è stato estratto da immagini LANDSAT TM, con riscontri a terra. In base a questo studio, il bacino risulta praticamente diviso in due parti uguali tra superficie boschiva ed agricola, dove il pascolo costituisce da solo quasi il 42% del totale (Tab. 2.4).

Classe d'uso suolo	Percentuale di copertura
Bosco di latifoglie	49.5
Bosco di conifere	6.9
Pascolo / alberi	21.3
Pascolo / cespugli	8.2
Pascolo	12.3
Seminativo	1.8

Tab. 2.4 - Classificazione uso del suolo.

Il clima del bacino è tipico della dorsale appenninica, con estati calde e siccitose e autunni piovosi. Le temperature massime sono raggiunte nel mese di luglio, mentre quelle minime si riscontrano nel mese di gennaio (Tab. 2.5).

Grandezze	gen.	feb.	mar.	apr.	mag.	giu.	lug.	ago.	set.	ott.	nov.	dic.
Tmax (°C)	6.9	8.7	11.4	15.9	21.1	24.6	27.9	27.5	23.0	18.0	12.6	7.6
Tmin (°C)	-1.0	0	1.2	4.5	8.1	11.2	13.0	12.9	10.4	6.9	3.5	0.2
Tmed (°C)	3.0	4.4	6.3	10.2	14.6	17.9	20.5	20.2	16.7	12.5	8.1	3.9
PP (mm)	76	82	84	75	72	50	32	41	80	105	118	119

Tab. 2.5 - Dati climatici della stazione di Pieve S. Stefano (AR): i valori pluviometrici sono riferiti ad un periodo di 35 anni, mentre quelli termometrici a 10 anni (Vicini et al., 2002).

Modelli di stima dell'erosione

La conoscenza delle caratteristiche morfologiche e delle proprietà idrodinamiche è particolarmente importante per stimare i flussi idrici relativi, che sono alla base delle valutazioni dei livelli di rischio di dissesto idrogeologico e della pianificazione degli interventi di salvaguardia o conservazione. Infatti, i processi di erosione e di trasporto dipendono dalle relazioni che esistono tra le caratteristiche del terreno e quelle del flusso idrico e/o degli altri agenti erosivi, usati in molti modelli di stima dell'erosione (Cencetti et al., 2005). Questo richiede un'analisi di tutti i fattori che contribuiscono, direttamente o indirettamente, a determinare questi comportamenti all'interno del sistema, tra i quali si devono considerare anche aspetti climatici, topografici, pedologici, uso suolo e sistemazioni idraulico-agrarie.

Un grande sforzo è stato quindi fatto in diverse parti del mondo (Stati Uniti, Australia e Germania in particolare), per realizzare modelli di stima dell'erosione in grado di simulare il comportamento dei diversi parametri in relazione alle condizioni ambientali nelle quali si trovano ad agire. Essenziale, per una loro corretta valutazione, è risultata la definizione degli algoritmi utilizzati per "pesare" tutti i fattori concorrenti (input) e fornire il risultato finale di queste interazioni (output); ma ancor più importante, in fase di messa a punto, deve essere considerata la disponibilità delle informazioni (banche dati territoriali) e la verifica dell'esattezza delle considerazioni spaziali. I GIS (Geographical Information Systems) sono diventati quindi lo strumento principale per i modelli che si occupano della valutazione delle zone a rischio di erosione, dato che presentano una grande versatilità e capacità di gestire l'enorme mole dei dati territoriali, permettendo un immediato confronto tra situazioni diverse e favorendo i successivi processi di analisi. I modelli possono essere classificati come:

- **modelli erosion limited** – si assume che il flusso idrico possa trasportare un'infinita quantità di sedimenti e che la quantità di suolo eroso sia limitata solo dalla capacità dell'acqua di erodere particelle di suolo. Questi modelli non sono in grado di prevedere il processo di sedimentazione.
- **modelli transport limited** – si ipotizza che la quantità di sedimenti trasportati dal flusso idrico sia limitata esclusivamente dalla capacità di trasporto del flusso stesso. La quantità di sedimenti trasportati dall'acqua si pone pari alla sua massima capacità di trasporto, senza che vi sia una funzione di controllo che verifichi la presenza o meno di sedimenti trasportabili. Quindi, in corrispondenza di un aumento della capacità di trasporto, viene prevista erosione e laddove la capacità di trasporto decresce, viene prevista deposizione.

Attualmente diversi modelli sono stati interfacciati con i GIS, incluse varie versioni del modello empirico RUSLE (Renard et al., 1997), derivato dalla *Universal Soil Loss Equation* (USLE), utile a determinare la quantità di suolo perso da un terreno in un ciclo idrologico e modelli più complessi, come AGNPS (*Agricultural Nonpoint Source Pollution*; Young et al., 1987) e ANSWERS (*Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation*; Beasley and Huggins, 1981), utilizzati per ottenere una stima della qualità del deflusso, con particolare interesse per i nutrienti e i sedimenti. In particolare la RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*; Mitasova et al., 1996; Renard et al., 1997) ricavata empiricamente sulla base di migliaia di dati sperimentali raccolti dal Soil Conservation Service e dall'Agricultural Research Service degli U.S.A., è una delle equazioni più utilizzate per la sua relativa semplicità, la generale disponibilità dei dati richiesti e la sua adattabilità (eq. 1; Fig. 2.28).

$$E = R * K * LS * C * P \quad [1]$$

dove

E = Erosione (perdita di suolo annua per unità di superficie del versante) [t ha⁻¹ y⁻¹]
 R = Fattore di erosività della pioggia (misura l'aggressività degli eventi meteorici) [MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ y⁻¹]
 K = Fattore di erodibilità del suolo (dipende dalle sue proprietà fisico-chimiche) [t h MJ⁻¹ mm⁻¹]
 LS = Fattore topografico (esprime l'influenza di pendenza, S, e lunghezza, L, del versante sulla quantità di materiale eroso) [adimensionale]
 C = Fattore copertura del suolo (tiene conto dell'effetto antierosivo della copertura vegetale, dell'uso suolo e delle operazioni colturali effettuate stagionalmente) [adimensionale]

P = Fattore di pratica culturale o antierosiva (considera le azioni messe in atto per contrastare l'erosione) [adimensionale]

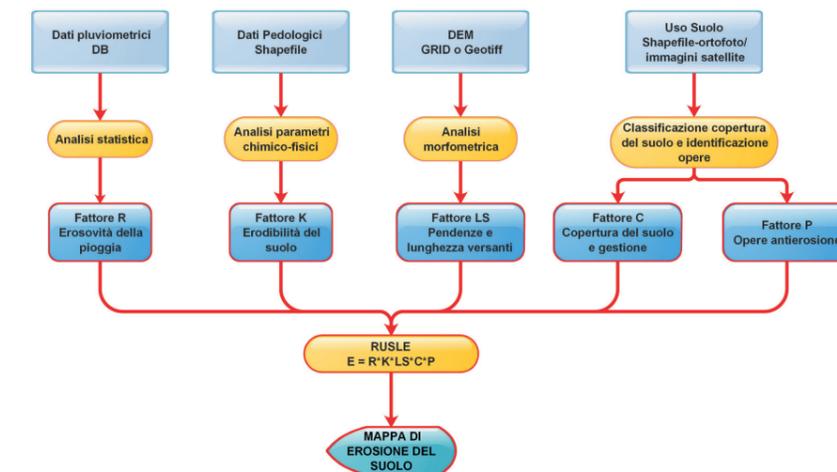


Fig. 2.28 - Diagramma di flusso della RUSLE.

In particolare il prodotto fra i fattori di erosività della pioggia e di erodibilità del suolo (R*K) esprime la potenziale erosione, dipendente sia dal clima che dal tipo di suolo, che si avrebbe su una particella standard di lunghezza 22.13 m, con pendenza pari al 9 %, priva di vegetazione e lavorata a rittochino, senza alcuna pratica antierosiva. Questo valore è successivamente modificato ed adeguato alla situazione specifica del versante, mediante le correzioni apportate dagli altri fattori (LS, P, C).

Le uscite di questo modello, RUSLE, sono spesso usate per stimare la quantità di suolo eroso, da utilizzare in input a modelli che simulano il *routing* dei sedimenti all'interno del bacino. Per la loro calibrazione e validazione nelle specifiche condizioni d'interesse, tuttavia, occorre disporre di adeguati sistemi di misura, che definiscano in modo sufficientemente preciso il comportamento del sistema nelle diverse condizioni meteo-climatiche e, in particolare, nel corso degli eventi meteo-idrologici più significativi.

Sistema Integrato per la Valutazione dell'Erosione (SIVE)

Il SIVE è un sistema di rilevamento automatico delle principali grandezze che intervengono nel processo erosivo, dotato sia di strumenti per la misura di grandezze meteorologiche, quali:

- intensità della pioggia
- Energia della pioggia
- Velocità del vento
- Temperatura e umidità dell'aria
- Radiazione solare globale

sia di strumenti per la stima delle condizioni del suolo e della quantità di materiale che, eroso dalla pioggia, raggiunge i corsi d'acqua, quali:

- Umidità del terreno
- Torbidità dell'acqua (torbidometro nefelometrico)
- Materiale solido trasportato (campionatore)
- Livello dell'acqua nel canale di raccolta

Per la misura dell'intensità della pioggia è utilizzato un pluviointensimetro, strumento in cui la misura non viene eseguita per quantità predefinite di pioggia, ma ad intervalli predefiniti di tempo. Il pluviointensimetro è uno strumento a microprocessore, in grado di misurare la quantità d'acqua precipitata nel range 0-4 mm min⁻¹, con una risoluzione di 0.03 mm min⁻¹ e una precisione di ± 0.03 mm min⁻¹ (Battista e al., 1991).

L'energia della pioggia viene invece rilevata mediante un impattometro (Fig. 2.29), strumento che misura l'energia raccolta su una superficie definita in un prestabilito intervallo di tempo. Le gocce urtando la superficie sensibile cedono la loro energia a questa, che a sua volta la trasmette a un trasduttore d'urto di tipo piezoelettrico, a cui è rigidamente vincolata. Il trasduttore fornisce un segnale di tensione proporzionale agli impulsi ricevuti istante per istante; la tensione erogata dal trasduttore è inviata a un modulo integratore, che produce una tensione proporzionale all'energia raccolta in un minuto (Battista et al., 1994a; Battista et al., 1994b).

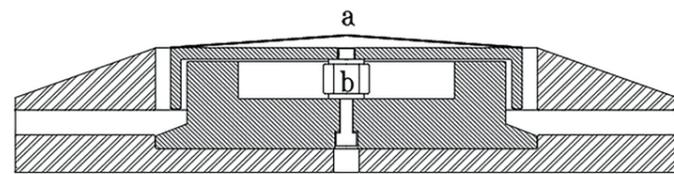


Fig. 2.29 - Sezione dell'impattometro: a, superficie sensibile; b, trasduttore d'urto.

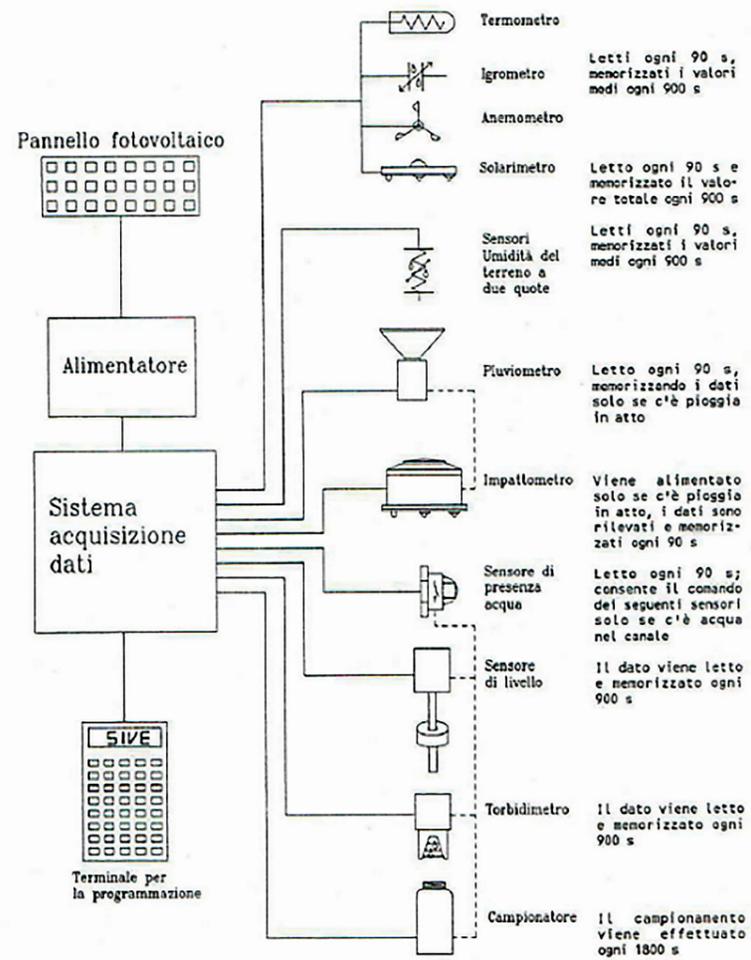


Fig. 2.30 - SIVE: schema a blocchi funzionali.

La stazione meteo-idrologica SIVE è normalmente "stand-by", cioè in attesa di un evento piovoso, e acquisisce i dati dei principali parametri meteorologici ad intervalli predefiniti, con la memorizzazione dei dati elaborati (medi o cumulati) ogni 15 minuti. In presenza di pioggia, il sistema abilita la misura dell'energia cinetica delle gocce, mentre nel momento in cui il livello d'acqua nel canale supera un minimo valore di soglia, vengono attivati il torbidimetro e il campionatore, acquisendone i dati con la frequenza preimpostata (Fig. 2.30).

Caratterizzazione idraulica della sezione di misura nel bacino del Sinigiola

La caratterizzazione idraulica è stata effettuata attraverso la determinazione delle velocità in alveo del liquido di deflusso, tramite un reometro, in tre sezioni di riferimento. Unitamente alla determinazione delle velocità è stata caratterizzata la sezione invasata per i vari livelli raggiunti durante l'evento (Conese et al., 2002).

La contemporaneità delle misure di tutti i parametri rilevati consente di utilizzare i dati sia per avere una quantificazione diretta dell'erosione sia per legare i dati meteorologici, mediante opportune correlazioni, alla quantità di suolo eroso e ottenere una valutazione complessivamente attendibile dell'erosione a scala di bacino. Nei grafici seguenti sono mostrati alcuni esempi dell'andamento di parametri registrati dal SIVE nel corso di un evento: intensità ed energia della pioggia (Fig. 2.31); torbidità e livello dell'acqua (Fig. 2.32); composizione granulometrica del trasportato nel corso di un singolo evento (Fig. 2.33).

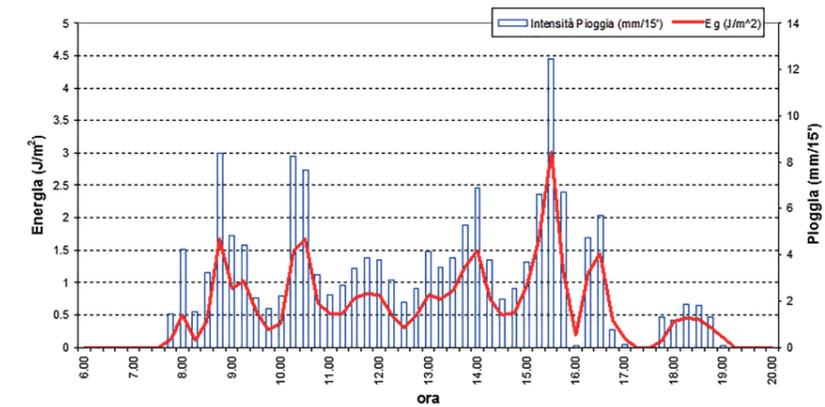


Fig. 2.31 - Andamento dell'intensità e dell'energia della pioggia nel corso di un singolo evento.

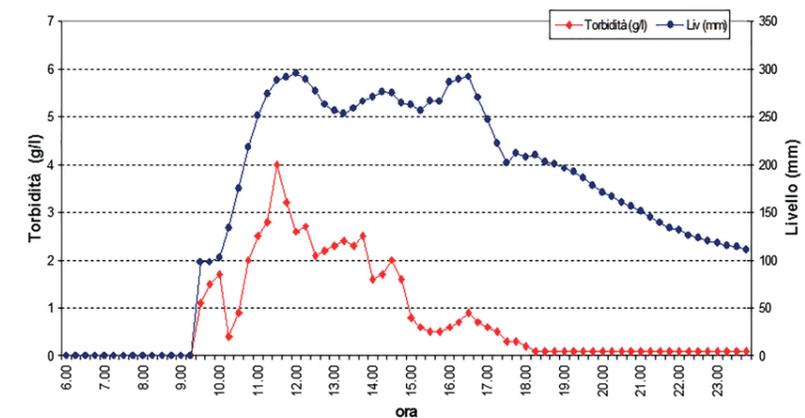


Fig. 2.32 - Andamento del livello e della torbidità dell'acqua nel corso di un singolo evento.

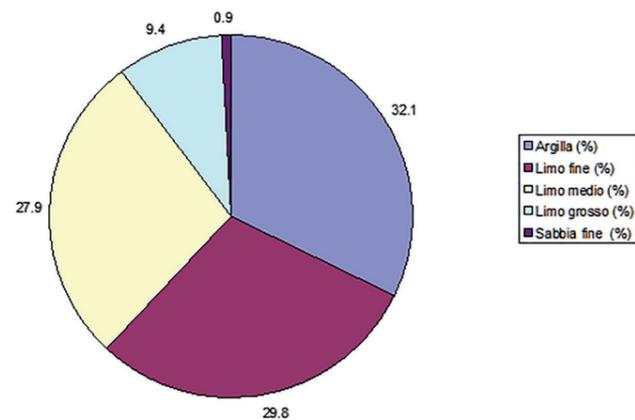


Fig. 2.33 - Composizione granulometrica del trasportato nel corso di un singolo evento.

2.3.3 RISULTATI E DISCUSSIONI

Nel periodo di attività del progetto Medalus sono stati monitorati 45 eventi di deflusso del torrente Sinigiola (AR), con l'acquisizione di circa 700 campioni di torbidità (Conese et al., 2002). L'analisi dei dati ha permesso di definire le portate e i trasporti solidi verificatisi per ogni singolo episodio, mettendo in evidenza che il trasporto in sospensione è rilevante solo nei casi di deflusso che supera una certa consistenza. Infatti, se prendiamo eventi con valori di portata di picco superiore ai $7 \text{ m}^3/\text{s}$, che rappresentano circa il 25 % del totale degli eventi, il loro contributo al deflusso liquido totale e al trasporto solido è rispettivamente di circa il 70 % e il 90 %. Se consideriamo invece gli eventi con portata di picco superiore a $10 \text{ m}^3/\text{s}$, che rappresentano soltanto il 14 % degli eventi monitorati, a fronte di un decremento considerevole della percentuale di deflusso liquido totale, che scende al 50 %, la percentuale di trasporto solido rimane su valori elevati (circa 80 %).

Utilizzando i dati raccolti dalla stazione SIVE, per ogni evento, è stato possibile calcolare i volumi del materiale depositato e del corrispondente suolo eroso. Le analisi di laboratorio effettuate hanno permesso di determinare il peso medio dell'unità di volume del materiale sedimentato, pari a 1.38 t/m^3 . Per il peso specifico apparente del suolo è stato utilizzato un valore di 1.6 t/m^3 , quale valore medio dei campioni di coltre di terreno analizzati. Il calcolo del volume di suolo eroso, ha permesso di stimare l'erosione superficiale, espressa in mm. Dai dati acquisiti si può stimare che, a fronte di un trasporto solido annuo di 16495 t, a cui corrisponde un volume di 11953 m^3 , l'asportazione annua relativa al suolo è stata di 10.802 t/ha , equivalente ad uno spessore medio sull'intera superficie del bacino di 0.7 mm .

A titolo d'esempio, in tabella 2.6 sono mostrati i dati caratterizzanti di quattro eventi significativi, quali intensità massima e durata della pioggia, pioggia totale, portata massima e deflusso, trasporto solido, ecc.. È interessante osservare che gli eventi piovosi più importanti sono responsabili della stragrande maggioranza del trasporto annuale; nel corso di un singolo evento si può arrivare a perdere oltre il 70 % del suolo eroso in un intero anno (Tab. 2.6, evento II).

Tra i diversi parametri, l'intensità della pioggia gioca un ruolo fondamentale, tanto da essere progressivamente entrata a far parte dei parametri comunemente monitorati a livello idrologico. Prendendo in esame eventi pluviometrici simili dal punto di vista della quantità di acqua precipitata, circa 80 mm (Tab. 2.6: eventi II e III), si osservi come questi possano generare differenze significative nel trasporto di materiale solido (1790 t vs 45784 t ; Fig. 2.34), riconducibili in larga misura alle differenze d'intensità della pioggia (11.3 m/s vs 55.5 m/s). Lo stesso si può dire dal confronto degli eventi I e IV di tabella 2.6: a un evento piovoso di maggior durata e importo totale (44 mm vs 31.5 mm), ma con un'intensità molto inferiore (circa il 50 % in meno) corrisponde un trasporto solido nettamente inferiore (950 t vs 5233 t ; Fig. 2.34).

Parametro	I	II	III	IV
Durata dell'evento piovoso (h)	27	20	17	10.30
Pioggia totale (mm)	44.0	79.9	83.2	31.5
Intensità massima (mm/h)	12.4	11.3	55.5	26.1
Altezza massima al colmo (mm)	410	558	1356	434
Velocità massima stimata (m/s)	3.2	4.0	8.7	3.1
Portata massima (m^3/s)	16.8	27.5	152.5	16.3
Deflusso totale (m^3)	590574	1294943	1238100	469418
Trasporto solido totale (t)	950	11790	45784	5233
Suolo eroso (t/ha)	0.622	7.721		

Tab. 2.6 – Dati sintetici estratti dalla stazione di monitoraggio SIVE in occasione di quattro eventi significativi registrati sul bacino del fiume Sinigiola (AR).

Tutto ciò, deve essere messo in relazione anche alle condizioni del suolo, tenendo presente che molti fattori subiscono importanti cambiamenti nel corso delle stagioni (uso, copertura vegetale, umidità, ecc.), giustificando differenze importanti nell'impatto complessivo di un evento piovoso sul sistema osservato e sul processo erosivo a seconda del periodo dell'anno nel quale si verifica.

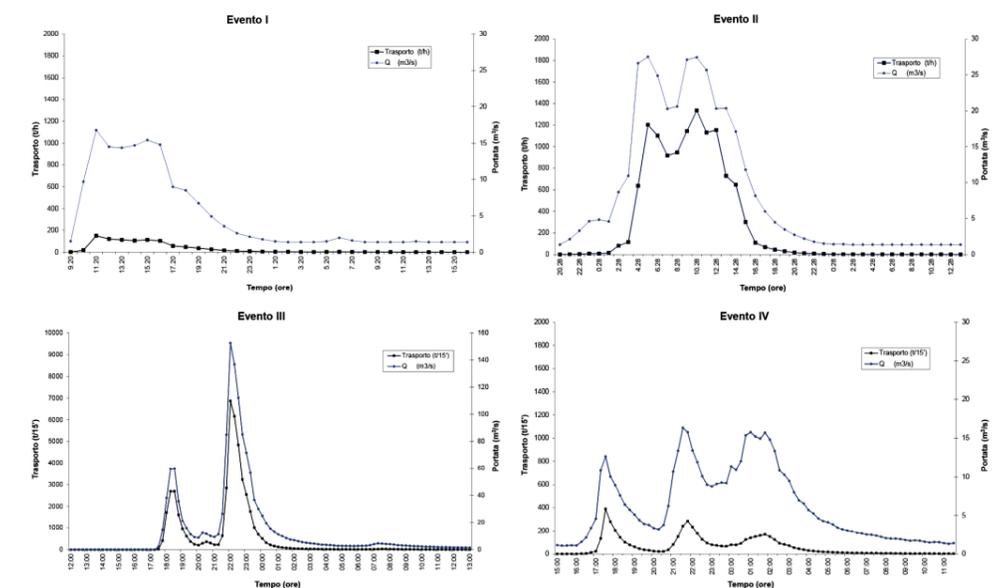


Fig. 2.34 - Andamento della portata Q e del Trasporto solido relativi agli eventi I, II, III, IV.

I dati raccolti dalla stazione SIVE sono stati quindi usati per calibrare i modelli matematici implementati nel Sistema Informativo Geografico (Fig. 2.35), giungendo a valutazioni di grande interesse operativo sulla quantità di terra erosa in funzione delle caratteristiche dell'evento meteorologico e delle condizioni a terra (copertura vegetale, umidità del suolo, ecc.), con effetti sulle dinamiche di riempimento dell'invaso di Montedoglio. Dal punto di vista più generale, è stato anche possibile individuare metodologie operative integrate (rilevamenti diretti + immagini satellitari (LANDSAT TM) + analisi geostatistiche) per la definizione di alcuni parametri richiesti dai modelli idrologici, come RUSLE e ANSWERS.

Queste procedure si sono rivelate in grado di correggere le tradizionali stime di erosione, richieste ad esempio per la valutazione dei tempi di interramento degli invasi e la programmazione degli interventi di manutenzione. L'errore stimato nelle valutazioni quantitative è stato contenuto entro il range 10 ÷ 20 %, a seconda del livello di accuratezza dei dati forniti in ingresso ai modelli e

Alta Val Tiberina (AR)

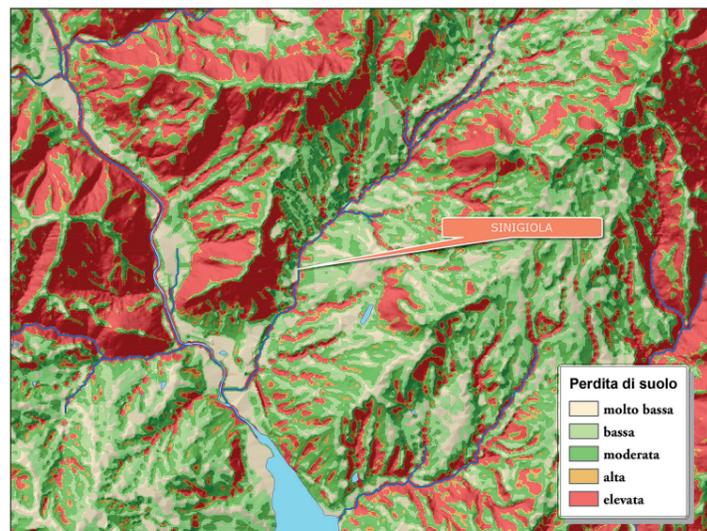


Fig. 2.35 - Stima della perdita di suolo (Alta Val Tiberina).
dei rilevamenti utilizzati per la loro calibrazione.

2.3.4 CONCLUSIONI

La disponibilità di misure dirette del materiale trasportato tramite il monitoraggio dei corsi d'acqua, permette di stabilire con sufficiente precisione le dinamiche degli eventi utili a definire le esigenze manutentive, e al tempo stesso di comprendere su quali elementi del territorio sia possibile intervenire per ridurre i fenomeni erosivi e la perdita di fertilità del terreno. La raccolta di dati nel corso degli eventi meteo-idrologici più significativi permette, inoltre, di calibrare e validare i modelli per la stima dell'erosione, per analisi di tipo puntuale sempre più precise e affidabili, anche grazie all'integrazione con dati di *remote sensing*.

Le problematiche evidenziate pongono in risalto l'importanza di disporre di reti di monitoraggio che permettano di tenere costantemente sotto controllo gli elementi di rischio e i fenomeni di dissesto, partendo da una puntuale caratterizzazione del territorio e dei suoi elementi, per stabilire quali siano le dinamiche in atto e le priorità da dare agli interventi di salvaguardia del territorio. I dati acquisiti possono essere utilizzati per rispondere ad esigenze diverse, incluse quelle di:

- Qualificazione dell'apporto idrico;
- Stima del trasporto liquido;

- Stima dell'erosione;
- Valutazione dei sedimenti;
- Determinazione dell'impatto dei cambiamenti climatici su sistemi sensibili.

L'utilizzo di modelli idrologici per la stima dei processi erosivi all'interno di GIS, ha messo in evidenza l'importanza dell'uso integrato di varie tipologie di dati provenienti da reti di monitoraggio, campagne di misura idrologiche e Remote Sensing, per una corretta quantificazione dell'asportazione di suolo a livello di bacino, da utilizzare sia in fase di progettazione delle grandi opere sia in fase di pianificazione degli interventi manutentivi.

2.3.5 BIBLIOGRAFIA

- Battista P., Benincasa F., Fasano G., Materassi A. (1992). *SIVE: Sistema Integrato per la Valutazione dell'Erosione*. Atti del II Convegno Nazionale "Informatica e Agricoltura", Firenze, 17-18 dicembre 1992, p. 641-650. Supplemento agli Atti dei Georgofili, VII serie Vol. XXXIX.
- Battista P., Benincasa F., Fasano G. (1991). *Progetto e realizzazione di un Pluviointensimetro: misuratore dell'intensità della pioggia*. Rivista di Ingegneria Agraria, Anno XXII, 1: 24-29.
- Battista P., F. Benincasa F., Materassi A (1994a). *Progetto e realizzazione di un impattometro a microprocessore*. Rivista di Ingegneria Agraria, Anno XXV, 1: 27-33.
- Battista P., Benincasa F., Duce P., Materassi A. (1994b). *Design and construction of a microprocessor Impactometer*. Proceedings of Conference "Land use and soil degradation: MEDALUS in Sardinia", Sassari, 25 maggio 1994, (eds) G. Enne, A. Aru and G. Pulina, Università di Sassari, pp. 169-179.
- Beasley D.B., Huggins L.F. (1981). ANSWERS- Users Manual. EPA-905/9-82-001, U.S. EPA, Region V, Chicago, IL, USA
- Benincasa F., Battista P., Bullitta P., Duce P., Gabiani G., Spano D., Fasano F., Materassi A., Petretto S. (1996). *Mediterranean Desertification and Land Use: Phase Two 1993-1995*. Abruzzo Region: Instrumentation. MEDALUS II Project 4 (Contract EV5V-CT92-0166): Research and Policy Interfacing in Selected Regions, (ed.) J.B. Thornes, pp. 643- 683.
- Bini C., Del Sette M., Fastelli C. (1982). *Lineamenti ambientali e pedologici dell'Alta Valtiberina*. Ecologia Agraria 18 (1): 1-55.
- Cencetti C., De Rosa P., Fredduzzi A, Marchesini I. (2005). *Erosione dei suoli: applicazioni tramite il software GRASS GIS*. Giornale di Geologia Applicata 2: 196 - 202. doi: 10.1474/GGA.2005-02.0-28.0054
- Conese C., Del Gaia F., Roberti S. (2002). *Monitoraggio dei corsi d'acqua a carattere torrentizio e stima del trasporto solido. Studio metodologico di acquisizione ed elaborazione dati fisici e territoriali. Parte seconda*. Inquinamento (Milano), Volume XLIV (42): 50- 54.
- Mitasova H., Hofierka J., Iverson R. (1996). *Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS*. Journal of Geographics Information Science 10: 629- 641.
- Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K., Yoder D.C. (Coords.) (1997). *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. USDA Agric. Handb. 703. USDA, Washington, DC.
- Viciani D., Gabellini A., Gonnelli V., De Dominicis V. (2002). *La vegetazione della Riserva Naturale Alta Valle del Tevere – Monte Nero (Arezzo, Toscana) ed i suoi aspetti di interesse botanico-conservazionistico*. Atti Soc. tosc. Sci. nat. Mem., Serie B, 109: 11- 25.
- Young R.A., Onstad C.A., Bosch D.D. (1987). *AGPNS: An agricultural nonpoint source pollution model: a watershed analysis tool*. USDA Conservation Research Report 35.

2.4

VALUTAZIONE DEL RISCHIO D'INCENDIO BOSCHIVO

Bonora L.⁽¹⁾, Conese C.⁽¹⁾, Marchi E.⁽²⁾, Romani M.⁽¹⁾, Tesi E.⁽²⁾

¹ CNR-Istituto di Biometeorologia, via Madonna del Piano 10, Sesto Fiorentino (FI)

² Università degli Studi di Firenze - GESAAF, Firenze

2.4.1 INTRODUZIONE

Il rischio d'incendio boschivo viene valutato tramite sistemi modellistici integrati, che basano le proprie analisi su dati statici (morfologia, uso suolo, ecc.) e dati dinamici (condizioni meteorologiche, stato della vegetazione, ecc.) messi a disposizione dai sistemi di monitoraggio e osservazione della terra, disponibili a livello regionale (Chuvieco et al., 1999; San-Miguel-Ayanz, 2002; San-Miguel-Ayanz et al., 2003). La valutazione del rischio viene quindi effettuata tenendo conto di tutti i fattori che possono favorire lo sviluppo dell'incendio e il suo comportamento, allo scopo di dare indicazioni operative al Servizio Antincendio Boschivo e ai decisori della protezione civile (Sebastián-López et al., 2000).

L'Istituto di Biometeorologia del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IBIMET) e il Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agrari, Alimentari e Forestali (GESAAF) dell'Università degli Studi di Firenze, hanno sviluppato un modello per la valutazione del rischio in grado di tener conto dei vincoli gestionali e operativi, attraverso l'espletamento di diversi passaggi logico-funzionali. Il modello, denominato Final Risk Index (FRI), è il risultato della combinazione di due indici sviluppati separatamente, il Global Risk Index (GRI- IBIMET) e l'Operational Difficulty Index in Fire Fighting (ODIF- GESAAF). L'indice GRI effettua una classificazione del rischio d'innescamento, tramite un'analisi degli elementi del territorio (vegetazione, morfologia e infrastrutture) e delle condizioni meteo-climatiche (Conese et al., 2004). Il secondo indice (ODIF) fornisce invece informazioni legate alla difficoltà di lotta e di estinzione dell'incendio, prendendo in esame variabili infrastrutturali e morfologiche, risorse e apparati a disposizione del Servizio Antincendio Boschivo (Marchi et al., 2006a).

Nel complesso la metodologia messa a punto consente di trasmettere ai decisori una classificazione completa del rischio d'incendio sul territorio regionale, indicando lo stato dei principali fattori (sociali e antropici, infrastrutturali, intrinseci e dinamici), per una maggiore consapevolezza nell'organizzazione delle attività di prevenzione e lotta (Fig. 2.36). La valutazione complessiva del rischio è data quindi da uno specifico indice (FRI- Final Risk Index), che riunisce in sé i due indici precedenti, GRI e ODIF, che rimangono a disposizione degli esperti, come indici intermedi. Il modello può essere utilizzato per ricevere informazioni a qualsiasi scala spaziale e temporale, dal quotidiano allo stagionale, con risoluzioni spaziali che possono giungere a valori inferiori ai 10 x 10 m.

Gli elementi statici e dinamici sono integrati da valutazioni sulla componente sociale, derivante dall'analisi statistica dei punti di accensione e delle condizioni di sviluppo. Dall'elaborazione matematica di questi dati si ottiene una stima della probabilità di innescamento di un incendio in una determinata zona, da mettere poi in relazione con i fattori che influenzano le attività delle squadre antincendio e dei mezzi aerei. La rete stradale, la distribuzione punti d'acqua, i tipi di motore e la consistenza delle squadre d'intervento sono elementi valutati dal modello per stimare l'efficienza dell'organizzazione di prevenzione e lotta all'interno di ciascuna area regionale, giungendo a dare indicazione sulla possibile efficacia di eventuali interventi.

La varietà di condizioni del territorio toscano, legata alla sua posizione geografica e morfologia, comporta la presenza di un rischio reale d'incendio boschivo durante tutto l'anno, con maggiore incidenza nel periodo estivo al centro-sud (Maremma) e in quello invernale al nord (Appennino).

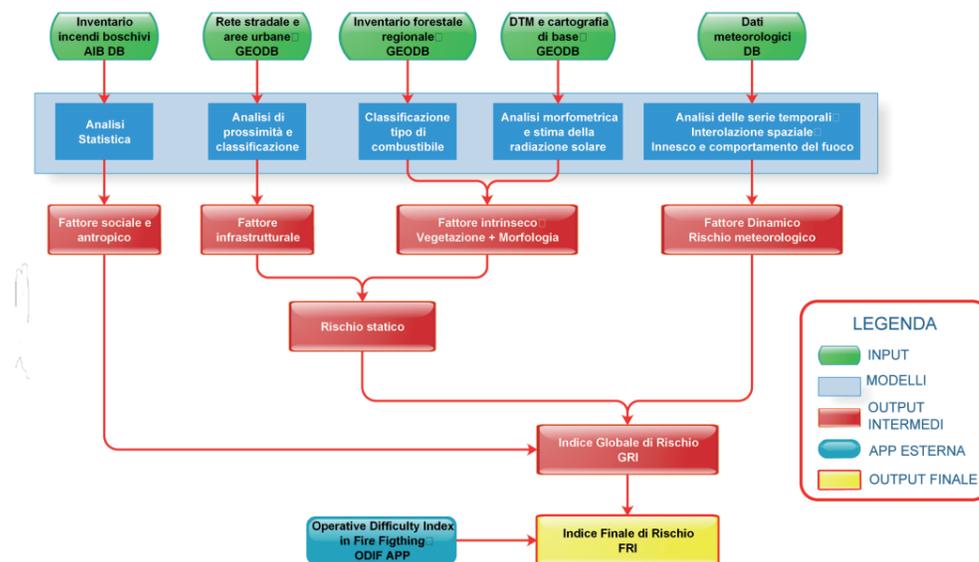


Fig. 2.36 - Schema del modello di rischio incendio boschivo.

2.4.2 LA STRUTTURA DEL GLOBAL RISK INDEX (GRI)

L'insorgenza e la propagazione di un incendio boschivo sono spesso riconducibili a condizioni molto specifiche, risultanti dalla combinazione di diversi fattori, che si possono presentare in maniera non omogenea sul territorio e, spesso, variare nel corso di una medesima giornata.

Pur essendo stato studiato per le caratteristiche della Regione Toscana, a partire dai dati storici raccolti nel corso degli ultimi 30 anni, il modello di rischio di incendio Global Risk Index (GRI) è stato concepito in modo da poter essere adattato a condizioni operative diverse e, se necessario, integrato con l'aggiunta di altri piani informativi. La struttura piramidale, scelta dagli esperti, è comune a quella di altri modelli utilizzati a livello operativo in varie parti del mondo, ed ha il vantaggio di rendere esplicito il peso e il ruolo dei diversi fattori che entrano nella valutazione. I dati in ingresso, previsti dal modello sono:

- **DTM** – modello digitale del terreno con risoluzione 10 m, fornito dalla Regione Toscana in formato ASCII Esri griglia.
- **Inventario Forestale Regionale (IFT)** – disponibile in formato *shapefile*. È stato realizzato tramite campagne di rilevamento in campo, utilizzando come superficie di riferimento aree quadrate di 400 x 400 m; ogni poligono è messo in relazione con le tabelle di attributi, nelle quali sono riportate il tipo e la percentuale della copertura del suolo.
- **Rete stradale e aree urbane** – sono utilizzate per valutare la componente sociale in rapporto con i punti di accensione.
- **Dati meteorologici** – sono forniti dalla rete meteorologica regionale (temperatura e umidità dell'aria, velocità e direzione del vento, radiazione solare globale ed eliofania).
- **Database forestale regionale antincendio (AIB)** – contiene le coordinate geografiche dei punti di accensione, la superficie bruciata, il tipo di foresta, la durata dell'incendio, il numero di operatori, i mezzi di terra e gli aerei disponibili.

Rischio statico

Questo indice definisce il rischio d'incendio sulla base di fattori che possono essere considerati stabili o non significativamente variabili per periodi di tempo prolungati, almeno un anno. Tali fattori possono essere distinti in "intrinseci", comprendenti le caratteristiche topografiche, l'uso del suolo e la vegetazione, e "infrastrutturali", connessi con le attività umane, come la presenza di edifici, centri abitati, strade, ecc..

Il **Rischio Intrinseco** si ottiene considerando le caratteristiche morfologiche come la topografia (pendenza ed esposizione), l'uso del suolo e la copertura vegetale, grandezze che possono essere considerate stabili nel tempo e nello spazio. È noto come la pendenza influenzi la propagazione e la diffusione di un incendio attraverso il rotolamento verso valle di materiale incendiato e renda la diffusione dell'incendio più facile a causa del contatto di gran parte delle chiome degli alberi nella zona in pendenza. Il fattore esposizione influenza invece lo stress idrico della vegetazione. Normalmente la parte rivolta a sud ha radiazione solare e temperatura più alta rispetto alla parte che guarda a nord. Sulla base delle caratteristiche dell'area di studio e secondo i risultati dell'analisi del database relativo agli incendi boschivi, sono state individuate 5 classi di rischio relativo (Tab. 2.7), per ciascuna delle quali il sistema associa un valore predefinito, che può essere adattato alle reali condizioni locali.

Pendenza	Classe di rischio	Esposizione
> 45%	Molto alto	S - SW
25 - 45%	Alto	W
15 - 25%	Moderato	SE
5 - 15 %	Basso	E
< 5%	Molto basso	Zone pianeggianti-N-NE -N-NW

Tab. 2.7 - Classi di rischio relativo

Dopo aver definito la classe di appartenenza, le grandezze pendenza ed esposizione sono quindi pesate diversamente nel Rischio Morfologico, mediante l'introduzione di due coefficienti:

$$\text{Rischio Morfologico} = (\text{Pendenza} * 0.6) + (\text{Esposizione} * 0.4)$$

La definizione del livello di rischio legato a ciascuna grandezza è determinato, ancora una volta, su base statistica, dall'analisi degli eventi storici registrati dal servizio Antincendio Boschivo della Regione Toscana (AIB) e prende in considerazione anche la distribuzione della vegetazione e la complessità della morfologia a livello Regionale.

Tra i rischi intrinseci presi in considerazione vi è anche quello legato all'influenza della vegetazione sull'innescio dell'incendio e alle dinamiche del suo successivo comportamento (sviluppo e propagazione). Nell'attuale versione del modello, questa componente è valutata sulla base dell'analisi dello stato della vegetazione relativo allo stadio fisiologico delle piante nelle diverse stagioni (presenza/ assenza di foglie, quiescenza, ripresa vegetativa, piena attività metabolica, vigore, ecc.). Le evoluzioni a breve termine dello stato della vegetazione sono considerate pesando e prendendo in considerazione i fattori meteorologici nel rischio dinamico.

Sono definiti diversi tipi di copertura del suolo attraverso la riclassificazione dell'Inventario Forestale Regionale sulla base delle classi di copertura del suolo CORINE (Commissione Europea, 1994). Le tipologie di vegetazione previste nel modello sono quattro (aree antropiche, aree agricole, aree forestali e zone umide), ciascuna delle quali è suddivisa in sottoclassi, per consentire una caratterizzazione più precisa del territorio. I cambiamenti dei livelli di rischio legati allo stato della vegetazione sono tali da richiedere la definizione di classi diverse da una stagione all'altra e, quindi, la realizzazione di mappe stagionali, che tengano conto dell'evoluzione di ciascuna classe nel periodo considerato. Queste classi, definite sulla base di dati sperimentali, sono considerate rappresentative di condizioni medie e possono, pertanto, essere modificate in base a rilevamenti diretti, al fine di migliorare la fedeltà delle simulazioni alle condizioni reali del territorio.

Definite le classi di rischio legate alla vegetazione, l'Indice di Rischio Intrinseco può essere stimato mediante una somma pesata del Rischio Morfologico e di quello Vegetazionale, mediante l'equazione:

$$\text{Rischio Intrinseco} = (\text{Rischio Vegetazionale} * 0.6) + (\text{Rischio Morfologico} * 0.4)$$

Anche in questo caso i pesi indicati sono relativi a valutazioni medie rilevate sul territorio regionale, legate anche all'esperienza degli esperti del personale dell'AIB regionale.

Il **Rischio Infrastrutturale** è ottenuto considerando le aree urbane e i collegamenti stradali, valutati, rispettivamente, in base alla distanza del punto in esame rispetto all'area urbana e alla densità di strade per chilometro quadrato. Questi elementi sono interessanti perché in Toscana più del 98 % degli incendi si origina da attività antropiche (incidenti o azioni criminali) e statisticamente la vicinanza ai centri urbani e la presenza di strade rappresentano importanti elementi di rischio (Regione Toscana, 2004). Per il calcolo dei due fattori "centri abitati" e "rete stradale" è utilizzata una funzione denominata Density, che assegna a ciascun punto un livello di rischio diverso in funzione della distanza dall'elemento di rischio (centro abitato o strada) (Jenks et al., 1971). Il Rischio infrastrutturale è quindi ottenuto mediante la seguente relazione:

$$\text{Rischio Infrastrutturale} = (\text{fattore rete stradale} * 0.6) + (\text{fattore centri abitati} * 0.4)$$

La somma pesata dei due rischi (Intrinseco e Infrastrutturale), permette di ottenere il Rischio Statico di Incendio, ove i pesi sono determinati, per l'area in esame, sulla base di considerazioni di tipo statistico (Fig. 2.37).

$$\text{Rischio Statico} = (\text{Rischio Intrinseco} * 0.6) + (\text{Rischio Infrastrutturale} * 0.4)$$

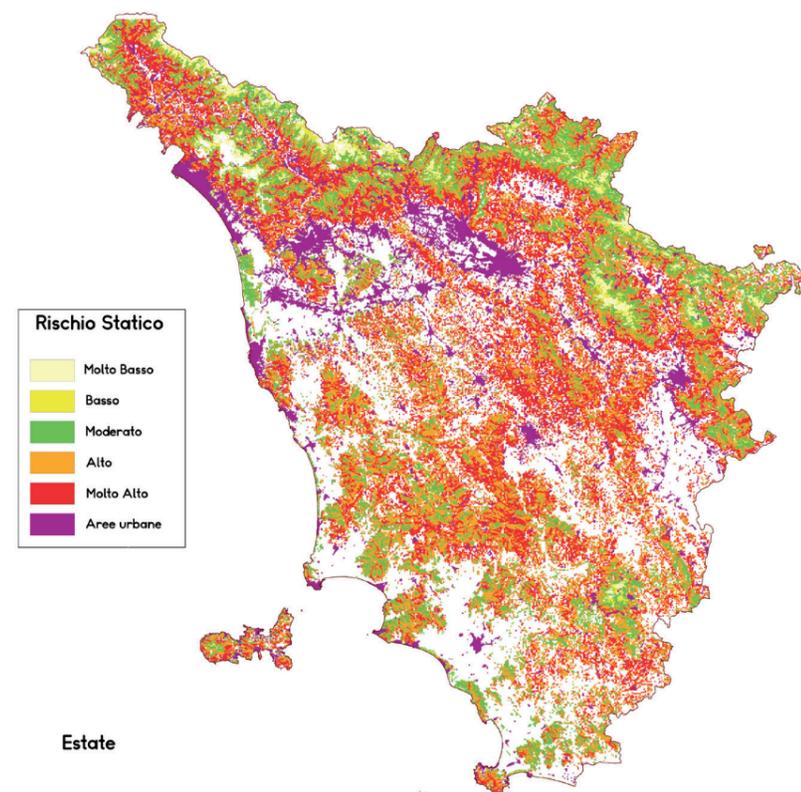


Fig. 2.37 - Mappa Rischio Statico relativa al periodo estivo.

Rischio Dinamico

Le grandezze principali che determinano variazioni a breve termine dei livelli di rischio d'incendio sono sostanzialmente di tipo meteorologico e ambientale (stato della vegetazione) e sono direttamente connesse con l'insorgenza e la propagazione dell'incendio boschivo. È noto che la vegetazione è molto più suscettibile alla combustione quando è più asciutta. La quantificazione del contenuto d'acqua della vegetazione locale è uno dei parametri più difficili da ottenere, ma una sua stima è possibile utilizzando le variabili meteorologiche (Viegas et al., 2000). Il sistema prevede il calcolo tramite due diversi modelli:

- *Meteorological Fire Hazard Index (MFHI)*: indice espressamente sviluppato per la Regione Toscana, ma esportabile in altri paesi del Mediterraneo.
- *Canadian Fire Weather Index (CFWI)*: indice tra i più affidabili e utilizzati a livello mondiale.

Meteorological Fire Hazard Index (MFHI)

I parametri meteorologici utilizzati dall'indice MFHI per la valutazione del rischio sono:

- **Temperatura massima** – temperature elevate incidono sul tasso di evapotraspirazione, aumentando la velocità con la quale l'ambiente si asciuga e di conseguenza la possibilità che il materiale biologico prenda fuoco.
- **Precipitazioni** – influenzano il bilancio idrico dell'ecosistema forestale e lo stato della vegetazione. In condizioni meteorologiche stabili, il tasso evapotraspirativo è funzione della densità della vegetazione e della pioggia media.
- **Numero di Giorni Senza Piogge Significative (DSSR)** – un contatore iterativo indica il numero di giorni senza pioggia, fino al giorno desiderato. Per essere considerato piovoso, nel giorno devono essere stati registrati valori di pioggia pari al doppio della media stagionale di evapotraspirazione. Si osserva che incendi molto intensi possono verificarsi anche soltanto dopo 2 o 3 giorni dall'ultima pioggia.
- **Umidità relativa dell'aria** – l'umidità del materiale organico residuo (morto) va rapidamente in equilibrio con l'umidità atmosferica: tanto più bassa è l'umidità relativa, tanto maggiore è l'infiammabilità del combustibile.
- **Velocità del vento** - il vento ha un effetto meccanico, aumentando la velocità di propagazione del fuoco e la rapidità di essiccazione del combustibile.

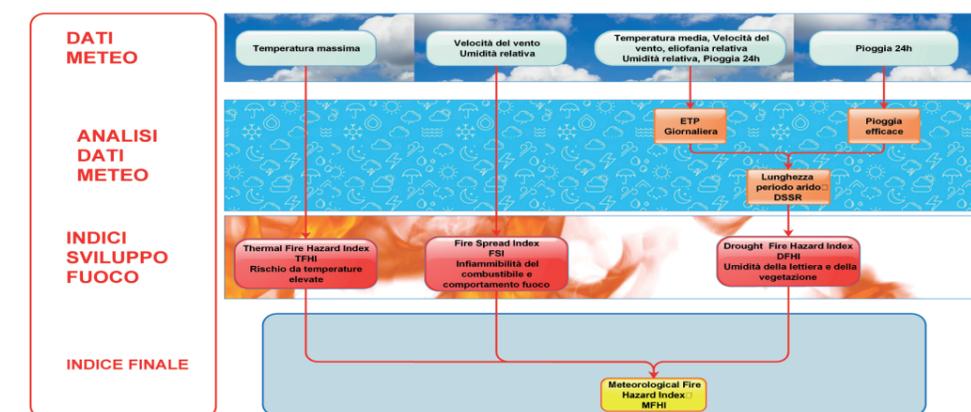


Fig. 2.38 - Schema del Meteorological Fire Hazard Index (MFHI).

Come mostrato nel diagramma di flusso (Fig. 2.38), l'indice MFHI prevede tre componenti principali:

- **Thermal Fire Hazard (TFHI)** – derivato dall'andamento delle temperature massime del periodo.
- **Fire Spread Index (FSI)** – espressione dell'infiammabilità del combustibile, dell'umidità relativa e della velocità del vento
- **Drought Fire Hazard (DFHI)** – funzione del grado di umidità dell'ambiente e del numero di giorni senza pioggia (DSSR).

$$\text{MFHI} = \text{TFHI} * \text{FSI} * \text{DFHI}$$

Per ciascuna classe dei principali parametri meteorologici è definito un peso, W, basato su considerazioni pratiche, derivate dal confronto con gli operatori del settore e dai dati storici, analizzati nel corso della fase di sviluppo del modello. I pesi prendono in considerazione l'influenza di ciascun parametro sul grado di infiammabilità del materiale organico secco (Tab. 2.8). Ad esempio, alti valori di umidità e/o un numero limitato di giorni non piovosi (RH > 60%; DSSR < 2) riducono fortemente il grado di infiammabilità, così come basse temperature e/o ridotta velocità del vento (Tmax < 26 °C; vento < 3 m/s) non favoriscono l'innescarsi dell'evento, anche se non lo impediscono. I valori dell'indice MFHI possono variare tra 0.025 e 180 e in questo range sono state individuate le sei classi di rischio riportate in tabella. 2.9.

Tmax °C	T ≤ 26	26 < T ≤ 30	T > 30
W_{Tmax}	1	2	3

RH %	RH > 60	40 < RH ≤ 60	20 < RH ≤ 40	RH ≤ 20
W_{RH}	0.5	1	2	4

Vento m/s	V ≤ 3	3 < V ≤ 11	V > 11
W_{vento}	1	2	3

DSSR	gg ≤ 2	2 < gg ≤ 4	4 < gg ≤ 12	gg > 12
W_{DSSR}	0.5	2.5	4	5

Tab. 2.8 - Classificazione dei pesi dei parametri meteorologici.

Indice MFHI	Rischio di incendio
0.025 ≤ MFHI < 1	Molto basso o nullo
1 ≤ MFHI < 4	Basso
4 ≤ MFHI < 18	Moderato
18 ≤ MFHI < 90	Alto
90 ≤ MFHI < 180	Molto Alto
MFHI = 180	Estremo

Tab. 2.9 - Classificazione del rischio di incendio secondo l'indice MFHI.

Il Canadian Forest Fire Weather Index (FWI)

Il Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) consiste di cinque componenti che concorrono nel determinare le condizioni di umidità del combustibile e la velocità del vento, al fine di valutarne gli effetti sul comportamento dell'incendio (Fig. 2.39). I primi tre componenti del modello sono codici ed espressioni numeriche del contenuto in acqua dei residui e del combustibile più facilmente infiammabile, inteso come umidità media degli strati organici superficiali, più o meno compattati. Gli altri due sono indici di comportamento del fuoco, dipendenti dal tasso di diffusione dell'incendio, dal carburante a disposizione e dall'intensità del fronte dell'incendio; i loro valori aumentano con l'incremento del livello di pericolosità dell'incendio.

- **Fine Fuel Moisture Code (FFMC)** – esprime il tipo di materiale o il combustibile presente; è un indicatore della facilità relativa d'innescio dell'incendio ed espressione dell'infiammabilità del materiale.
- **Duff Moisture Code (DMC)** – espressione dell'umidità del materiale organico depositato a terra in strati più o meno compatti, fino a profondità limitate e della quantità del materiale legnoso e delle sue dimensioni medie.

- **Drought Code (DC)** – indicatore dell'andamento stagionale e degli effetti di eventuali periodi siccitosi sul materiale forestale, tenendo conto di aspetti quantitativi, qualitativi e dimensionali.
- **Initial Spread Index (ISI)** – indice che esprime il tasso di diffusione atteso in caso d'incendio. Combina gli effetti del vento e del componente FFMC, senza tener conto dell'influenza della quantità di combustibile a disposizione.
- **Build Up Index (BUI)** – indice che rappresenta l'ammontare totale di combustibile disponibile, combina i componenti *Duff Moisture Code (DMC)* and *Drought Code (DC)*.

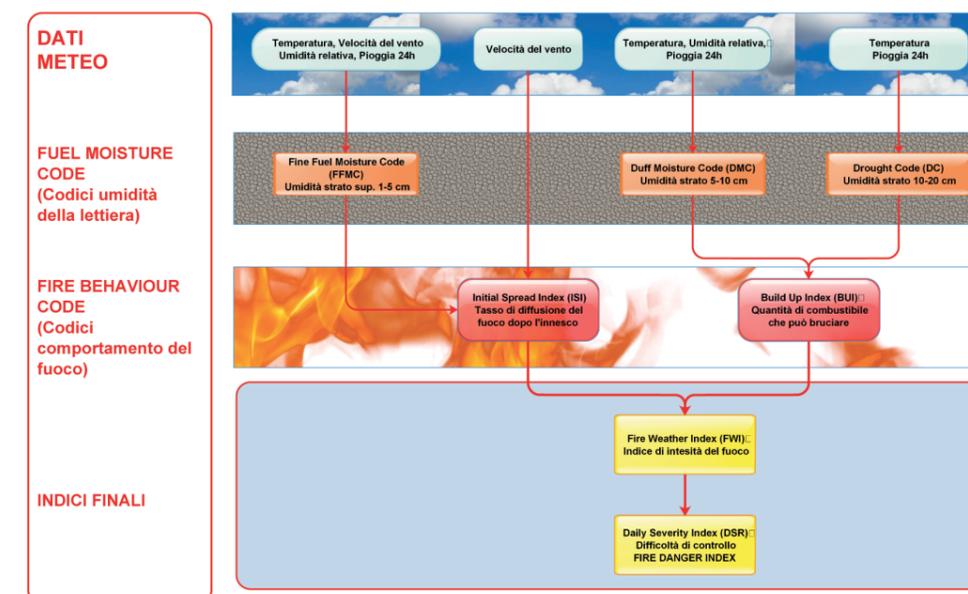


Fig. 2.39 - Schema del Canadian Fire Weather Index (CFWI).

Il **Fire Weather Index (FWI)**, indice dell'intensità dell'incendio e della pericolosità generale dell'incendio, è ottenuto quindi combinando l'*Initial Spread Index (ISI)* e il *Build Up Index (BUI)* (Tab. 2.10). In figura 2.40 sono riportati alcuni esempi di incendi e i relativi indici FWI.

Il **Daily Severity Rating (DSR)**, fornisce invece una misura della difficoltà di controllo dell'incendio, definito come la possibilità di contenere la pericolosità dell'evento, derivato direttamente dall'FWI mediante l'equazione:

$$DSR = 0.0272 \text{ FWI}^{1.77}$$

Classe di FWI	Valori	Tipo di fuoco	Rischio potenziale
Basso	0-5	Fuoco strisciante	Il fuoco si estingue da solo
Moderato	5-10	Fuoco di basso vigore	Si spenge facilmente con strumenti manuali
Alto	10-20	Fuoco moderatamente vigoroso	Sono necessari idranti con acqua in pressione
Molto alto	20-30	Fuoco molto intenso	Controllo difficile
Estremo	>30	Sviluppo di fuoco attivo	È indispensabile un'azione immediata e forte

Tab. 2.10 - Classificazione severità incendio secondo l'indice FWI.

In figura 2.41 sono riportati, a titolo di esempio, le mappe di rischio dinamico per la Regione Toscana calcolati rispettivamente con il *Meteorological Fire Hazard Index* (MFHI) e il *Canadian Fire Weather Index* (CFWI).



Fig. 2.40 - Esempi di incendi e relativi valori del Canadian Forest Fire Weather Index (CFWI).

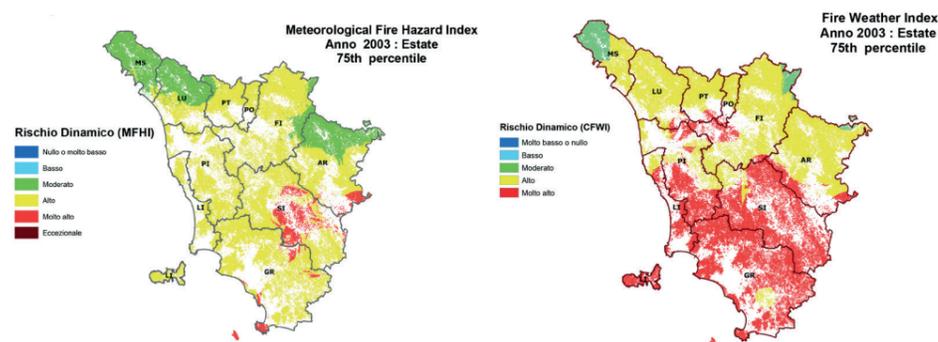


Fig. 2.41 - Esempio di mappe di rischio dinamico calcolato con i due modelli.

Global Risk Index (GRI)

Il rischio statico e quello dinamico sono combinati matematicamente per ottenere il *Global Risk Index* (Fig. 2.42), mediante l'equazione:

$$\text{Global Risk Index} = (\text{Rischio Statico} * 0.6) + (\text{Rischio Dinamico} * 0.4)$$

Il fattore moltiplicativo è maggiore per il rischio statico (0.6) perché le sue componenti (morfologia e vegetazione) forniscono un'immagine reale delle aree che sono stabili per un lungo periodo. Dall'altro canto, le componenti di rischio dinamico sono il risultato dell'elaborazione di dati misurati, che possono includere anche possibili errori. Il rischio finale è quindi visualizzato in formato raster con le classi di *Global Risk* espresse per ogni singolo pixel (Fig. 2.42).

2.4.3 LA STRUTTURA DELL'OPERATIONAL DIFFICULTY INDEX IN FIRE FIGHTING (ODIF)

L'indice ODIF valuta la difficoltà di portare efficaci azioni di lotta/contrasto all'incendio boschivo, secondo quanto stabilito dai protocolli regionali e sulla base dei metodi e delle tattiche adottate dal servizio AIB (Marchi et al., 2006a; Marchi et al., 2006b). Il primo fattore da prendere in esame è rappresentato dall'efficienza dell'attacco iniziale, determinato dalla distanza media da percorrere per

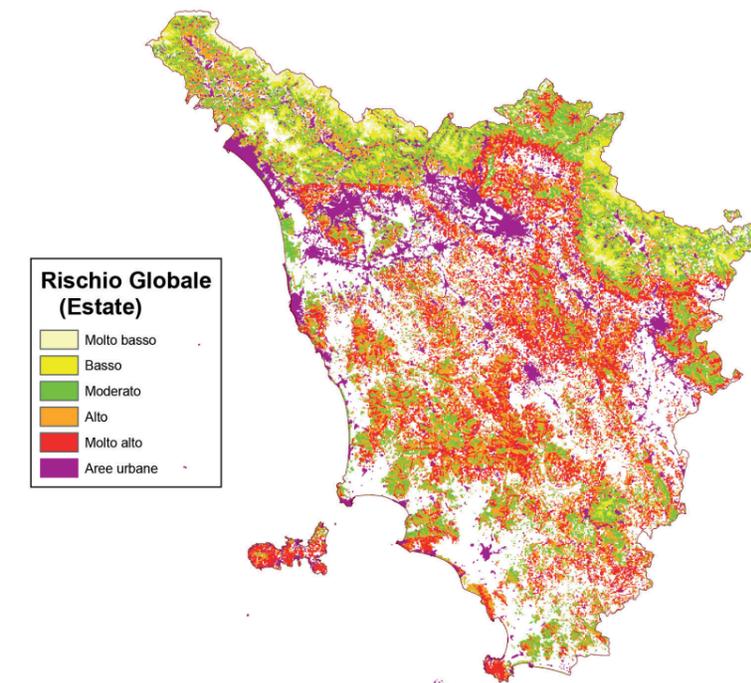


Fig. 2.42 - Mappa Rischio Globale relativa al periodo estivo.

raggiungere le aree incendiate. I parametri utilizzati sono:

- **Vehicles access distance** (VAD) – distanza tra la strada più vicina all'area in cui avviene l'incendio e la più vicina base dei gruppi antincendio.
- **Helicopter access distance** (EAD) – distanza tra la base degli elicotteri più vicina e l'area in cui può avvenire l'incendio.

In entrambi i casi, il livello di difficoltà è considerato direttamente proporzionale alla distanza: maggiore è la distanza, maggiore il tempo che intercorre per raggiungere l'area in cui può svilupparsi un incendio (attacco iniziale) e, quindi, maggiore è il livello di difficoltà applicato nel modello (Tab. 2.11). Altre variabili sono utilizzate per descrivere le eventuali difficoltà operative:

- **Firefighters Operational Difficulty** (FOD) – l'efficacia delle squadre antincendio dipende sia dalla distanza necessaria per raggiungere la linea del fuoco dalla strada più vicina, sia dalla pendenza del terreno (Bovio, 1993). Anche in questo caso, a difficoltà operative crescenti corrispondono valori più alti dell'indice (Tab. 2.11). Per la determinazione dei livelli di difficoltà, sono utilizzati i tempi di percorrenza, ipotizzando che le squadre antincendio, provviste dei necessari strumenti di lotta, possano muoversi su un terreno pianeggiante ad una velocità di 4 km/h e coprire un dislivello di 400 m/h su un terreno ripido (Hippoliti, 2003). La presenza di ostacoli, come corsi d'acqua, che si interpongono tra la strada e il fronte del fuoco, implicano l'assegnazione del valore massimo di FOD.
- **Vehicle supply distance** (VSD) – distanza tra la strada percorribile dai mezzi di lotta prossimo al fronte dell'incendio e il punto di prelievo idrico più vicino. Maggiore è la distanza, maggiore il tempo necessario per riempire i serbatoi d'acqua, maggiore è il livello di difficoltà applicato nel modello (Tab. 2.11). Per determinare il livello di difficoltà si assume che tale distanza non debba eccedere i 4 km, come indicato dal Piano Operativo di Lotta agli incendi Boschivi della Regione Toscana (Regione Toscana, 2004).
- **Helicopter supply distance** (ESD) – distanza tra un'area a rischio d'incendio e il punto di prelievo idrico più vicino adatto al prelievo da elicottero (Tab. 2.11). La distanza massima

ammessa, in questo caso, è di 6 km, per garantire un minimo di efficienza operativa, mentre l'efficienza è considerata massima per distanze inferiori ai 2 km (Hunt, 1986; Regione Toscana, 2004).

Le informazioni di base richieste dal modello di rischio per le valutazioni sono quelle contenute nel Modello Digitale del Terreno (10 x 10 m) e nei piani informativi sulle infrastrutture presenti sul territorio, che includono i punti di osservazione, la rete di collegamento stradale (sia pubblica che forestale), i punti di approvvigionamento idrico (classificati in veicoli a terra, fonti d'acqua e serbatoi per l'approvvigionamento con elicotteri), i centri operativi dell'antincendio boschivo, incluse le basi degli elicotteri.

L'indice ODIF è ottenuto in funzione degli indici GODI (*Ground Operational Difficulty Index*) e HODI (*Helicopters Operational Difficulty Index*), mediante la relazione:

$$ODIF = (GODI * 0.7) + (HODI * 0.3)$$

con l'indice GODI calcolato in funzione delle variabili VAD, VSD e FOD precedentemente definite:

$$GODI = (VAD * 0.4) + (VSD * 0.3) + (FOD * 0.3)$$

e l'indice HODI calcolato in funzione delle variabili EAD e ESD:

$$HODI = (EAD * 0.4) + (ESD * 0.6)$$

I coefficienti introdotti per pesare le variabili sono determinati basandosi sull'esperienza dei responsabili del Servizio Antincendio Boschivo (ABI) della Regione Toscana. Il prodotto di questa analisi è rappresentato da mappe in formato raster, in cui ogni pixel mostra il valore dell'indice ODIF (Tab. 2.11).

Variabile	Classe	Livello di difficoltà	Valore
Vehicles Access Distance (VAD)	> 10 km	Molto Alto	4
	> 7.5 – 10 km	Alto	3
	> 5 – 7.5 km	Moderato	2
	> 2.5 – 5 km	Basso	1
	≤ 2.5 km	Molto Basso	0
Helicopter Access Distance (EAD)	> 40 km	Molto Alto	4
	> 30 – 40 km	Alto	3
	> 20 – 30 km	Moderato	2
	> 10 – 20 km	Basso	1
	≤ 10 km	Molto Basso	0
Fire-Fighting Operational Difficulty (FOD)	> 10 min	Molto Alto	4
	> 7 – 10 min	Alto	3
	> 5 – 7 min	Moderato	2
	> 2 – 5 min	Basso	1
	≤ 2 min	Molto Basso	0
Vehicle Supply Distance (VSD)	> 4 km	Molto Alto	4
	> 3 – 4 km	Alto	3
	> 2 – 3 km	Moderato	2
	> 1 – 2 km	Basso	1
	≤ 1 km	Molto Basso	0
Helicopter Supply Distance (ESD)	> 6 km	Molto Alto	4
	> 4.5 – 6 km	Alto	3
	> 3 – 4.5 km	Moderato	2
	> 1.5 – 3 km	Basso	1
	≤ 1.5 km	Molto Basso	0
ODIF		Molto Alto	4
		Alto	3
		Moderato	2
		Basso	1
		Molto Basso	0

Tab 2.11 - Classi e livello di difficoltà delle variabili utilizzate per calcolare l'indice ODIF.

2.4.4 IL FINAL RISK INDEX (FRI)

Il GRI e l'ODIF sono stati implementati separatamente anche se sono strettamente correlati, dato che utilizzano gli stessi layer di reti stradali e dati simili per classificare i risultati. Il *Global risk index* e l'*Operational difficulty index* sono due strumenti utili, messi insieme la loro efficacia è maggiore e costituiscono un potente strumento per pianificare l'emergenza degli incendi boschivi.

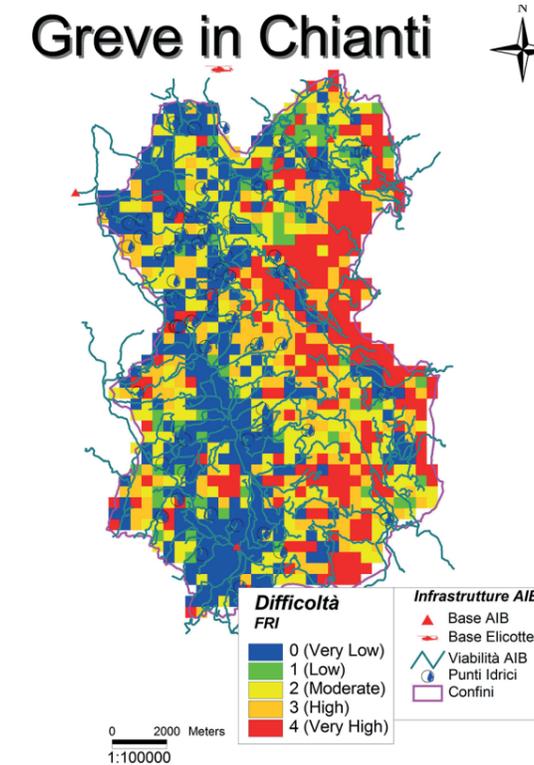


Fig. 2.43 - Esempio di mappa di Final Risk Index (FRI).

GRI e ODIF sono stati quindi uniti nel *Final Risk Index* (FRI) (Fig. 2.43), mediante l'analisi di tutte le possibili combinazioni dei due indici (Tab. 2.12) e l'assegnazione di ciascun pixel dell'area in esame ad una delle seguenti classi:

- **Classe 0** – Rischio complessivo molto basso. Non sono richieste attività di pianificazione o di prevenzione.
- **Classe 1** – Rischio complessivo basso. Si considerano sufficienti le procedure standard operative di prevenzione e controllo.
- **Classe 2** – Rischio complessivo moderato. Sono richiesti interventi specifici e attività di prevenzione, come il controllo o il pattugliamento delle aree a rischio in determinati periodi.
- **Classe 3** – Rischio complessivo alto. Devono essere attivati precisi piani di intervento o manutenzione, a medio-lungo termine, per la riduzione del rischio (strade, laghetti, ecc.).
- **Classe 4** – Rischio complessivo molto alto. Le aree richiedono azioni specifiche di prevenzione e riduzione del rischio d'incendio boschivo, oltre ad una pianificazione a breve termine delle infrastrutture necessarie per la riduzione del rischio.

INDICE	ODIF				
	0	1	2	3	4
GRI	0	0	0	0	1
	1	0	0	1	1
	2	1	1	2	3
	3	1	2	2	4
	4	1	2	3	4

Tab. 2.12 - Matrice di combinazione degli indici GRI e ODIF.

Per ogni combinazione di GRI e ODIF con lo stesso valore, possono essere quindi suggerite alcune attività di pianificazione o di prevenzione sulla base dell'organizzazione e delle esperienze condotte a livello regionale e tenuto conto del Piano Operativo Antincendio Regionale.

2.4.5 CONCLUSIONI

L'analisi dei risultati mette in evidenza l'alta correlazione tra i parametri meteorologici e il rischio d'incendio, specialmente in condizioni di temperatura elevata, scarsa umidità e prolungata siccità. Il vento non sembra incidere direttamente sul rischio d'incendio, ma la sua importanza è da mettere in relazione con la rapidità di diffusione dell'incendio e con le condizioni d'infiammabilità del materiale vegetale. A livello della Regione Toscana, ad esempio, i risultati ottenuti con il Global Risk Index in estate e in inverno riflettono il livello di attenzione registrato dall'organizzazione regionale di lotta agli incendi. La maggior parte della Regione presenta un rischio complessivo "molto alto" o "alto" in estate (Tab. 2.13), strettamente correlato alle condizioni meteorologiche (alte temperature e scarse precipitazioni), mentre in inverno, pur in presenza di basse temperature e piogge utili, la percentuale di aree classificate a rischio "molto alto" è comunque del 15 %.

Regione intera	Inverno	Estate	Comune di Scandicci	Inverno	Estate
Molto Alto	15 %	37 %	Molto Alto	11 %	36 %
Alto	11 %	16 %	Alto	12 %	40 %
Moderato	21 %	27 %	Moderato	16 %	14 %
Basso	35 %	15 %	Basso	49 %	9 %
Molto Basso	18 %	5 %	Molto Basso	11 %	0 %

Tab. 2.13 - Global Risk Index per la Regione Toscana: percentuale per classe di rischio in estate e in inverno.

Questo è dovuto principalmente al fatto che in alcune aree dell'Appennino le condizioni meteorologiche e l'esposizione dei versanti determinano un aumentano del livello di rischio in inverno.

Nell'analisi del solo comune di Scandicci, preso ad esempio, è stata ottenuta una buona correlazione tra GRI e i livelli di attenzione precedenti, con un'alta percentuale di pixel nella classe di rischio "Molto Alto" e nella classe rischio "Alto" in estate. La maggior parte degli incendi si verificano nelle zone collinari del comune che presentano una copertura di boschi di pino, cedui di querce e specie mediterranee.

Se viene inclusa la componente sociale nel dato di rischio complessivo in estate, l'intera area del comune assume comunque il valore di classe ad alto rischio.

Per pianificare la lotta agli incendi il GRI può essere integrato dall'ODIF per ottenere la riduzione delle difficoltà operative. L'applicazione dell'ODIF all'area del Comune di Scandicci mostra che il 65 % del territorio è classificato nella classe di difficoltà operative basse o molto basse, il 31 % è classificato nella classe delle moderate e solo il 5 % si trova nella classe delle alte difficoltà operative. Combinando il GRI e l'ODIF, risulta che il 15 % del territorio è classificato nella Classe 0, il 53 % è classificato nella Classe 1, il 20 % nella Classe 2, l'11 % nella Classe 3 e solo 1 % nella Classe 4. I risultati mettono in luce il potenziale degli indici operativi, anche se la metodologia continua ad essere sottoposta a

valutazione per la sua applicazione ad aree sempre più estese e con caratteristiche diverse da quelle fin qui studiate, in particolare al fine di giungere ad un sistema affidabile nella pianificazione degli interventi di prevenzione degli incendi boschivi.

2.4.6 BIBLIOGRAFIA

- Bovio G. (1993). *Comportamento Degli Incendi Boschivi Estinguibili con Attacco Diretto*. Monti e Boschi, Vol. 44 (4): 19-24.
- Commissione Europea (1994). *CORINE land cover- Technical Guide, 1994. Publication EUR 12585 of the European Commission - DG Environment, Nuclear Safety, and Civil Protection*. Office for official publications of the European Communities.
- Conese C., Bonora L., Romani M., Checcacci E. (2004). *Forest Fire Hazard Model Definition for Local Land User (Tuscany Region)*. Atti del IV Congrès International Environnement et Identité en Méditerranée, Corte, 19-25 Juillet 2004.
- Chuvieco E., Salas F.J., Carvacho L., Rodriguez-Silva F. (1999). *Integrated Fire Risk Mapping*. In Chuvieco E., Ed., *Remote Sensing of Large Wildfires*, Springer-Verlag, New York, pp. 66-100. doi:10.1007/978-3-642-60164-4_5
- Hippoliti G. (2003). *Note Pratiche per la Realizzazione Della Viabilità Forestale*. Compagnia delle Foreste, Arezzo.
- Hunt S.M. (1986). *Fire manual for helicopter operations*. Department of Forestry, Brisbane, Queensland, pp. 56.
- Jenks G.F., Caspall F.C. (1971). *Error on Choropletic Maps: Definition, Measurement, Reduction*. *Annals of the Association of American Geographers* 61(2): 217-244. doi:10.1111/j.1467-8306.1971.tb00779.x
- Marchi E., Tesi E., Montorselli N.B., Bonora L., Checcacci E., Romani M. (2006a). *Forest fire prevention: Developing an operational difficulty index in fire fighting (ODIF)*. *Forest Ecology and Management* 234, S49: 96-99. DOI: 10.1016/j.foreco.2006.08.070
- Marchi E., Tesi E., Montorselli N.B., Neri F. (2006b). *Helicopter Activity in Forest Fire-Fighting: A Data Analysis Proposal*. *Proceedings of the 5th International Conference on Forest Fire Research, Figuera da Foz Portugal, 27-30 November 2006*.
- Regione Toscana (2004). *Piano Operativo Antincendi Boschivi. Produzioni Editoriali Regione Toscana*, November 2004.
- San-Miguel-Ayanz J. (2002). *Methodologies for the Evaluation of Forest Fire Risk: From Long-Term (Static) to Dynamic Indices*. In Anfodillo T. and Carraro V. (Eds.), *Forest Fires: Ecology and Control*, Università degli Studi di Padova, pp. 117-132.
- San-Miguel-Ayanz J., Barbosa P.M., Schmuck G., Libertà G. (2003). *The European Forest Fire Information System (EFFIS)*. Joint International Workshop of EARSeL SIG on Forest Fires and the GOFC/GOLD-Fire Program: Innovative Concepts and Methods in Fire Danger Estimation, Ghent, 5-7 June 2003.
- Sebastián-López A., San-Miguel-Ayanz J, Libertà G. (2000). *An integrated forest fire risk index for Europe. Remote Sensing in the 21st Century: A decade of Trans-European Remote Sensing Cooperation*, Dresden, Germany, EARSeL.
- Viegas X., Bovio G., Ferreira A., Nosenzo A., Sol B. (2000). *Comparative Study of Various Methods of Fire Danger Evaluation in Southern Europe*. *International Journal of Wildland Fire* 9 (4): 235-246. doi:10.1071/WF00015.

2.5

AMBIENTI COSTIERI PROTETTI E PRESSIONE ANTROPICA

De Vincenzi M. ⁽¹⁾

¹ CNR-Istituto di Biometeorologia, via Madonna del Piano 10, Sesto Fiorentino (FI)

2.5.1 INTRODUZIONE

Il delicato equilibrio fra salvaguardia dei beni ambientali e fruizione turistica è un problema ben evidente nelle aree costiere, in particolare in quelle protette. Se da una parte i beni ambientali sono un'attrattiva per lo sviluppo del turismo, dall'altra un'eccessiva fruizione turistica può generare impatti negativi che possono compromettere l'ecosistema. È evidente che per consentire la presenza dei visitatori, vengono realizzate infrastrutture di accoglienza e opere di sicurezza che possono indurre variazioni sull'ambiente naturale (morfologia e sistemi biologici presenti) e sul paesaggio. Inoltre i turisti con scarso rispetto verso l'ambiente sono, in particolare per un'area protetta, un potenziale "veicolo di inquinamento", difficile da controllare, che si espande su tutto il territorio. Pertanto il carico antropico che deriva dalla frequentazione turistica va limitato e reso compatibile con le funzioni di corretta gestione di una area protetta, in quanto un eccessivo impatto antropico può danneggiare il bene ambientale (Cetti Serbelloni, 1991; Galli et al., 2002.).

Un turismo non regolamentato può avere effetti negativi sull'ambiente che sono spesso ampliati dalla concentrazione spaziale e temporale dei turisti, specialmente nei mesi estivi e primaverili. Gli ecosistemi naturali, in particolare quelli più fragili (coste, dune sabbiose, zone umide, habitat montani), presentano ridotte capacità di resilienza; pertanto un impatto antropico eccessivo può comportare una perturbazione nei loro equilibri. D'altra parte un turismo consapevole e sostenibile può generare nelle comunità presenti nel territorio importanti ricadute socio-economiche e fornire agli enti, preposti alla gestione delle aree protette, risorse per cofinanziare le loro attività.

La consapevolezza che uno sviluppo turistico poco attento alla tutela ambientale, possa compromettere il patrimonio naturale e culturale e generare conflitti socio-culturali ed economici alle comunità interessate, ha spinto vari ricercatori ad elaborare teorie e strumenti in grado di determinare una corretta sostenibilità della fruizione turistica dell'ambiente. La Capacità di Carico Turistica (CCT), anche di un parco naturale, concerne il numero di turisti, i flussi di visitatori, i modelli spaziali di concentrazione /dispersione e il funzionamento degli ecosistemi, ma anche la qualità dell'esperienza dei visitatori (Coccosis et al., 2001). Durante il '900 la Capacità di Carico Turistica è stata definita, nell'ambito degli studi sul turismo, in vari modi che hanno portato ad applicazioni spesso erranee e a risultati ambigui. Si è passati da definirla come numero massimo di visitatori ospitabili in un'area (oltre il quale si originano alterazioni dell'ambiente fisico tali da generare nel turista una diminuzione del livello di soddisfazione) al numero ottimale di ospiti, in una destinazione turistica, calcolato sulla base di una serie di vincoli rappresentativi di ciascuna singola risorsa a servizio del settore turistico locale (Boyd et al., 1996; Lindberg et al., 1997). In altri termini l'individuazione del numero massimo di visitatori ospitabili in un'area rappresenta un'informazione poco significativa se non contestualizzata agli obiettivi gestionali delle risorse. In questo contesto, il problema di individuare una misura della CCT si traduce nel calcolo di un flusso finanziario generabile dal numero massimo di turisti potenzialmente ospitabili

in una località di destinazione, individuato sulla base di un insieme di limiti o vincoli rappresentati dalla limitata capacità di contenimento delle infrastrutture a servizio dell'area (Benincasa et al., 2012).

In questo contributo viene illustrata l'applicazione di un modello per il calcolo della CCT (Bottero et al., 2009) per il Parco Nazionale dell'Asinara (isola in prossimità delle coste nord-occidentali della Sardegna), con finalità economiche imponendo forti vincoli per evitare effetti negativi sull'ambiente fisico, culturale e sociale. Il Parco, istituito nel 1997, ha registrato negli ultimi anni una domanda turistica in continua crescita; ciò ha reso necessario per l'Ente Gestore analizzare la tipologia dei visitatori, le modalità e gli scopi della fruizione, nell'ottica di una sempre più attenta sostenibilità della gestione dei flussi turistici.

La raccolta delle informazioni e la realizzazione del modello sono state svolte nell'ambito di una collaborazione scientifica fra CNR, Università di Sassari ed Ente Parco e sono state lo spunto per una tesi di laurea (Abozzi, 2012). I dati sono relativi al periodo 2007-2013.

2.5.2 IL PARCO NAZIONALE DELL'ASINARA

Inquadramento geografico

L'isola dell'Asinara (superficie circa 51 km²), posta a poca distanza dalla punta nord-occidentale della Sardegna, ha una forma allungata (lunghezza 17,5 km e larghezza che va da 290 m, Cala di Scombro, a circa 7 km nella area settentrionale), con l'asse principale orientato da nord-est a sud-ovest, con un perimetro costiero di circa 110 km. Il nome "Asinara" deriva dal latino sinuaria (sinuosa) con cui i Romani la chiamarono per indicarne la forma, dovuta alle coste frastagliate e alle numerose insenature.

L'Asinara è caratterizzata da due tipi di costa che ne rendono unico il paesaggio: nella parte occidentale sono presenti alte falesie scistose, ripidi pendii rocciosi con numerose frane ricche di anfratti, canali e spaccature; nella parte orientale prevalgono ampie insenature e piccole spiagge con sabbie grossolane, tipiche della morfologia granitica a rias prevalentemente con ampi affioramenti rocciosi (Ginesu et al., 1998). La morfologia dell'Isola è caratterizzata da rilievi di altezza modesta che raggiungono la massima quota di 408 m s.l.m nella zona nord-ovest. L'Asinara non ha un vero e proprio sistema idrografico, gli impluvi sono brevi e i corsi d'acqua hanno portata limitata e regime temporaneo; sono presenti stagni retrodunali costieri che rivestono una grande importanza in quanto zone umide ad alta biodiversità (Giglio, 1970).

Nell'Isola si trovano numerosi pozzi e circa una cinquantina di sorgenti (solo due di portata significativa) che alimentano abbeveratoi per gli animali e quattro invasi superficiali, realizzati durante il XX secolo (Parco Nazionale dell'Asinara, 2008b). Sono distribuiti, inoltre, in tutto il territorio dell'Asinara cisterne e piccoli serbatoi, connessi tra loro con un sistema di tubazioni (in stato di abbandono) per convogliamento a gravità. I tre potabilizzatori di tecnologia obsoleta e il cattivo stato di conservazione delle reti di distribuzione fanno sì che l'acqua potabile in alcuni punti dell'Isola dell'Asinara sia di scarsa qualità. La capacità idrica dell'Isola, data dall'insieme dei serbatoi presenti, è di circa 100000 m³.

Le caratteristiche bioclimatiche

L'Asinara da un punto di vista climatico non si differenzia molto dall'estrema area nord-occidentale della Sardegna. La temperatura media annuale è circa 16,2 °C, mentre le precipitazioni medie annue, 480 mm, raramente raggiungono la media annua della Sardegna e sono distribuite soprattutto nel periodo autunno-vernino (Clino- CLImate NOrmals- Asinara; Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare). Il periodo estivo dell'Asinara risulta molto arido anche a causa delle particolari caratteristiche geomorfologiche. I venti prevalenti spirano da nord-ovest (il maestrale raggiunge intensità talvolta superiore ai 20 m/s), da ovest (per la metà dei giorni dell'anno), da nord-est e da est.

Il CLINO (CLImate NOrmals) è un'elaborazione statistica su base trentennale (1961-1990) dei parametri meteorologici al suolo. È il riferimento per l'anomalia, ovvero la differenza dei parametri tra l'ultimo periodo di riferimento e il trentennio. Il CLINO per l'Asinara è basato sui dati rilevati dal 1961 al 1976 da una stazione meteorologica dell'Aeronautica Militare posta nella zona nord dell'Isola. Da settembre 2006 è operativa, a Fornelli nel sud dell'Isola una stazione meteorologica, gestita dal CNR.

Il clima e il suolo poco profondo, con elevata rocciosità e pietrosità e forte suscettibilità all'erosione, permettono lo sviluppo di una vegetazione costituita da macchia mediterranea prevalentemente arbustiva; dove il suolo è più roccioso essa è più bassa e assume l'aspetto della gariga. Il paesaggio è caratterizzato dalla presenza di lentisco, ginepro, elicriso, rosmarino, limonio, olivastro e euforbia arborea. L'unica formazione boschiva a leccio è nell'area nord dell'Isola di Elighe Mannu, con un costone collinare ricoperto da una fitta vegetazione arborea. Sono presenti, inoltre, rarissime specie endemiche (Boccheri, 1993). Le condizioni di isolamento, l'ambiente pressoché intatto e la varietà di habitat di transizione terrestre-marino hanno creato le condizioni per una grande varietà faunistica, che comprende numerose specie ornitiche e di vertebrati terrestri. Altrettanto varia è la flora e la fauna subacquea.

Le acque circostanti l'Isola presentano in generale una elevata qualità a cui corrisponde una notevole integrità delle comunità biologiche. La temperatura superficiale della colonna d'acqua raggiunge 26 °C ad agosto e scende a 17 °C a dicembre. Il versante occidentale è caratterizzato da pendii con notevole acclività che continuano nella parte sommersa e sprofondano rapidamente oltre i 50 m. Le forti correnti e la notevole azione del moto ondoso di maestrale impediscono la formazione di depositi sabbiosi significativi. Nel versante orientale i fondali riprendono la morfologia della parte emersa e pertanto tendono a degradare dolcemente fino a 50 m (profondità media del golfo dell'Asinara).

La struttura del Parco Nazionale

Il Parco Nazionale dell'Asinara, istituito con la legge n. 344 del 1997, include tutta la superficie emersa dell'Isola, gli isolotti compresi entro 1 km dalla linea di costa, eccetto l'Isola Piana (Gazale et al., 2005). Il D.P.R. del 3/10/2002 e il D.M. del 13/8/2002 hanno istituito l'Area Marina Protetta dell'Asinara (A.M.P.) che ha un'area di 10732 ha e uno sviluppo costiero di 79.64 km (Fig. 2.44). Il territorio del Parco (amministrativamente fa parte del comune di Porto Torres-SS) è suddiviso in zone con diverso grado di protezione, come prevede la legge n. 394 del 1991:

- **Zona A** – aree di riserva integrale; non è consentito l'accesso neanche a piedi se non per operazioni strettamente legate alla gestione, ricerca, vigilanza e soccorso.
- **Zona B** – aree di rilevante interesse naturalistico; costituiscono circa il 90 % dell'Isola, in esse è consentito tutto ciò che non reca disturbo alla natura, all'ambiente e al paesaggio.
- **Zona C** – aree agricole nelle quali possono continuare, secondo gli usi tradizionali le attività agrosilvo-pastorali, di pesca e raccolta di prodotti naturali.
- **Zona D** – aree urbane; zone di promozione economica e sociale dove sono consentite attività finalizzate al miglioramento della vita socio-culturale delle collettività locali e al miglior godimento del parco da parte dei visitatori.

Gli strumenti principali urbanistici per la gestione del territorio del Parco sono il Piano del Parco e il Regolamento del Parco, nei quali ogni singolo elemento del complesso sistema viene analizzato e ne vengono individuate le regole e le modalità di utilizzo e fruizione.

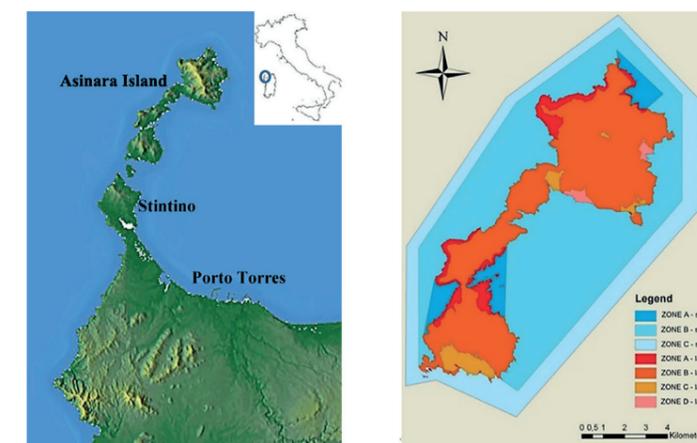


Fig. 2.44 - Parco Nazionale dell'Asinara mappa e zonizzazione. Fonte www.parcواسinara.org

2.5.3 MATERIALI E METODI

Al fine della scelta del più opportuno modello di calcolo per una corretta stima della Capacità di Carico Turistica nel Parco è stato necessario analizzare lo sviluppo dell'offerta turistica da quando l'Asinara è stata aperta al pubblico (1999). In particolare si sono analizzati:

- servizi turistici (visite guidate, informazioni turistiche, ristorazione, pernottamento, ecc.);
- attività di educazione ambientale;
- trasporti marittimi, per raggiungere l'isola, e terrestri, per muoversi all'interno di essa;
- morfologia e fisica ambientale dell'Isola;
- patrimonio culturale (edifici storici, musei);
- attività sportive, ecc..

Una parte del patrimonio edilizio, testimonianza dell'antropizzazione del passato, ospita le strutture turistiche (centri visitatori, ostello, ristorante, musei, ecc.) nelle aree urbane (Parco Nazionale dell'Asinara, 2008c).

Il Parco Nazionale dell'Asinara grazie al turismo ha favorito nuove possibilità di occupazione (molte aziende e cooperative sono sorte per la gestione dei servizi turistici) per i residenti nei comuni di Porto Torres e di Stintino. Negli anni si è registrato un trend di domanda turistica in continua crescita sia per i fruitori "accompagnati" sia per i fruitori "liberi". La seconda tipologia di visitatori è sicuramente in grado di impattare maggiormente rispetto alla prima. Un modello di CCT può rappresentare un ausilio per l'Ente Parco per gestire le varie tipologie di visitatori.

2.5.4 IL TURISMO NEL PARCO NAZIONALE DELL'ASINARA

Attrattive del Parco

Numerose sono le attrattive che richiamano i turisti ogni anno nel Parco; oltre alla natura incontaminata, all'asino bianco (simbolo dell'Asinara), alle acque cristalline del mare, alle cale incantevoli, ai panorami mozzafiato, l'Isola offre al visitatore una esperienza volta anche alla scoperta della sua storia e della sua cultura. Ogni edificio, ogni rudere è testimonianza di un passato fatto di tanti tasselli che custodiscono le vicende che hanno segnato, dall'epoca preistorica ad oggi, la sua storia: i transiti commerciali dei romani, l'insediamento dei monaci Camaldolesi, le scorrerie dei pirati, l'insediamento dei pastori sardi e dei pescatori liguri e campani, i tentativi di colonizzazione dell'Isola, l'installazione del Lazzaretto del Regno d'Italia e della colonia penale agricola, i campi di prigionia durante la prima guerra mondiale, fino agli anni del supercarcere. L'Asinara è meta inoltre del turismo della memoria: fra i turisti dell'Isola ci sono coloro che desiderano rivedere i luoghi dove un tempo abitavano, come gli ex agenti di custodia e i loro familiari, oppure riscoprire le loro origini, come i discendenti di coloro che vi abitarono prima dell'istituzione della colonia penale agricola (1885).

L'accesso: trasporti marittimi e terrestri

La navigazione nelle acque del Parco Nazionale dell'Asinara è consentita solo alle imbarcazioni a vela e a quelle a motore autorizzate dall'Ente Parco per il trasporto collettivo dei passeggeri (Gazale et al., 2005). Gli approdi (Fornelli, Cala Reale e Cala d'Oliva) sull'Isola sono tutti localizzati nel versante di levante. Per molti anni la presenza di poche unità di traffico marittimo in partenza dai porti della Sardegna nord-occidentale (Porto Torres e Stintino) ha reso precario l'accesso all'Isola. Nel 2008 la Regione Sardegna ha istituito la linea di continuità territoriale marittima Porto Torres-Cala Reale (rotta di circa 15 miglia marine); ciò ha consentito di imbarcare mezzi di trasporto autorizzati dall'Ente Parco, e un maggiore numero di passeggeri, con un costo più accessibile. La maggior parte dei visitatori arrivano da Stintino con sbarco a Fornelli, nella zona sud dell'Isola, in quanto la navigazione è più breve (4 miglia marine). Nel 2013, erano attivi sette servizi di trasporto collettivo marittimo (di cui uno pubblico) in grado di trasportare circa 700 passeggeri (Tab. 2.14). Le altre tipologie di trasporto marittimo che collegano l'Isola madre all'Asinara sono legate al tipo di visita scelta dagli utenti: charter a vela, diving e pescaturismo.

Il Regolamento del Parco vieta, sull'Isola, la circolazione ai mezzi privati non autorizzati, perciò gli unici mezzi terrestri che permettono gli spostamenti sono gli automezzi collettivi che effettuano le escursioni guidate, lungo l'unica strada cementata (di circa 25 km) che collega i tre approdi (Parco Nazionale dell'Asinara, 2008a); nel 2013 operavano 16 fuoristrada con 128 posti, 3 pullman con 50 posti, 4 trenini gommati per un totale di 187 posti (Tab. 2.14). Il servizio di trasporto pubblico terrestre è effettuato solo nei mesi estivi dall'Azienda di Trasporti Pubblici di Sassari i cui bus (60 posti in totale) collegano Fornelli, Cala Reale e Cala d'Oliva. I bus pubblici nel 2010 hanno trasportato 6433 passeggeri, nel 2011 7957, nel 2012 6940 e 7021 nel 2013 (Carboni et al., 2015).

All'interno del Parco è consentito spostarsi con la propria bicicletta o noleggiarla ed è possibile affittare auto e biciclette elettriche. L'organizzazione della mobilità interna è finalizzata alla sostenibilità ambientale: il controllo dei mezzi autorizzati è infatti, lo strumento principale per canalizzare i flussi turistici obbligandoli a seguire percorsi prestabiliti e segnalati.

Le modalità di visita, i servizi informativi e i centri di educazione ambientale

Le visite all'interno del Parco sono regolamentate da un apposito disciplinare di fruizione, emanato dall'Ente gestore, che prevede anche la visita libera a piedi o in bicicletta o a cavallo, che possono essere effettuate sulla strada cementata e nei sentieri. Sono attivi tre centri visitatori (aperti da Pasqua ad ottobre) che sono uno strumento di controllo dei comportamenti dei visitatori; personale qualificato informa i visitatori delle regole da rispettare per una corretta fruizione dell'ambiente. Sono, inoltre, presenti nell'Isola un Centro di Educazione Ambientale, un Osservatorio Faunistico e un Centro Recupero Animali Marini.

I servizi di ristorazione e la ricettività

Nel Parco, attualmente sono presenti un bar-ristorante a Cala Reale (aperto dal 2008, con 130 coperti), un ristorante a Cala d'Oliva (aperto nel 2013) e due punti ristoro (Fornelli e Campo Perdu). La domanda turistica del servizio ristorativo è costituita da gruppi organizzati, dalle scolaresche, dai visitatori che arrivano con la motonave della linea pubblica, dai diportisti e dai lavoratori del Parco. In generale risulta difficile quantificare il flusso dei visitatori giornalieri che hanno usufruito dei servizi ristorativi senza alcuna prenotazione. Il ristorante/bar è aperto tutto l'anno, ma registra un rilevante numero di visitatori a partire dal mese di aprile, grazie al turismo scolastico, e nei mesi estivi.

L'ostello di Cala d'Oliva, unica struttura ricettiva presente sull'Isola, ha permesso di aprire il Parco alla residenzialità turistica. La capienza della struttura è di 73 posti letto (Cooperativa sognAsinara). La struttura è, di solito, aperta da Pasqua ad ottobre, poiché non è presente un impianto di riscaldamento che permetta il soggiorno anche d'inverno. Gli ospiti dell'ostello, in prevalenza turisti locali e della Penisola italiana per il periodo (2007-11) di cui sono disponibili i dati, sono dal 2009 in calo dovuto probabilmente ad una non adeguata gestione della struttura, visto che il trend degli arrivi e delle presenze nell'Isola è in crescita (Tab. 2.14; Fig. 2.45) (Abozzi, 2012; Carboni et al., 2015).

Altre strutture utilizzate per la ricettività sono la Casa del Direttore a Cala d'Oliva (10 posti letto), la foresteria del Palazzo Reale (22 posti letto), e sono gestite, per soggiorni istituzionali, direttamente dall'Ente Parco, dal Ministero dell'Ambiente e dalla Capitaneria di Porto.

Anno	Arrivi	Presenze
2007	38	264
2008	611	1417
2009	1517	3439
2010	1364	2668
2011	1028	1877

Tab. 2.14 - Arrivi e presenze in ostello. Elaborazione dati forniti da coop. sognAsinara.

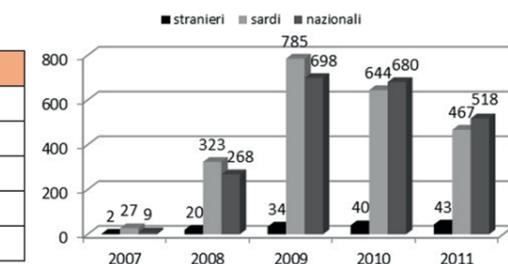


Fig. 2.45 - Provenienza dei clienti in ostello. Elaborazione dati forniti da coop. SognAsinara.

Arrivi e presenze

Il sistema di rilevamento delle presenze si basa su dichiarazioni dei singoli operatori, riportate su un registro vidimato che viene consegnato all'Ente Parco alla fine della stagione. Ai valori rilevati vengono applicati dei correttivi in funzione della tipologia di visita, sulla base di rilevamenti reali effettuati sull'Isola in giornate campione da parte di personale incaricato dal parco. Mediamente si registrano errori di rilevamento in difetto del 15 %, con alcune categorie di visita che registrano errori anche del 50 % in meno dei visitatori realmente trasportati. I visitatori annui sono passati da 65 900 nel 2011 a quasi 78 850 del 2013 (Tab. 2.15), con un incremento del 20 % in controtendenza con una diminuzione del 20 %, nello stesso periodo, delle presenze turistiche in Sardegna. A terra le escursioni in fuoristrada e trenino gommato sono le più richieste. Fa ancora fatica ad imporsi la visita libera con bici, a piedi o a cavallo, forse per le notevoli dimensioni dell'Isola e per le alte temperature dei mesi estivi. Queste ultime forme di visita potrebbero avere successo nei mesi con condizioni meteorologiche più favorevoli (mesi primaverili e autunnali).

Tipo di visita	n. operatori			n. mezzi			Posti disponibili			Persone trasportate		
	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013
<i>Anno</i>												
Diving	5	7	5	8	9	7	84	70	72	2831	2288	2698
pescaturismo	6	6	6	6	6	6	62	63	63	2105	1230	1037
trasporto mare	8	4	5	10	5	6	454	577	489	33966	41233	41557
Noleggio cond.	---	8	---	---	10	---	---	89	---	---	3805	---
taxi boat	---	---	8	---	---	9	---	---	92	---	---	4424
charter vela	9	8	10	12	9	12	123	86	98	4844	5713	5838
linea pubblica mare	1	1	1	1	1	1	400	200	200	16862	12885	14690
barche private	1	1	1	---	---	2	63	63	63	5292	8136	8606
Mare	30	35	36	37	40	43	1186	1148	1077	65900	75290	78850
fuoristrada	6	7	7	13	15	16	104	120	128	6960	11,199	12298
bus	2	2	2	3	3	3	64	64	50	1269	1765	2995
trenino	2	3	3	3	4	4	162	187	187	11826	8882	10,124
bici noleggio	1	1	2	10	60	64	10	90	64	40	303	650
cavallo	1	1	1	7	7	7	7	7	7	200	200	163
auto elettriche	1	1	1	2	4	4	6	24	8	80	476	598
linea pubblica terra	1	1	1	3	3	3	87	60	60	7957	6940	7021
Terra	14	16	17	41	96	101	440	552	326	28332	29765	33849
Totale	44	51	53	78	136	144	1626	1700	1403			

Tab. 2.15 - Tipo di visita, n. operatori, n. di mezzi, posti disponibili e persone trasportate che accedono e operano nel Parco Nazionale dell'Asinara (Fonte: Ente Parco, 2014).

Le attività sportive, trekking, diving, pescaturismo e il turismo nautico

Nel Parco possono essere praticati sport all'aria aperta legati all'ambiente quali canoa, *trekking*, passeggiate a cavallo, *diving*, *snorkeling*, *swimmtrekking*. Sono inoltre svolte attività educative con cavalli e asini nati e cresciuti all'Asinara. Sono stati realizzati dal Parco alcuni itinerari specifici sottomarini per l'osservazione dell'eterogeneità dei fondali (www.parcoasinara.org).

Dopo l'istituzione dell'Area Marina Protetta (agosto 2002) il Regolamento vieta la pesca eccetto per le imbarcazioni di piccola pesca di Porto Torres e Stintino, che possono esercitarla oltre le 150 m dalla costa al di fuori delle zone A. Una delle possibili tipologie di visita offerta ai visitatori del Parco è il pescaturismo: attività che coniuga lo svago con l'educazione ambientale, incentivando l'apprendimento di conoscenze sugli ecosistemi marini, sulle specie ittiche, sull'attività artigianale della pesca e sulla cultura marinara (Gazale et al., 2005). Nel 2013 erano sei le imbarcazioni autorizzate per il pescaturismo nell'AMP. I fruitori di questa tipologia di visita sono stati 1230 nel 2012 (erano 2105 nel 2011). Le attività di pescaturismo si svolgono, da maggio ad agosto, maggiormente sulle coste orientali rispetto a quelle occidentali.

I diportisti nautici possono sostare, previa autorizzazione, nelle acque del Parco nei punti della costa orientale dove ci sono 63 boe di ormeggio (Zona B). Nel campo di Fornelli (zona C) è autorizzato l'accesso anche a barche a motore, così come nelle aree di Cala Reale e Cala d'Olivea, attraverso opportuni canali d'accesso. Nella Zona A l'ormeggio e l'ancoraggio sono assolutamente

vietati. Nel mese di agosto si registra circa il 65 % del totale delle barche. Secondo stime dall'Ente Parco le persone che sono transitate nel Parco con la propria imbarcazione sono state circa 5300 nel 2011, 8100 nel 2012 e circa 8600 nel 2013 (Tab. 2.15).

2.5.5 ESEMPIO DI STIMA DELLA CCT PER IL PARCO NAZIONALE DELL'ASINARA

Il turismo nelle aree protette è associato sia al godimento e all'osservazione della natura sia all'educazione e alla ricerca scientifica. Questa tipologia di turismo soft comporta uno sviluppo minimo di infrastrutture e una regolamentazione delle attività antropiche consentite. La capacità di carico turistica di un parco naturale concerne il numero di turisti, i flussi di visitatori e i modelli spaziali di concentrazione/dispersione, il funzionamento degli ecosistemi, nonché la qualità dell'esperienza dei visitatori (Coccosis et al., 2001).

Per la scelta del metodo per il calcolo della capacità di carico turistica si deve tenere conto delle caratteristiche peculiari dell'area protetta (l'elevato pregio naturalistico e paesaggistico, la consistenza del patrimonio culturale, ecc.), del tipo di fruizione turistica, della consistenza e distribuzione stagionale dei flussi turistici, del rapporto tra intensità d'uso e soddisfazione del visitatore che dipende dal tipo di visita.

Fra i tanti modelli disponibili in letteratura per il calcolo della CCT applicati ad aree protette (Benincasa et al., 2012; Cifuentes, 1992) tenendo conto delle peculiarità del Parco dell'Asinara e dei dati disponibili, è stato applicato il metodo economico adottato per il calcolo della CCT nel Parco Nazionale del Vesuvio (Bottero et al., 2009), con l'imposizione di forti vincoli ambientali. L'approccio scelto si pone l'obiettivo di massimizzare il reddito derivante dal flusso turistico che interessa la località, imponendo che non vi siano conseguenze negative sull'ambiente fisico, culturale e sociale. Vista la complessità del microcosmo Asinara, le informazioni e la consistenza dei dati disponibili (talvolta incompleti e incongruenti), ci siamo limitati a un esempio di stima della CCT, dove sono state necessarie alcune semplificazioni per rendere possibile il raggiungimento di una soluzione. È stata definita la funzione spesa turistica complessiva, da massimizzare, avente come variabili le seguenti tipologie dei turisti che visitano il Parco:

- **TE** - Numero di turisti che utilizzano le strutture extralberghiere (l'ostello del Parco);
- **ES** - Numero di turisti escursionisti che effettuano la visita in giornata, senza pernottare.

Per la stima della capacità di spesa degli escursionisti si sono considerate le seguenti tipologie di turisti giornalieri:

- Escursionista che utilizza il trasporto pubblico terrestre;
- Escursionista che effettua la visita guidata in fuoristrada;
- Escursionista che effettua la visita guidata con il trenino elettrico;
- Escursionista che effettua la visita guidata in pullman;
- Escursionista a piedi.

In questa stima della CCT non sono considerati gli escursionisti dei *diving*, del pescaturismo e dei charter a vela poiché interagiscono in modo limitato con le risorse terrestri del Parco e sono tipologie di turisti che non sono omogeneizzabili con quelle considerate. Per motivi analoghi non sono considerati i diportisti nautici, quelli che noleggiavano il posto barca per la propria imbarcazione nei campi boe dell'isola (spesa media 195,57 €). Infine non si è tenuto conto degli escursionisti con bici a noleggio (spesa media 38,33 €) e degli ippo-escursionisti (spesa media 50 €) poiché, con i dati disponibili, al momento dello studio, risultava difficile quantificare il loro impatto sull'Isola. La funzione reddito da massimizzare risulta:

$$\max f(x) = s_2 TE + s_3 ES \quad (2)$$

con s_2 e s_3 capacità di spesa giornaliera pro-capite, rispettivamente dei turisti dell'ostello e degli escursionisti.

Tipologia	Posti disponibili	Spesa media (€)
Turista extralberghiero*		
Ostello	73	90,10
Escursionista giornaliero*		
Trasporto pubblico terrestre (ATP)	87	33,33
Fuoristrada	104	65,00
Trenino elettrico	156	55,00
Pullman	64	60,00
Escursione a piedi	403	28,33

Tab. 2.16- Stima spesa media giornaliera (pro-capite) dei turisti (*Elaborazione da informazioni fornite dall'Ente Parco 2012).

Nella spesa media giornaliera (Tab. 2.16) è compreso il costo del trasporto marittimo. Dai posti disponibili sulle imbarcazioni sono stati sottratti quelli utilizzati dagli operatori fluttuanti giornalieri. Il numero degli escursionisti a piedi è stato stimato sottraendo dal totale dei passeggeri trasportabili dalle imbarcazioni (854), il numero dei visitatori che usano i mezzi terrestri e quello dei lavoratori che si recano nel Parco (40) con i mezzi pubblici. Considerando sia la capacità di spesa delle varie tipologie di escursionisti sia i posti disponibili (Tab. 2.16) si è stimata, facendo una media pesata, la spesa media giornaliera dei turisti che è risultata pari a 41,15 €. Per la soluzione del problema si sono considerati i seguenti vincoli, i cui valori sono riportati in tabella 2.17.

- NPE- numero di posti letto nella struttura extra-alberghiera (ostello)
- NTM- numero di posti disponibili sui traghetti per l'Asinara (pubblici e privati)
- DH₂O- disponibilità di acqua potabile (in metri cubi al giorno)
- REF- capacità di smaltimento delle acque reflue (espressi in Abitanti Equivalenti, A.E.)

Abitanti Equivalenti (A.E.), indica, in ingegneria sanitaria, la quantità di sostanze organiche biodegradabili convogliate in fognatura, in un giorno, dovuto alla normale attività di una utenza civile (o assimilabile). È l'unità di misura per il dimensionamento dell'idoneo sistema di depurazione delle acque reflue domestiche e/o assimilate.

Vincoli	Valore
NPE	73
NTM	854
DH ₂ O	41.4 m ³ al giorno (*)
REF	500 A.E.

Tab. 2.17 – Valore dei vincoli considerati.

Nel modello si è tenuto conto dei lavoratori che operano all'interno del Parco: circa 20 unità come fluttuanti stagionali, OFS (ovvero che pernottano nell'isola), e circa 90 unità come fluttuanti giornalieri, OFG. Uno dei principali problemi per la fruizione turistica dell'Isola è la disponibilità idrica, problema che si acuisce nei mesi di luglio e agosto, quando si ha maggior numero di visitatori. Secondo il Piano Regolatore Generale degli Acquedotti (PRGA 129/63 e s. m. i.) la dotazione idrica per la popolazione fluttuante stagionale (categoria in cui rientrano i turisti che pernottano nel sito) è di 200 litri al giorno pro-capite (al netto delle perdite del sistema di distribuzione). Il PRGA per la popolazione fluttuante giornaliera (categoria in cui rientrano gli escursionisti) è di 100 litri al giorno pro-capite (al netto delle perdite del sistema di distribuzione). Altri Piani per lo standard di consumo della popolazione fluttuante danno valori di dotazione pro-capite giornaliera più alti. Il Piano della

Regione Puglia prevede 266 litri per abitante al giorno. Il Piano Regolatore degli Acquedotti della Sardegna (2006) evidenziava che il consumo idrico della popolazione turistica risultava più che doppia rispetto a quella residenziale; dato confermato da altre fonti (ad es. Regione Piemonte, Valutazione Ambientale Strategica del Piano Strategico Regionale del Turismo, 2008).

Considerando i valori previsti dal PRGA si è stimata che la dotazione giornaliera di acqua potabile per gli operatori (stagionali e giornalieri), sia di 13 m³. Questo fa sì che la dotazione idrica giornaliera per i turisti si riduca a 28,4 m³. In merito alla depurazione delle acque reflue, si sono considerate le equivalenze di tabella 2.18. Per quantificare il vincolo, si è tenuto conto del numero dei coperti del ristorante (130), e si è ipotizzato che il 70 % dei turisti (escursionisti e fruitori dell'ostello) si avvalga dei servizi dei bar. Anche in questo caso nel calcolo del vincolo si è valutata la presenza degli operatori fluttuanti giornalieri e stagionali. Per determinare la capacità di smaltimento delle acque reflue all'Asinara si è considerato solo il depuratore di Cala d'Oliva (capacità 500 A.E.), poiché gli altri due depuratori presenti (con capacità di 400 A.E. e 1000 A.E.) non entravano in funzione per difficoltà di gestione e per la variabilità delle presenze Parco Nazionale dell'Asinara (2008a).

Ristorante	3 coperti (CR)	1 A.E.
	3 addetti (AR)	1 A.E.
Bar	7 clienti (CBAR)	1 A.E.
	3 addetti (ABAR)	1 A.E.
Ostello	2 posti letto	1 A.E.
	3 addetti (AO)	1 A.E.
Escursionisti	3 persone	1 A.E.
Operatori fluttuanti giornalieri (OFG)	3 persone	1 A.E.
Operatori fluttuanti stagionali (OFS)	1 persona	1 A.E.

Tab. 2.18 - Reflui: stima degli abitanti equivalenti. Elaborazione da dati Ente Parco.

Risultati e discussione

Dall'equazione 2 e tenendo conto dei vincoli, il problema si può schematizzare nel modo seguente:

Funzione da massimizzare $\max f(x) = 90.10 TE + 42.34 ES$

soggetta ai seguenti vincoli:

$$NPE \quad TE \leq 73$$

$$NTM \quad ES+90+TE \leq 854 \quad \text{dove 90 sono i posti per gli OFG}$$

$$DH_2O \quad 200TE+100ES+13000 \leq 41400 \quad \text{dove 13000 litri sono la disponibilità idrica per OFG e OFS}$$

$$REF \quad 0.5TE+1/3 ES+1/3 AO+1 OFS+1/3 OFG+1/3 (CR+AR)+1/3 ABAR+1/7 CBAR \leq 500$$

Il numero di turisti giornalmente ospitabile, nel rispetto di parametri di sostenibilità e massimizzando la capacità di spesa, è quindi di 73 unità nell'ostello e di 138 escursionisti, ovvero un totale di 211 turisti. Un valore molto più basso di quello effettivo, secondo le stime dell'Ente Parco (Tab. 2.15), sia nel mese di luglio (nel 2011, circa 330 persone al giorno) sia nel mese di agosto (nel 2011, circa 600 persone al giorno). Il numero ottenuto è dovuto essenzialmente alla scarsità dell'acqua potabile disponibile, presente nei borghi di Cala Reale e di Cala d'Oliva solo nelle

strutture del Ministero dell'Ambiente; le altre utenze sono approvvigionate con acqua non potabile proveniente dagli invasi artificiali.

Si osserva che almeno fino al 2012 nel Parco Nazionale dell'Asinara non sono mai stati quantificati in modo ufficiale gli arrivi giornalieri dei visitatori, eccetto quelli dell'ostello di Cala d'Oliva. Venivano, tuttavia, effettuate dall'Ente gestore stime mensili e annuali, calcolate in base al fatturato delle società che si occupavano dei servizi di trasporto marittimo e terrestre (dati non ufficiali e non pubblicati). Pertanto si può supporre che il superamento della CCT nei mesi estivi si sia verificato in maniera più evidente nei fine-settimana.

Nel modello non si è potuto inserire tra i vincoli la capacità di smaltimento dei rifiuti solidi urbani in quanto all'Asinara non era presente un servizio di raccolta rifiuti né la raccolta differenziata: i rifiuti prodotti (provenienti in gran parte dalle strutture di ristorazione e pernottamento) venivano accumulati in un compattatore, a Cala Reale in una zona sconosciuta ai visitatori; periodicamente un addetto del comune effettuava la compattazione; quando il cassone era pieno veniva trasportato a Porto Torres dalla motonave della linea pubblica. Nel 2011 sono stati prodotti nell'isola 424 quintali di rifiuti. Secondo alcuni studi un turista extralberghiero produce 1.5 kg/giorno. Il problema dell'assenza di un servizio di nettezza urbana è un grosso limite, specialmente in un'area protetta: i visitatori giornalieri non sanno dove lasciare i rifiuti prodotti (derivanti dal pranzo al sacco) e sono costretti a portarli in barca per smaltirli al di fuori dell'isola. Ovviamente non tutti i turisti sono così rispettosi dell'ambiente, perciò molti abbandonano i rifiuti nel parco. Stesso problema si riscontra con i turisti nautici, che spesso abbandonano i rifiuti per tutta l'isola non trovando dei cassonetti di raccolta presso i moli.

Pur non avendo dati certi sul numero degli arrivi giornalieri degli escursionisti nel Parco Nazionale dell'Asinara, tuttavia, si può affermare che essi superano di gran lunga i turisti extralberghieri essendo la capacità ricettiva dell'Asinara di 73 posti letto. Questo comporta risvolti negativi sul territorio: un minor impatto economico (la spesa media giornaliera di un escursionista è inferiore a quella di chi pernotta), un minor coinvolgimento nelle attività organizzate dall'Ente Parco per il tempo ridotto della visita che prevede un percorso con tappe prestabilite, un maggiore impatto sull'ambiente soprattutto per chi effettua la visita libera il cui comportamento nel parco non è controllato dagli operatori. Inoltre la stagionalità dei flussi turistici, concentrati soprattutto nei mesi estivi, fa sì che il carico antropico si concentri in un periodo limitato in cui è facile che il limite di capacità di carico venga superato.

2.5.6 CONCLUSIONI

Il calcolo della CCT deve essere usato come strumento di gestione per monitorare i flussi turistici e far sì che questi non compromettano né l'ambiente né le dinamiche sociali ed economiche del territorio (Bottero et al., 2009). Analizzando la gestione del turismo all'Asinara si può osservare che al fine di conciliare la fruizione turistica migliorarla e renderla più sostenibile si può ipotizzare che siano necessarie alcune azioni come, ad esempio:

- monitoraggio degli arrivi turistici giornalieri, classificati in base alle tipologie di visita (escursionisti e turisti extralberghieri, mezzi marittimi e mezzi terrestri utilizzati) e alle aree visitate, al fine di individuare quanti turisti al giorno sono effettivamente presenti nel parco e conseguentemente valutare il loro grado di impatto sull'area protetta;
- stagionalizzazione dei flussi turistici e aumento della capacità ricettiva;
- promozione di un turismo sostenibile e di un'etica ambientale mediante attività di educazione ambientale rivolte ai visitatori;
- incentivazione del trasporto pubblico, soprattutto nel periodo estivo, per evitare l'affollamento dei bus pubblici e migliorare il grado di soddisfazione dei passeggeri;
- efficiente sistema di raccolta rifiuti, possibilmente differenziata, con la predisposizione in punti strategici del Parco di isole ecologiche;
- aumento della disponibilità idrica, che al momento è il fattore più limitante.

La maggiore disponibilità di informazioni e dati potrebbe rendere la stima della CCT uno strumento ancora più efficace per la gestione dei flussi turistici, permettendo di considerare anche variabili e vincoli che non è stato possibile inserire nel modello adottato. Nonostante tutto, la caratteristica e peculiarità del Parco Nazionale, oltre all'enorme sforzo dell'Ente Parco in questo contesto culturale, porta l'Asinara ad essere meta ambita e sempre più apprezzata del turismo mediterraneo. I dati evidenziano che le visite sono in costante aumento, in controtendenza con il calo di visite di Sardegna e Italia. Incentivati dalle peculiarità del Parco Nazionale e dalle sue potenzialità è necessario mettere a punto un modello di fruizione adeguato alle caratteristiche del luogo, per conservare oltre la biodiversità anche "l'atmosfera", per arrivare al livello di altri parchi del mediterraneo che hanno caratteristiche simili (Carboni et al., 2015). È, infine, importante evidenziare che il Parco dell'Asinara e gli altri parchi insulari geo-marini non devono essere "misurati" solo con il parametro "presenza turistica" ma, per una loro corretta analisi e programmazione, devono essere considerati criteri che tengano conto delle loro caratteristiche e singolarità e, possibilmente, li mettano in relazione con il contesto più ampio in cui sono inseriti.

2.5.7 BIBLIOGRAFIA

- Abozzi L. M. (2012). *Il Parco Nazionale dell'Asinara visto attraverso l'antropizzazione e la percezione dei visitatori*. Tesi di Laurea Magistrale in Antropologia Culturale ed Etnologia, Dip. Storia, Scienze dell'Uomo e della Formazione, Univ. Sassari, A.A. 2012-13.
- Benincasa F., Carboni D., De Vincenzi M. (2012). *L'impatto della frequentazione antropica sulle coste: dalla fotografia ai modelli matematici*. Atti IV Simposio Int. Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo: problematiche e tecniche di misura, Livorno 12-14 giugno 2012 Ed. CNR-IBIMET, pp. 3-22.
- Boccheri E. (1993). *Aspetti floristici e vegetazionali*. In A. Cossu, V. Gazale, X. Monbailliu, A. Torre (a cura di), *Asinara. Storia, natura, mare e tutela dell'ambiente*, Carlo Delfino Editore, Sassari, pp. 149-174.
- Bottero M., Cimnaghi E. (2009). *La capacità di carico turistica in un'area protetta: confronto tra due diversi modelli di calcolo*. In: Federalismo, integrazione europea e crescita regionale, XXX Conf. It. Scienze Regionali-AISRE, Firenze 9-11 settembre 2009.
- Boyd S.W., Butler R.W. (1996). *Managing Ecotourism: An Opportunity Spectrum Approach*. *Tourism Management*. 17 (8): 557- 566.
- Carboni D., Congiatu P., De Vincenzi M. (2015). *Asinara National Park. An Example of Growth and Sustainability in Tourism*. *Jour. Environmental and Tourism Analyses* 3 (1): 44-60.
- Cetti Serbelloni F. (1991). *Turismo ed aree protette*. In E. Pranzini e G. Valdrè (a cura di), *La gestione dei parchi e delle aree protette*. Roma, Edizioni delle Autonomie.
- Cifuentes M. (1992). *Determinacion de capacidad de carga turistica en areas protegidas*. WWF-CATIE Costarica.
- Coccosis H., Mexa A., Collovini A., Parpairis A., Konstandoglou M. (2001). *Defining, measuring and evaluating carrying capacity in european tourism destinations*. Final report of the Environmental Planning Laboratory of the University of the Aegean, Greece.
- Cooperativa sognAsinara <http://www.sognasinara.it>, (25/1/2017)
- Galli P., Notarianni M. (2002). *La sfida dell'ecoturismo*. Ed. De Agostini, Novara, pag. 206.
- Gazale V., P. Congiatu P. (2005). *Guida pratica al Parco Nazionale dell'Asinara*. Editrice Archivio Fotografico Sardo, Nuoro.
- Giglio N. (1970). *L'Asinara*. Ed. Chiarella, Sassari
- Ginesu S., Pirino M., Pusceddu A., Sias S, Trebini L. (1998). *L'indagine geomorfologica del territorio dell'Asinara*. In *Gutierrez M., Mattone A. e Valsecchi F.* (a cura di), *L'isola dell'Asinara. L'ambiente, la storia, il parco*. Ed. Poliedro, Nuoro, pp. 133-138.
- Lindberg K., McCool S., Stankey G. (1997). *Rethinking Carrying Capacity*. *Annals of Tourism Research* Vol. 24, Part II: 461- 465.

Parco Nazionale dell'Asinara (2008a). Il Piano del Parco: Relazione generale. <http://www.parcoasinara.org/download.php?id=507>, (23/1/2017).

Parco Nazionale dell'Asinara (2008b). Il Piano del Parco: Sistema ambientale. <http://www.parcoasinara.org/download.php?id=513>, (3/2/2017).

Parco Nazionale dell'Asinara (2008c). Il Piano del Parco: Sistema Storico Culturale e Sistema Insediativo. <http://www.parcoasinara.org/download.php?id=514>, (3/2/2017).

Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare. CLINO (CLimate NOrmals), <http://clima.meteoam.it/Clino61-90.php>, (3/2/2017).

www.parcoasinara.org, (5/1/2017).

2.6

BILANCIO IDRICO MULTISCALE DI AREE FORESTALI E AGRICOLE

Chiesi M.⁽¹⁾, Angeli L.⁽²⁾, Battista P.⁽¹⁾, Bottai L.⁽²⁾, Fibbi L.⁽¹⁾, Gardin L.⁽¹⁾, Gozzini B.⁽²⁾, Rapi B.⁽¹⁾, Romani M. ⁽¹⁾, Sabatini F. ⁽¹⁾, Maselli F.⁽¹⁾

¹ CNR-Istituto di Biometeorologia, via Madonna del Piano 10, Sesto Fiorentino (FI)

² Consorzio LaMMA, via Madonna del Piano 10, Sesto Fiorentino (FI)

2.6.1 INTRODUZIONE

La conoscenza del contenuto idrico del terreno (SWC) è essenziale per la comprensione di fenomeni fisici e biologici di grande importanza per le attività gestionali ed economico-produttive legate all'ambiente. Per il settore agroforestale, in particolare, SWC influenza direttamente lo stato dei vegetali, la loro crescita e produttività, sia in termini quantitativi che qualitativi, giungendo in forma indiretta, tramite l'azione sull'attività microbica e sullo stato del terreno, a condizionare gli equilibri dell'intero ecosistema. Per tale motivo, negli ultimi anni sono state sviluppate nuove metodologie per la sua misura a scale diverse, che hanno notevolmente ampliato le conoscenze teorico-pratiche, portando allo sviluppo di applicazioni d'interesse operativo che iniziano a trovare diffusione anche all'interno di realtà di medio-piccole dimensioni (Bittelli, 2011).

In mancanza di misure dettagliate multilivello e multiscala, tuttavia, la stima del SWC può essere effettuata tramite modelli integrati, che tengano conto delle caratteristiche fisico-chimiche dei terreni, delle condizioni meteo-climatiche e dello stato dei vegetali (crescita, densità, efficienza, ecc.). Per le componenti relativamente stabili nel tempo, come la tipologia di suolo e la sua profondità, le informazioni necessarie possono essere reperite dagli archivi messi a disposizione in forma gratuita dai vari servizi regionali, mentre per quelle più dinamiche occorre disporre di dati meteorologici aggiornati, modelli agrometeorologici affidabili e immagini ad alta definizione, raccolte con frequenza adeguata ed elaborate secondo procedure consolidate.

Le informazioni ricavate tramite rilevamenti da piattaforme aeree o satellitari consentono, infatti, di migliorare la rappresentatività e affidabilità delle analisi condotte localmente, estendendone l'uso ad ambiti più ampi. Anche partendo dai metodi operativi tradizionali, come quelli basati sul concetto di coefficiente colturale, K_c (Allen et al., 1998), l'uso integrato dei dati terrestri e satellitari consente di ottenere stime soddisfacenti anche a scale molto ampie (Glenn et al., 2010; Rocha et al., 2012).

L'integrazione di dati satellitari a media risoluzione, come Landsat e MODIS, anche per scopi finalizzati alla gestione operativa dell'irrigazione, con osservazioni di contesto e agrometeorologiche sulle colture, è pratica ormai consolidata. Ad esempio, nel sistema TOPS-SIMS (TOPS - *Satellite Irrigation Management Support* - <https://ecocast.arc.nasa.gov/sims/about/>), applicato in California, la copertura vegetale è associata con i coefficienti colturali per trasmettere agli agricoltori dati sull'evapotraspirazione da utilizzare per la stima dei fabbisogni idrici a scala locale, ricavabili da carte tematiche pubblicate ogni 8 giorni, con una risoluzione al suolo di 30 m. L'ambiente operativo TOPS, sviluppato per monitorare e prevedere le condizioni ambientali, fornisce un discreto range di possibilità per l'integrazione di osservazioni derivate da satelliti e reti di sensori a terra, principalmente tramite

modelli, siano essi colturali, biochimici, ecologici, meteorologici o climatologici (Nemani et al., 2009).

Su queste basi, il nostro gruppo di ricerca ha recentemente proposto un nuovo metodo di stima (chiamato NDVI-Cws) che combina l'indice di vegetazione a differenza normalizzata (NDVI) e i dati meteorologici per valutare operativamente l'evapotraspirazione reale giornaliera (ET_r), sia localmente che a scala regionale (Maselli et al., 2014). Il lavoro mostra la possibilità di combinare diversi metodi (Fig. 2.46) all'interno di un sistema organico di valutazione del contenuto idrico del suolo, ottenendo vantaggi significativi in termini di validità e precisione delle stime. La procedura è stata applicata su due aree di studio in Toscana, la prima in ambito tipicamente forestale (Barbiatta, Montaione) e la seconda in ambito agrario, su pomodoro da industria coltivato in pieno campo (Roselle). A livello locale, i risultati ottenuti sono confrontati con le misurazioni giornaliere del contenuto d'acqua del suolo effettuate in diversi periodi.

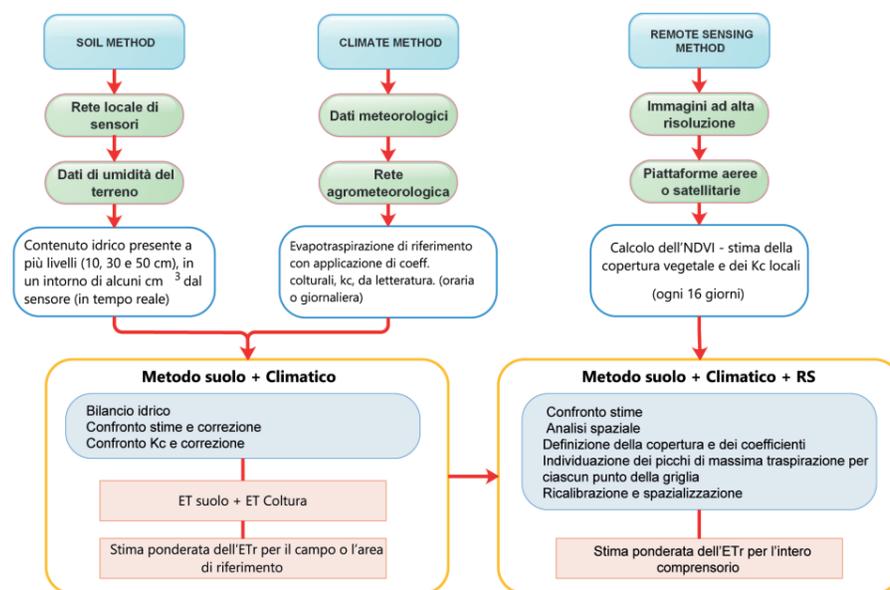


Fig. 2.46 – Diagramma a blocchi della procedura utilizzata per la stima dell'evapotraspirazione reale.

2.6.2 METODOLOGIA

In ambito agroforestale, i metodi maggiormente utilizzati per la stima dell'evapotraspirazione si basano sulla misura diretta tramite sensori di umidità del suolo (*Soil Method*), sull'applicazione di formule classiche per il calcolo dell'ET_r (*Climate Method*) e sulle procedure studiate per i sistemi di monitoraggio della terra, per applicazioni a larga scala (*Remote Sensing Method*). Ciascuno di questi metodi presenta dei vantaggi e dei limiti intrinseci, legati ai principi fisici sui quali si basa e alla scala operativa per la quale è stato sviluppato (Bacci et al., 2008). Le relative misure e indicazioni, tuttavia, possono essere utilizzate in modo più efficace all'interno di sistemi integrati, in grado di effettuare le opportune valutazioni, correzioni e controlli, per trarre il massimo vantaggio in termini di rappresentatività e affidabilità dell'informazione prodotta. Risultando tipicamente multiscopo ed essendo orientati a rispondere alle esigenze di varie tipologie di utenza, questi metodi sono altresì in grado di garantire vantaggi anche economici, ottimizzando le risorse già presenti sul territorio senza richiedere investimenti aggiuntivi (reti locali, regionali e nazionali).

Lo schema di figura 2.46 mostra in maniera semplificata i passaggi salienti delle procedure utilizzate a livello operativo per l'uso integrato dei dati prodotti dai tre metodi, al fine di ottenere stime spaziali dell'evapotraspirazione, pesate in funzione della copertura e dello stato della vegetazione.

Stima dell'evapotraspirazione e del contenuto idrico del suolo

Il metodo NDVI-Cws, recentemente proposto da Maselli et al. (2014), integra dati telerilevati ed ancillari per stimare l'ET_r di aree a diversa copertura vegetale. Il metodo si basa sul concetto di coefficiente colturale, K_c (Allen et al., 1998), che viene stimato usando gli indici di vegetazione (Glenn et al., 2010). L'indice NDVI, in particolare, viene usato per stimare la *fractional vegetation cover* (FVC), corrispondente alla quantità di biomassa verde traspirante sensibile allo stress idrico a lungo termine. La stima dell'FVC è ottenuta secondo quanto proposto da Gutman e Ignatov (1998), e consente di simulare separatamente la traspirazione della coltura e l'evaporazione dal suolo, grandezze entrambe limitate dallo stress idrico a breve termine. Questo tipo di stress viene considerato introducendo due fattori meteorologici, che sono applicati a superfici vegetate e non, per stimare la traspirazione (TrA) e l'evaporazione (EvA), espresse in mm/giorno, secondo le formule:

$$TrA = ET_0 \cdot FVC \cdot K_{c_{veg}} \cdot Cws \quad (3)$$

$$Ev_A = ET_0 \cdot (1-FVC) \cdot K_{c_{soil}} \cdot AW \quad (4)$$

dove ET₀ è l'evapotraspirazione potenziale stimata sulla base dei dati meteorologici, K_{c_{veg}} e K_{c_{soil}} sono rispettivamente il valore massimo di K_c per la vegetazione ed il suolo (Tab. 2.19), e Cws (*Coefficient of Water Stress*) e AW (*Available Water*) sono i due fattori meteorologici.

Tipo di Copertura	K _{c_{veg}}	K _{c_{soil}}
Alberi	0.7	0.2
Erbe	1.2	0.2

Tab. 2.19 - Parametri applicati per stimare TrA and EvA (eq. 3 e 4).

Come spiegato in Maselli et al. (2014), AW e Cws sono calcolati dal rapporto tra precipitazione ed ET₀ cumulata su intervalli di tempo variabili da 1 a 2 mesi, a seconda che prevalga o meno la componente arborea. I due fattori di stress idrico, i cui valori variano rispettivamente tra 0 ÷ 1 e 0.5 ÷ 1, sono sempre attivati in ecosistemi non irrigati. Nelle altre situazioni, eventuali apporti idrici dovuti a irrigazione o alla presenza di una falda idrica superficiale, sono dedotti dalla presenza di biomassa verde nei periodi più siccitosi; pertanto AW e Cws vengono disattivati tra maggio e settembre se la FVC è maggiore di 0.6.

L'Evapotraspirazione dei diversi tipi di vegetazione viene stimata con le equazioni 3 e 4, usando l'indice NDVI estratto per le specie arboree e per quelle erbacee. Le stime di ET_r sono poi usate per guidare la simulazione di un bilancio idrico semplificato applicando la seguente formula (Gardin et al., 2014):

$$V_i = V_{i-1} + PREC_i - ET_r_i - DP_i \quad (5)$$

dove

- V_i - Contenuto idrico volumetrico del suolo, SWC, che varia dalla superficie del suolo fino alla profondità esplorata dalle radici, del giorno i-esimo (mm/giorno)
- PREC_i - precipitazione del giorno i-esimo (mm/giorno)
- ET_r_i - evapotraspirazione reale del giorno i-esimo (mm/giorno)
- DP_i - percolazione o ruscellamento del giorno i-esimo (mm/giorno)

Il valore massimo di SWC può essere determinato considerando una profondità del suolo pari a quella delle radici e una capacità di campo derivata dalle mappe del suolo. Le stime giornaliere di V_i sono quindi convertite in frazione di SWC (adimensionale).

Dati di studio

Le simulazioni del bilancio idrico sono guidate dai dati meteorologici giornalieri (temperatura minima e massima, precipitazione e radiazione solare) raccolti da una stazione agrometeorologica installata per l'attività di studio o, in caso di indisponibilità, utilizzando quelli ottenuti dall'interpolazione dei dati della rete meteorologica Toscana, con una risoluzione spaziale di 250 m, applicando sequenzialmente gli algoritmi DAYMET e MT-CLIM (Thornton et al., 1997, 2000).

Le informazioni sulle proprietà del suolo sono derivate dal Database regionale dei suoli (Gardin e Vinci, 2006). Le informazioni relative ai parametri del suolo sono ottenute applicando le funzioni di pedotrasferimento (*pedotransfer function*, PTF) ai dati di granulometria (sabbia, limo e di argilla) e di densità apparente (Schaap et al., 2001). Le immagini di NDVI utilizzate per il calcolo della FVC derivano dal sensore MODIS Terra; hanno una risoluzione spaziale di 250 m e sono composizioni di scene giornaliere a 16 giorni: ciò avviene tramite un algoritmo che seleziona il valore più alto del pixel per tutto il periodo (Maximum Value Composite, MVC), limitando così valori anomali a causa di nubi. Tutte le immagini NDVI che coprono l'Italia centrale sono state scaricate dal database USGS (<https://lpdaac.usgs.gov>) per il periodo coincidente con le misure a terra.

2.6.3 ESEMPI APPLICATIVI IN AMBITO AGROFORESTALE

Per questo lavoro sono stati utilizzati i dati di due prove condotte rispettivamente su pomodoro da industria e su bosco misto di latifoglie (Fig. 2.47). In entrambi i casi, oltre alla disponibilità di immagini satellitari MODIS e informazioni agrotecniche di dettaglio (pedologia, fenologia, ecc.), sono stati raccolti dati di umidità del suolo, rilevati da reti di monitoraggio locali, e dati agrometeorologici, acquisiti da stazioni poste in prossimità dei siti sperimentali.

Entrambe le aree selezionate possono essere considerate rappresentative delle rispettive tipologie agricole e forestali, collocandosi nell'ambito di condizioni intermedie a livello regionale dal punto di vista delle tecniche gestionali. Questo ha consentito di quantificare il miglioramento ottenuto con l'introduzione del coefficiente KcNDVI nella stima dell'ETr su piante di pomodoro da industria (caso 1) e verificare la validità della metodologia proposta nella valutazione del contenuto idrico presente nel terreno in un sito forestale (caso 2).

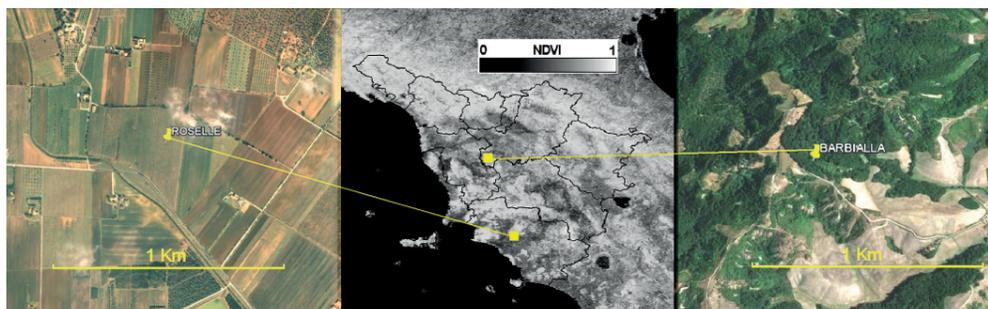


Fig. 2.47 - Immagine MODIS NDVI di Agosto 2009 con indicata la posizione geografica dei siti di misura di Roselle e Barbiella; le immagini a più alta risoluzione sono state prese da GoogleEarth.

Caso 1 - Stima dell'ETr sul pomodoro da industria

Il caso di studio ha riguardato l'applicazione del metodo NDVI-Cws nel sito agricolo di Roselle (Grosseto) (Fig. 2.47), dove durante la stagione vegetativa del 2009 erano stati piantati pomodori da industria. L'appezzamento, di circa 10 ha, irrigato con un impianto a manichette forate, era circondato da appezzamenti coltivati a cereali autunno-vernini. Il terreno è stato classificato argillo-limoso, con una capacità di campo di $0.345 \text{ m}^3/\text{m}^3$ e un punto di appassimento di $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Nel corso del ciclo produttivo (da fine aprile ai primi di agosto), una stazione agrometeorologica è stata posizionata in prossimità del campo e due sensori (Decagon EC-20) sono stati installati a 30 cm di profondità, per monitorare l'umidità del terreno rispettivamente tra le file binate e all'interno della bina. Dalle

differenze temporali del contenuto idrico del terreno è stata derivata la ETr, basandosi sull'equazione (5). La stima di ETr è stata ottenuta calcolando ETo con l'equazione di Penman Monteith (Allen et al., 1998) e applicando i Kc per la coltura del pomodoro derivati sia dalla letteratura (Regione Toscana <http://agroambiente.info.arsia.toscana.it/agro14/docs/books/irriga.pdf>; Regione Sardegna - www.sar.sardegna.it/pubblicazioni/notetecniche/nota4/pag005.asp; Regione Campania - www.agricoltura.regione.campania.it/disciplinari/2015/pomodorodaindustria.pdf) sia dalle immagini NDVI, secondo il metodo proposto da Maselli et al. (2014).

Per l'applicazione del metodo NDVI-Cws i valori NDVI del sito sono stati estratti dal corrispondente pixel MODIS e temporalmente interpolati su una base quotidiana. Dai valori NDVI giornalieri, sono stati ottenuti i corrispondenti valori di FVC, tramite l'equazione lineare proposta da Gutman e Ignatov, (1998), con $\text{NDVI}_{\text{min}} = 0.15$ e $\text{NDVI}_{\text{max}} = 0.9$ (Maselli et al., 2014 per i dettagli). Infine, l'ETr giornaliera è stata stimata applicando le equazioni (3) e (4) per l'intero periodo di studio.

Il confronto tra i valori di ETr stimati in funzione dei Kc e quelli misurati mediante i sensori di umidità del suolo mostra un progressivo miglioramento della capacità di stima all'aumentare delle informazioni disponibili (Fig. 2.48).

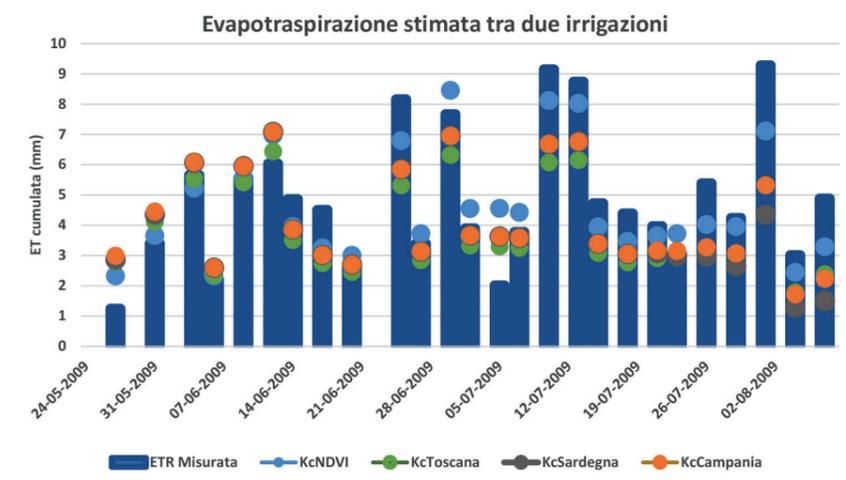


Fig. 2.48 - Andamento dei valori di ETr stimati (KcNDVI, KcToscana, KcSardegna e KcCampania) e misurati.

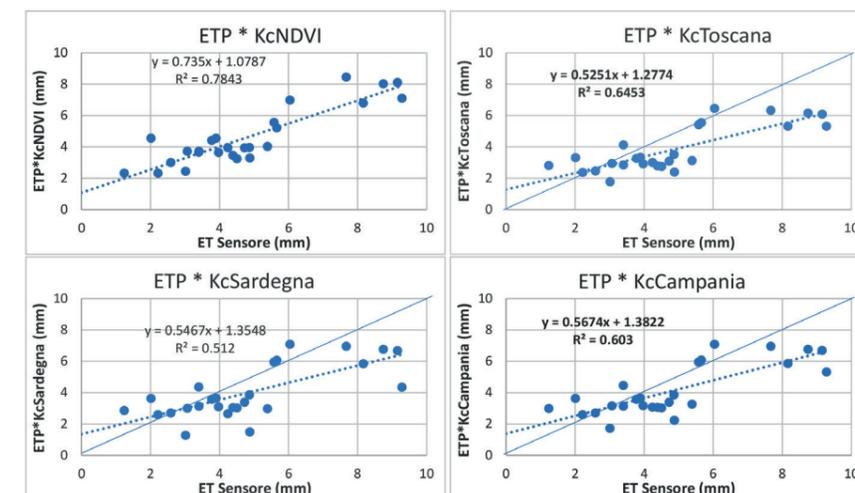


Fig. 2.49 - Confronto tra i valori giornalieri di ETr stimati (KcNDVI, KcToscana, KcSardegna e KcCampania) e misurati per l'intero periodo.

In particolare, tra i valori di Kc forniti a livello regionale, quelli della Regione Toscana, espressamente indicati per colture di pomodoro da industria (lungo/ibrido), trapiantato e coltivato su file binate, con irrigazione a goccia, si mostrano soddisfacenti per la stima dei fabbisogni idrici della coltura. L'impiego dei KcNDVI permette, tuttavia, di distinguere con maggiore accuratezza le differenze esistenti tra le diverse fasi del ciclo produttivo (Fig. 2.49).

Periodo riferito alla data del trapianto	KcNDVI			KcToscana			KcSardegna			KcCampania		
	R ²	a	b									
1-54	0.83***	0.81	0.98	0.62**	0.62	1.44	0.65**	0.71	1.45	0.63**	0.69	1.52
55-75	0.64*	0.60	2.22	0.72*	0.49	1.52	0.72*	0.54	1.67	0.72*	0.54	1.67
76-95	0.86***	0.66	1.03	0.81**	0.48	0.88	0.47*	0.35	1.11	0.71**	0.47	1.02

Tab. 2.20 – Parametri della regressione lineare tra i valori stimati di ETr e misurati, relativi alle diverse fasi del ciclo: a - coeff. angolare; b - intercetta; R² - coeff. di determinazione (*** P<0.001; ** P<0.01; * P<0.1).

I dati confermano le potenzialità applicative del metodo di stima dell'ETr a partire da immagini satellitari, anche per colture irrigate nelle quali sono presenti condizioni di disomogeneità legate a una diversa copertura del campo e/o a pratiche irrigue localizzate. I vantaggi derivanti dall'uso di KcNDVI sono risultati significativi, in particolare, nel corso delle prime fasi di sviluppo (maggio-giugno) e nella fase finale del ciclo colturale (luglio-agosto) (Tab. 2.20).

Caso 2 - Stima del SWC in un bosco misto di latifoglie

Questo studio è stato condotto nel sito di Barbiolla (Montaione - Firenze), ad un'altitudine di 135 m s.l.m. (Fig. 2.47). Secondo la classificazione di Thornthwaite, il clima della zona è sub-umido, con una piovosità media annua di 920 mm e temperatura media annua di 15.1°C. La copertura vegetale corrisponde ad un bosco misto di latifoglie ed è composta principalmente da carpino nero (*Ostrya carpinifolia Scop.*), pioppo (*Populus alba L.*) e querce caducifoglie (*Quercus cerris L.*, *Q. pubescens L.*). La superficie del terreno è coperta da vegetazione erbacea spontanea e da piccole comunità arbustive costituite da *Cornus mas*, *C. sanguinea*, *Coronilla hemerus*, *Crataegus monogyna*, *Pyracantha coccinea* e *Rubus canescens*. Il suolo dell'area di studio, classificato secondo la *Soil Taxonomy* come *Typic Ustothents coarse loamy, mixed, calcareous, thermic*, è profondo circa 140 cm, privo di ghiaie e pietre, ben drenato.

Nell'ambito del progetto MAGNATUM (Zambonelli et al., 2012), che ha consentito di caratterizzare il suolo dell'area di studio, sono state installate 4 sonde di umidità del suolo (Decagon EC-TM) ad una profondità di 20 cm, entro un'area di circa 1500 m²; i dati orari sono stati registrati dal 2009 al 2012 mediante un data-logger ED50. Il terreno è stato classificato franco-sabbioso, con una capacità di campo di 0.29 cm³/cm³ e un punto di appassimento di 0.08 cm³/cm³.

Il bilancio idrico è stato calcolato applicando il modello FAO56 (Allen et al. 1998) e il metodo NDVI-Cws. A questo scopo, i dati meteorologici giornalieri di temperatura, precipitazioni e radiazione solare, interpolati per il sito di studio, sono stati usati per stimare l'ET_o applicando la formula empirica di Jensen e Haise (1963). Il coefficiente p richiesto dal metodo FAO56 è stato fissato a 0.4 seguendo dati tabulari opportunamente modificati in funzione del tipo di suolo, apparato radicale e delle condizioni di ET_o. Infine, il Kc dell'area di studio forestale è stato impostato a 0.2 durante l'inverno e a 0.5 durante la stagione di crescita, da aprile a ottobre (Allen et al., 1998). Il metodo NDVI-Cws è stata applicato come nel caso di studio precedente.

Le temperature e le precipitazioni relative al sito di Barbiolla mostrano rilevanti variabilità inter-annuali durante il periodo di studio. In particolare, le temperature medie sono intorno a 15°C e le precipitazioni annue vanno da 550 mm nel 2011 a 1200 mm nel 2010. Le precipitazioni hanno un minimo in estate nei mesi più caldi; di conseguenza, la stagione secca è concentrata intorno a Luglio e Agosto, ma con lunghezza variabile.

Le misurazioni del contenuto idrico del suolo mostrati in figura 2.50 indicano una riduzione della disponibilità d'acqua durante i mesi estivi, generalmente seguita da una fase di ricarica durante l'autunno, stagione mediamente più piovosa e con una riduzione dell'evapotraspirazione.

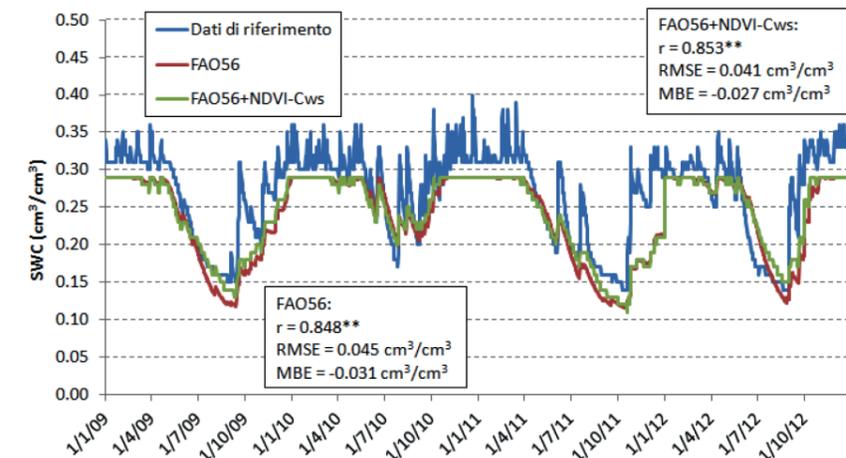


Fig. 2.50 Contenuto idrico del suolo (SWC) misurato e stimato con il metodo FAO56 e con il metodo FAO56 combinato con i dati di ETr ottenuti da NDVI-Cws (**= correlazioni altamente significative, P<0.01).

Tra i quattro anni considerati, il 2010 è il più umido e di conseguenza mostra un contenuto idrico più elevato in estate. Il metodo FAO56 riproduce abbastanza bene l'evoluzione del contenuto idrico generale di tutti e quattro gli anni (r=0.848, RMSE=0.045 cm³/cm³, MBE=-0.031 cm³/cm³). L'integrazione delle stime di evapotraspirazione derivate dal metodo NDVI-Cws migliora i risultati del modello sia in termini di correlazione che di errore (r = 0.853, RMSE = 0.041 cm³/cm³, MBE = -0.027 cm³/cm³).

2.6.4 DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Questo studio ha riguardato l'integrazione di dati a terra e telerilevati per la valutazione dei vantaggi informativi offerti dall'impiego di Kc derivati da satellite in ambito agricolo e la stima del SWC in ambito forestale. I risultati ottenuti confermano le potenzialità applicative del metodo di stima dell'ETr a partire da immagini satellitari, anche per colture irrigate nelle quali sono presenti condizioni di disomogeneità legate a una diversa copertura del campo e/o a pratiche irrigue localizzate.

Il metodo FAO56, basato sul concetto di coefficiente colturale Kc, riproduce le variazioni temporali del contenuto idrico del suolo con una certa imprecisione. Questo deriva in parte dalle assunzioni di base della teoria applicata. Tale modello, infatti, non considera la natura multi-strato dei sistemi suolo e rappresenta solo alcuni processi che hanno un impatto variabile sul contenuto idrico del suolo (es. intercettazione delle precipitazioni delle piante e del sottobosco, percolazione profonda, ruscellamento, ecc). La fonte di errore più rilevante, tuttavia, è dovuta alla insufficiente caratterizzazione della vegetazione che determina la resistenza dell'ecosistema alla perdita di acqua. Questo ultimo fattore viene parzialmente affrontato integrando le stime di ETr ottenute con il metodo NDVI-Cws, migliorando così l'accuratezza delle stime ottenute.

Mentre l'importanza di questi risultati è evidente, la loro rappresentatività è limitata dal numero ancora troppo basso di siti e tipologie vegetali analizzate. Sebbene vi siano già numerose conferme, sia in campo agricolo (su grano, vite e olivo) che forestale (su ampie zone regionali), ulteriori test sono necessari per mettere a punto procedure di tipo automatico, da estendere a livello regionale.

Una volta verificata e validata su un più ampio ventaglio di tipologie vegetazionali, tale metodologia potrà essere integrata pienamente all'interno della catena operativa di monitoraggio e previsione della siccità in Toscana, implementata dal Consorzio LaMMA in collaborazione con l'IBIMET-CNR. Il servizio operativo, infatti, è attualmente focalizzato sul monitoraggio del fenomeno dal punto di vista meteorologico e climatico, sia in quasi real-time che con previsioni stagionali. A tale scopo vengono utilizzati sia indici diretti di pioggia che di risposta della vegetazione a stress

termo-pluviometrici, derivati da immagini satellitari. Nell'insieme, si conferma anche l'importanza di disporre di datasets di NDVI con buone caratteristiche, la cui disponibilità dovrebbe essere maggiore nei prossimi anni, grazie alle nuove missioni satellitari (Sentinel 2 e 3).

2.6.5 BIBLIOGRAFIA

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998). *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and drainage paper 56, Rome, pag. 300.
- Bacci L., Battista P., Rapi B. (2008). *An integrated method for irrigation scheduling of potted plants*. Scientia Horticulturae 116: 89-97.
- Bittelli M. (2011). *Measuring Soil Water Content: A Review*. HortTechnology 21(3): 293-300.
- Gardin L., Battista P., Bottai L., Chiesi M., Fibbi L., Rapi B., Romani M., Maselli F. (2014). *Improved simulation of soil water content by the combination of ground and remote sensing data*. European Journal of Remote Sensing 47: 739-751.
- Gardin L., Vinci A. (2006). *Carta dei suoli della Regione Toscana in scala 1:250.000*. Pubblicazione su web: <http://sit.lamma.rete.toscana.it/websuoli/>.
- Glenn E.P., Nagler P.L., Huete A.R. (2010). *Vegetation index methods for estimating evapotranspiration by remote sensing*. Surveys in Geophysics 31: 531-555.
- Gutman G., Ignatov A. (1998). *The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models*. International Journal of Remote Sensing 19: 1533-1543.
- Jensen ME., Haise HR. (1963). *Estimating evapotranspiration from solar radiation*. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE 89: 15-41.
- Maselli F., Papale D., Chiesi M., Matteucci G., Angeli L., Raschi A., Seufert G. (2014). *Operational monitoring of daily evapotranspiration by the combination of MODIS NDVI and ground meteorological data: Application and evaluation in Central Italy*. Remote Sensing of Environment 152: 279-290.
- Nemani R., Hashimoto H., Votava P., Melton F., Wang W., Michaelis A., Mutch L., Milesi C., Hiatt S., White M. (2009). *Monitoring and forecasting ecosystem dynamics using the terrestrial observation and prediction system (TOPS)*. Remote Sens. Environ. 113 (7): 1497-1509.
- Rocha J., Perdigao A., Melo R., Henriques C. (2012). *Remote sensing based crop coefficients for water management in agriculture*, In Curkovic S. (Ed.), *Sustainable development - Authoritative and leading edge content for environmental management*, 167-192. <http://dx.doi.org/10.5772/48561>.
- Schaap M., Leij F.J., van Genuchten M.T. (2001). *Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions*. Journal of Hydrology 251: 163-176.
- Thornton P.E., Running S.W., White M.A. (1997). *Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain*. Journal of Hydrology 190: 214-251.
- Thornton P.E., Hasenauer H., White M.A. (2000). *Simultaneous estimation of daily solar radiation and humidity from observed temperature and precipitation: an application over complex terrain in Austria*. Agricultural and Forest Meteorology 104: 255-271.
- Zambonelli A., Iotti M., Leonardi M., Pacioni G., Salerni E., Perini C. (2012). *Progetto MAGNATUM (Monitoraggio delle attività di gestione delle tartufoie naturali di Tuber magnatum)*. Alimat Edizioni, Cesena (IT).

2.7

INDAGINI TERRITORIALI MULTI-SCALA IN AMBITO VITICOLO

Battista P.⁽¹⁾, Rapi B.⁽¹⁾, Romani M.⁽¹⁾, Sabatini F.⁽¹⁾, Dalla Marta A.⁽²⁾, Mancini M.⁽²⁾, Orlandini S.⁽²⁾

¹ CNR-Istituto di Biometeorologia, via Madonna del Piano 10, Sesto Fiorentino (FI)

² Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agro-alimentari e dell'Ambiente (DISPAA) – Università di Firenze, P. le delle Cascine 18, (FI)

2.7.1 INTRODUZIONE

L'approccio integrato ai problemi di valutazione e gestione delle aree agricole promette di dare risposte efficaci e di aumentare l'efficienza e la sostenibilità di molti sistemi produttivi, anche se purtroppo è ancora lontano dall'essere utilizzato su larga scala. Tra gli elementi che limitano l'adozione di queste soluzioni vi sono, ancora una volta, l'oggettiva difficoltà di definirne la valenza economica e ambientale nei vari ambiti produttivi. In molti casi gli agricoltori si mostrano poco attenti ai temi della razionalizzazione degli interventi e del lavoro di campo, puntando su elementi di sostenibilità maggiormente legati all'adozione di prodotti ecologici e su un aumento della redditività indotto da più incisive strategie di mercato.

Gli elementi della conoscenza delle reali potenzialità produttive del territorio, che confluiscono nel grande settore dell'ICT (*Information and Communication Technologies*), unitamente con gli altri fattori dello sviluppo, sono sicuramente in grado di far fare un salto di qualità al settore, consentendo di raggiungere nuove vette produttive e qualitative, ma anche più stabili equilibri, per guardare con fiducia al futuro (MIPAAF, 2014)

L'aggiornamento dei processi produttivi, la cura degli impianti e la razionalizzazione delle pratiche gestionali, tuttavia, sono attività che richiedono uno sforzo costante e un impegno economico non indifferente. Tali investimenti, in particolare se sostenuti con piani pubblici o privati, richiedono risultati certi, misurabili e ottenibili in tempi ben definiti. Come conseguenza della difficoltà di accesso all'innovazione, anche a parità di mezzi mediatici e capacità di penetrazione del mercato, si rileva un progressivo allargamento della forbice tecnologica tra i produttori, con l'aggravarsi di problematiche che si estendono ai vari livelli sociali e giungono a toccare la sfera politica.

Per tale motivo, in particolare in campo agricolo, l'instaurarsi di collaborazioni tra privati ed enti pubblici, con impegni non onerosi ed economicamente giustificati, può essere considerato un'opportunità reale per la costruzione di un sistema produttivo dinamico, in grado di svilupparsi in modo coerente con le potenzialità del mercato.

Questo lavoro presenta gli sviluppi di una proposta nata nell'ambito del Progetto Europeo BACCHUS (Conese et al., 2005), rivolta agli agricoltori europei per l'individuazione di nuovi strumenti e servizi orientati alla gestione sostenibile dei vigneti. Concentrandosi su alcune soluzioni integrate per la comprensione e la valutazione multiscala di alcuni elementi, gli esempi applicativi proposti si articolano su due diversi livelli, quello sovra-aziendale e quello locale (vigneto). Rispetto al primo s'intende richiamare l'attenzione sulle potenzialità offerte da queste procedure per la raccolta di informazioni e la creazione di servizi consortili, in grado di indirizzare alcune delle pratiche d'interesse economico e ambientale più generale. In relazione al livello locale, si sottolinea l'importanza di disporre di dati e informazioni certe con il massimo dettaglio possibile, per poter indirizzare correttamente le attività gestionali verso la piena sostenibilità economica e ambientale. I dati locali, in particolare,

rappresentano input decisivi per i modelli agrometeorologici e per le procedure informatiche, in grado di gestire quantità crescenti di informazioni, con un adeguato dettaglio spaziale e temporale, necessarie per produrre stime e indicazioni utili da rendere disponibili nel corso dell'intero ciclo produttivo (Lee et al., 2010).

Tra i sistemi di monitoraggio disponibili per i privati, le soluzioni WSN (Wireless Sensor Networks) sono considerate tra le più interessanti e utili a livello aziendale, tanto da aver aperto la strada a nuove strategie gestionali, dando vita ad una nuova disciplina chiamata "agricoltura di precisione" (Arnó et al., 2009). Anche se si rileva la tendenza ad un costante aumento dei punti di rilevamento e quindi dei sensori, sempre più autonomi, in grado di interagire tra loro e con le apparecchiature utilizzate per le tipiche applicazioni in ambito agricolo, il modello strutturato, con un numero ridotto di nodi sensori posizionati in modo strategico, rimane per il momento il più economico e praticabile (Martín-Tardío e Felicísimo, 2014). Una scelta di questo tipo, tuttavia, richiede una particolare attenzione alla progettazione, configurazione e installazione dei vari elementi della rete di monitoraggio che, per poter fornire dati rappresentativi, deve rispettare criteri obiettivi basati sulla conoscenza dei vari fattori e del loro comportamento all'interno dell'ambito territoriale considerato.

2.7.2 GLI ELEMENTI DEL SISTEMA DI VALUTAZIONE

Lo schema di figura 2.51 mostra alcuni dei moduli implementati all'interno del sistema VISAVES nell'ambito delle attività promosse dal progetto BACCHUS, allo scopo di dare un supporto a consorzi e singoli agricoltori su problematiche gestionali e ambientali, con particolare attenzione verso le metodologie d'indagine della variabilità interna ai vigneti, considerata ancora oggi un fattore chiave per la programmazione oculata degli interventi e la gestione delle risorse (King et al., 2014).

Il sistema integra varie componenti gestionali e analitiche, sviluppate e validate nell'ambito di progetti pregressi, con indici di tipo quali-quantitativo per la valutazione di elementi d'interesse sia generale sia specifico. Alcuni di questi, indicati in figura come "Indici comuni", sono da tempo utilizzati anche nell'ambito di servizi locali o Regionali (Emilia Romagna, Sicilia, Sardegna), tanto da poter essere considerati ormai pienamente operativi.

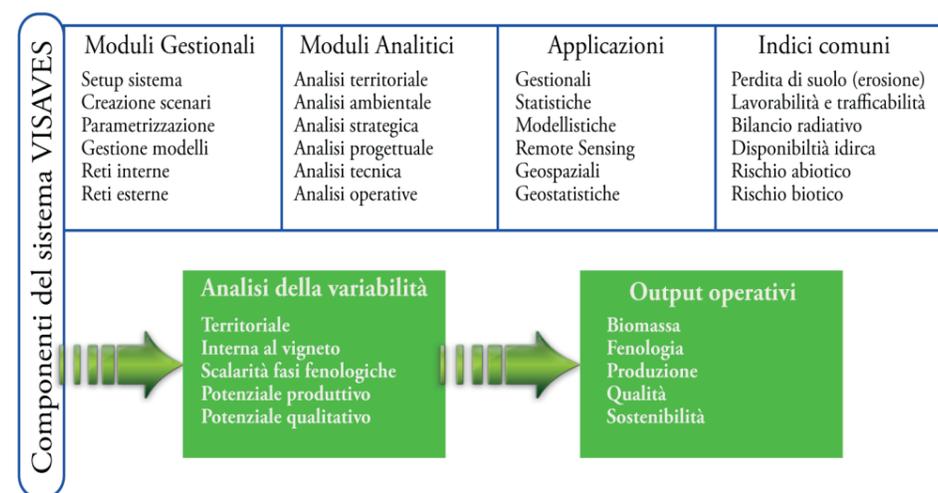


Fig. 2.51 - Principali moduli del sistema VISAVES e informazioni prodotte, con indicazione degli elementi usati per l'analisi della variabilità (evidenziati in verde).

Vediamo, alcune procedure relative alla possibilità di utilizzare strumenti integrati per l'analisi della variabilità a varie scale, fornendo agli operatori informazioni che possono coadiuvarli nella valutazione dell'andamento stagionale o nel confronto tra ambiti produttivi diversi, prendendo in esame elementi di base per la programmazione delle attività di campo.

Valutazione delle potenzialità del territorio

I termini **Vocazionalità, Potenzialità e Attitudine**, sono stati utilizzati indistintamente per indicare le procedure di analisi applicate da esperti di vari ambiti disciplinari, per valutare la compatibilità tra soggetti biologici e fattori ambientali. Ciascuna parola, pertanto, richiama concetti differenti, legati allo sviluppo naturale del territorio (**Vocazione**), alla capacità economico-produttiva (**Potenzialità**) o alla possibilità di praticare determinate produzioni agricole (**Attitudine**). Da un punto di vista metodologico le valutazioni possono essere basate sulla combinazione di elementi che, a seconda degli aspetti considerati, assumono diversa rilevanza, con un concreto rischio di soggettività e arbitrarietà delle conclusioni (Malczewski, 2004). Analisi di questo tipo, pertanto, richiedono grande chiarezza, in relazione sia agli obiettivi che si prefiggono sia alle procedure adottate che, per quanto possibile, devono essere esplicitate e trasparenti.

I moduli implementati nel sistema VISAVES danno la possibilità di eseguire le analisi necessarie per varie valutazioni a diverse scale operative, secondo criteri e procedure riconosciute valide in particolare per il settore vitivinicolo. Tali procedure possono essere utilizzate per definire la compatibilità e la produttività di determinate cultivar o il posizionamento degli impianti, per ottenere informazioni utili per decisioni di tipo strategico, ma anche per determinare eventuali punti di debolezza sui quali intervenire al fine di prevenire rischi ambientali e fitosanitari, o per programmare interventi gestionali (concimazioni, potature, vendemmie, ecc.). Il sistema, attraverso la modulazione dei parametri funzionali, infatti, è in grado di stimare la risposta delle piante al mutare delle caratteristiche ambientali o gestionali, delle caratteristiche del terreno o dell'andamento stagionale (reale o previsto), al fine di stabilire quali siano le scelte operative che consentano di ottenere i risultati migliori all'interno di ciascuna area o sotto-zona, fino a dare indicazioni potenzialmente utili per la cura della singola pianta.

Oltre a un consistente set di dati su tutti gli elementi che entrano nel processo di valutazione, sono inoltre richieste informazioni accurate e aggiornate su un gran numero di elementi, tra cui le pratiche agronomiche e lo stato delle colture in campo, ricavabili dall'incrocio di informazioni fornite da fonti diverse, incluse immagini ad alta risoluzione (HRI) rilevate da aerei, droni o satelliti, oggi ritenute quasi indispensabili per analisi spaziali di dettaglio (Acevedo-Opazo et al., 2008; Arnó et al., 2009).

2.7.3 ANALISI DELLA VOCAZIONALITÀ TERRITORIALE

In questo paragrafo sono descritti i passaggi salienti seguiti nell'ambito del progetto BACCHUS per la determinazione della Vocazionalità Territoriale delle aree DOCG di Prosecco e Frascati, con alcuni esempi di uscite grafiche. I dati usati sono stati forniti dai partner con il supporto di esperti locali, o raccolti nel quadro delle campagne di misura e rilevamento previste dal progetto. Tutte le componenti sono state georiferite e collegate spazialmente agli elementi del territorio, riportando tutti i piani informativi alla medesima risoluzione spaziale e rendendoli disponibili nei formati richiesti dai vari moduli software interni al sistema. La loro distribuzione spaziale è stata ottenuta assegnando valori univoci a poligoni considerati omogenei o applicando criteri di spazializzazione geostatistica, secondo le procedure descritte nel rapporto finale di progetto BACCHUS (Conese et al., 2005).

Fattore suolo

Il fattore suolo, Sf, prende in considerazione diversi parametri del terreno mediante l'equazione:

$$Sf = (\text{Drain} * W_{\text{drain}}) + (\text{AWC} * W_{\text{AWC}}) + (\text{Depth} * W_{\text{depth}}) + (\text{pH} * W_{\text{pH}})$$

dove Drain è il Drenaggio del suolo, AWC è l'Acqua disponibile nel terreno, Depth è la profondità del suolo e pH è il potenziale Idrogenionico (concentrazione di ioni idrogeno). Il peso dei diversi fattori è stato determinato da esperti locali: $W_{\text{drain}}, W_{\text{AWC}}, W_{\text{depth}}, W_{\text{pH}}$.

Fattore clima

Il fattore clima, Cf, si basa sull'indice di Huglin:

$$Cf = \sum_{04}^{09} \frac{(T_{medg} - 10) + (T_{maxg} - 10)}{2} * k$$

dove Cf è il fattore clima, T_{medg} è la temperatura media giornaliera, T_{maxg} la temperatura massima giornaliera e K un coefficiente correttivo per la lunghezza del giorno (Tab. 2.21).

Latitudine	coefficiente K
≤40°	1.00
40° - 42°	1.02
42° - 44°	1.03
44° - 46°	1.04
46° - 48°	1.05
48° - 50°	1.06

Tab 2.21 - Valori del coefficiente K in base alla latitudine.

Per il calcolo sono stati utilizzati i dati di temperatura dell'aria, cumulati da aprile a settembre e interpolati per mezzo di una funzione "spline regolarizzata con tensione", per ogni punto della griglia. La valutazione del soddisfacimento dei requisiti ambientali per ciascuna varietà è stata effettuata applicando soglie specifiche per ciascuna cultivar: Muller Thurgau- 1500; Riesling o Pinot bianco- 1600; Chardonnay o Pinot Nero o Sauvignon- 1800; Merlot o Cabernet Franc- 1900.

Fattore geomorfologico

Il fattore geomorfologico si basa su tre elementi (quota, pendenza ed esposizione), a cui vengono assegnati dagli esperti locali pesi coerenti con l'ambito produttivo e le più diffuse pratiche gestionali.

$$Gf = (Elev * W_{elev}) + (Slope * W_{slope}) + (Aspect * W_{aspect})$$

dove Elev è la quota, Slope è la pendenza e Aspect è l'esposizione della zona in esame.

Valutazione della vocionalità territoriale

Applicando un "overlay pesato" ai piani informativi precedentemente definiti, si ottiene una mappa del territorio d'interesse i cui valori possono essere classificati in base alle specifiche esigenze, individuando sul territorio le aree che presentano caratteristiche simili (Fig. 2.52). Valutazioni più specifiche sullo stato dei vigneti, sull'efficacia degli interventi o sul manifestarsi di criticità possono essere fatte utilizzando informazioni con un dettaglio spazio-temporale più elevato, opportunamente integrate da analisi modellistiche e dati satellitari.

Analisi della variabilità

Per lo studio della variabilità dei diversi fattori all'interno dei siti pilota, nello specifico, un ruolo rilevante è stato riconosciuto ai seguenti aspetti:

- **Agrometeorologici**, presi in esame attraverso un modello di sviluppo e produzione (Bindi et al., 1997a, b), in grado di fornire valori giornalieri di: area fogliare (LAI- Leaf area Index), biomassa (Plant Dry Matter), fenologia (percentuale per fase), produzione (quantità e qualità rispetto ai valori massimi);
- **Geografici**, dando un peso ai fattori limitanti eventualmente presenti in ciascuna zona;
- **Manageriali**, agendo direttamente sui parametri del modello di crescita;
- **Vegetazionali**, fornendo rilevamenti diretti (da terra o piattaforma aerea) sullo stato, e sul vigore delle piante.

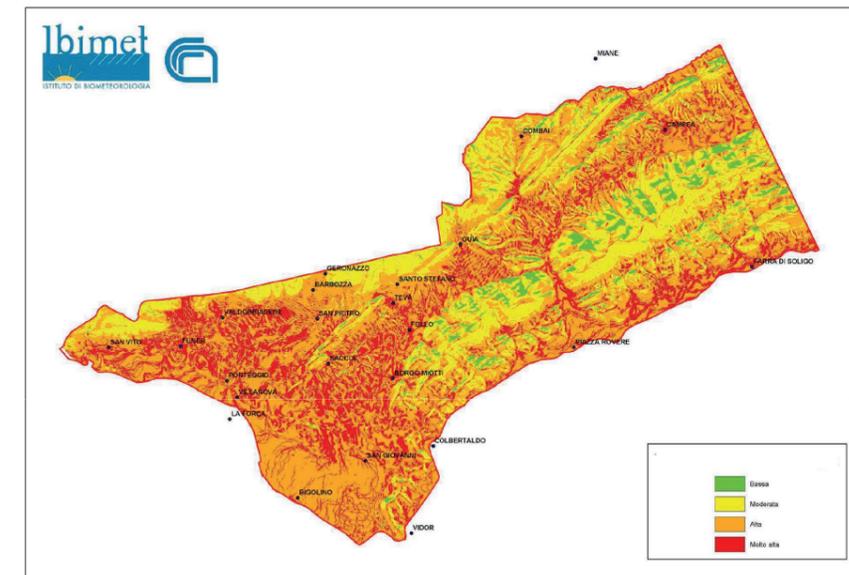


Fig. 2.52 - Vocionalità morfologica area DOC Prosecco.

Le simulazioni modellistiche sono state condotte su ciascun punto della griglia, interpolando i dati meteorologici ottenuti dalle stazioni a terra. Il risultato dell'analisi è stato riportato su una mappa a dettaglio spazio-temporale variabile, sottoposta ai responsabili dei diversi ambiti produttivi, ai quali è stato richiesto di valutare la correttezza delle procedure seguite e verificare la validità delle informazioni prodotte.

Le procedure messe a punto nel corso di queste ricerche sono risultate idonee alla classificazione del territorio di produzione di due importanti consorzi italiani (Prosecco DOCG e Frascati DOCG). L'analisi è stata condotta, in particolare, in funzione delle esigenze climatiche, edafiche e gestionali delle varietà riconosciute dai rispettivi disciplinari, individuando le aree omogenee in termini di potenzialità produttive (dal punto di vista sia qualitativo sia quantitativo) e indicando la scalarità degli eventi fenologici sul territorio, in vista dell'organizzazione di efficaci calendari di gestione e raccolta (Fig. 2.53). Poiché le viti sono sensibili alle diverse condizioni ambientali (temperatura, radiazione, disponibilità idrica, ecc.), soprattutto in alcune fasi del proprio ciclo produttivo, differenze apparentemente contenute possono comportare variazioni significative sia nella durata delle varie fasi fenologiche sia nella maturazione degli acini, come pure nella concentrazione di zuccheri, sostanze volatili e altro. Questo è tanto più vero ed evidente in territori morfologicamente complessi o con notevole variabilità edafica, nei quali vi possono essere vantaggi importanti nel considerare adeguatamente questi aspetti, almeno a livello di consorzio.

In considerazione dell'elevato numero di fattori da prendere in esame, l'uso di indici sintetici immediatamente comprensibili, basati su parametri facilmente reperibili, come temperatura e disponibilità idrica (pioggia, bilancio idrico, ecc.), da mettere in relazione alle esigenze di specifiche varietà di vite, può ritenersi in alcuni casi accettabile (Moral et al., 2015; Vercesi et al., 2003).

La descrizione dello sviluppo dell'uva in relazione al comportamento meteorologico o la previsione delle date di passaggio delle principali fasi fenologiche durante l'anno sono elementi interessanti per la pianificazione delle attività di campo, la stima delle rese e la qualità della produzione. Per alcune applicazioni le misure dirette, le informazioni ottenute da immagini e modelli possono essere anche prese in esame separatamente, utilizzando quindi le procedure di analisi geostatistica per ottenere un adeguato grado di dettaglio spaziale e temporale sullo stato di salute o sulla produttività delle piante in pieno campo. L'obiettivo finale, comunque, rimane quello di realizzare strumenti sempre più integrati, in grado di fornire informazioni affidabili e precise, con risparmi significativi rispetto alle tradizionali pratiche di rilevamento in campo.

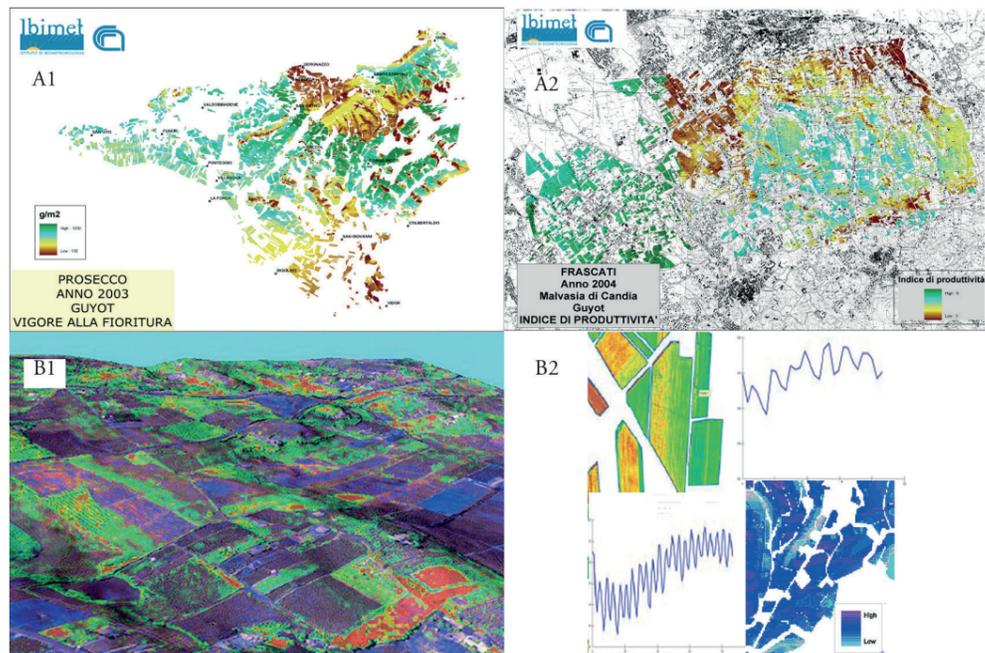


Fig. 2.53 - Alcuni esempi di mappe prodotte per la valutazione delle potenzialità produttive di varie cultivar e lo studio della variabilità interna alle aree di produzione. A scala di Consorzio: A1) esempio di mappe riportanti lo stato dei vigneti (vigore) al momento della fioritura; A2) Indice di produttività potenziale, legato all'andamento climatico e alle pratiche gestionali. A livello aziendale: B1) Variabilità produttiva, secondo le stime del modello Firenze (Bindi et al., 1997b), integrato con dati geostatistici; B2) Variazione dell'indice di qualità per area del vigneto e filari.

In futuro, i sistemi di *proximity* o *Remote Sensing* (montati su piattaforme fisse o trasportate) potrebbero diventare la principale fonte di informazioni aggiornate sulle colture, con dettagli spaziali impensabili fino a qualche tempo fa (2D, 3D e 4D).

2.7.4 RETI LOCALI DI MONITORAGGIO E INTEGRAZIONI MODELLISTICHE

Il sistema di supporto alla gestione aziendale può prevedere componenti diverse, a seconda delle esigenze informative e operative alle quali deve rispondere. Nella sua configurazione tipo possono essere individuate cinque classi di elementi Hw/Sw, ciascuna con le proprie specifiche caratteristiche e potenzialità applicative (Fig. 2.54).

A livello aziendale si deve prevedere la presenza di una stazione agrometeorologica completa di riferimento, che può essere collocata anche in un intorno dell'area d'interesse e la cui gestione può essere garantita da soggetti esterni (come consorzi o società di servizi). Inoltre si devono considerare ulteriori punti di misura, in posizioni strategiche, per le grandezze fondamentali per le applicazioni previste, con un adeguato sistema di trasmissione e un centro di elaborazione dati.

All'interno delle aree pilota, il posizionamento dei sensori e degli elementi della rete di monitoraggio segue criteri precisi, definiti in base allo studio del comportamento geostatistico delle grandezze d'interesse e all'analisi della loro variabilità all'interno del territorio osservato (Fig. 2.55).

In molti casi, per la definizione dell'ambito di rappresentatività spaziale del nodo sensore o della stazione agrometeorologica, nel corso della fase iniziale di caratterizzazione, per un breve periodo di tempo, si preferisce avere una certa ridondanza dei punti di misura, in modo da controllare la validità delle assunzioni fatte in sede progettuale e definire in modo accurato gli elementi d'interesse all'interno dell'area monitorata (suolo, vegetazione, tecniche, ecc.). La loro conoscenza, infatti, permette di individuare eventuali comportamenti inattesi o "anomalie" o più semplicemente di assegnare valori adattativi o correttivi all'interno di aree altrimenti considerate omogenee.



Fig. 2.54 - Configurazione tipo della rete locale di monitoraggio, disposizione in azienda e possibile sensoristica.



Fig. 2.55 - Esempi di posizionamento di strumentazione per rilevamenti agrometeorologici.

Per applicazioni operative, raramente, è richiesto il rilevamento di grandezze o fattori particolari, per i quali sono necessari strumenti specifici, quali il diametro dei fusticini o dei tronchi (dendrometri) o il trasporto linfatico (*HeatPulse*), ecc. Più frequentemente, invece, si osserva il comportamento di grandezze ordinarie (temperatura, umidità, radiazione solare, ecc.) in condizioni particolari o a più livelli, come la temperatura della lamina fogliare o il profilo di umidità del terreno.

I dati raccolti dalle diverse piattaforme devono essere gestiti in maniera coerente all'interno di un Sistema di analisi, in grado di assicurare la fruibilità dell'informazione prodotta, dando indicazioni statistiche sulla validità e affidabilità delle stime e delle proiezioni. Tra le componenti essenziali di tale sistema vi sono, pertanto, elementi per il controllo dei dati e l'analisi spaziale, ma anche modelli specifici, sia ambientali sia biologici, in grado di simulare la risposta degli esseri viventi (piante, animali, insetti) alle variazioni che intervengono nel corso del loro ciclo vitale. Le informazioni raccolte dalle diverse reti di monitoraggio sono quindi indirizzate verso un server centrale e trattate secondo specifici algoritmi, che possono includere la creazione di scenari operativi diversi, prefigurando andamenti positivi o negativi, in modo da definire il range di variabilità del fenomeno (Fig. 2.56).

Dati previsionali (a 3, 5 o 7 giorni) possono essere ottenuti dall'analisi delle serie storiche o dalle indicazioni prodotte dai servizi meteorologici e agrometeorologici locali. La creazione di serie temporali più lunghe (mesi o anni) viene fatta utilizzando specifici pacchetti software (*weather generator*), in modo da tener conto degli effetti delle possibili variazioni ambientali, gestionali e climatiche.

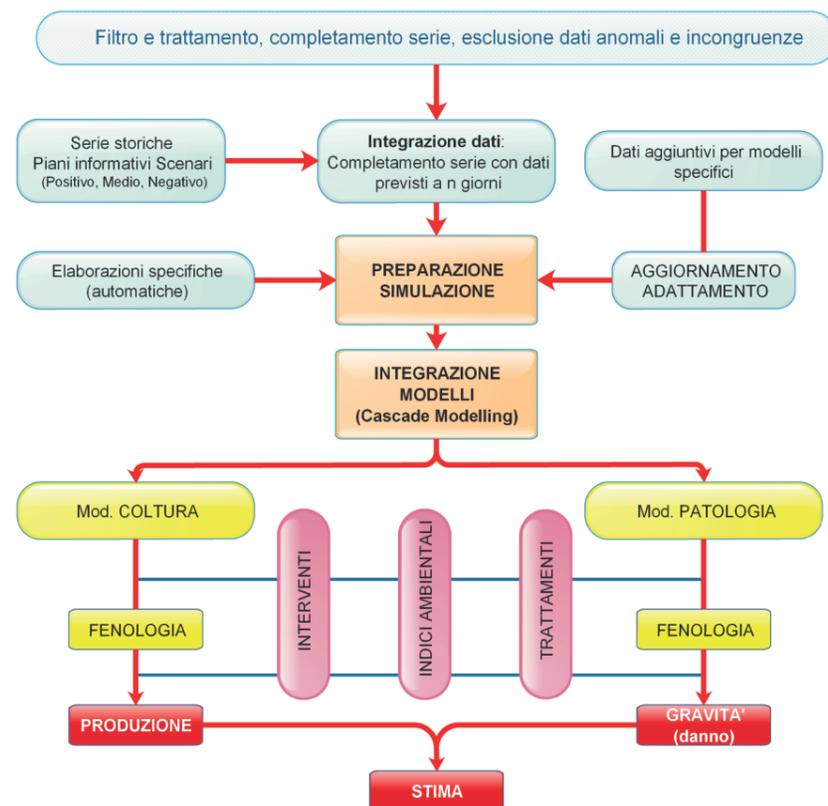


Fig. 2.56 - Schema semplificato della procedura d'integrazione modellistica all'interno del DSS.

Dopo aver caratterizzato ciascuna area aziendale o vigneto è possibile ottenere indicazioni in tempo reale sul loro stato, valutazioni di confronto o stime sulle potenzialità produttive, oltre ad altre informazioni d'interesse operativo. Per farlo, è tuttavia essenziale calibrare i modelli attraverso una parametrizzazione puntuale dei diversi fattori che intervengono nel determinare la risposta della pianta, possibilmente utilizzando dati raccolti su tre o più anni.

Il livello di dettaglio e la precisione statistica richiesta condizionano sia la configurazione della rete di monitoraggio sia la tipologia di analisi. Infatti, mentre in alcuni casi possono essere considerate d'interesse anche indicazioni di tipo qualitativo (migliore/peggiore) o con valori di attendibilità statistica inferiori al 70 %, in generale si pretendono indicazioni molto più accurate, ottenibili aumentando i punti di controllo e la frequenza delle acquisizioni. In linea di massima, si può dire che le proiezioni sono da ritenersi operativamente valide, anche in termini assoluti, se mantenute entro i 3-5 giorni (90-80 %), mentre tendono a decadere rapidamente oltre il 7° giorno (<70 %). Tuttavia, sebbene occorra conservare una certa prudenza nell'usare previsioni a lungo termine, l'uso di criteri statistici, con indicazione, ad esempio, della scala di valori ("forchetta") all'interno della quale dovrebbe ricadere la condizione futura, consente di ricondurre la previsione entro i limiti di attendibilità relativa richiesti dagli operatori. Questo approccio consente, tra l'altro,

di dare indicazioni anche sul probabile valore commerciale dei prodotti, in termini quantitativi e qualitativi, secondo l'andamento dell'annata agraria, nei tempi imposti dai mercati di contrattazione. Man mano che la simulazione si avvicina alla data di raccolta, la previsione sarà sempre più affidabile e precisa, permettendo la pianificazione delle opportune strategie di mercato.

2.7.5 CARATTERIZZAZIONE A LIVELLO AZIENDALE

L'efficacia delle pratiche proprie della viticoltura di precisione (VP), come quelle legate ad un uso corretto dei trattamenti fitosanitari in condizioni morfologiche complesse, dipende fortemente dalla variabilità spaziale delle grandezze fisiche utilizzate come elementi guida dei modelli (Smith and Whigham, 1999). L'utilizzo di sensori distribuiti, dotati di una certa quota di intelligenza a bordo, può essere d'aiuto nel migliorare la qualità e la rappresentatività dei dati richiesti dai modelli. Tuttavia, prima di giungere ad un loro uso operativo rimangono da definire alcuni elementi essenziali, quali la configurazione ottimale della rete di rilevamento, i criteri da seguire per il posizionamento dei sensori nelle diverse situazioni e la densità spazio-temporale dei punti di misura.

A tal fine, studi per l'analisi delle potenzialità informative delle reti di monitoraggio agrometeorologico in funzione della densità dei punti di rilevamento sono stati condotti nel periodo 1996-2002 dall'Università di Firenze presso l'azienda "Fattoria di Poggio Casciano", situata nella zona dei colli fiorentini. La rete di rilevamento era composta da tre stazioni agrometeorologiche complete e una trentina di microstazioni (ONSET Hobo®), per la misura della temperatura e dell'umidità dell'aria, poste all'interno dei vigneti, su un'area complessiva di circa 120 ha.

L'analisi delle interrelazioni esistenti tra i punti di misura ha permesso d'individuare i fattori di contesto (geografici, morfologici e ambientali) che influenzano il comportamento delle principali grandezze agrometeorologiche a livello locale, ma soprattutto di mettere a punto adeguate procedure di analisi per gli ambienti collinari toscani (Orlandini e Mancini, 1998). Lo studio delle relazioni tra i valori minimi e massimi di temperatura registrati nei diversi punti di misura, ha consentito, infatti, di definire i coefficienti delle rette di regressione in grado di descrivere gli andamenti esistenti e di mettere a punto una metodologia per una migliore spazializzazione dei dati in funzione delle condizioni giornaliere, al fine di dare indicazioni affidabili sulla fenologia di piante e sullo sviluppo di alcuni patogeni.

Proprio a causa della complessità orografica locale, nell'area di studio le stazioni agrometeorologiche di riferimento si sono mostrate generalmente poco rappresentative del comportamento medio registrato dai sensori posti nei vigneti, con differenze particolarmente marcate nel periodo aprile-maggio. D'altro canto, l'esigenza di rispondere ai criteri di standardizzazione dei rilevamenti imposti dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM), crea forti discrepanze tra la situazione della stazione (installata in posizione dominante, con un'ampia area di rispetto) e quella dei sensori installati nei vigneti, (circondati da piante, a quote ed esposizioni diverse). Queste differenze si manifestano in particolare con un diverso comportamento delle temperature minime, specialmente nelle aree di fondovalle, nelle quali si osservano spesso fenomeni d'inversione termica, molto frequenti nel periodo primaverile.

Le continue inversioni termiche, unite alla complessità orografica e di uso del suolo, che inducono variazioni microclimatiche significative anche all'interno di vigneti di dimensioni molto ridotte, fa sì che l'impiego delle stazioni agrometeorologiche classiche, in due casi su tre, comporti una sovrastima delle sommatorie termiche. Confrontando le indicazioni ottenute a partire dai dati delle tre stazioni meteorologiche complete rispetto a quelle ricavate dai 27 sensori della rete diffusa, si rileva come soltanto una di queste possa essere considerata rappresentativa della condizione media dell'azienda (Agrometeo 3), mentre le altre due (Agrometeo 1 e 2) rilevano mediamente temperature superiori alla media.

Considerando, ad esempio, una soglia termica necessaria di riferimento per il raggiungimento della fase di fioritura nella vite (Soglia GG=400 °C), mediamente, per il periodo 1996-2000, utilizzando le stazioni agrometeorologiche classiche la data viene anticipata di circa 14 giorni per la stazione

Agrometeo1 (più calda) e di circa 12 giorni per la stazione Agrometeo2 (Fig. 2.57). Il significato operativo di queste differenze dipende da numerosi fattori, ma a noi preme mettere in evidenza che soltanto il corretto posizionamento della stazione agrometeorologica all'interno dell'azienda (stazione Agrometeo 3), consente di ottenere indicazioni medie e quindi interessanti dal punto di vista operativo (± 7 giorni).

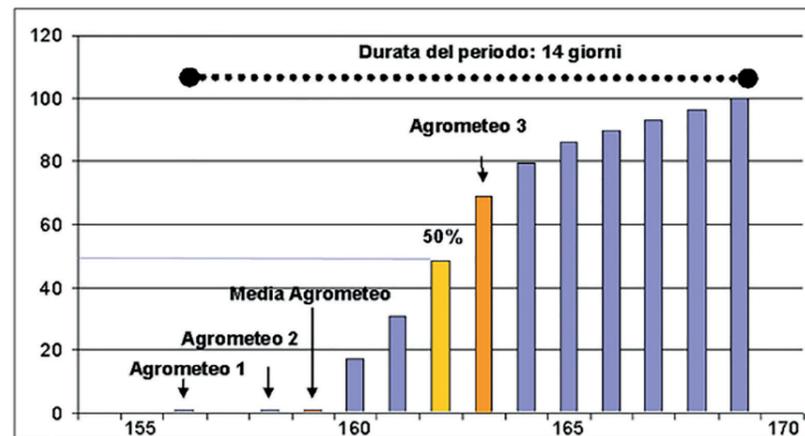


Fig. 2.57 - Percentuale di stazioni che in un dato giorno hanno raggiunto la soglia termica prevista per la fioritura (400 °C), su un totale di 30 stazioni, per il periodo 1996-2000.

In considerazione della variabilità osservata, appare evidente la necessità di procedere ad una preliminare caratterizzazione ambientale dell'azienda, individuando le aree omogenee e scegliendo i punti di rilevamento rappresentativi, in modo da descrivere la reale condizione esistente all'interno dell'area d'interesse. Dal punto di vista economico, inoltre, diviene rilevante l'individuazione di punti di rilevamento realmente rappresentativi, al fine di limitare il numero di sensori e, al tempo stesso, contenere gli errori modellistici legati all'uso di un numero non pienamente rappresentativo di stazioni.

Tramite un'analisi multivariata (*Cluster analysis*), tenendo conto della morfologia del territorio e del comportamento della grandezza d'interesse (Fig. 2.58), si possono individuare un numero limitato di aree, all'interno delle quali lo scarto della temperatura media giornaliera fra i vari punti di misura reali si riduce drasticamente; rimanendo, nel caso in esame, entro $1.2 \text{ °C} \pm 0.5$ (Battista et al., 2009).

Se per stimare la temperatura in un dato punto si utilizzano i coefficienti delle rette di regressione lineare ottenute dopo 1, 3 e 5 anni di misure, rispettivamente dai dati della stazione agrometeo 3 e dalle stazioni di riferimento dei singoli cluster, si può notare come i valori medi degli errori massimi per le tre aree passino da $\pm 6 \text{ °C}$ a $\pm 2 \text{ °C}$, che può essere considerato un valore operativamente accettabile (Fig. 2.58).

Tuttavia, in area collinare o comunque orograficamente complessa, l'influenza degli elementi del territorio (geografici e uso suolo) sulla variabilità interna per aziende di medie dimensioni diviene sicuramente significativa in termini di comportamenti fenologici e di rischi ambientali (Reuter et al. 2005). Il successo della coltivazione di qualità, come quella vitivinicola toscana, dipende sempre più dalle scelte tecniche legate all'uso ottimale delle risorse, alla ricerca della qualità, oltre che dalla sostenibilità economica e ambientale. Soltanto con l'ausilio di dati realmente rappresentativi della condizione delle piante in campo è possibile ottenere indicazioni utili per il rafforzamento qualitativo della produzione, tramite la modellistica agrometeorologica. Occorre, pertanto, applicare adeguate procedure di monitoraggio e analisi, in grado di definire e valutare gli effetti della variabilità micro-meteorologica esistente all'interno del singolo vigneto su crescita e produzione (Fig. 2.59).

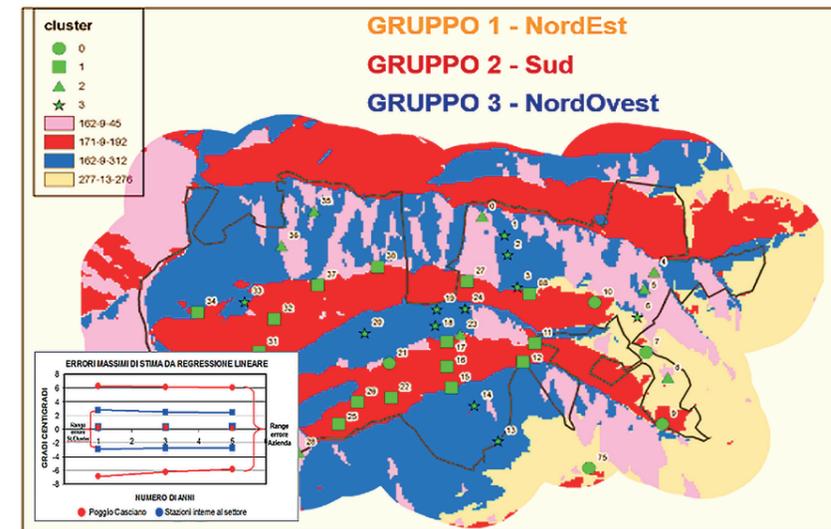


Fig. 2.58 - Individuazione di aree omogenee all'interno dell'azienda ed errore commesso nella stima delle sommatorie termiche a partire dai valori rilevanti in punti rappresentativi.

La capacità dei modelli di stimare lo sviluppo dei vegetali è legata alla conoscenza della variabilità dei relativi parametri guida (suolo, temperatura, radiazione ecc.) all'interno del vigneto, ma, se calibrazione e parametrizzazione sono eseguite in modo corretto, la modellistica può spingersi oltre, fino a fornire indicazioni quantitative e qualitative per ciascuna sotto-zona ritenuta omogenea e, al limite, per ciascuna pianta.

Parlando di radiazione, ad esempio, è possibile avere stime piuttosto precise dell'energia che giunge alle foglie e all'uva nel corso della giornata, discriminando in funzione della posizione, dell'altezza da terra, della copertura della parete fogliare e di altri parametri. Negli ultimi anni, questo tipo di modellistica ha avuto un notevole sviluppo, grazie anche all'interesse suscitato in altri settori produttivi dall'indagine multidimensionale (Riou C. et al. 1989; Hofierka e Suri, 2002; Louarn G. et al 2008; Lopez-Lozano R. et al 2011).

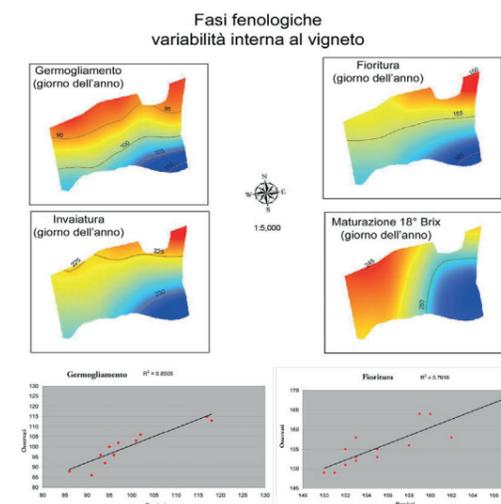


Fig. 2.59 - Distribuzione spaziale di alcune fasi fenologiche e rete di regressione tra dati stimati e misurati all'interno di un singolo vigneto.

Nel nostro caso, l'integrazione di modelli diversi ha permesso una valutazione dettagliata della radiazione incidente su una singola pianta, comunque orientata, dando la possibilità di valutare anche la sua efficienza relativa (Fig. 2.60; Romani et al., 2008). Tali indicazioni possono essere considerate valide in condizioni di cielo sereno e con dati misurati di densità della copertura vegetale, ma assumono un maggiore grado di incertezza in condizioni meteorologiche variabili e quando assorbimento, riflettanza e trasmittanza sono stimate sulla base di altri modelli. La stima, infatti, può variare per ogni punto del vigneto sulla base delle condizioni reali dell'impianto, la densità fogliare, l'albedo del suolo o altro.

Da questo punto di vista, la disponibilità di informazioni sullo stato dei vegetali e dei grappoli, raccolte con regolarità da strumentazione automatica, montata su trattori, droni o oltre piattaforme, può dare un contributo importante nella determinazione del regime radiativo all'interno della vegetazione, fattore che condiziona numerosi importanti elementi: fotosintesi, crescita, produzione, infestanti, malattie, disponibilità idrica (Alcorta et al., 2011; Bergqvist et al., 2001; Chorti et al., 2010; Downey et al., 2004; Giacosa et al., 2015). Anche la quota giornaliera di PAR, UV-B, UV-A, UVBE, e i loro relativi rapporti (UV-B/PAR e UV-B/UV-A), possono essere stimati in funzione dell'orientamento dei filari e delle caratteristiche dei vegetali, dando indicazioni sulla possibile risposta fisiologica delle piante e sulla produzione di alcune sostanze d'interesse enologico, come fenoli, tannini, ecc. (Del-Castillo-Alonso et al., 2015; Grifoni et al., 2008; Pollastrini et al., 2011).

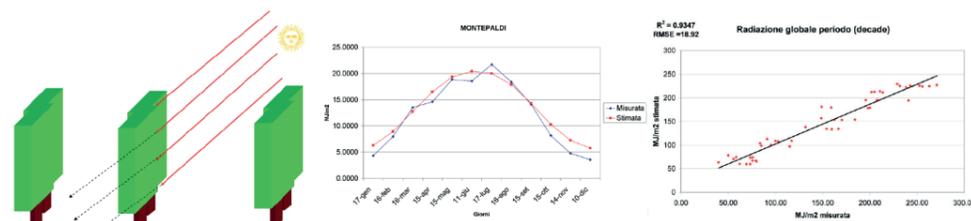


Fig. 2.60 - Semplificazione grafica della penetrazione della radiazione diretta all'interno del vigneto, come stimata dal modello Riou (Riou C. et al., 1989), e relazioni registrate su base decennale tra dati misurati e stimati.

2.7.6 CONCLUSIONI

I dati raccolti e le sperimentazioni condotte in questi anni hanno confermato la validità dei sistemi integrati nella raccolta e produzione di informazioni utili al supporto gestionale dell'azienda vitivinicola, mostrando la propria efficacia non soltanto in fase di caratterizzazione preliminare dell'ambiente produttivo, ma anche nel supportare le diverse attività valutative che si possono presentare nel corso del ciclo produttivo.

Componenti modellistiche adeguatamente calibrate hanno mostrato di seguire in modo adeguato sia le dinamiche spazio-temporali delle principali grandezze agrometeorologiche sia lo sviluppo e la produzione degli elementi biotici. Sulla vite, in particolare, si sono ottenute indicazioni operative interessanti a diverse scale spaziali e temporali, che hanno riguardato vari elementi, come la scalarità delle fasi fenologiche e le potenzialità produttive in relazione alle componenti pedo-geografiche, edafiche e gestionali. Informazioni di maggiore dettaglio spaziale possono essere ottenute disponendo di dati e immagini ad alta risoluzione, con strumentazione montata su piattaforme mobili, sia aeree sia terrestri.

Nuovi ed importanti sviluppi sono attesi grazie alle recenti applicazioni 3D, che promettono di avvicinare e fondere il mondo virtuale con quello reale, anche grazie al supporto di reti di monitoraggio WSN, in grado di assicurare adeguate risoluzioni nell'acquisizione dei dati a livello locale. Promuovere l'uso di questi strumenti significa poter disporre di dati certi e acquisire conoscenze basate su solidi principi tecnico-scientifici, abbandonando l'empirismo che ancora caratterizza alcuni ambiti produttivi.

Sebbene permangano certi fattori che ne limitano la diffusione (complessità, costo, ecc.), le tendenze del mercato ed una crescente consapevolezza ambientale inducono a pensare che i soggetti più dinamici e responsabili possano guidare questa fase di evoluzione e cambiamento, creando strutture in grado di assicurarne il trasferimento ai vari livelli operativi, con importanti vantaggi economici e ambientali.

2.7.7 BIBLIOGRAFIA

- Acevedo-Opazo C., Tisseyre B., Guillaume S., Ojeda H. (2008). *The potential of high spatial resolution information to define within-vineyard zones related to vine water status*. Precision Agriculture 9(5): 285-302.
- Alcorta M., Fidelibus M., Steenwerth K., Shrestha A. (2011). *Effect of Vineyard Row Orientation on Growth and Phenology of Glyphosate-Resistant and Glyphosate-Susceptible Horseweed (Conyza canadensis)*. Weed Science 59 (1): 55-60. doi:10.1614/WS-D-10-00097.1
- Arnó J., Martínez-Casasnovas J.A., Ribes-Dasi M., Rosell J.R. (2009). *Review. Precision viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management*. Spanish Journal of Agricultural Research 7 (4): 779-790.
- Battista P., Rapi B., Romani M., Dalla Marta A., Mancini M., Orlandini S. (2009). *Rilevanza della densità spaziale dei punti di misura della temperatura dell'aria, per il calcolo delle sommatorie termiche: principale fattore guida per i modelli fenologici e fitosanitari*. In M. Severini e S. Pesolillo: *Modelli per la difesa delle piante*. Monografie e Articoli Scientifici presentati alle Quarte Giornate di Studio su Metodi Numerici, Statistici e Informatici nella Difesa delle Colture Agrarie e Forestali: Ricerca e Applicazioni. Viterbo, Marzo 2007. Aracne Editrice, Maggio 2009, pp. 187-193.
- Bergqvist J., Dokoozlian N., Ebisuda N. (2001). *Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the central San Joaquin Valley of California*. American Journal of Enology and Viticulture 52: 1-7.
- Bindi M., Miglietta F., Gozzini B., Orlandini S., Seghi L. (1997a). *A simple model for simulation of growth and development in grapevine (Vitis Vinifera L.)*. I. model description. Vitis 36 (2): 67-71.
- Bindi M., Miglietta F., Gozzini B., Orlandini S., Seghi, L. (1997b). *A simple model for simulation of growth and development in grapevine (*Vitis vinifera* L.)*. II. Model validation. Vitis 36 (2): 73-76.
- Chorti E., Guidoni S., Ferrandino A., Novello V. (2010). *Effect of different cluster sunlight exposure levels on ripening and anthocyanin accumulation in Nebbiolo grapes*. American Journal of Enology and Viticulture 61(1): 23-30.
- Conese C., Rapi B., Romani M., Bonora L., Dambra C. (2005). *Vineyard Analysis*. In Montesinos Aranda S. and Quintanilla A. (Eds), *"BACCHUS" Methodological Approach for Vineyard Inventory and Management*. Final Report Contract Nr. EVG1-CT-2002-00075, pp. 115-129.
- Del-Castillo-Alonso M.A., Diago María P, Monforte L., Tardaguila J., Martínez-Abaigar J., Núñez-Olivera E. (2015). *Effects of UV exclusion on the physiology and phenolic composition of leaves and berries of Vitis vinifera cv. Graciano*. Journal of the Science of Food and Agriculture 95: 409-416.
- Downey M.O., Harvey J.S., Robinson S.P. (2004). *The effect of bunch shading on berry development and flavonoid accumulation in Shiraz grapes*. Australian Journal of Grape and Wine Research 10 (1): 55-73. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2004.tb00008.x
- Giacosa S., Marengo F., Guidoni S., Rolle L., Hunter J.J. (2015). *Anthocyanin yield and skin softening during maceration, as affected by vineyard row orientation and grape ripeness of Vitis vinifera L. cv. Shiraz*. Food Chemistry 174: 8-15.
- Grifoni D., Carreras G., Zipoli G, Sabatini F., Dalla Marta A., Orlandini S. (2008). *Row orientation effect on UV-B, UV-A and PAR solar irradiation components in vineyards at Tuscany, Italy*. Int J Biometeorol. 52: 755-763. DOI 10.1007/s00484-008-0168-1
- Hofierka J., Suri M. (2002). *The solar radiation model for Open Source. GIS: implementation and application*. Pr. Open Source GIS-GRASS U.C. 2002 Trento Italy.

- King P.D., Smart R.E., McClellan D.J. (2014). *Within-vineyard variability in vine vegetative growth, yield, and fruit and wine composition of Cabernet Sauvignon in Hawke's Bay, New Zealand*. Australian Journal of Grape and Wine Research 20(2): 234-246.
- Lee W.S., Alchanatis V., Yang C., Hirafuji M., Moshou D., Li C. (2010). *Sensing technologies for precision specialty crop production*. Computers and Electronics in Agriculture, 74 (1): 2--33.
- López-Lozano R., Baret F., García de Cortázar Aauri I., Lebon E., Tisseyre B. (2011). *2D approximation of realistic 3D vineyard row canopy representation for light interception (fIPAR) and light intensity distribution on leaves (LIDIL)*. European Journal of Agronomy 35(3): 171-183.
- Louarn G., Lecoeur J., Lebon E. (2008). *A Three-dimensional Statistical Reconstruction Model of Grapevine (Vitis vinifera) Simulating Canopy Structure Variability within and between Cultivar/ Training System Pairs*. Ann. Bot. 101(8): 1167-1184.
- Malczewski J. (2004). *GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview*. Progress in Planning 62: 3-65.
- Martín-Tardío MA, Felicísimo ÁM. (2014). *Design of a WSN for the Sampling of Environmental Variability in Complex Terrain*. Sensors 14(11):21826-21842. doi:10.3390/s141121826.
- MIPAAF (2014). *Piano strategico per l'innovazione e la ricerca nel settore agricolo alimentare e forestale 2014-2020*. Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, rete rurale nazionale, Roma, Dicembre 2014, pag. 207.
- Moral F.J., Rebollo F.J., Paniagua L.L., García A. (2014). *Climatic spatial variability in Extremadura (Spain) based on viticultural bioclimatic indices*. Int. J. Biometeor. 58 : 2139-2152.
- Orlandini S., Mancini M. (1998). *Studio preliminare sulla microzonazione bioclimatica condotto in un'area viticola collinare*. Atti del simposio Territorio e Vino, Siena, 20-24 maggio '98, pp. 417-429.
- Pollastrini M., Valentina Di Stefano V. Ferretti M., Agati G., Grifoni D., Zipoli G., Orlandini S., Bussotti F. (2011). *Influence of different light intensity regimes on leaf features of Vitis vinifera L. in ultraviolet radiation filtered condition*. Environmental and Experimental Botany 73: 108-115.
- Reuter I.H., Kersebaum K.C., Wendroth O. (2005). *Modelling of solar radiation influenced by topographic shading – evaluation and application for precision farming*. Physics and Chemistry of the Earth. 20: 143-149.
- Riou C., Valancogne C., Pieri P. (1989). *Un modèle simple d'interception du rayonnement solaire par la vigne – vérification expérimentale*. Agronomie 9: 441-450.
- Romani M., Rapi B., Battista P. (2008). *Cascade modelling approach for daily global radiation estimation and precision viticulture applications in the Chianti area*. Proceeding of Model-IT 2008, IV International Symposium on "Application of Modelling as an Innovative Technology in the Agri-Food Chain", June 9-11, Madrid, Spain. Acta Horticulturae 802: 303-308.
- Smith L., Whigham P.A. (1999). *Spatial Aspects of Vineyard Management and Wine Grape Production*. Proceedings of the 11th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre, University of Otago, Dunedin, New Zealand, December 13-15th 1999, Whigham, P.A. (ed), pp. 171-182.
- Vercesi A, Castagnoli A., Dosso P (2003). *Metodologia di caratterizzazione agrometeorologica dei territori*. Informatore Agrario 14: 13-16.

2.8

STRUMENTI E PROCEDURE DI SUPPORTO PER SERRE A BASSA E MEDIA TECNOLOGIA.

Battista P.⁽¹⁾, Rapi B.⁽¹⁾, Romani M.⁽¹⁾, Sabatini F.⁽¹⁾, Carmassi G. ⁽²⁾, , Incrocci L.⁽²⁾, Massa D.⁽³⁾, Pardossi A.⁽²⁾

¹ CNR - Istituto di Biometeorologia, via Madonna del Piano 10, Sesto Fiorentino (FI)

² UNIFI - Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali (DiSAAA-a), Pisa.

³ CREA - Unità di Ricerca per il Vivaismo e la Gestione del Verde Ambientale ed Ornamentale, via dei Fiori 8, Pescaia (PT)

2.8.1 INTRODUZIONE

In ambito europeo, le superfici coperte da serre e tunnel sono rapidamente aumentate negli ultimi quindici anni, con alcune differenze in termini tecnologici tra l'area mediterranea (Baudoin, 1999) e i paesi del Nord (La Malfa e Leonardi, 2001; Castilla, 2002; Castilla et al., 2004). Concorrenzialità, ottimizzazione delle risorse e sostenibilità, tuttavia, sono elementi chiave per la produzione di qualità in ambiente controllato, sempre più dipendente dall'adozione di procedure e tecnologie ad alta efficienza (Madden, 2013; Hemming, 2015; Oliveira et al., 2016). Queste esigenze sono ancora più marcate in quelle aree nelle quali, per trarre il massimo vantaggio dalla mitezza del clima, dalla disponibilità idrica e dalla facilità dei collegamenti, l'orticoltura protetta è condotta in ambienti sensibili e fragili, come quelli costieri.

Dove la sfida tecnologica è stata accettata (Olanda, Australia, Spagna e Giappone, ad esempio), negli ultimi anni sono stati investiti ingenti capitali nella ricerca e nell'innovazione, con grande determinazione e fiducia in un settore che ha in sé le potenzialità per dare risposte concrete e positive a molti dei problemi che affliggono l'agricoltura contemporanea (AA.VV., 2013), promuovendone, tra l'altro, la progressiva trasformazione in un sistema d'impresa di tipo industriale (CIS, 2012). Mentre in queste zone si vanno quindi affermando sistemi produttivi ad alta efficienza, con serre di grandi dimensioni, impianti di controllo e gestione automatizzata del clima, della nutrizione e dei presidi fitosanitari, in altre si preferisce puntare su criteri produttivi e metodologie più tradizionali, mantenendo basse cubature, ridotti livelli di controllo e frequenti trattamenti chimici. Questi sistemi *low-tech*, ancora prevalenti in Italia, sono in parte giustificati da valutazioni economiche che nella maggior parte dei casi inducono a stimare ritorni limitati rispetto agli investimenti richiesti, almeno nel breve e medio periodo (Baille et al., 1994; Baille, 1999; Baille, 2001; Pardossi et al. 2004; De Pascale e Maggio, 2005).

Con il tempo, pertanto, il divario tecnologico tra queste realtà (*high-tech e low-tech*) si è accresciuto, con importanti contraccolpi in termini di capacità di risposta ai mercati e di reazione alle mutate condizioni socio-economiche, politiche e ambientali che impongono il rispetto di norme sempre più severe e restrittive (Stanghellini et al., 2003; Stanghellini et al., 2005). Per colmare lo scarto esistente tra potenzialità e realtà produttiva in tempi rapidi, i sistemi a bassa tecnologia dovrebbero seguire la strada dei grandi investimenti, aggiornando apparecchiature, metodologie e personale (<https://ag.umass.edu/fact-sheets/starting-greenhouse-business>). Questo percorso, tuttavia, appare difficilmente praticabile, almeno per il momento, a causa anche della sfavorevole congiuntura economica e delle incertezze derivanti dalla concorrenza dei paesi emergenti.

Un'alternativa possibile consiste nell'intervenire in maniera graduale, iniziando con inserire le apparecchiature e le strutture esistenti in network locali, traendo il massimo vantaggio possibile dai più recenti sviluppi tecnologici dei settori trainanti, come l'ICT (*Information and Communication*

Technologies), e recuperando almeno parte del terreno perduto, tramite interventi che comportino soltanto una minima alterazione della struttura produttiva. Questa strada implica una valutazione attenta della condizione esistente e delle opportunità reali offerte da soluzioni di livello tecnologico appropriato, che permettano il massimo controllo possibile per ciascuna realtà e la progressiva automazione dei processi.

Si tratta, in sintesi, di attivare sistemi di supporto integrati di tipo modulare, che si pongano a metà strada tra la gestione tradizionale, a bassa tecnologia, e quella Hi-tech, con l'obiettivo di assicurare agli agricoltori un buon livello di concorrenzialità e una piattaforma per il rilancio tecnologico della propria realtà produttiva. Nel presente lavoro sono riportate alcune soluzioni messe a punto nel quadro di progetti di ricerca e sviluppo, di attività di collaborazione e consulenza che hanno coinvolto personale del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali (DiSAAA-UNIP) di Pisa, del CREA di Pescia e dell'Istituto di Biometeorologia (CNR-IBIMET) di Firenze. Tra i principali temi affrontati dall'unità di ricerca nel corso di questi ultimi anni, si ricordano in particolare:

- Definizione di metodologie e strumenti per il rispetto delle direttive comunitarie in tema di uso delle risorse e salvaguardia ambientale (Bacci et al., 2009; Battista et al., 2013);
- Messa a punto e validazione di modelli produttivi, fenologici e fitosanitari (Bacci et al., 2012; Bacci et al., 2013a; Romani et al., 2012);
- Sviluppo di sistemi per il controllo automatico e l'ottimizzazione delle pratiche irrigue e fertirrigue (Bacci et al., 2010; Bacci et al., 2013b; Carmassi et al., 2003; Incrocci et al., 2012);
- Integrazione di sistemi di supporto alla gestione di serre a basso contenuto tecnologico, tramite l'interfacciamento con le apparecchiature preesistenti (Battista et al., 2012b);
- Supporto all'individuazione e alla valutazione di soluzioni innovative ICT, di particolare interesse operativo per la produzione in serra (Battista et al., 2012 a, b; Battista et al., 2015).

2.8.2 STUDIO E SVILUPPO DI UN SISTEMA DI SUPPORTO PER SERRE A BASSA E MEDIA TECNOLOGIA

Generalmente, l'idea di produzione agricola in ambiente controllato è associata a quella dell'uso di strumenti molto avanzati, con rigide procedure gestionali di tipo industriale, se non addirittura con elevati gradi di automazione e apparecchiature robotiche. Su questa linea si sono infatti mossi molti tra i progetti europei più interessanti, nei quali sono state proposte e valutate nuove soluzioni per la gestione integrata delle produzioni in serra (es. GHIS, FLOW-AID, GREENERGY, HORTIMED, Future Farm2, CROPS3).

Uno dei passaggi comunemente richiesti per il raggiungimento di un elevato grado di autonomia è quello di dotare la struttura produttiva di sistemi per il monitoraggio ambientale, in grado di raccogliere le informazioni di base richieste e dare indicazioni accurate sul corretto uso delle apparecchiature esistenti (condizionatori, ventilatori, finestre, ecc.). Nella fase iniziale del processo d'innovazione tecnologica, diversi fattori rimangono sotto il controllo e la responsabilità diretta del personale e degli esperti locali che, tuttavia, confrontandosi con le nuove tecnologie, iniziano ad interagire con i principi e le logiche dei sistemi di supporto, all'interno dei quali sono progressivamente trasferite le conoscenze operative richieste.

Questo è stato l'approccio seguito nell'ambito del progetto SWIFF (Sistema Wireless per il controllo Integrato di varie Funzioni in ambito Florovivaistico) per la realizzazione del sistema prototipale con il quale si è inteso dare coerenza funzionale ai risultati di alcuni progetti di ricerca precedenti (IDRI, ECO.IDRI.FLOR).

Il sistema SWIFF è stato progettato per rispondere alle necessità di flessibilità ed espandibilità dei sistemi gestionali del settore florovivaistico, nell'ottica di un utilizzo polivalente all'interno di strutture operative pre-esistenti. Per tale motivo, una delle caratteristiche fondamentali del sistema è rappresentata dalla modularità, che permette l'inserimento in fasi successive di ulteriori elementi, sensori e attuatori, definito dall'utente in funzione delle esigenze operative. Si tratta, a tutti gli effetti di una "soluzione modulare", realizzata dalla Società Teckna Sistemi S.r.l., nella quale le componenti hardware sono in grado di giocare diversi ruoli, in funzione dell'ambiente produttivo nel quale

devono essere inserite. La rete di monitoraggio e controllo (sensori, trasmettitori e attuatori), infatti, può essere configurata per acquisire e gestire i parametri meteo-ambientali (temperatura e umidità dell'aria, temperatura e umidità del suolo, radiazione solare, salinità, pH, ecc.), ma anche per intervenire direttamente sulle apparecchiature presenti nell'ambiente che s'intende controllare (Al-Audidy et al., 2014).

Lo schema a blocchi di figura 2.61 mostra gli elementi principali di questo sistema modulare, la cui configurazione viene a dipendere dalle esigenze operative e dagli interessi dell'utente finale.

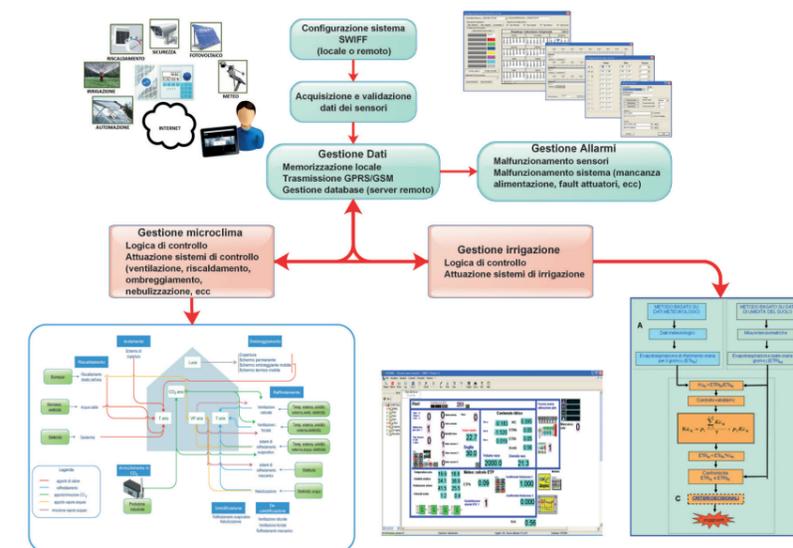


Fig. 2.61 - Schema a blocchi delle principali componenti del Sistema di Supporto alla Gestione della Serra, con indicazione dell'interdipendenza dei moduli e della scalabilità dell'intervento di aggiornamento e potenziamento, da definire in funzione delle esigenze dell'utente finale.

Componenti hardware

Il sistema prevede una centralina di rilevamento e raccolta delle informazioni provenienti dai vari moduli I/O, che si interfaccia con il centro di controllo remoto e permette la gestione, tramite

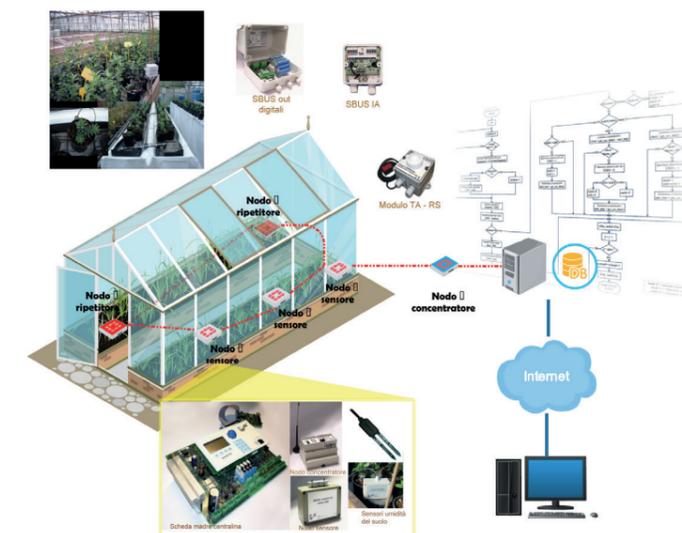


Fig. 2.62 - Componenti HW del sistema SWIFF e loro funzioni.

attuatori, di varie attività presenti in serra. Le principali componenti del sistema sono riportate in figura 2.62 e di seguito elencate in dettaglio.

- 1. Unità centrale di controllo (Master), costituita da:**
 - scheda madre (configurazione di base con 8 ingressi analogici a 12 bit configurabili, 4 uscite digitali (relè), 4 ingressi digitali (counter));
 - alimentazione modulare del sistema: $V_{in}=24 V_{cc} / 18 V_a$;
 - connessioni RS-232, Ethernet, RS-485, modem GSM/GPRS
 - display + tastiera per visualizzazioni e modifiche alla configurazione in locale;
 - espandibilità ingresso/uscite attraverso nodi slave su bus RS-485 e S-BUS: moduli Wireless (max 64), moduli S-BUS (max 128).
- 2. Moduli SBUS (Slave):** sono delle unità *slave* che rispondono alle richieste del *master*, comunicando tramite S-BUS lo stato degli ingressi o aggiornando le uscite digitali con il valore ricevuto dal *master*. Ai moduli possono essere collegati diverse tipologie di sensori (temperatura e umidità dell'aria, temperatura e umidità del suolo, potenziale idrico, ecc.).
- 3. Modulo SBUS "output digitale":** per la gestione remota degli attuatori e il controllo delle elettrovalvole.
- 4. Moduli Wireless (Slave):** acquisisce il valore di una grandezza fisica e lo comunica al Concentratore Radio secondo le modalità impostate in configurazione. La comunicazione radio avviene nelle bande ISM a 433MHz su 16 possibili canali spazati di 100 kHz da 433.2 a 434.7 MHz. Anche a questi moduli possono essere connessi diversi tipi di sensori, a seconda delle esigenze di monitoraggio.
- 5. Concentratore radio:** dispositivo che connesso alla scheda madre permette l'acquisizione dei dati di 8 sonde radio.
- 6. Sensoristica:** I sensori richiesti possono anche essere collegati direttamente agli ingressi analogici della scheda madre, dei moduli s-bus e wireless, con la sola condizione che questi soddisfino gli standard di trasmissione e alimentazione.

Ciascun sensore, inoltre, può essere predisposto per la trasmissione via radio (moduli wireless) o via cavo (moduli SBUS), in modo da rispondere alle esigenze locali privilegiando di volta in volta praticità e maneggevolezza oppure affidabilità e robustezza. In accordo con le funzioni inserite nel proprio firmware, oltre alle normali azioni di acquisizione e trasmissione dei dati, il sistema può gestire, in maniera autonoma o coordinata, diverse attività definite dall'utente in base alle proprie esigenze o priorità. Tra queste, le principali funzioni sono:

- controllo microclimatico (on/off di apparati specifici, quali ventilatori, termoconvettori, ecc.);
- gestione dell'irrigazione e della fertirrigazione (on/off di impianti irrigui);
- gestione illuminazione aggiuntiva e integrazione radiativa (on/off di apparati specifici).

Componenti software

Una prima interfaccia utente è stata realizzata a partire dal software gestionale della Società Teckna Impianti S.r.l (STR3000), in grado di assicurare sia l'impostazione dei parametri di configurazione del sistema, sia una rapida consultazione e scambio di informazioni con il DataBase.

Nel corso della prima fase di sviluppo, per la visualizzazione e presentazione delle uscite numeriche e grafiche è stata adottata una procedura mista, che completava le funzioni di STR3000 con moduli specifici. Parametri meteorologici e micrometeorologici esterni e interni, disponibilità idrica e nutrizionale, esigenze manutentive e stato dei vegetali, potevano essere monitorati e valutati attraverso specifiche componenti interattive raggiungibili da un pannello di controllo (Fig. 2.63).

Le varie funzioni del Sistema sono state sottoposte a verifica operativa nell'ambito di programmi sperimentali e i risultati sono stati discussi con gli operatori del settore nel quadro di progetti di trasferimento tecnologico come SWIFF e MOSAIC 3P (Sistema per il Monitoraggio delle Serre e la programmazione delle Attività produttive In ambiente Controllato – Progetto Pilota Pomodoro, <http://www.mosaic3p.net/>).



Fig. 2.63 - Schermate del software STR3000: configurazione del sistema e visualizzazione dei dati.

2.8.3 ATTIVITÀ DI SPERIMENTAZIONE E VERIFICA

Il sistema, sviluppato nel corso degli anni, integra una serie di modelli in grado di lavorare con dati orari e sub-orari, per la valutazione di elementi ambientali, biologici e gestionali. Il controllo dei parametri ambientali e degli altri fattori della produzione è funzionale alla crescita delle piante e alla produzione, ma per poter essere considerato "ottimale" deve rispettare precisi criteri di ordine economico, ambientale e pratico. Le apparecchiature, pertanto, devono essere gestite in maniera coerente, per concorrere al raggiungimento degli obiettivi prefissati. Nel sistema, un ruolo chiave nella gestione integrata della serra è giocato dalla componente modellistica, che consente di pesare in tempo reale l'azione combinata dei vari fattori sulla crescita e produzione delle piante e/o sulla realtà produttiva d'interesse. In questo contesto, elemento chiave di tutto il sistema di supporto è il modello usato per simulare la risposta delle piante al mutare delle condizioni di crescita. Volendo mantenere un approccio schematico alla presentazione e discussione dei risultati conseguiti, tralasciando gli elementi ordinari, vediamo quali sono gli aspetti più controversi e innovativi affrontati nel corso delle sperimentazioni.

Caratterizzazione ambientale

In mancanza di efficienti impianti di condizionamento, qualunque sia la dimensione della serra e la struttura della rete di monitoraggio della quale dispone, l'utente finale dovrà gestire una certa variabilità dei principali parametri ambientali (temperatura, radiazione, ecc.), con inevitabili conseguenze sulla omogeneità delle condizioni di crescita e sulla generale validità delle scelte tecnico-operative.

I dati microclimatici raccolti possono, quindi, essere usati in modo diretto, per valutare azioni tese ad uniformare le condizioni di crescita, oppure in forma indiretta, tramite analisi spaziali e proiezioni che consentono stime più precise sugli effetti attesi dai singoli interventi. Anche in serre di dimensioni ridotte, infatti, si possono registrare differenze rilevanti delle condizioni microclimatiche, sia in senso verticale (dal piano dei bancali fino alla massima altezza di sviluppo dei vegetali) sia in senso orizzontale (dal centro ai lati della serra). Tali disomogeneità si concretizzano nell'instaurarsi di gradienti, in particolare termici, più o meno stabili, con scarti d'entità variabile nel corso del tempo. L'attività gestionale dovrà tendere quindi a uniformare la quantità di ore trascorse in condizioni

favorevoli allo sviluppo delle piante, prevenendo condizioni di stress che si possono verificare al superamento di determinate soglie.

In una serra con orientamento nord-sud, ad esempio, l'analisi dei dati di sensori di temperatura posti a stella (con quattro nodi-sensori laterali ad una distanza di circa 7 metri dal nodo-sensore centrale) e su due livelli (a 1 m e 2.6 m dal suolo), ha messo in evidenza gradienti di temperatura legati all'inerzia termica delle zone, influenzate anche dalla densità della vegetazione, con picchi massimi in corrispondenza delle condizioni di massima radiazione. Queste differenze sono dovute principalmente alle condizioni interne alla coltura e in particolare alla copertura fogliare, che influenza la quantità di radiazione che penetra negli strati più bassi, creando un forte gradiente termico verticale.

Le differenze tra i valori di temperatura, in termini percentuali, si sono mantenute piuttosto costanti nel corso del ciclo culturale (aprile-settembre), mentre in termini assoluti i gradienti maggiori si sono osservati in giorni di cielo sereno, nel periodo di massimo sviluppo vegetativo (luglio). In ogni caso, il numero di eventi con gradiente verticale superiore a 10 °C è percentualmente molto poco rappresentativo (Tab. 2.22).

Gradiente verticale Ta max (2.6 m) – Ta min (1 m)		Gradiente termico orizzontale alla quota di 1 m (Ta max–Ta min)		Gradiente termico orizzontale alla quota di 2.6 m (Ta max–Ta min)	
Classe (°C)	%	Classe (°C)	%	Classe (°C)	%
5 <	71	5 <	80	5 <	88
5 – 10	25	5 – 10	18	5 – 10	9
> 10	4	> 10	2	> 10	3

Tab. 2.22 - Percentuale di valori orari afferenti a ciascuna classe di differenza termica ($Max_{t_i} - Min_{t_i}$) nel corso di un anno, rilevata all'interno della serra tra i due livelli (gradiente termico verticale) e nell'ambito dello stesso livello (gradiente termico orizzontale a 1 m e 2.6 m).

Se si considerano i valori medi dell'intero periodo, i gradienti termici orizzontali osservati nel livello inferiore B (altezza 1 m) sono stati maggiori di quelli registrati nel livello superiore A (altezza 2.6 m), e sono riconducibili in larga misura ad una disomogeneità nella copertura vegetale (Fig. 2.64).

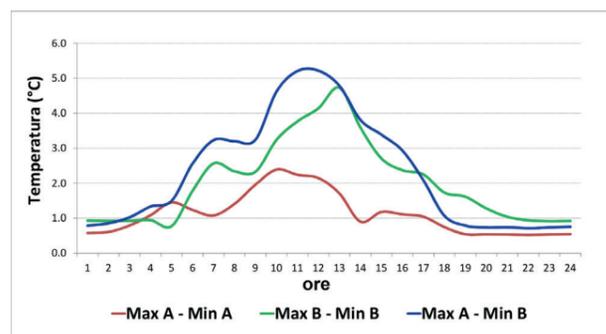


Fig. 2.64 - Andamento orario delle differenze tra i valori massimi e minimi registrati nel corso del periodo sperimentale, ai due livelli (B - basso = 1 m; A - alto = 2.6 m) e all'interno di uno medesimo livello:

Max A - valore massimo livello alto; Min A - valore minimo livello alto;
Max B - Valore massimo livello basso; Min B - valore minimo livello basso.

Nel caso in esame, le differenze tra i valori cumulati che derivano dell'uso di dati raccolti in punti diversi sono contenute entro i 2.5 °C nel livello superiore, mentre divengono più marcate in quello inferiore (4.7 °C). Se a ciascun punto di monitoraggio si associa un valore di temperatura ottenuto come media delle temperature misurate dai sensori posti ai due livelli (alto e basso), le differenze massime registrate si mantengono intorno al 5 %, riducendosi ulteriormente all'interno dell'area effettivamente messa a coltura. La significatività e il peso di queste differenze spingono a

sollecitare una maggiore attenzione da parte degli operatori del settore verso il mantenimento di condizioni di crescita omogenee, raggiungibili soltanto con una buona conoscenza delle dinamiche che si instaurano nell'ambiente di produzione. Tali informazioni consentono al sistema automatico di avere un quadro preciso della variabilità spaziale dei singoli fattori e, tramite i modelli fenologici e produttivi, sullo stato dei vegetali e sulle relative esigenze gestionali.

Consumi idrici e irrigazione

Metodi basati sui sensori di umidità del suolo e micrometeorologici

Nei vari contesti produttivi nei quali si utilizza l'irrigazione a ciclo aperto (*open-loop*), l'introduzione di sistemi semplici di controllo basati su sensori d'umidità del suolo ha consentito risparmi netti di acqua e nutrienti del 30-50 %, rispetto alla migliore gestione possibile con temporizzatori regolati da esperti (Bacci, et al., 2005; Farina, 2004 a, b). Tuttavia, l'uso di soglie d'irrigazione basate sull'umidità misurata da uno o pochi sensori non può essere ritenuta sufficientemente rappresentativa da poter gestire autonomamente impianti produttivi di grandi dimensioni e ad alto valore commerciale. Tra i fattori critici si sono registrati malfunzionamenti e "derive" dei sensori, superabili soltanto con l'introduzione di "controlli software" e "sistemi tampone", fondati su principi e criteri multilivello.

Malgrado la superiorità dei sistemi di controllo dell'irrigazione basati sull'umidità del terreno rispetto ai timer, infatti, anche questi devono essere sottoposti a verifiche ed analisi, che ne accertino il corretto funzionamento e la reale rappresentatività rispetto alle condizioni della coltura. Si tenga presente, ad esempio, che i sensori utilizzati rilevano l'umidità presente in un intorno molto ridotto (pochi cm³) rispetto alle reali dimensioni del contenitore e che l'accrescimento radicale modifica continuamente lo stato del sistema suolo/substrato-pianta che s'intende osservare.

Confrontando le stime di evapotraspirazione reale (ETR) ottenute dai dati dei sensori di umidità del suolo (ETRt) con le misure dirette effettuate tramite bilance di precisione (ETRb), si possono osservare comportamenti diversi nel corso del tempo, legati appunto alle dinamiche in atto nel sistema suolo-pianta-atmosfera. In figura 2.65 sono riportati gli andamenti dei valori orari cumulati di evapotraspirazione misurata (ETRb, linea nera) e stimata (ETRt, linea blu) tra due eventi irrigui per piante di due anni di *Hypericum hidcote*, poste in vasi da 6 L, nel corso di varie fasi di sviluppo, per le tesi A e C gestite da tensiometri. Il confronto sembra indicare una buona capacità dei sensori di seguire le variazioni del contenuto idrico, ma se analizziamo le relazioni tra i valori orari di ETRb e ETRt nei singoli mesi di luglio e agosto, si può notare una progressiva sottostima della perdita di acqua, specialmente per la tesi A, con un valore del coefficiente angolare che varia da 0.918 a 0.715 (Bacci et al., 2008).

Dall'osservazione degli andamenti, confermati nel corso di numerose campagne di misura, appare evidente che, anche in assenza di problematiche particolari, i sensori di umidità del terreno non sono sempre in grado di garantire una buona stima dell'evapotraspirazione e quindi un soddisfacente controllo dell'irrigazione. Mantenendo i sensori nella medesima posizione, ritenuta rappresentativa della condizione media del vaso, la relazione statistica tra dati stimati e misurati, che pure si mantiene altamente significativa se si considerano i valori tra due interventi irrigui, cambia nel corso del loro ciclo, rischiando di perdere di validità per piante e vasi molto grandi.

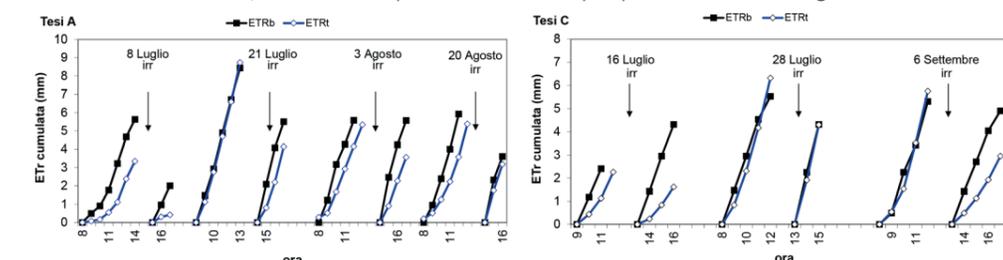


Fig. 2.65 - Andamento dei valori cumulati di evapotraspirazione tra due eventi irrigui o tra un evento e la fine della giornata di misure, per sette giorni (tesi A, 4 giorni; tesi C, 3 giorni) rappresentativi della stagione di crescita: ETRb (linea nera); ETRt (linea blu).

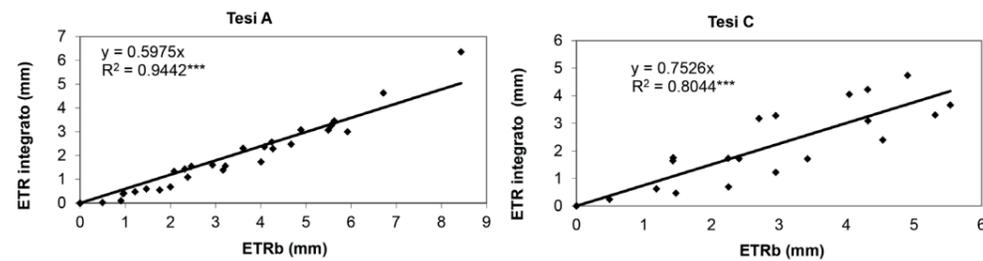


Fig. 2.66 - Relazione tra i valori orari cumulati di ETRb (bilancia) e di ETR integrato per le due tesi.

Tali problematiche possono essere superate con un modello integrato in grado di effettuare un bilancio idrico che tenga conto del comportamento dell'acqua nel substrato, dello sviluppo delle piante e delle condizioni ambientali (Bacci et al., 2008). Infatti adottando specifici criteri nell'ambito di un sistema che prevede l'impiego combinato di sensori di misura dell'umidità del suolo (*Soil method*) e di un modello di stima dell'ETR a partire da dati meteorologici (*Climate method*), è possibile migliorare le stime di evapotraspirazione reale, ottenendo un dato (ETR integrato) che si avvicina ai valori misurati dalla bilancia ETRb (Fig. 2.66). Le misure del contenuto idrico del suolo, oltre a rappresentare uno dei parametri guida dell'irrigazione, sono utilizzate dal sistema per la stima dei valori di ETR che, insieme ai valori stimati di ETo, permettono il calcolo del coefficiente culturale (Kc) della specie oggetto di studio (Bacci et al., 2008). In fase operativa il confronto tra i valori di ETRt e ETR integrato permette di verificare il corretto funzionamento dei sensori.

Metodo basato sull'indice di area fogliare

Nell'ambito del progetto MOSAIC 3P, finalizzato alla messa a punto di un sistema di supporto alla gestione del pomodoro in serra, per la stima dei consumi idrici orari è stato invece implementato un modello basato sui dati micrometeorologici e sull'indice di area fogliare (LAI), che ha consentito di ottenere stime ritenute soddisfacenti (Baille et al., 1994; Battista et al., 2012a):

$$CnH2Oj = ETR * (1+LF)/Ki \quad (L \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1})$$

dove

CnH2O	consumo idrico al metro quadro dell'ora j-esima	(L m ⁻² h ⁻¹)
LF	percentuale di lisciviazione (es. = 0.2)	
Ki	efficienza impianto irriguo (es. = 0.95 irrig. a goccia, 0.8 aspersione, 0.7 irr. a solchi)	
ETR	evapotraspirazione oraria delle piante a metro quadro	(kg m ⁻² h ⁻¹)

con

$$ETR=A*Rad (1-\exp(-k*LAI))/\lambda + B*LAI*VPD$$

dove

Rad	radiazione solare oraria interna alla serra	(MJ m ⁻² h ⁻¹)
LAI	indice di area fogliare	(m ² m ⁻²)
VPD	deficit di pressione orario	(kPa)
A	coefficiente adimensionale; per il pomodoro in condizioni di serra mediterranea A = 0.58	
B	coefficiente; per il pomodoro in condizioni di serra mediterranea B=0.025 kg m ⁻² h ⁻¹ kPa ⁻¹	
K	coefficiente di estinzione della luce della canopy, pari a 0.69	
λ	calore latente di evapotraspirazione, pari a 2.45 MJ kg ⁻¹	

Anche in questo caso la capacità del modello di seguire la traspirazione a scala oraria varia in funzione della cultivar e durante il ciclo produttivo, risultando fortemente influenzata dalle condizioni ambientali (Fig. 2.67).

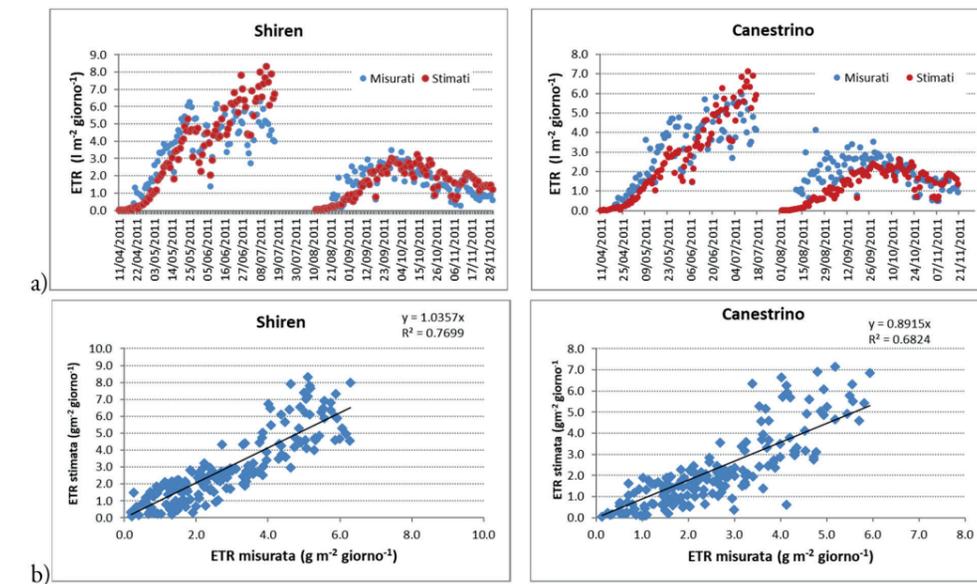


Fig. 2.67- a) Stima dell'ETR nel corso di due cicli di crescita (primavera-estate e estate-autunno) per due varietà di pomodoro (Shiren e Canestrino) e b) Relazioni tra dati stimati e misurati di ETR.

Osservando l'andamento dei dati reali e stimati nel corso di due cicli produttivi consecutivi (primavera-estate; estate-autunno), si può rilevare come il modello sia stato in grado di cogliere le risposte legate alle diverse condizioni ambientali (temperatura e radiazione), senza tuttavia mostrare la sensibilità necessaria per seguire le variazioni giornaliere o le differenze di fase.

Come ai può rilevare dagli andamenti mostrati, anche se nel complesso le relazioni possono essere considerate soddisfacenti, una gestione professionale dell'irrigazione basata su questi sistemi richiede almeno un controllo periodico dei consumi idrici reali, con interventi correttivi che permettano un riallineamento dei valori stimati rispetto a quelli misurati, in modo da evitare pericolose derive del sistema.

Crescita e produzione

Per il controllo sulla crescita e la stima delle produzioni un crescente interesse viene suscitato dai modelli integrati, in grado di simulare lo sviluppo delle piante, i loro fabbisogni e talvolta la qualità finale dei prodotti. Nell'ambito del progetto MOSAIC 3P, per il pomodoro, sono stati messi in relazione un modello traspirativo (Baille et al., 1994), un modello per la stima dell'assorbimento dei nutrienti (Massa et al., 2013) e un modello di simulazione della crescita e stima della produzione del pomodoro denominato TOMGRO (Jones et al., 1991; Jones et al., 1999), modificato per tener conto dell'effetto delle alte temperature (Vallejos et al., 1997) e corretto al fine di ottenere una stima più precisa dei nodi e della superficie fogliare (Bacci et al., 2012).

Le prove sperimentali necessarie per la calibrazione e la valutazione dei modelli di previsione sono state eseguite nel periodo aprile – novembre 2011 presso le strutture del DiSAAA-a di Pisa, all'interno di una serra con copertura in vetro, dotata di impianto di riscaldamento con aerotermini, sistemi automatici di ventilazione e ombreggiamento, impianto di fertirrigazione e sistema di coltivazione fuori suolo. Nel corso del periodo sperimentale sono stati eseguiti quattro cicli

produttivi, tre brevi (100 giorni) rispettivamente sulle varietà di pomodoro da mensa Caramba (ibrido F1), Canestrino e Shiren (ibrido F1) e uno lungo (224 giorni) sulla varietà Caramba. In tabella 2.23 sono mostrati i risultati ottenuti dall'applicazione del modello TOMGRO modificato (Bacci et al., 2012), per la stima di alcuni parametri d'interesse operativo: numero di nodi, indice di area fogliare (LAI), biomassa (W) e peso dei frutti (WF) (Battista et al., 2012a).

Al di là di considerazioni di tipo modellistico o teorico, dal punto di vista pratico i tre indici statistici utilizzati per l'analisi della regressione lineare, confermano la validità del modello TOMGRO modificato nella stima di tutti i parametri richiesti, seppure con qualche differenza:

- RMSE (radice dell'errore quadratico medio; Fox 1981), sensibile ai valori estremi per dataset piccoli; stima ideale per valori uguali a zero;
- EF (Efficienza del modello; Greenwood et al., 1985), valore ideale pari a 1; alcune criticità sono state rilevate nella stima della biomassa totale prodotta;
- CRM (Coefficiente di massa residua; Loague & Green 1991), espressione della tendenza di un modello a sovrastimare (valori negativi) o sottostimare (valori positivi). Il modello ha sempre prodotto valori molto prossimi alla condizione reale, mantenendo una leggera sottostima per tutte le grandezze.

Parametro	no.	Exp	Indici statistici per la valutazione dell'efficienza del modello				
			a	R ²	RMSE	EF	CRM
Nodi	7	CR	0.967	0.998***	0.733	0.988	0.033
	7	SH	1.052	0.998***	1.364	0.976	-0.054
	7	CN	1.112	0.996***	2.968	0.865	-0.106
	7	CRcl	1.088	0.994***	1.908	0.921	-0.079
LAI	6	CR	1.023	0.981***	0.196	0.981	-0.061
	6	SH	1.012	0.986***	1.364	0.976	-0.054
	6	CN	1.053	0.995***	0.103	0.987	-0.071
	6	CRcl	1.012	0.993***	0.137	0.993	-0.013
W	6	CR	1.020	0.965***	145.4	0.852	-0.109
	6	SH	1.260	0.927**	582.9	-1.482	-0.826
	6	CN	0.972	0.979***	46.2	0.976	0.069
	9	CRcl	0.883	0.966***	175.6	0.944	0.09
WF	12	CR	1.015	0.992***	15.15	0.991	-0.014
	7	SH	0.996	0.989***	9.272	0.990	-0.008
	12	CN	0.975	0.997***	7.748	0.995	0.010
	24	CRcl	0.974	0.987***	49.24	0.986	0.015

Tab. 2.23 - Parametri delle rette di regressione e indici statistici calcolati per il confronto tra valori misurati e stimati dalla versione modificata del modello TOMGRO di: Nodi; Indice di area fogliare (LAI), Sostanza Organica (W) e Sostanza Secca Frutti (WF) nel corso di quattro diverse prove: CR = Caramba; SH= Shiren; CN=Canestrino; CRcl = Caramba ciclo lungo. (***) $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$. Indici statistici: RMSE = Radice dell'errore quadratico medio; EF = Efficienza del modello; CRM = Coefficiente di massa residua.

La figura 2.68 mette in evidenza come il modello di crescita TOMGRO modificato sia stato in grado di seguire in maniera soddisfacente non soltanto la produzione media della biomassa, ma anche le variazioni legate alla diversa efficienza delle piante nelle varie condizioni ambientali. Confrontando i risultati delle simulazioni con i dati reali di produzione per la Cv. Caramba (Fig. 2.68 a, b), nel corso di due cicli produttivi (100 e 240 giorni), si può notare come il modello abbia fornito stime piuttosto precise e coerenti con i dati ambientali, seguendo sia la parte di sviluppo della pianta e incremento dell'efficienza, nella fase di aumento della superficie fogliare, sia la progressiva riduzione del tasso di crescita dovuta prevalentemente al peggioramento delle condizioni ambientali (temperature più fredde e riduzione della radiazione).

Analizzando i risultati delle simulazioni con i dati di produzione ottenuti dai campionamenti distruttivi (calibrazione) e da tutte le piante presenti nei bancali, il modello si è mostrato in grado di effettuare stime piuttosto precise e coerenti con i dati ambientali per il ciclo corto mentre per il ciclo lungo mostra una

leggera sovrastima (Fig. 2.68 c, d).

La validità dei risultati ottenuti spinge ad approfondire il grado di affidabilità del sistema nel produrre informazioni in forma previsionale, di maggiore interesse operativo rispetto a quelli real-time. Per tener conto dell'inevitabile incertezza legata a questo tipo di modellistica, la soluzione ritenuta più efficace è stata quella di ipotizzare diversi scenari, analizzandone i risultati dal migliore al peggiore, per dare indicazioni di tipo statistico da sottoporre all'attenzione degli esperti. In figura 2.69 sono mostrati, per i due cicli della cultivar Caramba, i range di produzione stimati a 10, 20 e 30 giorni: fascia compresa all'interno delle linee relative ai dati stimati di produzione minima (Prodmin) e produzione massima (Prodmax). Nel complesso l'errore commesso nelle stime di produzione cresce all'aumentare del periodo previsionale e si mostra più alto all'inizio del ciclo, quando la quantità di biomassa prodotta è ancora limitata e i dati generati pesano in maniera più significativa sulle stime.

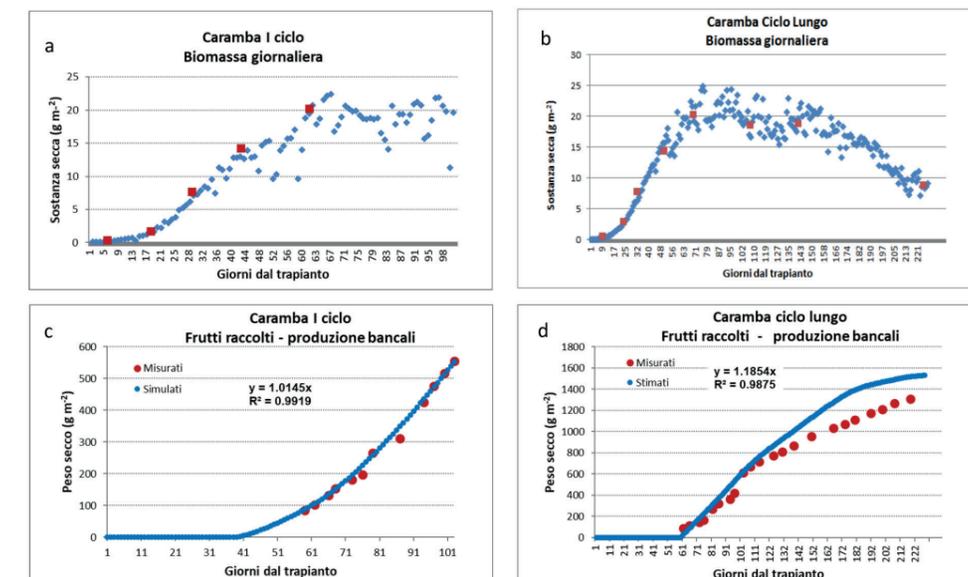


Fig. 2.68 - Confronto tra valori stimati e misurati di produzione giornaliera di biomassa (a, b) e di frutti raccolti (c, d) per la cultivar Caramba, nelle due tesi: ciclo corto e ciclo lungo.

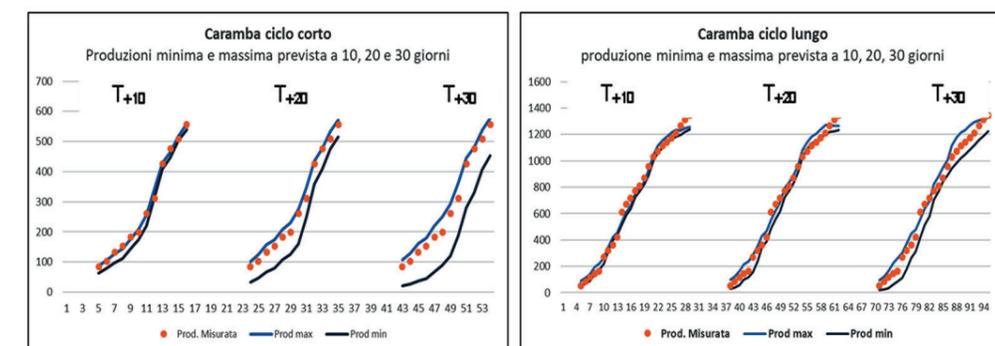


Fig. 2.69 - Confronto tra i dati osservati e le produzioni minime e massime di frutti (linee Prodmin e Prodmax) previste a 10, 20, 30 giorni per i due cicli della Cv. Caramba.

Il valore indicato dal modello come "probabile" dipenderà dalla scelta fatta dall'operatore, chiamato a dare in via preliminare un'indicazione del livello di efficienza della propria struttura produttiva (basso, medio, alto), espresso in percentuale. Nel caso in esame, la validità della previsione varia in maniera significativa a seconda che siano presi in considerazione i valori medi o i valori tendenziali, pesati in funzione della capacità gestionale e della produzione attesa. Sullo stato dei

vegetali e sulla produzione, infatti, oltre ai fattori genetici ed ambientali, agiscono in maniera determinate anche la capacità gestionale e le caratteristiche dell'impianto produttivo. Nel caso in esame (Fig. 2.69), il livello di produzione da utilizzare per valutazioni di tipo operativo dovrà quindi orientarsi verso valori prossimi alla linea di produzione massima (Prodmax) e comunque superiori alla media. In ogni caso, le forchette previsionali rimangono piuttosto strette e, anche prendendo in considerazione la sola condizione intermedia, l'errore commesso nella stima a 10 giorni si mantiene al di sotto del 10 % per tutte le cultivar (dati non mostrati). Inoltre, l'errore tenderà a ridursi man mano che vengono raccolti dati sullo stato della coltura, divenendo abbastanza stabile oltre i $\frac{3}{4}$ del ciclo.

2.8.4 CONCLUSIONI

I sistemi di supporto alla gestione di ambientali controllati di basso o medio livello tecnologico, si basano su un insieme di strumenti, metodi e tecniche per la raccolta e l'analisi dei dati, che di fatto mirano a mettere in comunicazione i vecchi sistemi produttivi, attraverso le apparecchiature e le procedure tradizionali, con i più avanzati principi di razionalizzazione e automazione dei processi.

Nel corso delle nostre esperienze, in diversi ambiti e per diverse tipologie produttive, è emersa l'esigenza di mantenere due livelli operativi, uno immediatamente comprensibile, basato sui principi gestionali classici, ed uno più complesso, nel quale gioca un ruolo fondamentale la modellizzazione dei processi. Tra gli aspetti più delicati, verso i quali anche in futuro si dovrà prestare particolare attenzione, vi è senz'altro la sicurezza, che riguarda il mantenimento delle condizioni migliori per le piante e l'affidabilità delle indicazioni gestionali fornite. Sistemi professionali, infatti, devono possedere molteplici livelli di controllo e prevedere protocolli ed azioni precise che mettano in grado il sistema, in modo autonomo o supervisionato, di rispondere a qualsiasi evenienza.

Le stesse indicazioni operative, è bene che siano basate su criteri multipli e su principi prudenziali, oltre che trasparenti, in modo da evitare pericolose derive che possono allontanare il sistema dalla realtà che s'intende controllare. Tuttavia, le soluzioni adottate si sono mostrate in grado di coordinare e regolare il funzionamento delle apparecchiature di base (ventilatori, termoconvettori, irrigatori, ecc.) in funzione delle reali esigenze delle piante, con vantaggi economici, ambientali e produttivi. Grazie alla relativa stabilità dell'ambiente di produzione, inoltre, la virtualizzazione dei processi e la modellizzazione delle dinamiche dei vari elementi, fisici e biologici, permette di ottenere indicazioni e stime sufficientemente attendibili sulle potenzialità produttive di alcune colture, aprendo la porta a valutazioni di carattere strategico, di sicuro interesse economico e commerciale.

2.8.5 BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2013). *Good agricultural Practices for greenhouse vegetable crops. Principles for Mediterranean climate area*. FAO Plant Production and Protection Paper n° 217, Rome, pag. 640. <http://www.fao.org/3/a-i3284e.pdf>
- Al-Aubidy K.M., Ali M.M., Derbas A.M., Al-Mutairi A.W. (2014). *Real-time monitoring and intelligent control for greenhouses based on wireless sensor network*. In IEEE 11th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD14), Barcelona, 11-14 Febbraio 2014, pp. 1-7.
- Bacci L., Battista P., Rapi B., Pardossi A., Incrocci L., Carmassi G. (2005). *A system for fertigation management in closed-loop soilless culture of tomato*. Acta Horticulturae 674: 263-268.
- Bacci L., Battista P., Rapi B. (2008). *An integrated method for irrigation scheduling of potted plants*. Scientia Horticulturae 116(1): 89-97. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2007.11.005>.
- Bacci L., Battista P., Rapi B., Sabatini F., Malorgio F., Petrognani L. (2009). *Validazione di un sistema automatico d'irrigazione su piante di Callistemon viminalis coltivate in serra*. Atti del IX Convegno Nazionale Associazione Italiana Ingegneria Agraria (AIIA) "Ricerca e Innovazione nell'ingegneria dei biosistemi agro-territoriali", Ischia Porto, 12-16 settembre 2009. Memoria 2-35, pp.10
- Bacci L., Battista P., Rapi B., Sabatini F., Saccardo F., Luccioli E., Marcucci A. (2010). *Applicazione e validazione*

del sistema integrato HYDRO per la gestione dell'irrigazione su piante ornamentali coltivate in serra. IX Giornate Scientifiche SOI, Firenze, 10-12 marzo 2010.

- Bacci L., Battista P., Rapi B. (2012). *Evaluation and adaptation of TOMGRO model to Italian tomato protected crops*. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 40(2): 115-126.
- Bacci L., Battista P., Rapi B., Romani M., Incrocci L., Pardossi A. (2013a). *Growth and production estimation of Italian tomato protected crops by modified TOMGRO model*. Atti del XVI Convegno Nazionale di Agrometeorologia "Agrometeorology for environmental and food security", Firenze 4-5-6 Giugno 2013, IJAm, pag. 37-38.
- Bacci L., Battista P., Rapi B., Sabatini F., Bevilacqua M., Di Lonardo S., Martelli F., Matese A., Pace A., Serni P., Bianchini F., Bresci G. (2013b). *Progetto di ricerca SWIFF "Sistema Wireless per il controllo dell'Irrigazione e di altre Funzioni in ambito Florovivaistico": Relazione finale*, Firenze, maggio 2013, pag. 72.
- Baille M., Baille A., Laury J.C. (1994). *A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamental species vs. climate factors and leaf area*. Scientia Horticulturae 59: 217-232.
- Baille A. (1999). *Greenhouse Structure and Equipment for Improving Crop Production in Mild Winter Climates*. Acta Hort. 491: 40-47.
- Baille A. (2001). *Water management in soilless cultivation in relation to inside and outside climatic conditions and type of substrate*. Italus Hortus 8:16-22.
- Battista P., Rapi B., Romani M., Bacci L., Conese C., Incrocci L., Carmassi G., Massa D., Pardossi A. (2012a). *Relazione Finale Progetto MOSAIC 3p "Sistema per il Monitoraggio e la programmazione delle Attività produttive In ambiente Controllato – Progetto Pilota Pomodoro"*, Firenze 30 aprile 2012, pag. 118.
- Battista P., Bacci L., Rapi B., Sabatini F., Simonti A., Serni P., Bianchini F., Marzialetti P. (2012b). *Sistema Wireless per il controllo dell'Irrigazione e di altre Funzioni in ambito Florovivaistico - Risultati del Progetto MIPAF "SWIFF"*. Workshop "Sistemi innovativi per il florovivaismo e un'agricoltura di precisione", Pistoia, 6 dicembre 2012.
- Battista P., Rapi B., Romani M., Sabatini F., Zipoli G. (2013). *Sviluppo di metodologie e componenti agrometeorologiche per il supporto alla gestione della risorsa idrica nel florovivaismo: risultati operativi e potenzialità applicative*. Review n. 21, Italus Hortus 20 (3), 2013: 33-48.
- Battista P., Rapi B., Romani M. (2015). *MOSAIC - un Decision Support System per la coltivazione del pomodoro in serra*. Workshop "Crop modelling for sustainable greenhouse horticulture- La modellistica applicata alla gestione sostenibile delle colture in serra", Corso di Dottorato di Ricerca in Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa, Pisa, 27 novembre 2015.
- Baudoin W.O. (1999). *Protected cultivation in the Mediterranean region*. Acta Hort. 491: 23-30.
- Carmassi G., Incrocci L., Malorgio M., Tognoni F., Pardossi A. (2003). *A simple model for salt accumulation in closed-loop hydroponics*. Acta Hort. 614: 149-154.
- Castilla N. (2002). *Current Situation and future Prospects of Protected Crop in the Mediterranean Region*. Acta Hort 582: 135-147.
- Castilla N., Fernandez J., Abou-Hadid A.F. (2004). *Strategic Crop and Greenhouse Management in Mild Winter Climate Areas*. Acta Hort. 633: 183-196.
- CIS (2012). *Australian vegetable industry Strategic Investment Plan 2012 -2017*. Ausveg, March 2012, pag. 113. <http://horticulture.com.au/wp-content/uploads/2016/01/HortInn-SIP-Vegetable.pdf>
- De Pascale S., Maggio A. (2005). *Sustainable Protected Cultivation at a Mediterranean Climate Perspective and Challenges*. Proc. International Conference on Sustainable Greenhouse Systems ISHS 2005, Acta Hort. 691: 29-42.
- Farina E. (2004a). *Regimazione idrico/nutrizionale in sistemi fuori suolo attraverso sonde FDR*. In: Atti del Workshop "Innovazione tecnologica per i sistemi fuori suolo". Napoli, 5 Maggio 2004. Ace International Editore, pp. 21-32.
- Farina E. (2004b). *Sonde FDR per l'automazione irrigua in fuori suolo*. Colture Protette 2: 75-78.
- Fox D.G. (1981). *Judging air quality model performance: a summary of the AMS workshop on*

- dispersion model performance*. Bulletin of the American Meteorological Society 62: 599-609.
- Greenwood D.J., Neeteson J.J., Draycott A. (1985). *Response of potatoes to N fertilizer: dynamic model*. Plant Soil 85: 185-203.
- Hemming S. (2015). *Innovations in greenhouse systems-energy conservation by system design, sensors and decision support systems* (invited speaker). In: Greensys 2015: International Symposium on New Technologies and Management for Greenhouses, Évora, Portugal. <http://www.greensys2015.uevora.pt/>
- Incrocci L., Massa D., Pardossi A., Bacci L., Battista P., Rapi B., Romani M. (2012). *A Decision Support System to Optimise Fertigation Management in Greenhouse Crops*. Acta Hort. 927: 115-122.
- Jones J.W., Dayan E., Allen L.H., Van Keulen H., Challa H. (1991). *A dynamic tomato growth and yield model (TOMGRO)*. Transactions of the American Society for Agricultural Engineers 34: 663-672.
- Jones J.W., Kenig G., Vallejos E. (1999). *Reduced state variable tomato growth model*. Transactions of the American Society for Agricultural Engineers 42: 255-265.
- La Malfa G., Leonardi C. (2001). *Crop Practices and Techniques: Trends and Needs*. Acta Hort. 578:31-42.
- Loague K. Green R.E. (1991). *Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application*. J. Contamin. Hydrol. 7: 51-73.
- Madden N. (2013). *The future of farming. Part 1: Controlling the environment*. <http://www.technewsworld.com/story/78646.html> (2013)
- Massa D., Incrocci L., Pardossi A., Delli Paoli P., Battilani A. (2013). *Application of a decision support system for increasing economic and environmental sustainability of processing tomato cultivated in Mediterranean climate*. Acta Hort., 971: 51-58.
- Oliveira J., Boaventura-Cunha J., Oliveira P.M. (2016). *Automation and Control in Greenhouses: State-of-the-Art and Future Trends*. In: Garrido P., Soares F., Moreira A. (eds) CONTROLLO 2016. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 402: 597-606. Springer, Cham.
- Pardossi A., Tognoni F., Incrocci L. (2004). *Mediterranean greenhouse technology*. Chronica Hortic. 44 (2), 28-34.
- Romani M., Rapi B., Battista P., Mati F., Bacci L. (2012). *Nuove tecnologie per il monitoraggio e la gestione dei giardini storici*. SCIRES-IT, Vol 2, Issue 1 (2012), 105-120. DOI 10.2423/i22394303v2n1p105
- Stanghellini C., Kempkes F.L.K., Knies P. (2003). *Enhancing Environmental Quality in Agricultural Systems*. Acta hort. 609: 277-283.
- Stanghellini C., Kempkes F., Pardossi A., Incrocci, L. (2005). *Closed water loop in greenhouses: effect of water quality and value of produce*. Acta Hortic. 691: 233-242.
- Vallejos C.E., Jones J.W., Williams F.W. (1997). *High temperature tomato experiments. Chapter II-3*, In: Seginer I, Jones JW, Gutman P, Vallejos C eds. *Optimal environmental control for indeterminate greenhouse crops*. Research Report n° IS-1995-91RC, Agricultural Engineering Dept. Technion, Haifa, Israel.

2.9

INFORMAZIONI MICROCLIMATICHE IN AMBITO VIVAISTICO

Rapi B.⁽¹⁾, Cacini S.⁽²⁾, Chiesi M.⁽¹⁾, Maselli F.⁽²⁾, Massa D.⁽²⁾, Marzioletti P.⁽³⁾, Romani M.⁽¹⁾, Sabatini F. ⁽¹⁾, Battista P.⁽¹⁾

¹ CNR - Istituto di Biometeorologia, Via Madonna del Piano 10, Sesto Fiorentino (FI)

² CREA - Unità di Ricerca per il Vivaismo e la Gestione del Verde Ambientale ed Ornamentale, via dei Fiori 8, Pescia (PT)

³ Centro Sperimentale per il Vivaismo (Ce.Spe.Vi.), Pistoia

2.9.1 INTRODUZIONE

Dal punto di vista biologico, per microclima si intende il complesso delle condizioni ambientali (radiazione solare, temperatura, umidità, ecc.) che influenzano le funzioni biologiche, fisiologiche e gli scambi energetici tra l'individuo e lo spazio che lo circonda. La micrometeorologia è la scienza che si occupa dello studio di tali condizioni nello spazio che circonda l'individuo (Rudolf, 1950). Ciascun essere vivente sperimenta condizioni ambientali favorevoli o sfavorevoli, che possono stimolarne o inibirne lo sviluppo e la diffusione, consentendo la piena espressione delle potenzialità genetiche o inducendo stati di stress e perfino la morte. La risposta del singolo individuo, tuttavia, dipende da vari elementi, che coinvolgono tra l'altro l'età del soggetto, lo stato di salute e la disponibilità di risorse (nutrienti, acqua, ecc.). Affinché lo stato del corpo (temperatura, idratazione, ecc.) possa essere considerato soddisfacente è necessario che il bilancio sia mantenuto in sostanziale equilibrio e comunque nell'intervallo di normalità.

Le piante sono particolarmente sensibili all'alterazione di questi equilibri, manifestando rapidamente l'insorgere di condizioni alterate rispetto ai propri fabbisogni e rendendo palese nel tempo la propria storia recente, con variazioni cromatiche o d'assetto, fasi fenologiche alterate, danni evidenti o altro (Jones, 2015). In mancanza di adeguate difese, i rischi legati al presentarsi di condizioni ambientali avverse sono molto elevati in quasi tutte le realtà produttive del comparto florovivaistico.

La gestione del microclima in questo settore, pertanto, rappresenta un elemento di particolare interesse, anche se tra le varie realtà produttive si possono riscontrare atteggiamenti diversi, con alcune che puntano al pieno controllo di tutti i fattori della produzione e altre che rinunciano ad intervenire su taluni aspetti, ritenuti marginali rispetto alle proprie caratteristiche economico-produttive. Nella tabella 2.24 sono indicati alcuni degli ambiti operativi all'interno dei quali la

Ambito	Azione
Sicurezza	Previsione e prevenzione di eventi meteorologici, ambientali e biologici avversi.
Sostenibilità	Ottimizzazione delle pratiche gestionali, in funzione delle reali esigenze dei vegetali.
Efficienza	Programmazione attività in campo in funzione di elementi ambientali, fenologici e sanitari.
Produttività	Miglioramento delle condizioni dei vegetali e maggior controllo quali-quantitativo.
Integrazione	Raccolta, scambio e condivisione di dati e informazioni d'interesse meteo-ambientale.
Sviluppo	Aumento della conoscenza, legato all'approccio multidisciplinare e partecipato.

Tab. 2.24- Alcuni ambiti operativi d'interesse vivaistico nei quali l'informazione micrometeorologica può dare il proprio contributo a livello gestionale e organizzativo..

conoscenza degli aspetti micrometeorologici può essere d'aiuto.

L'impatto economico di queste azioni sulla specifica realtà produttiva dipende dal contesto geografico, dalla tipologia di pianta allevata e dal livello tecnologico di partenza, ma si deve precisare che in linea di massima vi è uno scarso allineamento tra lo stato dell'arte tecnico-scientifico del settore e le soluzioni in uso. Uno degli aspetti limitanti, malgrado gli indubbi progressi osservati in questi anni, rimane quello della conoscenza e dell'uso delle tecnologie più avanzate, in particolare di quelle per il monitoraggio ambientale, la raccolta, l'analisi e la diffusione dei dati e delle informazioni agrometeorologiche. In questo contributo sono presentate le prime indicazioni operative maturate dall'Istituto di Biometeorologia del CNR (CNR-IBIMET) di Firenze in collaborazione con il CREA-VIV di Pescia, per la gestione di dati micrometeorologici, nell'ambito del progetto integrato 3S-ECO-NURSERY, finanziato dalla Regione Toscana e coordinato dalla Società Agricola Romiti Vivai SS, che vede la partecipazione di numerosi e importanti produttori del comprensorio Pistoiese-Pesciatino.

2.9.2 INTEGRAZIONE TRA SISTEMA DI SUPPORTO E SISTEMA PRODUTTIVO

Facendo riferimento alle esperienze pregresse, possiamo dire che, un efficiente sistema di supporto alla gestione delle piante destinato al distretto vivaistico pistoiese dovrebbe prevedere un coinvolgimento diretto di produttori e tecnici, chiamati in primo luogo a condividere dati d'interesse meteo-ambientale, sanitario ed epidemiologico (Fig. 2.70). La validità generale delle informazioni prodotte, infatti, si avvantaggerebbe molto della disponibilità di dati raccolti in maniera diffusa sul territorio, rappresentativi delle diverse condizioni microclimatiche esistenti. Rispetto alla nota struttura dei più tradizionali Sistemi di Supporto, questa particolare tipologia di servizi potrebbe avere alcuni elementi specifici, relativi non soltanto ai criteri di analisi e agli strumenti modellistici, ma anche alle tecniche utilizzate per la salvaguardia dei dati sensibili (gestione aggregata o non riconducibile ad utenti singoli), all'uso integrato di dati locali e generali, alla valorizzazione e alla promozione dei risultati delle attività di sperimentazione e ricerca, finalizzate al rafforzamento della concorrenzialità del comparto produttivo a livello nazionale e internazionale.

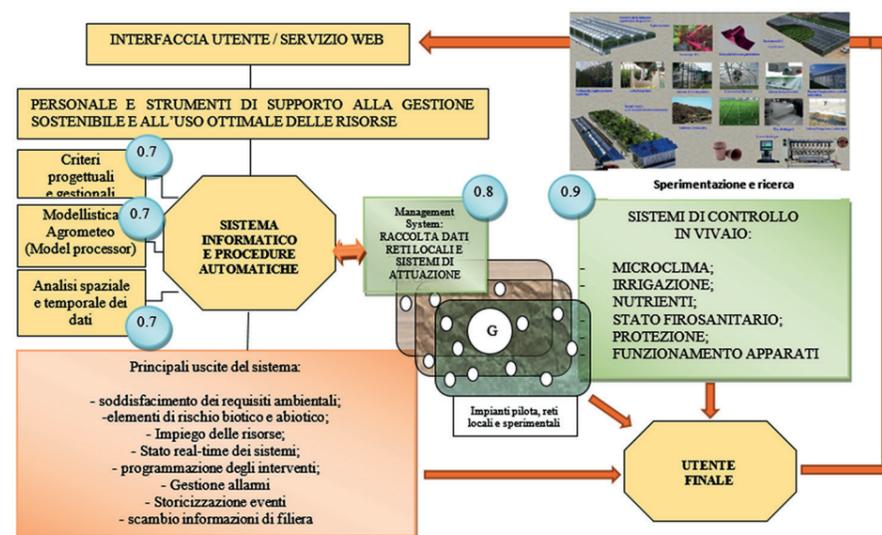


Fig. 2.70 - Diagramma a blocchi e connessioni tra gli elementi di un efficiente Sistema di Supporto alla gestione del vivaio, con indicazione del livello di avanzamento (sfere azzurre) degli elementi Hw/Sw interni.

Un tale sistema, inoltre, si avvantaggerebbe molto della presenza di un impianto sperimentale (vivaio pilota), da utilizzare principalmente per la valutazione degli apparati e delle soluzioni da diffondere all'interno del distretto. Una rete di questo tipo potrebbe, al suo interno, creare i

presupposti per giungere ad una certificazione di qualità e sostenibilità ambientale delle proprie produzioni, con sicuri vantaggi in termini d'immagine e di possibilità di penetrazione nel mercato. Dobbiamo infatti ricordare che la produzione florovivaistica è un'attività sociale con forti implicazioni ambientali, che necessita di una visione ampia e coerente di tutti i fattori della produzione e del mercato. Per prosperare, quindi, è necessario mantenere alto il livello di attenzione e curare le relazioni di filiera e di sistema, traendo anche il massimo vantaggio dalle opportunità d'integrazione offerte dall'innovazione tecnologica.

2.9.3 IL CONTROLLO AGROMETEOROLOGICO

Dal momento in cui sul territorio del distretto è presente una rete di monitoraggio agrometeorologica sufficientemente diffusa e rappresentativa, il sistema può essere messo in condizioni di fornire indicazioni anche su aspetti epidemiologici o su elementi di rischio biologico, potenzialmente d'interesse comune, all'interno del comparto produttivo. Inoltre, molte informazioni potrebbero essere rese accessibili ad utenti esterni, secondo criteri prestabiliti o inviate a figure professionali predefinite, per avviare o concertare eventuali azioni comuni.

I vantaggi che possono derivare dall'adozione di strategie per il controllo microclimatico sono molteplici e toccano tutte le tipologie produttive, da quelle meno tecnologiche a quelle più evolute, divenendo indispensabili per la produzione di specie vegetali non adattate alle condizioni ambientali del sito produttivo (Fig.2.71).

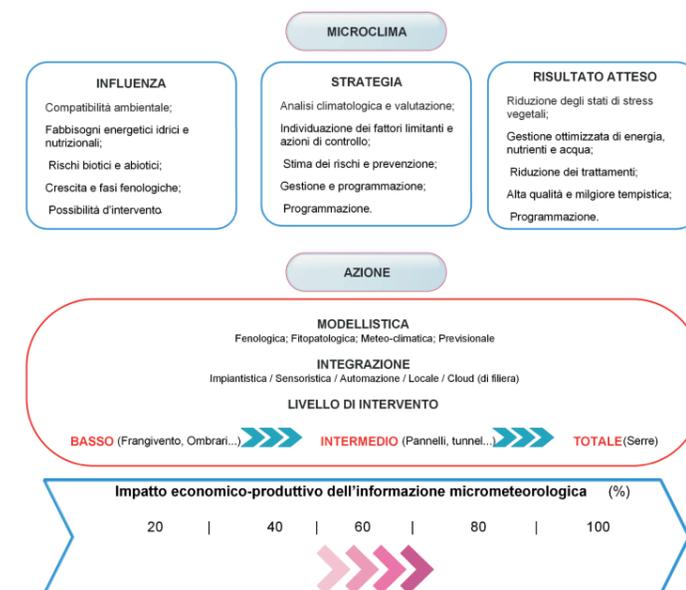


Fig. 2.71- Indicazioni sommarie dei vantaggi derivanti dall'adozione di alcune strategie agrometeorologiche per il controllo microclimatico. La percentuale d'impatto economico-produttivo deve essere intesa come effetto sulla quota comprimibile. Il massimo dell'azione corrisponde alla gestione integrata e ottimizzata di tutti i fattori della produzione.

Un altro aspetto di particolare interesse, per un mercato sempre più esigente, è quello dell'omogeneità della produzione, che deve mantenere standard elevati, non soltanto all'interno della medesima partita, ma anche nell'arco degli anni. Questi elementi, così come quelli più direttamente legati alla gestione delle risorse (energia, nutrienti, acqua, ecc.), non sono sempre immediatamente percepiti come critici dai produttori, che vi rispondono sulla base di pratiche consolidate e dell'esperienza, accettando i rischi che ne derivano in termini di quote di mercato.

Vi sono, tuttavia, azioni che possono essere condotte per migliorare questi aspetti e molte di queste passano attraverso una gestione più attenta dei fattori della produzione, tra cui il microclima. L'informazione agrometeorologica può giocare un ruolo positivo nella capacità di risposta del sistema

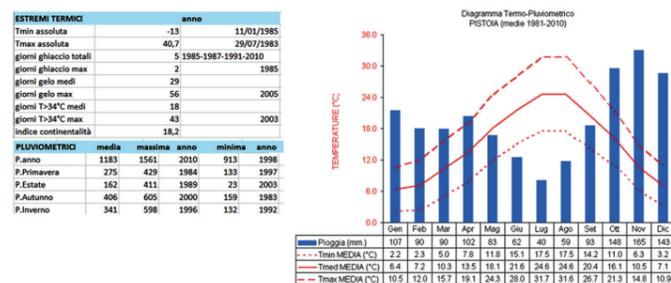
produttivo alle condizioni avverse, aumentando la sicurezza e la qualità della produzione attraverso l'individuazione delle ragioni della disomogeneità e l'adozione di specifiche azioni.

Prevenzione, protezione e valutazione di danni abiotici

Negli ultimi anni sul territorio della Regione Toscana vi sono stati numerosi eventi meteorologici avversi che hanno provocato ingenti danni economici a diversi settori, incluso quello florovivaistico. Si è trattato di periodi di siccità, piuttosto che di piogge anomale, grandinate o venti localmente molto significativi, che hanno colpito duramente molte realtà produttive. Procurarsi una copertura assicurativa è la risposta più immediata, per la tutela del patrimonio aziendale, tanto che esistono, sul mercato assicurativo, prodotti specifici per questo settore. Vi sono, tuttavia, anche metodi di prevenzione e difesa che, pur non sostituendosi ai primi, cercano di tutelare il prodotto e il suo valore sul mercato, oltre che l'immagine del produttore (Marzialetti, 2015).

L'agrometeorologia può offrire il proprio contributo di conoscenze nella prevenzione, protezione e stima dei danni provocati da agenti atmosferici a tutti i livelli, fornendo analisi climatologiche per la stima preventiva dei rischi, supportando la progettazione delle soluzioni di contrasto e, eventualmente, producendo mappe di intensità dei singoli eventi sul territorio (Fig. 2.72). Nel corso della tempesta di vento del 5 marzo 2015 (Betti et al., 2015), ad esempio, vi sono stati ingenti danni al comparto florovivaistico pistoiese, con piante cadute e danneggiate, tetti scoperchiati e capannoni danneggiati, che hanno fatto rimpiangere a molti la mancanza di adeguate misure di protezione (Vannuccini et al., 2015). Nella valutazione economica di tali interventi, tuttavia, si dovrebbe tener conto anche dei vantaggi che possono comunque derivare in termini di qualità delle produzioni, maggiore controllo fitosanitario e concorrenzialità. In senso lato, qualunque agente svolga un ruolo all'interno dei bilanci energetici, termici o idrici può essere monitorato, controllato e modificato in modo significativo, spesso senza bisogno di grandi investimenti. In diversi casi, inoltre, i costi possono essere ripartiti tra più soggetti, se questi trovano interesse nella condivisione di strumenti, servizi o informazioni.

Riferendosi ancora all'evento del 5 marzo 2015, immagini telerilevate, da satellite, aereo o drone, possono essere utilizzate per valutare la condizione degli impianti e lo stato dei vegetali, anche in termini relativi, confrontando i valori di biomassa o di area fogliare all'interno di una zona che avrebbe dovuto essere non molto dissimile da quanto osservato negli anni precedenti.



EVENTO 5 MARZO 2015 – RAFFICHE PIU INTENSE

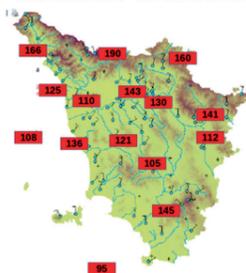


Fig. 2.72- Diagramma termo-pluviometrico e statistiche climatologiche relative agli estremi termici e pluviometrici per Pistoia (periodo 1981-2010). Rappresentazione dell'intensità massima della velocità del vento misurata nella Regione Toscana in occasione dell'evento del 5 marzo 2015 (Betti et al., 2015).

Il grafico di figura 2.73 mostra la condizione anomala dei valori di NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) relativi ad alcuni vivaai del comprensorio Pistoiese, agli inizi di marzo 2015 rispetto ai valori medi degli ultimi cinque anni. Si può notare che nei vivaai colpiti, anche a causa del periodo particolarmente delicato nel quale si è verificato l'evento, la vegetazione ha mostrato un significativo decremento del NDVI con differenze marcate anche tra le tre realtà produttive osservate.

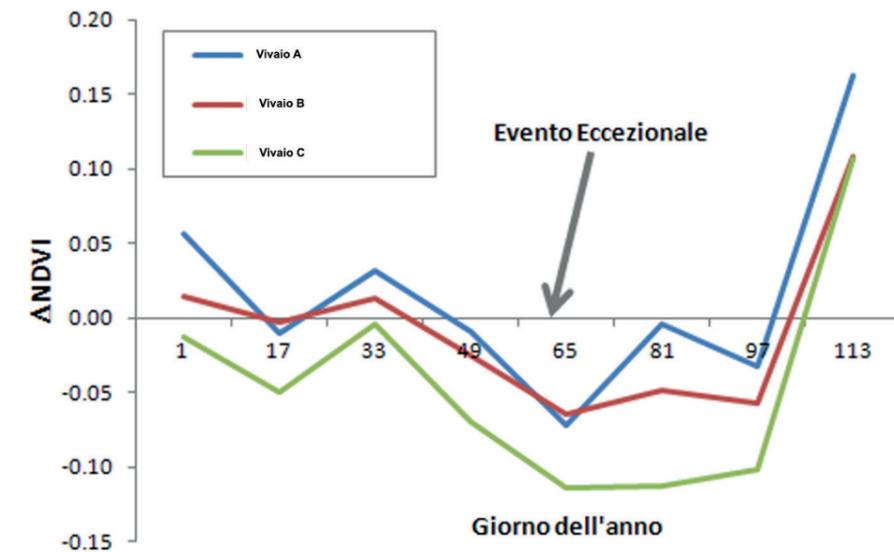


Fig. 2.73- Deviazione normalizzata dei valori di NDVI nei comprensori florovivaistici per l'anno 2015 rispetto alla media dei 5 anni precedenti. I valori sono ottenuti da dati MODIS, che hanno una risoluzione spaziale di 250 m e un periodo di composizione di 16 giorni.

Sulla base di questo principio è possibile anche valutare le esigenze idriche o nutrizionali, sia in termini relativi sia in termini assoluti, rilevandone le variazioni rispetto alla condizione attesa sulla base di valori storici. Questo tipo di approccio può essere seguito anche per danni provocati da altri agenti (gelo, malattie, ecc.) che si avvantaggiano in vario modo di strumenti di analisi spaziale e indicazioni quali-quantitative di tipo prevalentemente comparativo. Indipendentemente dalle scale spaziali e temporali, si può dire che a livello procedurale l'integrazione di queste informazioni con dati locali e modelli matematici rimane sostanzialmente invariata per le diverse applicazioni e valutazioni.

Diffusione di avvisi fitopatologici

A parte poche eccezioni, il distretto florovivaistico non dispone di sistemi di monitoraggio in grado di guidare e coordinare gli interventi di lotta fitopatologica (Teani et al., 2014). In questo ambito, può essere pertanto d'interesse lo sviluppo di un sistema di preavviso e/o allerta, basato su dati meteorologici e informazioni geostatistiche in grado di indicare il livello di rischio esistente nelle diverse aree produttive, almeno per i principali patogeni e per le tipologie vegetali di maggiore interesse economico.

Questa è una delle attività che nell'ambito del progetto 3S ECO-NURSEY il CNR- IBIMET di Firenze, in collaborazione con il CREA-VIV di Pescia, sta conducendo per rispondere alle istanze informative dei principali vivaisti del comprensorio pistoiese. Nell'ambito del progetto, oltre a disporre l'installazione di una rete di monitoraggio agrometeorologica, si stanno mettendo a punto procedure di analisi spaziale specifiche, basate su modellistica agrometeorologica e fitopatologica, al fine di valutare i livelli di rischio raggiunti nei diversi comparti produttivi.

Uno degli aspetti di maggiore interesse è rappresentato dalle possibilità di utilizzare l'informazione micrometeorologica fornita per una gestione più attenta e sostenibile degli agenti di rischio fitopatologico, sperimentando alcune pratiche migliorative delle condizioni sanitarie, legate al controllo di parametri ambientali.

Un altro elemento sul quale ci si sta confrontando riguarda l'orientamento degli interventi e dei trattamenti in modo più mirato in base ai rischi individuati per ciascun settore, secondo i principi dell'agricoltura di precisione. Le analisi e le indicazioni prodotte potranno essere diffuse presso i partner di progetto, tramite pagine web dedicate, nelle quali saranno indicati gli elementi di rischio e le azioni di contrasto suggerite.

In questa prima fase, si stanno inoltre studiando le uscite grafiche e testuali che potrebbero integrare quanto già sperimentato presso il Consorzio LaMMA – Laboratorio di Monitoraggio e Modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile, nel suo bollettino fitosanitario (Fig. 2.74). All'interno dei bollettini, oltre all'analisi dell'andamento meteo-climatico, a informazioni sulla disponibilità idrica e a consigli su come razionalizzare alcune pratiche per il controllo di importanti agenti patogeni, potranno essere inserite indicazioni utili al miglioramento della sostenibilità ambientale delle pratiche gestionali.

Prima di questo passaggio, tuttavia, le informazioni prodotte dal gruppo di ricerca dovranno essere valutate direttamente dagli utenti finali, che ne verificheranno l'interesse operativo reale nel proprio contesto produttivo, anche allo scopo di definire le procedure da seguire per la loro diffusione. A tal fine, i potenziali utenti prenderanno parte a programmi di verifica e validazione, contribuendo anche all'individuazione di priorità o criticità, per l'attivazione di nuovi programmi di ricerca e sviluppo dedicati al mondo florovivaistico.

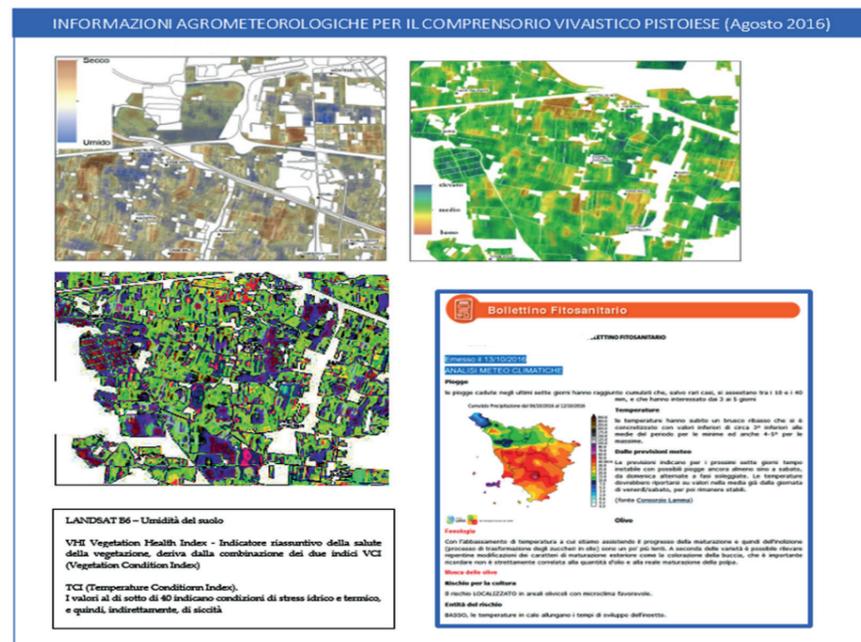


Fig. 2.74- a) Prime uscite grafiche prodotte per il distretto florovivaistico pistoiese nell'ambito del progetto 3S ECO-NURSERY a partire da immagini LANDSAT e b) Estratto dal Bollettino Fitosanitario del Consorzio LaMMA – Regione Toscana (ottobre 2016).

Rilevamenti fisici e analisi multidimensionali.

Una caratterizzazione completa dell'azienda e dei prodotti è un passo molto difficile da compiere in modo tradizionale, se non ci si accontenta di un semplice controllo visivo. Il movimento della vasetteria, se non automatizzato, comporta un impegno non indifferente e in molti casi non permette di ottenere i risultati sperati in termini di omogeneità della produzione. Una certa variabilità all'interno della produzione, quindi, appare inevitabile, purché si mantenga entro limiti accettabili,

generalmente corrispondenti per il produttore alle specifiche indicate dai clienti.

L'analisi morfometrica e funzionale, tuttavia, andrebbe fatta con frequenze elevate, ma soprattutto il posizionamento, la movimentazione e le azioni di controllo dei parametri ambientali dovrebbero basarsi su dati obiettivi e misure affidabili. Molte delle informazioni richieste possono essere ottenute anche tramite strumenti di *Remote Sensing* (come i LIDAR) e metodologie GIS, che offrono un'analisi completa del comportamento delle principali grandezze all'interno dell'area produttiva e, con sempre maggiore precisione, anche il rilevamento automatico di elementi morfologici (superficie, profilo, rugosità, altezza, volume, ecc.; Fig. 2.75).

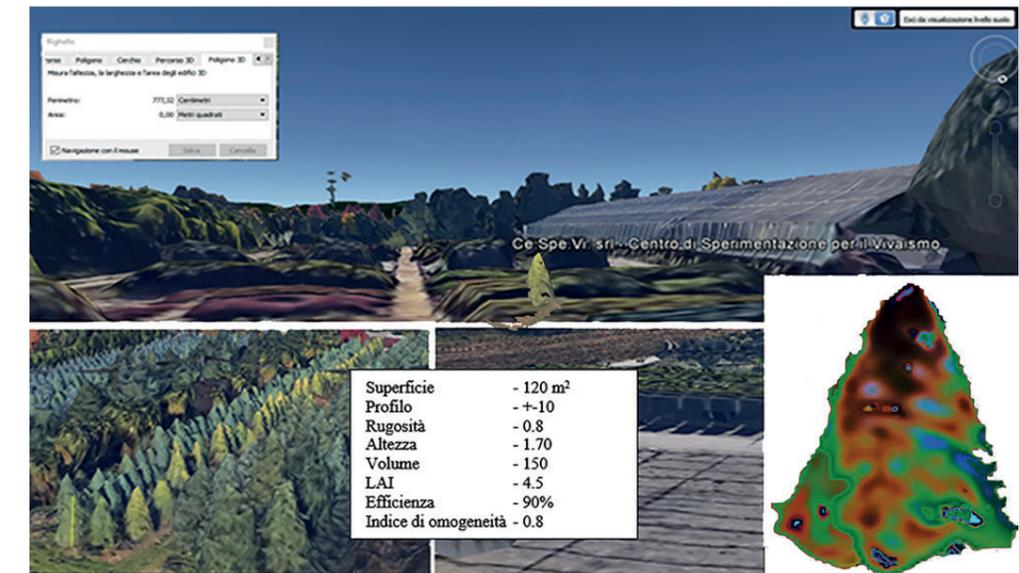


Fig. 2.75- Riproduzioni 3D di alcuni spazi a vivaio in ambito pistoiese derivate da LIDAR e valutazione morfometrica a scopo di ricerca, a partire da immagini Google Earth Pro.

Questo tipo di strumentazione produce output numerici per ciascun elemento all'interno dell'area d'osservazione (infrastruttura, tronco, foglia, ecc.), con un dettaglio spazio-temporale che può essere definito in base alle specifiche esigenze dell'utenza. Oltre all'obiettività e ripetibilità dell'analisi, le informazioni morfometriche possono essere impiegate all'interno di modelli di simulazione che spingono le valutazioni oltre le componenti fisiche e ne analizzano le implicazioni biologiche (es. efficienza fotosintetica, esigenze nutrizionali, ecc.). Utilizzando strumenti radar, come il LIDAR ad esempio, si possono raccogliere informazioni su molteplici livelli, da usare per calibrazioni modellistiche, analisi multidimensionali e valutazioni multiparametriche.

Se osservando da terra la copertura vegetale riusciamo a scorgere il cielo, questo significa che la radiazione filtra attraverso le foglie e che il radar è in grado di raccogliere informazioni su tutti i livelli della vegetazione, dal terreno fino all'apice. La fotografia tridimensionale che si ottiene può essere conservata in archivio per verifiche, studi e confronti, da effettuare anche a distanza di molto tempo, per aumentare la conoscenza del sistema produttivo di riferimento. Le indagini di tipo statistico, geostatistico e modellistico possono completare il quadro informativo, quantificando il processo fisiologico (organizzazione, crescita dimensionale, esigenze idriche e nutrizionali, ecc.). Il passaggio successivo è quello di trasmettere all'operatore o al produttore indicazioni su come intervenire per regolare i processi e ottenere i risultati sperati.

Ad esempio, una delle proposte più interessanti emerse negli ultimi anni per la gestione della radiazione incidente, integrativa o sostitutiva, è rappresentata dalla tecnologia LED – *Light Emitting Diode* (Massa et al., 2008; Landis et al., 2013), supportata o meno da pannelli riflettenti e sistemi di regolazione basati sulle condizioni ambientali (autoregolazione).

Questi sistemi, infatti, consentono di regolare l'intensità della radiazione nelle diverse lunghezze

d'onda attive per i pigmenti, organuli e processi biologici d'interesse agronomico, sensibili a variazioni anche minime dell'intensità o dei rapporti tra bande dello spettro elettromagnetico, in particolare del visibile, dell'ultravioletto e dell'infrarosso vicino. L'obiettivo anche in questo caso rimane quello di agire in modo dinamico sulla fotosintesi e sulla morfogenesi, per regolarne i processi e ottenere il prodotto desiderato nel momento in cui questo è più richiesto dal mercato.

Integrazione di dati locali e indicazioni operative.

In ambito florovivaistico gli sforzi maggiori per la raccolta e l'integrazione dei dati sono stati fatti per la razionalizzazione della pratica irrigua, in considerazione delle sue implicazioni ambientali e sociali, fortemente sentite anche nel distretto pistoiese. Purtroppo, come suggerito da diverse ricerche, il rilevamento diretto dell'umidità del terreno tramite specifici sensori (es. tensiometri, sensori FD, ecc.) può essere non sempre sufficiente a garantire la gestione ottimale dell'irrigazione, per la quale sono richieste informazioni più ampie, sullo stato della vegetazione e sulle condizioni ambientali (Bacci et al., 2008, Battista et al., 2013).

Per le piante in vaso, in particolare, la rappresentatività delle misure e delle stime evapotraspirative è influenzata da diversi fattori, sia ambientali (temperatura, vento, radiazione, umidità) sia fisiologici (stadio vegetativo, crescita e condizione delle piante, ecc.) sia gestionali (substrato, dose irrigua, impiantistica, ecc.). Dato che alcuni parametri possono variare nel corso della stagione, non soltanto occorre calibrare il sistema di controllo nella fase iniziale, ma è necessario seguirne il funzionamento nel corso dell'anno, in modo da correggerne gli errori e renderlo sempre più efficiente. A seconda delle profondità radicale e della capacità traspirativa, ad esempio, i sensori di umidità del terreno (Root Zone Sensor) avranno una diversa capacità di descrivere le variazioni che intervengono nel sistema vaso (Pardossi et al. 2009).

Nella tabella 2.25 sono mostrate le relazioni tra i dati di evapotraspirazione reale (ET_r) misurati con una bilancia di precisione e stimati mediante quattro sensori di umidità del terreno in prove sperimentali condotte su piante di *Hypericum hydrcote* coltivate in vasi di 6 litri (torba e pomice, 1:1), con irrigazione a goccia. Le misure sono state effettuate nei mesi di luglio e agosto, in pieno sviluppo vegetativo e le tesi A e C differiscono soltanto per i tempi di irrigazione (Bacci et al., 2008).

Tesi / tensiometro	Luglio		Agosto	
	a	R ²	a	R ²
A/1	0.832	0.761***	0.586	0.716**
A/2	0.994	0.71***	0.839	0.833***
C/1	1.21	0.736**	0.89	0.807**
C/2	1.05	0.67***	1.213	0.886***
Tesi A (media)	0.918	0.712***	0.715	0.731***
Tesi C (media)	1.094	0.679***	1.003	0.795***

Tab. 2.25- Parametri della regressione lineare tra i valori orari di ET_r misurati mediante bilancia e stimati mediante i sensori di umidità del suolo per le tesi A e C: a - coeff. angolare della regressione lineare; R² - coeff. di determinazione (***) P<0.001; ** P<0.01).

Oltre a mostrare significative differenze tra loro e rispetto all'ET_r di riferimento, la variabilità osservata tra i sensori è tale da impedire una stima accurata dell'evapotraspirazione, anche utilizzando la media dei valori rilevati per ciascuna tesi. Tra l'altro, tenendo conto che i dati registrati dai sensori durante e subito dopo un evento irriguo (1-2 ore) non sono rappresentativi dell'evapotraspirazione reale (l'acqua in ingresso e il relativo deflusso mascherano la traspirazione), la mancanza dei relativi valori comporta comunque un errore di stima. Queste considerazioni sono state confermate anche per altre specie, sebbene vi siano differenze importanti nei comportamenti, legati a diversi fattori, tra i quali i più importanti sembrano essere riconducibili all'accrescimento e alla modifica dei parametri fisici e fisiologici intervenuti negli apparati radicali e fogliari, che influenzano l'efficienza

nell'assorbimento e nell'uso dell'acqua (Bacci et al., 2010). Dopo aver effettuato le opportune correzioni, tuttavia, si possono ottenere dati sufficientemente rappresentativi dei comportamenti medi, da utilizzare presso il proprio impianto produttivo o per confronti tra situazioni diverse, distanti nel tempo e nello spazio.

In tutti i casi, l'impiego di procedure integrate implementate in sistemi di controllo agrometeorologico, basate su dati meteorologici spazializzati, modellistica e immagini satellitari, può fornire risultati interessanti, in particolare per l'individuazione di situazioni anomale o particolari (D'Urso et al. 2008). Secondo questo principio, anche l'uso di coefficienti culturali (Kc) specifici, come quelli proposti su base quindicinale nell'ambito del progetto IRRIGO (Pardossi et al., 2014; <http://www.vannucciante.it/cosa-facciamo/ricerca-e-innovazione>), derivati da misure lisimetriche e da sensori di umidità del terreno per diverse tipologie di piante ornamentali, previa valutazione delle dimensioni (altezza totale, altezza del tronco e diametro delle piante), rappresenta un importante passo in avanti verso la messa a punto di metodologie dedicate al settore florovivaistico.

Il risultato finale di queste procedure sarà comunque una sorta di elenco delle stime o delle rappresentazioni matematiche e statistiche che, nella loro forma più semplice potranno essere tradotte in indicazioni operative, derivate dall'utente in base alle proprie conoscenze o prodotte dal sistema in modo automatico o sotto la supervisione degli esperti.

2.9.4 CONCLUSIONI

Nell'ambito del progetto 3S ECO-NURSERY si stanno affrontando alcune problematiche connesse all'integrazione di dati locali e satellitari per la produzione di informazioni d'interesse operativo per il comprensorio florovivaistico pistoiese. Grazie ai progressi registrati dai sistemi di monitoraggio che operano a varie scale spaziali e temporali, alcune soluzioni sembrano prospettarsi per l'analisi di questi complessi sistemi produttivi, per molti aspetti ancora sensibili ai fattori ambientali.

In particolare, l'uso integrato di dati raccolti da sensori agrometeorologici, posizionati in ambiti rappresentativi rispetto ai parametri d'interesse modellistico, e telerilevati (da drone, aereo o satellite), possono permettere una caratterizzazione piuttosto precisa delle parcelle e la produzione di informazioni d'interesse organizzativo e gestionale.

La disposizione delle specie vegetali all'interno dell'area produttiva, la gestione delle risorse e degli interventi, oltre che la lotta ad agenti biotici e abiotici avversi, dovrà essere valutata e discussa dai partner di progetto, in modo da definire metodologie e strategie comuni, che possano valorizzare gli elementi di forza e mitigare quelli di debolezza.

Tra le attività che sembrano poter trarre vantaggio dalla disponibilità di informazioni microclimatiche ad elevato dettaglio spaziale e temporale, la lotta fitosanitaria appare una di quelle con i più ampi margini di miglioramento. Vantaggi operativi rilevanti potrebbero infatti derivare sia da una gestione coordinata e coerente di comprensori produttivi progressivamente più ampi sia dalla realizzazione di specifici servizi a carattere consortile per la diffusione di avvisi fitopatologici.

Con l'abbattimento dei costi di raccolta e diffusione dell'informazione agrometeorologica, inoltre, le aziende potrebbero ricevere un nuovo impulso verso l'aggiornamento dei propri sistemi e l'introduzione di pratiche integrate sempre più affidabili, con sicuri vantaggi ambientali e un miglioramento della qualità e della omogeneità delle proprie produzioni.

2.9.5 BIBLIOGRAFIA

- Bacci L., Battista P., Rapi B. (2008). *An integrated method for irrigation scheduling of potted plants*. Sci. Hort. 116 (1): 89–97. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2007.11.005>.
- Bacci L., Battista P., Rapi B., Sabatini F., Saccardo F., Luccioli E., Marcucci A. (2010). *Applicazione e validazione del sistema integrato HYDRO per la gestione dell'irrigazione su piante ornamentali coltivate in serra*. IX Giornate Scientifiche SOI, Firenze, 10-12 marzo 2010.
- Battista P., Rapi B., Romani M., Sabatini F., Zipoli G. (2013). *Sviluppo di metodologie e componenti agrometeorologiche per il supporto alla gestione della risorsa idrica nel florovivaismo: risultati operativi e potenzialità applicative*. Review n. 21, Italus Hortus 20 (3), 2013: 33-48.

- Betti G., Vallorani R., Bartolini G., Grifoni D., Pasi F., Messeri G., Rossi M., Capecchi V., Torrigiani T., Tei C. (2015). *Report meteorologico del 4-5 marzo 2015*. Consorzio LaMMA- Laboratorio di Monitoraggio e Modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile, Regione Toscana. http://www.lamma.rete.toscana.it/clima/report/eventi/vento_4-5_marzo_2015.pdf
- D'Urso, G., Vuolo, F., De Michele C. (2008). *Remote Sensing Techniques to Improve On-Farm Irrigation Efficiency*. Proceedings of the Irrigation Australia Conference, Melbourne, Australia, May 2008, pag. 8.
- Jones H. G. (2015). *Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*. Cambridge University Press- Third Edition. Printed in the United Kingdom by TJ International Ltd. Padstow Cornwall, pag. 423. 978-0-521-27959-8.
- Landis D., Jeremiah R., Kasten Dumroese R. (2013). *Light Emitting Diodes (LED): applications in forest and native plant nurseries*. Forest Nursery Notes, 33 (2): 5-13.
- Massa G.D., Hyeon-Hye Kim, Raymond M. Wheeler and Cary A. Mitchell (2008). *Plant Productivity in Response to LED Lighting*. HortScience 43 (7): 1951-1956.
- Marzialetti P. (2015). *Conseguenze nei vivai e possibili insegnamenti della tempesta di vento. Giornata di studio "Verde pubblico e privato: quali strategie dopo la tempesta di vento"*, Pistoia, 30 aprile 2015
- Pardossi A., Incrocci L., Incrocci G., Malorgio F., Battista P., Bacci L., Rapi B., Marzialetti P., Hemming J., Balendonck J. (2009). *Root Zone Sensors for Irrigation Management in Intensive Agriculture*. Sensors 9(4): 2809-2835. doi:10.3390/s90402809.
- Pardossi A., Incrocci L., Resta E. (2014). *Il progetto IRRIGO*. Manuale del Progetto IRRIGO: irrigazione sostenibile nel vivaismo ornamentale in contenitore, Pistoia, febbraio 2014, p. 11-18.
- Rudolf G. (1950). *The climate near the ground*. Harvard University Printing Office. Cambridge Massachusetts USA, pag. 518. <https://archive.org/details/climatenearthegr032657mbp>
- Teani A., Pacifici S., Cacini S., Mori J., Minuto G., Burchi G. (2014). *Sviluppo e messa a punto di un sistema di allarme per le principali fitopatie della rosa*. In Progetto FLORIS, studi e risultati, Floritecnica e Vivaismo, 38 (3): VII-X.
- Vannuccini M., Giachini M., Desco C. (2015). *Danni e problematiche causati dal vento del 5 marzo 2015 alle alberature: il caso della città di Pistoia*. Giornata di studio "Verde pubblico e privato: quali strategie dopo la tempesta di vento", Pistoia, 30 aprile 2015.

2.10

UN SISTEMA DI SUPPORTO ALLA GESTIONE DEL VERDE: GARANTES

Battista P.⁽¹⁾, Rapi B.⁽¹⁾, Romani M.⁽¹⁾, Sabatini F. ⁽¹⁾, Cacini S.⁽²⁾, Massa D.⁽²⁾, Mati F.⁽³⁾

¹ CNR - Istituto di Biometeorologia, Via Madonna del Piano 10, Sesto fiorentino (FI)

² CREA - Unità di Ricerca per il Vivaismo e la Gestione del Verde Ambientale ed Ornamentale, via dei Fiori 8, Pescia (PT)

³ Azienda Agricola Pianta Mati, via Bonellina 49, Pistoia

2.10.1 INTRODUZIONE

Sebbene vi sia un diffuso consenso verso l'importante ruolo del verde urbano, tanto da essere recepito anche a livello delle amministrazioni locali (Collina et al., 2010), si deve osservare che l'approccio gestionale e progettuale è ancora troppo generico e poco incisivo. Eppure, è stato stimato che entro il 2050 la popolazione urbana raggiungerà il 70% della popolazione mondiale (FAO, 2016), con un conseguente aumento delle superfici coperte, delle strutture abitative e delle infrastrutture di servizio, a danno degli spazi naturali ed ecosistemi preesistenti (Seto et al. 2012), con un aumento dei problemi legati all'innalzamento delle temperature e alla scarsità di acqua potabile, che saranno probabilmente più gravi proprio in ambito urbano (Knapp et al., 2010) obbligando a ripensare i rapporti tra ambiente urbano e componenti naturali (Cooke e Coffey, 2016).

Secondo molti esperti, il verde urbano potrebbe rappresentare uno degli elementi chiave per rispondere efficacemente a numerose problematiche legate ai cambiamenti globali (European Commission, 2015), per la sua capacità di mitigare gli effetti deleteri legati alla progressiva impermeabilizzazione delle superfici, al riscaldamento, all'inquinamento e perfino alla perdita di biodiversità (Goddard et al. 2010), generando nuovi servizi ambientali, e sociali, con significativi vantaggi economici (Haase et al., 2014; Kabisch et al., 2016). Queste considerazioni dovrebbero indurre le amministrazioni pubbliche a promuovere misure adeguate a sostegno di soluzioni progettuali e gestionali al passo con i tempi, scegliendo proposte, strumenti e pratiche sempre più sostenibili e resilienti. Energia verde, protezione degli ecosistemi e della biodiversità, modelli economici circolari, regolazione attenta degli input e degli output idrici e alimentari, rappresentano soltanto alcuni degli elementi sui quali lavorare per rendere più efficaci le azioni sul territorio.

I dibattiti sul ruolo del verde urbano e sulla sua gestione sono ancora molto accesi, ma appare evidente una scarsa preparazione da parte della politica che non sembra in grado di guidare il cambiamento, lasciando cadere le opportunità che si vengono a creare e ritardando l'azione verso le problematiche legate al verde pubblico.

In Italia i riferimenti legislativi inerenti la progettazione e gestione del verde pubblico, oltre ai regolamenti comunali del verde, sono da individuarsi nella Legge 10 del 14 gennaio 2013 – Norme per lo sviluppo degli spazi verdi urbani (G.U. n. 27 del 1 febbraio 2013) e da quanto previsto dal Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi della pubblica amministrazione (PAN GPP), aggiornato con Decreto 10 aprile 2013 (G.U. n. 102 del 3 maggio 2013). A quest'ultimo ha fatto seguito, con Decreto del 13 dicembre 2013, l'istituzione dei "Criteri Ambientali Minimi" (CAM) per l'affidamento del servizio di gestione del verde pubblico, per acquisto di ammendanti, acquisto di piante ornamentali e impianti di irrigazione. Tale decreto regola sia il servizio di gestione del verde pubblico (affidamento a terzi) sia la fornitura diretta di prodotti per la gestione del verde pubblico (personale interno) (e.g. ammendante, piante ornamentali, sistemi di irrigazione).

In effetti la scarsità di fondi da parte delle amministrazioni pubbliche per la gestione del verde spesso non consente una piena applicazione dei CAM, tanto che la gestione di aree verdi viene affidata ad associazioni culturali di volontariato, per le quali non si applica quanto previsto nei CAM per l'affidamento del servizio di gestione del verde pubblico.

Se, infatti, vi sono sempre più "obblighi" per il cittadino, rimane carente la capacità di adattarsi

alle nuove situazioni, migliorare il verde esistente e intervenire efficacemente nella prevenzione e nella lotta a malattie, parassiti o patogeni. Preoccupazione viene manifestata anche rispetto alla gestione del verde nelle grandi città europee (Britt e Johnston, 2008; City of Edinburgh, 2014; London Assembly Environment Committee, 2007), dove malgrado gli ambiziosi programmi, rimane ancora molto lavoro da fare prima di poter parlare realmente di città verdi. Nonostante i vantaggi ambientali, sociali ed economici promessi, infatti, si rileva ancora un divario notevole tra le indicazioni fornite dalla letteratura scientifica e la realtà normativa e gestionale (Bell et al., 2008; Forest Research, 2010; Forestry Commission England, 2010; Johnston e Percival, 2012).

La responsabilità dello scarto esistente tra la condizione teorica e quella reale deve probabilmente essere condivisa tra tutti gli attori del settore: politici e decisori, per la scarsa propensione a promuovere l'innovazione (Barrell, 2015); ricercatori e comunicatori, per l'incapacità di trasmettere in maniera efficace l'importanza di adottare corretti criteri di progettazione e gestione del verde (Moffat, 2016).

Il progetto GARANTES (Gestione Avanzata e controllo Remoto di Aree verdi: Nuove Tecniche per la Sostenibilità), finanziato dalla Regione Toscana nell'ambito del Programma di Sviluppo Rurale 2007-2013, ha avuto come obiettivo quello di studiare e mettere a punto alcune procedure per la valutazione, il controllo e la gestione di aree verdi, pubbliche private, in ambito urbano, proprio per rispondere alle sempre più pressanti esigenze di razionalizzazione e ottimizzazione nell'uso delle risorse (Bacci et al., 2012). Infatti progettazione, monitoraggio e gestione del verde urbano, per la loro importanza devono seguire precise regole e principi tecnico-scientifici, garantendo risposte obiettive ed efficaci alle sempre più numerose criticità ambientali.

2.10.2 IL SISTEMA GARANTES

Pensato per dare un supporto operativo a progettisti e gestori di aree verdi in ambito urbano, in questa prima versione, da considerarsi ancora prototipale, GARANTES mantiene una struttura simile a quella dei sistemi geografici, in grado di gestire dati provenienti da diverse fonti informative, a vari livelli spaziali e temporali, integrandoli con modelli sito-specifici, di tipo ambientale, biologico e gestionale (Romani et al., 2012) (Fig. 2.76). Per un uso operativo delle uscite del sistema, i dati impiegati devono essere rappresentativi della condizione esistente all'interno dell'area d'interesse e comunque in grado di soddisfare i requisiti informativi degli indici e dei modelli implementati, secondo i principi e i criteri indicati dagli utenti finali sulla base delle loro esigenze.

I dati arrivano al GeoDataBase centrale con una frequenza oraria o sub-oraria e tutte le componenti del sistema sono mantenute aggiornate rispetto alla condizione dei diversi elementi (stato dei vegetali, interventi, trattamenti, ecc.), direttamente dall'utente o tramite consultazione degli archivi locali, eventualmente collegati al sistema. Per quanto riguarda i modelli e i criteri da utilizzare per ciascun sito, questi sono selezionati nella fase di impostazione del servizio e adattati nel corso della fase di verifica, che può avere una durata variabile da sei mesi a un anno, per la calibrazione e l'eventuale adattamento operativo. Questo periodo di adattamento è particolarmente importante per gli utenti, ai quali viene offerta la possibilità di valutare l'utilità pratica delle informazioni e delle indicazioni prodotte dal sistema, dando al tempo stesso un contributo al suo potenziamento attraverso la propria esperienza. Utilizzando comuni applicazioni informatiche, infatti, il personale autorizzato può accedere ai moduli di controllo, verificare la condizione delle aree e degli elementi di loro interesse, attivando o disattivando le componenti del sistema di supporto in funzione delle proprie esigenze.

In ogni caso, in presenza di anomalie nel funzionamento o incongruenze nei dati, il sistema può inviare avvisi e allarmi ai responsabili e al personale incaricato della gestione del sistema o del sito. In questo modo, anche in assenza di un controllo diretto, ciascun sito è tenuto sotto continua osservazione attraverso l'analisi dei suoi parametri primari e la visualizzazione delle immagini acquisite dalle telecamere, se presenti. Al fine di limitare la complessità del sistema e migliorare l'utilizzabilità delle informazioni fornite, si possono adottare alcune semplificazioni:

- Limitare il numero di settori controllati, individuando aree gestionali omogenee;
- Seguire gli elementi più rappresentativi (es. piante più sensibili a fattori di stress o a malattie, ecc.);
- Contestualizzare l'informazione in riferimento al sito monitorato.

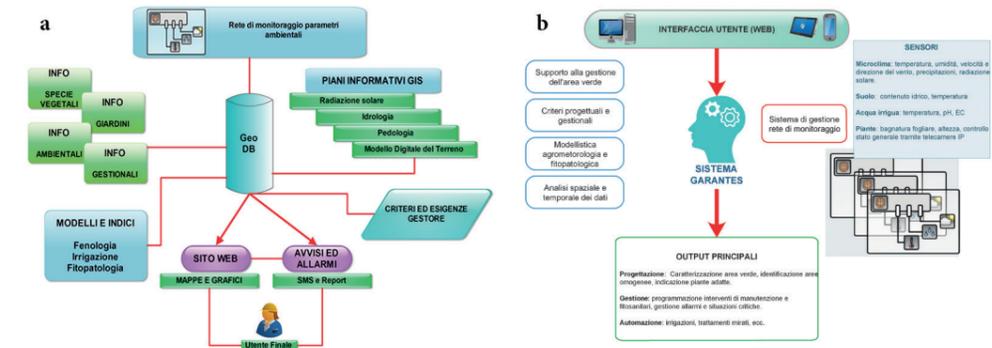


Fig. 2.76 - Componenti del Sistema GARANTES: a) flusso generale di dati; b) componenti sotto il controllo dell'utente finale.

Vediamo, in breve, alcuni esempi di operazioni supportate dal sistema GARANTES nella sua versione attuale (GARANTES V.1.0) e di informazioni usate a livello operativo, a partire sia dall'osservazione diretta dei dati raccolti sia dall'applicazione di indici e modelli evoluti, fino ad arrivare alle più complesse analisi geo-spaziali (Romani et al., 2012; Cacini et al., 2016).

2.10.3 SEGNALAZIONI OPERATIVE

Osservazione diretta dei dati

Grazie ai sensori e alle periferiche installate nei siti sperimentali, è possibile verificare in remoto le condizioni ambientali, osservare l'evoluzione delle stagioni e valutare lo stato delle piante, individuando le condizioni di rischio o stress indotte da eventi meteo-climatici avversi e fornendo, nel contempo, indicazioni utili al personale addetto alla manutenzione, per una corretta programmazione degli interventi e una mirata azione di protezione. I grafici seguenti mostrano alcuni esempi di osservazioni derivanti dall'analisi dei dati rilevati mediante le reti di monitoraggio installate nei giardini sperimentali, al fine di programmare e regolare gli interventi manutentivi.

- a) Analisi dei gradienti termici registrati in un giorno di giugno all'interno del giardino dell'azienda "Piante Mati" di Pistoia (Fig. 2.77). Le differenze tra i valori orari di temperatura delle varie zone (DT), comunque significativi dal punto di vista biologico, sono riconducibili a diversi fattori, quali l'azione diretta della vegetazione e della radiazione (periodo giugno-settembre 2015: DTmin = 0.8 °C, DTmedia = 4.1 °C, DTmax = 10.9 °C).

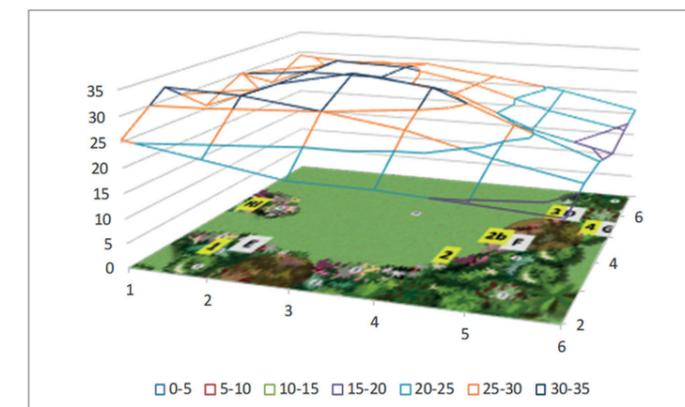


Fig. 2.77 - Andamento spaziale della temperatura dell'aria, misurata a circa 1 m d'altezza all'interno di un giardino dell'azienda Piante Mati di Pistoia, in un giorno di giugno. Il grafico evidenzia l'effetto della vegetazione e dell'ombreggiamento sulla temperatura: nelle ore centrali le differenze tra le varie zone possono raggiungere anche i 10°C.

- b) Analisi della persistenza di valori di umidità superiori al 90 % nel mese di maggio, in un giardino pilota posto in località Forte dei Marmi (Lucca). L'umidità è un fattore decisivo nella determinazione del rischio di attacco fungino e il fatto che alcune piante si siano trovate per il 40 % del tempo in condizioni di elevata umidità, suggerisce la necessità di interventi sulle chiome o sulla circolazione dell'aria (Fig. 2.78).

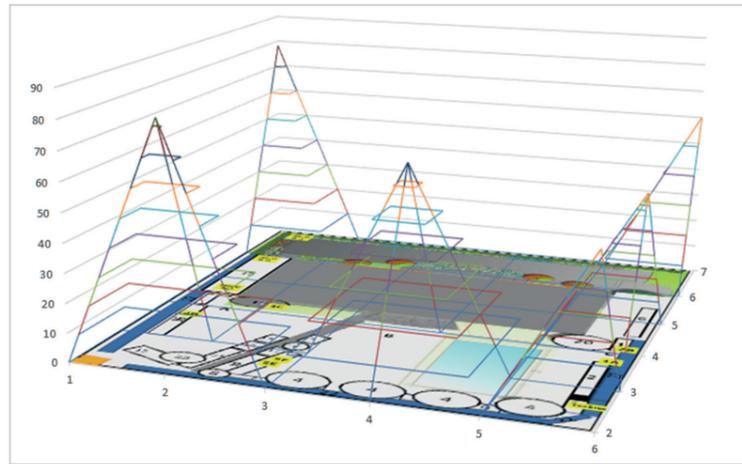


Fig. 2.78 - Distribuzione dei valori medi di umidità nel mese di maggio.

- c) Analisi dell'andamento dell'umidità del terreno, legate alle caratteristiche del punto di rilevamento. Il grafico (Fig. 2.79) mostra la disomogeneità nella disponibilità idrica in tre zone di un parco, riconducibili a diverse condizioni edafiche, morfologiche e gestionali:

- **SM1** – Area sottesa ad un pendio, con problemi di ristagno idrico, coltivata a rosmarino;
- **SM2** – Area priva di irrigazione efficace, coperta da bosso;
- **SM3** – Area con sistema di gestione automatico, coltivata a ortensie.

Dall'analisi dei dati raccolti, è emersa la necessità di intervenire sull'area SM1, al fine di ripristinare una condizione di drenaggio soddisfacente e sull'area 2, con irrigazione manuali, in attesa di modifiche strutturali.

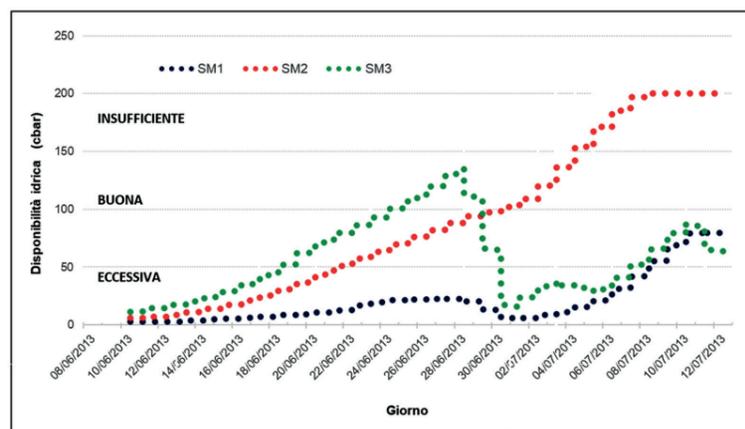


Fig. 2.79 - Andamento dell'umidità del terreno misurata in tre diversi punti di un versante, con indicazioni gestionali: 1) Umidità eccessiva (SM1); 2) Carenza idrica (SM2); 3) Rispetto del range (SM3).

Nel corso di questi anni, altri episodi hanno messo in luce la possibilità di individuare l'emergere di condizioni critiche tramite l'osservazione diretta dei dati raccolti dalla rete di rilevamento locale, su parametri specifici. Dopo opportune verifiche, questa esperienza viene trasferita nel sistema, tramite l'introduzione di soglie o di criteri operativi. Osservando la temperatura del suolo nei primi 10 centimetri, ad esempio, sono stati introdotti controlli sulla crescita del prato, sul rischio legato alle basse temperature e sulla comparsa di malattie fungine.

Indicazioni modellistiche

I modelli implementati nel sistema GARANTES permettono di seguire in maniera continua alcuni elementi fondamentali, come la fenologia delle piante, i consumi idrici e nutrizionali e alcuni tra i più importanti rischi biotici e abiotici (Bacci et al., 2013). Vediamo alcuni esempi dei vantaggi che possono derivare dal loro impiego in sede operativa.

a) Sfalcio del prato

Il modello di Gelernter e Stowell (Gelernter et al., 2005) implementato nel sistema GARANTES, stima l'accrescimento dell'erba in funzione della temperatura dell'aria, acquisita su base oraria da una stazione di riferimento.

$$CO = \frac{1}{e^{\left(\frac{1}{2} \left(\frac{T - T_0}{C} \right)^2 \right)}}$$

dove

- CO - Potenziale di crescita (range 0÷1)
- e - Numero di Eulero (2,71828...)
- T - Temperatura misurata (°C)
- T₀ - Temperatura ottimale (es 20 °C per le microterme)
- C - Coefficiente di crescita, basato sull'ampiezza della deviazione standard

Il valore ottenuto può essere facilmente trasformato in altezza del prato, moltiplicando il parametro CO per il tasso orario di crescita, espresso in cm, rendendo, in questo modo, più agevole per l'utente l'introduzione delle soglie di intervento. Le indicazioni fornite dal modello circa la necessità o meno di effettuare uno sfalcio sono legate all'andamento stagionale e non tengono conto di eventuali stress idrici o limitazioni nutrizionali. Per allineare le stime del modello con le condizioni reali, l'utente, oltre a inserire i giorni di taglio reale, può modificare i principali parametri, come l'accrescimento giornaliero massimo, il range ottimale di temperatura e i criteri di ripresa vegetativa o pausa invernale. Da osservazioni condotte sul sito sperimentale del CREA di Pescia, risulta una buona capacità del modello di stimare l'accrescimento giornaliero del prato nel corso dell'anno e di "guidare" gli interventi in base all'andamento stagionale (Fig. 2.80).

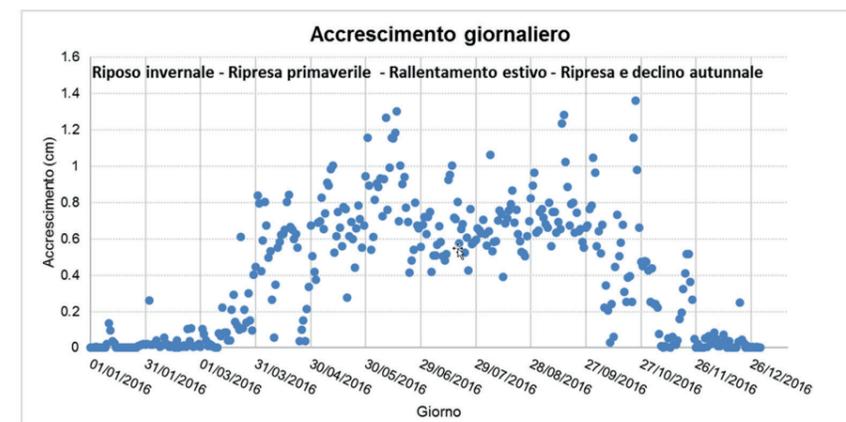


Fig. 2.80 - Sito sperimentale del CREA di Pescia: stima dell'accrescimento giornaliero del prato nel corso dell'anno 2016.

Le indicazioni fornite possono essere valutate dall'utente finale e adattate alle reali condizioni di campo (Fig. 2.81). L'uso di modelli pienamente validati sui siti d'interesse può consentire una programmazione mirata delle attività di sfalcio in funzione delle caratteristiche del prato, dei criteri gestionali e dell'andamento meteo-climatico. Utilizzando il modello in modo previsionale, inoltre, è possibile stimare i fabbisogni idrici e nutrizionali, per una più efficace calendarizzazione degli interventi.



Fig. 2.81 - Interventi suggeriti dal modello di sviluppo, per mantenere l'altezza del prato al di sotto della soglia prefissata (7 cm) nel periodo 1 ottobre 2015-31 dicembre 2016.

b) Protezione delle piante

L'osservazione diretta da parte degli operatori, spesso, non permette di individuare il momento nel quale si creano le condizioni per la comparsa di un determinato agente o un aumento significativo del rischio, oltre i livelli di sicurezza. Per questo motivo si ricorre a procedure e modelli in grado di tener conto dell'andamento meteo-ambientale, per definire il grado di rischio e la necessità di intervenire secondo i principi dell'*Integrated Pest Management* (IPM), resi obbligatori in Italia dal D. L.vo 150/2012 e dal relativo Piano Attuativo Nazionale, che consistono nella "attenta considerazione delle tecniche di lotta disponibili e nell'opportuna integrazione con misure per il controllo dei patogeni, mantenendo trattamenti e interventi a livelli economici e ambientali sostenibili". Queste metodologie nascono, quindi, da esigenze reali e necessitano di un continuo confronto con gli operatori del settore, per essere aggiornate rispetto alle procedure, alle tecniche e alle pratiche di prevenzione e lotta adottate.

I modelli utilizzati per dare indicazioni operative sul rischio di sviluppo di insetti, funghi e batteri, si basano su principi comuni, validati nel tempo in diversi ambiti e confermati da numerose esperienze. Tra questi si ricordano le soglie e le sommatorie termiche, spesso combinate con altri fattori ambientali (umidità, pioggia, ecc.) e criteri gestionali (trattamenti, interventi, ecc.).

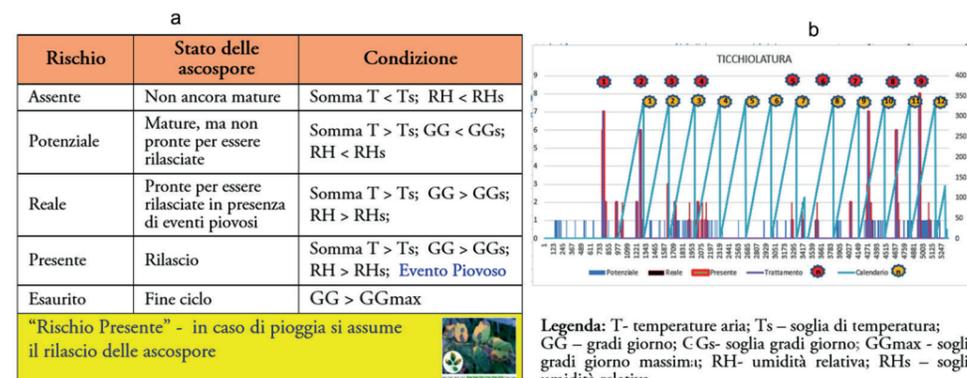


Fig. 2.82- a) Criteri e soglie utilizzate per la definizione del rischio di ticchialatura sulle rosacee; b) grafico riassuntivo per l'anno 2016 degli interventi a calendario (stella gialla) e di quelli suggeriti dal modello (stella rossa), con indicazione dei periodi di rischio potenziale e reale (sito pilota di Pescia).

L'importanza di strumenti di questo genere è evidente nel momento in cui le informazioni prodotte possono consentire di ridurre il numero di trattamenti rispetto alle operazioni effettuate a calendario. Alcune malattie fungine, come la ticchialatura ad esempio, possono richiedere trattamenti

anche settimanali (o bisettimanali), mentre usando modelli che tengano conto dell'efficacia dei prodotti e dell'andamento stagionale, gli interventi possono essere ridotti in modo significativo, mantenendo un elevato grado di protezione (Fig. 2.82). Nella figura 2.82b sono mostrate le indicazioni di rischio fornite dal modello semplificato A-SCRAM (Giosuè et al., 2000; Rossi et al., 2001), per il sito pilota di Pescia, che evidenziano la possibilità di evitare alcuni interventi (9 vs 12), soprattutto nel periodo più caldo (luglio-agosto: 1 vs 3). Inoltre, per il protrarsi di condizioni meteorologiche favorevoli allo sviluppo fungino, alcuni trattamenti potrebbero essere richiesti anche in periodi diversi da quelli programmati (aprile: 1 vs 0).

Considerazioni simili possono essere fatte anche per i modelli basati sulle sommatorie termiche, come quelli usati per la maggior parte degli insetti, per la cui valutazione il sistema utilizza diverse procedure di calcolo (Wilson et al., 1983; Zalom et al., 1983). Nei sistemi più semplici, come per i tripidi, la previsione del raggiungimento della fase adulta è fatta usando tre soglie (Carpino, 2002): i) Soglia termica inferiore, TL; ii) Soglia termica superiore, TU; iii) Soglia termica (sommatoria termica) di comparsa, °Dm. Il modello implementato si basa sul metodo "single sine", con valori di TL e TU pari rispettivamente a 10 °C e 30 °C ed effettua il calcolo dei gradi giorno a partire dal 1 gennaio (Fig. 2.83a). Gli utenti finali possono interagire con il modello, modificando i valori di soglia e introducendo la data di trattamenti. Nella figura 2.83b è mostrato lo sviluppo previsto su tre siti sperimentali, con riavvio della crescita degli insetti, dopo un breve periodo di latenza (20 giorni). Nel sito 3, con valori più elevati di temperatura, il modello ha previsto una generazione precoce, suggerendo un trattamento in più rispetto agli altri, verso la fine del mese di maggio.

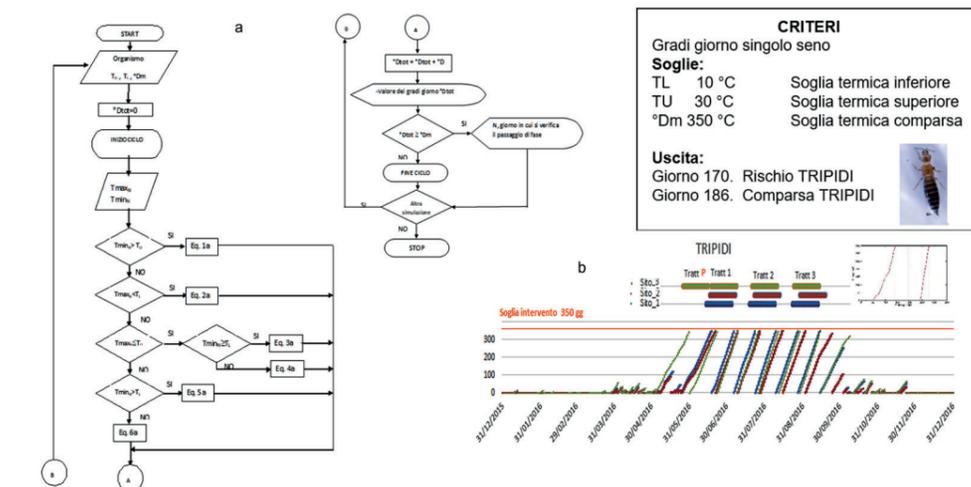


Fig. 2.83 - Modello single sine: prevede la comparsa degli adulti e consente la programmazione degli interventi sulla base del rischio di comparsa: a) diagramma di flusso; b) esempio.

c) Gestione dell'irrigazione

Nel sito sperimentale posto presso il CREA di Pescia, nel periodo 2011-2016 sono state osservate alcune rilevanti differenze tra le due tipologie di gestione dei giardini, tradizionale e GARANTES. In particolare, la gestione dell'impianto di irrigazione dei diversi settori tramite la Centralina GARANTES ha consentito un risparmio idrico dal 20 al 40 % a seconda dell'andamento meteo-climatico, rispetto al giardino gestito tramite timer, senza che fossero osservati danni o riduzione dello sviluppo delle piante.

Nelle figure 2.84 e 2.85 sono confrontati i consumi idrici cumulati nel periodo 25/05-03/11/2016 dei Plot "Siepi" e "Prato" dei due giardini, gestiti rispettivamente mediante GARANTES e timer, quest'ultimo controllato in funzione dei valori medi di ETE e piovosità previsti per lo stesso periodo sulla base dei dati meteo storici. Per il Plot Siepi, i valori finali dei consumi irrigui ottenuti con i due sistemi sono risultati quasi uguali, ma con una distribuzione temporale nettamente diversa (Fig. 2.84a). Quello gestito da GARANTES (Plot Siepi_G) segue l'andamento del bilancio idroclimatico (BIC = Precipitazione (Pe)- Evapotraspirazione Potenziale (ETP)), tanto che le misure di umidità del suolo, anche se puntuali, riescono a rappresentare in modo ottimale questa area. Nell'ultimo mese, in particolare, a causa delle

forti piogge cadute (circa 144 mm) il terreno risulta saturo, per cui la centralina GARANTES riduce drasticamente l'irrigazione. Questo è evidenziato in figura 2.84b dove si considera il valore, cambiato di segno, del bilancio idroclimatico, ottenuto come differenza tra la pioggia efficace, P_e , calcolata con il metodo Chaptal e l'evapotraspirazione potenziale, ETP, calcolata mediante l'equazione CIMIS.

Per il Plot gestito dal timer (Plot Siepi_T), a causa delle piogge si ha una sovrastima dei consumi idrici nel corso della fase iniziale, seguita da un periodo (20 giugno-20 luglio 2016) in cui questi sono sottostimati (Fig. 2.84b). Successivamente la gestione idrica risulta essere ottimale fino al 15 settembre 2016, dopodiché il timer sembra somministrare una quantità eccessiva di acqua.

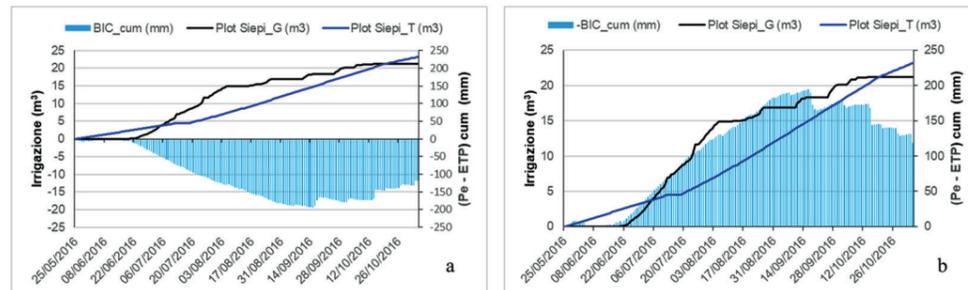


Fig. 2.84 - Confronto tra gli andamenti dei consumi idrici nel periodo 25/05-03/11/2016 dei plot "Siepi" gestiti rispettivamente mediante la Centralina GARANTES (Plot Siepi_G) e Timer (Plot Siepi_T).

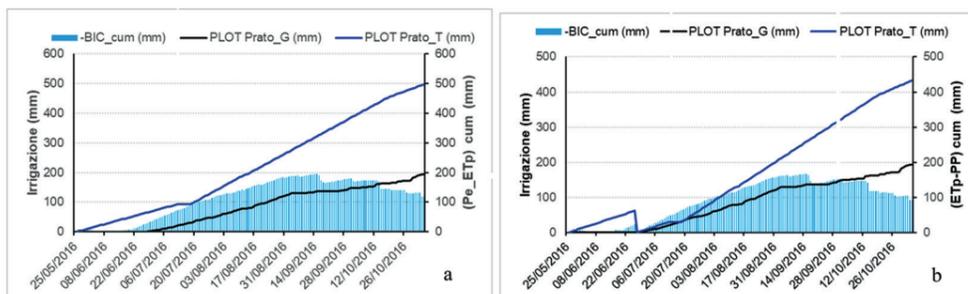


Fig. 2.85 - Confronto tra gli andamenti dei consumi idrici dei plot "Prato", gestiti mediante la Centralina GARANTES (Plot Prato_G) e Timer (Plot Prato_T), nel periodo 25/05-03/11/2016.

L'analisi dei consumi relativi ai Plot Prato mette in evidenza un diverso comportamento dei due sistemi di controllo (Fig. 2.85a): una sovrastima complessiva dei consumi per il Timer (Plot Prato_T) e una sottostima iniziale per la gestione Garantes (Plot Prato_G). Infatti si può notare che la gestione del Plot Prato_G presenta dei problemi nel primo mese (irrigazione inferiore al BIC), mentre nel successivo periodo sembra seguire in modo quasi ottimale l'andamento del BIC (Fig. 2.85b). Un comportamento diametralmente opposto si ottiene per il Plot Prato gestito da Timer, nel quale, sebbene si sia tenuto conto dei consumi medi previsti, nel secondo periodo dell'anno è stata somministrata una quantità eccessiva di acqua.

2.10.4 ELEMENTI GESTIONALI DELLE AREE VERDI

La gestione efficiente di aree verdi e giardini molto estesi o con vegetazione fortemente diversificata rappresenta un compito complesso, che necessita di conoscenze approfondite su una molteplicità di aspetti. Per rispondere a particolari esigenze operative GARANTES utilizza diversi strumenti, integrati su base geografica. In generale, questo tipo di analisi richiede un accurato lavoro di preparazione, sia per la caratterizzazione delle aree e degli elementi vegetali, sia per la messa a punto delle procedure e dei criteri, che devono rispondere a reali esigenze operative. Soluzioni "ad hoc" sono quindi ricercate e adottate per rispondere a problematiche locali specifiche, anche ricorrendo a

sottosistemi e sensori specifici.

Il nuovo paradigma della tecnologia informativa è rappresentato dalla sempre maggiore autonomia dei nodi sensori e dei sottosistemi di controllo, che a livello locale sono messi in condizioni di svolgere molteplici funzioni e comunicare con i sistemi interconnessi (IoT, IoE, M2M, ecc.). In campo ambientale e, nello specifico, per il supporto delle attività gestionali di elementi e risorse del territorio, il potenziale di questi sistemi è enorme e spazia tra le attività più propriamente domotiche, di controllo degli apparati, a quelle tecnico-agronomiche e specialistiche (Fig. 2.86).

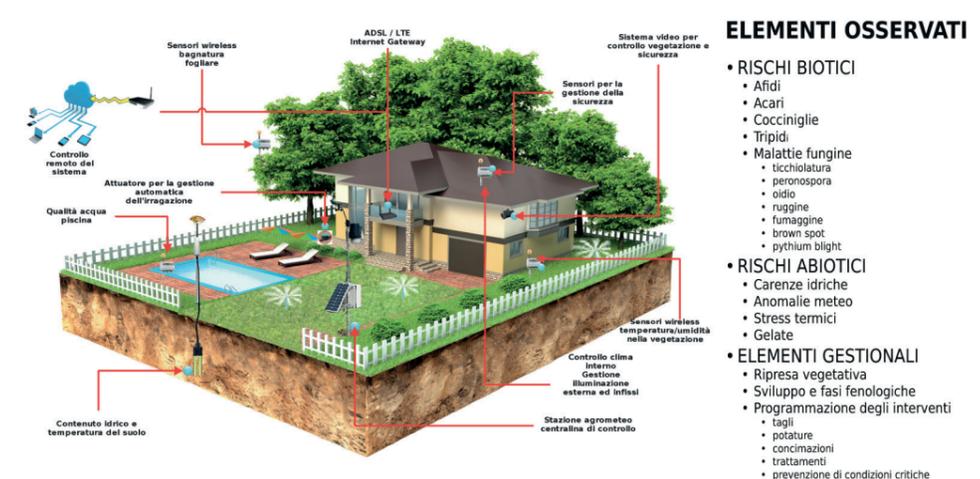


Fig. 2.86 - Componenti sensoristiche e funzionali del Sistema GARANTES (www.garantes.it).

La continua evoluzione delle componenti sensoristiche e computazionali rappresenta un potenziale applicativo enorme, che apre a soluzioni sempre nuove e dotate di un crescente grado di autonomia. I casi applicativi sono ormai numerosi anche a livello commerciale, con sistemi di controllo basati sulla comunicazione tra macchine. In questi sistemi, tuttavia, la grande quantità di sensori connessi impone un spostamento del livello di analisi verso il nodo sensore e, al contempo, un aumento della capacità di controllo a livello del sistema di analisi centrale, chiamato a svolgere tipiche funzioni di supervisione o tutoraggio.

Il livello di integrazione dei dispositivi rende possibile un'elevata concentrazione di sensori e l'acquisizione di un numero enorme di informazioni, il cui impiego è in parte ancora da approfondire e valutare. Rimane quindi centrale il compito degli analisti e dei modellisti nella ricerca e nella messa a punto di soluzioni sempre più efficienti e sostenibili da trasferire anche a livello locale, grazie al firmware, su piattaforme sensoristiche altamente integrate e compatte.

In attesa di queste naturali evoluzioni, già nell'ambito del progetto, i dati dei sensori sono acquisiti da una unità locale (un datalogger programmabile), in grado di effettuare alcune elaborazioni preliminari sulla base delle indicazioni modellistiche e dei criteri definiti dagli esperti, e successivamente sono trasferiti al centro di controllo remoto, che effettua analisi complementari e integrative. All'interno del database centrale, dati e informazioni sono organizzati e posti in relazione tra loro, al fine di offrire riferimenti aggiornati per valutazioni di tipo tecnico-specialistico. Ad esempio, relativamente agli aspetti fitosanitari, ciascuna pianta può essere collegata ai propri patogeni e parassiti, anche attraverso informazioni fornite dall'utente e relative al rischio di comparsa del danno e dello stress a livello locale. Dato che l'area verde deve essere vista nel suo insieme, come un organismo in continua evoluzione e soggetto a cambiamenti, tra le funzioni più importanti proprie del sistema centrale c'è quella previsionale, in grado di valutare quali possano essere le conseguenze di una determinata scelta tecnico-operativa. Una funzione che richiede la combinazione di tutti i dati disponibili, ambientali e gestionali, con le informazioni di base presenti nel database di sistema.

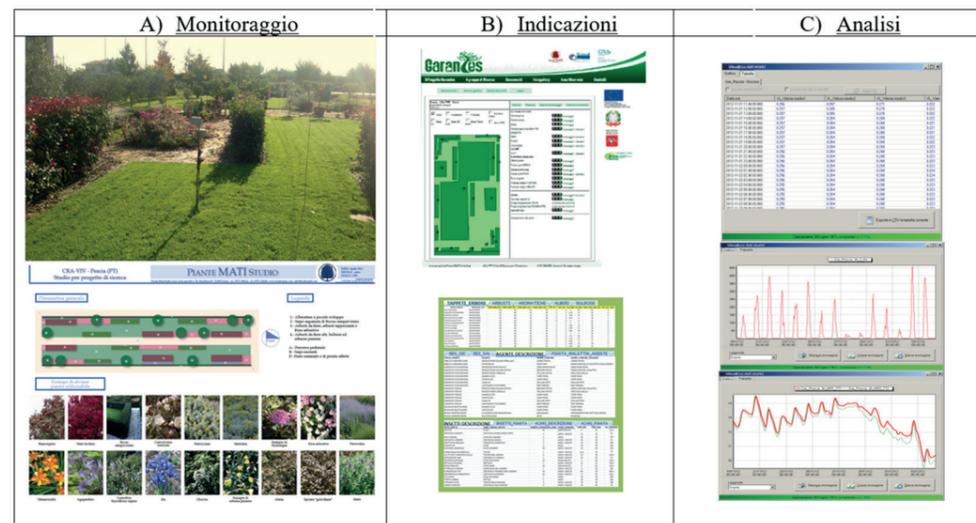


Fig. 2.87- Area sperimentale di Pesca (CREA-VIV), e visualizzazione di alcuni elementi caratterizzanti: A) Monitoraggio: definizione delle aree omogenee e relativa vegetazione; B) Indicazioni: visualizzazione degli elementi attivi e del livello di rischio raggiunto; C) Analisi: esempio di schermate del sistema (tabelle e andamenti dei parametri).

L'originalità del prototipo GARANTES risiede, quindi, principalmente nella scelta delle procedure di messa a punto per l'integrazione delle componenti, nella possibilità di gestire da remoto aree con diverso grado di complessità e di trasmettere informazioni di tipo previsionale/programmatico sui rischi fitosanitari o sulle necessità d'intervento da parte degli operatori (Fig. 2.87).

2.10.5 BIBLIOGRAFIA

- Bacci L., Battista P., Rapi B., Romani M. (2012). *Garantes Project - Advanced management and remote control of green areas: new techniques for the sustainability*. GREEN WEEK 2012, Brussels (Belgium), 23 May 2012.
- Bacci L., Battista P., Fiorillo E., Rapi B., Rocchi L., Romani M., Sabatini F., Zantonetti S., Mati F., Moro M., Tredici F., Cacini S., Pacifici S., Burchi G. (2013). *GARANTES - Gestione Avanzata e controllo Remoto di Aree verdi: Nuove Tecniche per la Sostenibilità: Relazione tecnico- scientifica Coordinata*. Pistoia, 12 dicembre 2013, pag. 40.
- Barrell J. (2015). *According to Barrell ... Urban trees let down by policy failures*. *HorticultureWeek*. http://www.hortweek.com/according-barrellurban-trees-let-down-policy-failures/arboriculture/article/1342096?DCMP=EMC-CONBreakfastBriefing&bulletin=breakfast-briefing&utm_medium=EMAIL&utm_campaign=eNews%20Bulletin&utm_source=20150415&utm_content=
- Bell S., Hamilton V., Montarzano A., Rothnie H., Travlou P., Alves S. (2008). *Greenspace and quality of life: A critical literature review* (Greenspace Scotland Research Report). Stirling. Retrieved from <http://greenspacescotland.org.uk/SharedFiles/Download.aspx?pageid=133&mid=129&fileid=95>
- Britt C., Johnston M. (2008). *Trees in Towns II - A new survey of urban trees in England and their condition and management*. London: Department for Communities and Local Government.
- Cacini S., Battista P., Massa D., Rapi B., Romani M., Sabatini F. (2016). *GARANTES: un sistema di supporto per una gestione sostenibile degli interventi irrigui e del controllo dei fitoparassiti in aree verdi urbane*. Conferenza "Tecnologie e innovazione per una gestione sostenibile dell'agricoltura dell'ambiente e della biodiversità (Ti4AAB), 7-8 luglio 2016, Certosa di Calci (PI), Università di Pisa. https://www.researchgate.net/publication/306077586_GARANTES_un_sistema_di_supporto_per_una_gestione_sostenibile_degli_interventi_irrigui_e_del_controllo_dei_fitoparassiti_in_aree_verdi_urbane

gestione sostenibile degli interventi irrigui e del controllo dei fitoparassiti in aree verdi urbane

- Carpino C. (2002). *Applicazione sperimentale e contestualizzazione di modelli previsionali per la protezione delle colture dai patogeni, ai fini della riduzione di input chimici*. Corso di dottorato di ricerca "Scienze e Tecnologie per la Gestione Forestale e Ambientale- XXI Ciclo", Università degli Studi della Tuscia di Viterbo, pag. 133.
- City of Edinburgh (2014). *Trees in the city. Trees & woodlands action plan*. http://www.edinburgh.gov.uk/download/downloads/id/1540/trees_in_the_city_action_plan
- Collina S., Chiesura A., Brilli S. (2010). *Strumenti di pianificazione del verde urbano in Italia. Studio sulle principali città italiane*. ISPRA, pag. 238. <http://www.isprambiente.gov.it/it/formeducambiente/stage-e-tirocini/ricerca-stage/strumenti-di-pianificazione-del-verde-urbano-in>
- Cooke B., Coffey B. (2016). *To green our cities, we must rethink our relationship with nature*. <http://www.citymetric.com/fabric/green-our-cities-we-must-rethink-our-relationship-nature-2513>
- European Commission (2015). *Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions and re-naturing cities*. Final Report of the Horizon 2020 expert group on "Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities". European Commission, Brussels, Belgium.
- FAO (2016). *Guidelines on urban and peri-urban forestry*, by F. Salbitano, S. Borelli, M. Conigliaro and Y. Chen. FAO Forestry Paper No. 178. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, pag.172.
- Forest Research (2010). *Benefits of green infrastructure*. Report by Forest Research. Forest Research, Farnham. [http://www.forestry.gov.uk/pdf/urgp_benefits_of_green_infrastructure.pdf/\\$FILE/urgp_benefits_of_green_infrastructure.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/urgp_benefits_of_green_infrastructure.pdf/$FILE/urgp_benefits_of_green_infrastructure.pdf);
- Forestry Commission England (2010). *The case for trees in development and the urban environment*. Bristol: Forestry Commission. [http://www.forestry.gov.uk/pdf/eng-casefortrees.pdf/\\$FILE/eng-casefortrees.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/eng-casefortrees.pdf/$FILE/eng-casefortrees.pdf)
- Gelernter, W., Stowell L. (2005). *Improved overseeding programs 1. The role of weather*. *Golf Course Manage*. March: 108-113
- Giosuè S., Rossi V., Ponti I., Bugiani R. (2000). *Estimating the dynamic of air-borne ascospores of the apple scab pathogen Venturia inaequalis*. OEPP/EPP Bulletin 30: 137-142.
- Goddard M. A., Dougill A.J., Benton T.G. (2010). *Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments*. *Trends in Ecology & Evolution* 25(2): 90-98.
- Haase D., Larondelle N., Andersson E., Artmann M., Borgström S., Breuste J., Gomez-Baggethun E., Gren Å., Hamstead Z., Hansen R., Kabisch N., Kremer P., Langemeyer J., Rall E.L., McPhearson T., Pauleit S., Qureshi S., Schwarz N., Voigt A., Wurster D., Elmqvist T. (2014). *A quantitative review of urban ecosystem service assessments: concepts, models, and implementation*. *Ambio* 43(4): 413-433.
- Kabisch N., Frantzeskaki N., Pauleit S., Naumann S., Davis M., Artmann M., Haase D., Knapp S., Korn H., Stadler J., Zaunberger K., Bonn A. (2016). *Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action*. *Ecology and Society* 21(2): 39.
- Knapp S., Kuehn I., Stolle J., Klotz S. (2010). *Changes in the functional composition of a Central European urban flora over three centuries*. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics* 12: 235-244.
- Johnston M., Percival G. (Eds.). (2012). *Trees, people and the built environment* (Forestry Commission Research Report). Edinburgh: Forestry Commission, pag.258.
- London Assembly Environment Committee (2007). *Chainsaw massacre. A review of London's street trees*. London: Greater London Authority.
- Moffat A. J. (2016). *Communicating the benefits of urban trees: A critical review*. *Arboricultural Journal*. The International Journal of Urban Forestry, Volume 38, Issue 2: 64-82.
- Romani M., Rapi B., Battista P., Mati F., Bacci L. (2012). *Nuove tecnologie per il monitoraggio e la gestione dei giardini storici*. *SCIRES-IT*, Vol 2, Issue 1: 105-120.

- Rossi V., Ponti I., Marinelli M., Giosuè S., Bugiani R. (2001). *Environmental factors influencing the dispersal of Venturia inaequalis ascospores in the orchard air*. Journal of Phytopathology 149: 11-19.
- Seto K.C., Güneralp B., Hutyrac L.R. (2012). *Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. Edited by B. L. Turner, Arizona State University, Tempe, AZ.
- Wilson L.T., Barnett W.W. (1983). *Degree-Days: An Aid in Crop and Pest Management*. California Agriculture. 37: 4-7.
- Zalom F.G., P.B. Goodell, L.T. Wilson, W.W. Barnett, and W.J. Bentley. 1983. *Degree-Days: The Calculation and Use of Heat Units in Pest Management*. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources Leaflet 21373, pag. 10.

2.11

IL RUOLO DEL CONSUMO DI SUOLO NELLA DINAMICA DEL CLIMA URBANO

Morabito M.⁽¹⁾, Crisci A.⁽¹⁾

¹ CNR - Istituto di Biometeorologia, Firenze

2.11.1 INTRODUZIONE

Fra le grandi tendenze recenti capaci di determinare un percepito reale dei processi di cambiamenti in atto, sicuramente va annoverato il fenomeno dell'inurbamento sfrenato e, spesso, incontrollato delle aree periferiche delle città. La crescita della popolazione generale e urbana in particolare, legata ai fenomeni di migrazione interna ed esterna, e il conseguente sviluppo dell'economia dei trasporti di merci e beni ad essa associata richiede sempre più spazio: nel 2007, per la prima volta nella storia, la popolazione urbana mondiale ha superato quella rurale (United Nations, 2014). Le grandi aree urbane diventano luogo e ambiente dove le attività umane si sviluppano sempre più rapidamente, generando processi che per scala e intensità superano le capacità di pianificazione delle comunità residenti ad opera dei decisori pubblici. Uno degli aspetti più condivisi tra la popolazione urbana è il bisogno concreto di poter fruire di spazi qualificanti la qualità ambientale delle città e in grado di migliorare la qualità della vita e la salubrità della popolazione.

Purtroppo, però, la progressiva espansione delle aree urbanizzate continua a causare una crescente trasformazione dell'uso del territorio, con un forte incremento delle superfici artificiali non sempre adeguatamente governate da strumenti di pianificazione e da politiche efficaci di gestione dell'ambiente urbano. In riferimento a questo, esiste un processo/fenomeno indicato come "consumo di suolo", definito in modo dettagliato nella terza edizione del rapporto sul consumo di suolo in Italia, prodotto dal Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA, 2016):

Il consumo di suolo è un fenomeno associato alla perdita di una risorsa ambientale fondamentale, dovuta all'occupazione di superficie originariamente agricola, naturale o seminaturale. Il fenomeno si riferisce, quindi, a un incremento della copertura artificiale di terreno, legato alle dinamiche insediative. Un processo prevalentemente dovuto alla costruzione di nuovi edifici, fabbricati e insediamenti, all'espansione delle città, alla densificazione o alla conversione di terreno entro un'area urbana, all'infrastrutturazione del territorio. Il consumo di suolo è, quindi, definito come una variazione da una copertura non artificiale (suolo non consumato) a una copertura artificiale del suolo (suolo consumato).

Il consumo di suolo è un argomento che riveste un grande interesse in Italia che, secondo stime recenti (Eurostat 2016), rappresenta il 5° paese Europeo (dopo Malta, Belgio, Paesi Bassi e Lussemburgo) con il più alto tasso di copertura artificiale di suolo; il 7.8 % del territorio nazionale è ricoperto da superfici artificiali contro una media del 4.6 % dei paesi dell'Unione Europea. Il consumo di suolo in Italia, inoltre, continua a crescere (seppur in modo minore) e tra il 2013 e il 2015 le nuove coperture artificiali hanno riguardato, in media, circa 35 ettari al giorno (SNPA, 2016). Tra gli effetti

sull'ambiente dovuti alla continua espansione del fenomeno del consumo di suolo, la modificazione del microclima urbano rappresenta un aspetto di grande importanza. In particolare, il continuo aumento delle superfici impermeabilizzate provoca un generale e differenziato incremento delle temperature superficiali, dovuto a un diverso bilancio termico/radiativo diurno, che si ripercuote poi anche sui valori notturni, specie in condizioni di stabilità atmosferica, esaltando il ben noto fenomeno dell'isola di calore urbana (UHI, *Urban Heat Island*). Quest'ultimo fenomeno è caratterizzato da un aumento delle temperature superficiali e dell'aria nelle aree centrali delle città densamente costruite e abitate, temperature che sono sensibilmente più elevate di quelle osservate nelle aree rurali circostanti (Oke, 1973). Tale situazione contribuisce a creare condizioni termiche localizzate particolarmente critiche per la salute, soprattutto durante il periodo estivo, a cui è associato anche un accresciuto rischio idraulico ed energetico. Nelle regioni dell'Europa meridionale si stima che la disponibilità di acqua potrebbe ridursi del 20-30 %, se prendiamo come riferimento il caso di uno scenario climatologico associato a un aumento di circa 2 °C (Commissione Europea, 2009). Alcuni autori (Aebischer et al., 2007), inoltre, se da un lato prevedono una riduzione di circa il 10 % della richiesta di energia dedicata al riscaldamento nel caso di un aumento medio della temperatura nella stagione invernale di 1 °C, nel periodo estivo, invece, prevedono che la richiesta di energia per l'utilizzo dei condizionatori possa aumentare più del doppio con una ipotesi di incremento della temperatura di 2 °C.

Nonostante queste premesse e la maggiore disponibilità di dati ambientali, in Italia, al momento, sono molto rari gli studi che hanno cercato di quantificare il contributo della variabilità spaziale della densità di consumo di suolo (un indicatore potenzialmente molto utile per valutare le caratteristiche e le tendenze dei processi di trasformazione dell'ambiente urbano) sul clima urbano e in particolare sulla variabilità intra-urbana delle temperature. Oggigiorno, infatti sono disponibili fonti di dati che potrebbero permettere stime quantitative accurate in tal senso. In particolare, sono fruibili (con licenza CC BY SA 3.0 IT) dati sulla densità di consumo di suolo ad altissima risoluzione (5- 10 m) prodotti e distribuiti da ISPRA per tutto il territorio nazionale (<http://www.isprambiente.gov.it/temi/suolo-e-territorio/il-consumo-di-suolo/i-dati-sul-consumo-di-suolo>) e dati da immagini satellitari, che forniscono informazioni della risposta radiativa delle superfici urbane anche nello spettro elettromagnetico dell'infrarosso termico. In generale questi dati sono concessi sotto licenza libera di pubblico dominio e permettono con tecniche GIS accurate analisi quantitative a diverse scale di dettaglio.

Utilizzando queste preziosissime fonti di dati, l'Istituto di Biometeorologia (CNR-IBIMET), con alcuni studi recenti, ha fornito contributi innovativi sulle conoscenze del clima urbano italiano, quantificando l'impatto di differenti densità di consumo di suolo sullo stato termico superficiale in alcune principali città italiane, arrivando con un caso studio a valutare l'effetto fino ad una scala di dettaglio a livello di edificio. L'obiettivo è, quindi, quello di investire in ricerche finalizzate a sviluppare strumenti utili per migliorare l'efficienza degli interventi e le azioni previste dai piani territoriali, e urbanistici in particolare, già esistenti. Tale aspetto rappresenta una priorità fondamentale finalizzata a gestire correttamente gli spazi entro cui vive ed opera la maggior parte della popolazione, con le sue specifiche dinamiche e il tessuto produttivo, e a definire una base razionale e quantitativa della pianificazione nelle sue fasi di progettazione, approvazione e realizzazione.

2.11.2 DESCRIZIONE DELL'APPROCCIO METODOLOGICO E DEI DATI UTILIZZATI

Lo schema di analisi, con l'elenco di alcuni degli strumenti e delle procedure utili per effettuare, in generale, valutazione del rischio meteo-climatico a livello urbano con varie risoluzioni spazio-temporali, è riportato nella figura 2.88. Lo schema è molto articolato ed è strutturato per prevedere ulteriori sviluppi sulla base della disponibilità di altre fonti afferenti a dati aperti.

Nei casi studio descritti in questo contributo, in particolare, sono stati utilizzati i dati provenienti da analisi remota (*Remote Sensing*), acquisiti con sensori montati su satelliti geostazionari operanti nel vicino infrarosso (MODIS) o con piattaforme satellitari per l'alta definizione (ASTER), che operano in diverse regioni dell'infrarosso termico (bande TIRS), e quelli della banca dati ad alta risoluzione sul consumo di suolo, sviluppata e distribuita da ISPRA. La caratteristica comune di queste fonti è il libero accesso ai dati, poiché molti sono concessi in licenza libera di pubblico dominio (*Public Domain*).

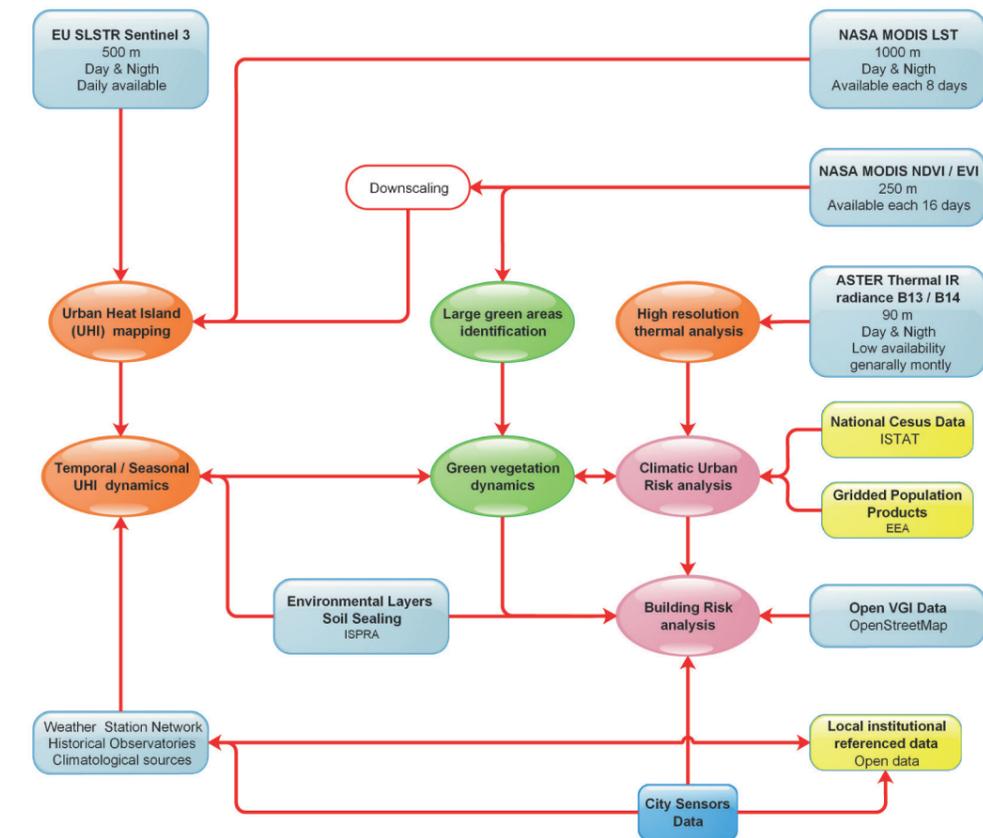


Fig. 2.88 - Schema che riporta alcuni strumenti e analisi utili per la valutazione del rischio meteo-climatico a livello urbano.

Per quanto riguarda le bande disponibili per ciascun tipo di sensore utile per indagini territoriali urbane, il sensore MODIS ha a disposizione 5 bande per la stima della temperatura superficiale con una risoluzione spaziale nominale di 1000 m. Il dettaglio disponibile, quindi, non permette analisi a scale microclimatiche. Tuttavia il MODIS ha tra le sue caratteristiche un'alta ripetibilità di misura (ogni 8 giorni, 2 passaggi giornalieri: uno notturno e uno diurno) e permette analisi termiche a livello di area metropolitana (10 km), consentendo di costruire l'evoluzione annuale e la perimetrazione dell'isola di calore urbana. Le informazioni termiche fornite da MODIS fanno emergere un chiaro legame fra la natura delle superfici di copertura del suolo, l'abbondanza e la distribuzione spaziale delle aree verdi, da una parte, e il tasso di consumo suolo e lo stato termico urbano sia diurno che notturno, dall'altra. Il MODIS fornisce direttamente una stima della temperatura delle superfici (LST, *Land Surface Temperature*). Questo è un parametro molto importante che è in relazione sia con la temperatura dell'aria, sia con il grado di irraggiamento diurno e della dispersione notturna. Il parametro LST rappresenta quindi uno dei parametri più importanti per la profilazione termica dei vari ambienti urbani. Tuttavia, per fare delle analisi efficaci è spesso necessario avere delle stime termiche su scale molto più piccole, a livello di edificio (200 m) o in alcuni casi a scale di dettaglio anche minori.

Le immagini Landsat (http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php) e ASTER (<http://glcf.umd.edu/data/aster/>), pur avendo una minore disponibilità temporale (un passaggio ogni 16 o più giorni), possono fornire una descrizione termica accurata del territorio: Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus, ETM+: banda 6 a 120 m; Landsat 8: banda TIRS 10 e 11 a 100 m, con ricampionamento a 30 m; ASTER: bande 10, 11, 12, 13 e 14 a 90 m. Il landsat 7 ETM+ e 8 hanno rispettivamente una e due bande nel campo termico, mentre ASTER, proprio per la natura della sua missione, ne ha addirittura 5 (Fig. 2.89), delle quali, in genere, sono utilizzate le radianze delle bande

più profonde (13 e 14) che permettono una stima della termicità nell'infrarosso lungo, legata all'energia associata al bilancio termico degli oggetti/strutture che soggiacciono alle superfici urbane. Conoscendo o ipotizzando l'emissività locale delle superfici stesse è possibile stimare la temperatura superficiale (LST) della copertura del suolo in quel punto e nel suo intorno prossimo. Il ruolo decisivo delle superfici divenute artificiali, e sottratte ad un loro utilizzo come area verde, è evidente, anche a scale elevate, nel definire il livello dello stato termico urbano e una sua possibile mappatura stratificata, ovviamente a livello stagionale.

Come indicatore di impatto antropico sull'ambiente urbano è stata utilizzata inizialmente una cartografia del consumo di suolo ad altissima risoluzione (risoluzione a 5 m, <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/download-mais/consumo-di-suolo/archivio/2015>) relativa all'anno 2012, e una versione più recente aggiornata al 2015 (risoluzione 10 m, <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/download-mais/consumo-di-suolo/carta-nazionale-consumo-suolo>), con una licenza che ne permette il pieno utilizzo (CC BY 3.0 IT), il cui lavoro è stato coordinato da ISPRA (www.consumosuolo.isprambiente.it) con il coinvolgimento delle Agenzie per la Protezione dell'Ambiente delle Regioni e delle Province autonome (SNPA, 2016).

La banca dati del consumo di suolo rappresenta un grande sforzo che parte dalla fotointerpretazione diretta delle orto-foto dei voli nazionali ed è direttamente integrabile con le immagini termiche telerilevate da piattaforma satellitare fornite all'interno delle azioni europee di monitoraggio e telerilevamento ambientale, come quelle nell'ambito dell'azione COPERNICUS (<http://www.copernicus.eu/>) (Sentinel 3) e/o delle varie missioni US NASA (MODIS, Landsat, ASTER) (<https://modis.gsfc.nasa.gov/about/>; <http://landsat.gsfc.nasa.gov/data/>; <http://asterweb.jpl.nasa.gov/>). La cartografie con risoluzione a 5 m (ISPRA_5m) e quella a 10 m (ISPRA_10m) ricoprono l'intero territorio italiano e sono state sviluppate attraverso ulteriori miglioramenti e implementazioni alla precedente cartografia dei suoli impermeabilizzati (imperviousness) ad alta risoluzione (20 m) sviluppate nell'ambito delle attività legate al programma Copernicus (<http://www.copernicus.eu/>), già noto come GMES (Global Monitoring for Environment and Security). Copernicus è il programma europeo coordinato e gestito dalla Commissione Europea con il fondamentale contributo dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) e dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA), finalizzato alla realizzazione di un sistema per l'osservazione della terra in grado di rendere disponibili servizi informativi e cartografie in diversi settori.

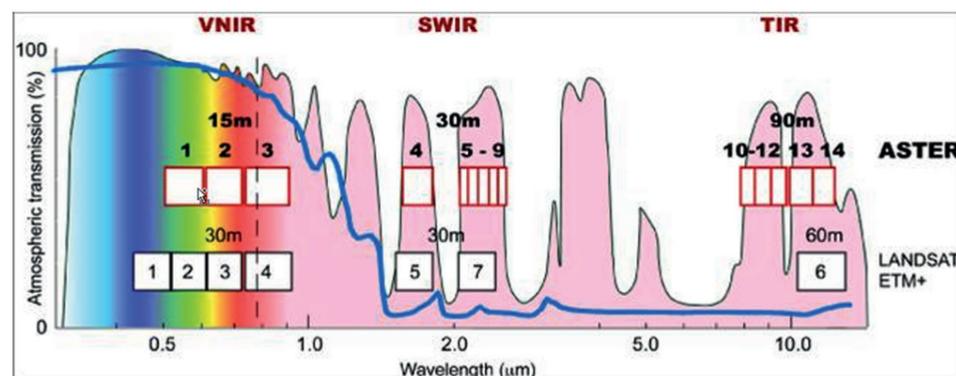


Fig. 2.89 - Copertura spettrale ASTER e Landsat 7 ETM+ (Fonte: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/images/spectrum.jpg>).

La cartografia ISPRA_5m (Munafò et al., 2015) è stata ulteriormente sviluppata, partendo dal lavoro pregresso fatto con la fotointerpretazione delle orto-foto fornite dai voli nazionali disponibili sul geoportale nazionale (<http://www.pcn.minambiente.it/GN/>), utilizzando immagini RapidEye che si riferiscono a una costellazione di 5 satelliti tedeschi che acquisiscono immagini multispettrali (5 bande tra cui il visibile, la banda Red Edge, e l'infrarosso vicino) fornite dall'ESA. Nel caso invece della cartografia ISPRA_10m (SNPA, 2016), la risoluzione geometrica dei dati è stata allineata, anche al fine di assicurare la sostenibilità futura del monitoraggio su base annuale, ai dati disponibili in ambito Copernicus e, in particolare, alla nuova missione Sentinel-2A, che, lanciata a giugno 2015, fornisce dati multispettrali

con una risoluzione di 10 m, adatti quindi sia per processi di fotointerpretazione sia di classificazione semi-automatica basata sul riconoscimento delle aree impermeabili e artificiali.

Altre informazioni ausiliari di natura vettoriale utilizzabili possono venire dai progetti di mappatura geografica libera (VGI, *Volunteered Geographic Information*) come nel caso di *OpenStreetMap*. Questo tipo di dati rappresenta una fonte ancillare significativa la cui integrazione nel processo di produzione di ISPRA_5m e ISPRA_10m avrà sicuramente un futuro promettente ed ha già permesso di migliorare notevolmente l'accuratezza dei dati (in particolare l'identificazione delle strade) e il processo di classificazione delle immagini di alcune aree. Nel dettaglio, questa cartografia è stata sviluppata convertendo il grado di impermeabilizzazione del suolo in una variabile binaria, applicando un valore soglia del 30% di impermeabilizzazione (Maucha et al., 2011): 0 -29 % = suolo non consumato (o non edificato); 30 -100 % = suolo consumato (o edificato). La precisione complessiva di questo indicatore binario di impatto antropico urbano è superiore all'85 % (Munafò et al., 2015). Le zone classificate come suolo consumato includono edifici, strade asfaltate e sterrate, piazzali, parcheggi, cortili e altre aree pavimentate o in terra battuta, serre permanenti, aeroporti e porti, aree e campi sportivi impermeabili, sedi ferroviarie, campi fotovoltaici a terra, aree estrattive non rinaturalizzate, discariche, cantieri.

2.11.3 STRUMENTI PER L'ANALISI DEI DATI E OBIETTIVI DEI CASI-STUDIO

Le analisi statistiche e le procedure di grafica sono state effettuate utilizzando l'ambiente di lavoro del software libero R (R versione 3.1.3, R core Team, 2015) e, in particolare, sono stati utilizzati i seguenti pacchetti di analisi:

1. "velox" (*Fast Raster Manipulation and Extraction*) (Hunziker, 2016);
2. "rgdal" (*Bindings for the Geospatial Data Abstraction Library*) (Bivand et al., 2015) e "gdalUtils" (*Wrappers for the Geospatial Data Abstraction Library (GDAL) Utilities*) (Greenberg e Mattiuzzi, 2015);
3. "raster" (*Geographic Data Analysis and Modeling*) (Hijmans, 2015);
4. "greenbrown" (*Land surface phenology and trend analysis*) (Forkel et al 2013.; Forkel e Wutzler, 2015);
5. "leaflet" (*Create Interactive Web Maps with the JavaScript 'Leaflet' Library*) (Cheng e Xie, 2015);
6. "mgcv" (*Mixed GAM Computation Vehicle with GCV/AIC/REML Smoothness Estimation*) (Wood, 2006; Wood, 2016);
7. "segmented" (*Regression Models with Breakpoints/Changepoints Estimation*) (Muggeo, 2003; Muggeo, 2015).

I pacchetti "rgdal" "gdalUtils" e "raster" forniscono le classi e implementano le funzioni per l'analisi e la modellazione dei dati geografici spaziali. Le operazioni di estrazione e manipolazione dei dati raster geografici sono state effettuate con il pacchetto "velox" che garantisce una maggiore velocità grazie ai calcoli eseguiti in C++. Il pacchetto R "greenbrown" è invece costituito da una libreria di funzioni per analizzare i trends e i cambiamenti (utilizzando l'analisi dei *breakpoints*) all'interno delle serie di immagini raster (*grid-bricks*) di dati satellitari. Le mappe città-specifiche che riportano i coefficienti lineari e la significatività dei trend sono state rappresentate visualmente direttamente sul territorio urbano utilizzando il pacchetto "leaflet", che rappresenta anche uno delle librerie JavaScript open-source più popolari per la creazione di mappe interattive. Il pacchetto "mgcv" per il calcolo dei modelli GAM (*Generalized Additive Model*) rappresenta uno strumento molto flessibile, applicabile con una varietà di funzioni capaci di associare la variabile dipendente (LST in questi studi) con una o più variabili predittive (nel nostro caso la densità di consumo di suolo), tenendo in considerazione anche relazioni di "non-linearità" (*smooth*). Il pacchetto "segmented" è servito successivamente per calcolare dei valori soglia (valori critici) di densità di consumo di suolo oltre i quali la LST cambia in maniera significativamente diversa nel suo campo di variazione.

Il codice utilizzato per i due casi presentati e i dati liberi sono rispettivamente disponibili presso due archivi (repository) pubblici condivisi: https://github.com/meteosalute/Built-up_LST; https://github.com/alfcrisci/ASTER_decoding.

Nel primo caso-studio, utilizzando questi pacchetti statistici, sono stati calcolati per 4 città italiane (Milano, Bologna, Firenze e Roma) gli ettari (ha) di consumo di suolo per ogni pixel LST-MODIS (risoluzione 1 km), che in pratica rappresenta una densità di consumo di suolo. L'obiettivo primario è stato quindi quello di analizzare mediante analisi di regressione lineare le relazioni tra la variabile dipendente (LST-MODIS media giornaliera, diurna e notturna per ogni pixel) e la variabile indipendente (densità di consumo di suolo).

Nel secondo caso-studio, invece, è stata effettuata un'analisi di dettaglio sulla città di Parma con l'obiettivo di studiare la relazione tra consumo di suolo e LST-ASTER (risoluzione 90 m) di edifici residenziali. In particolare, mediante i modelli GAM, dove le 3 riflettanze (R-G-B, Red-Green-Blue) delle superfici degli edifici hanno svolto un ruolo di controllo rispetto al bias termico indotto dai processi legati all'irradiazione visibile diurno, sono state studiate le relazioni tra LST-ASTER diurne e notturne di ogni edificio residenziale (misurate nel centroide dello stesso) (n=10.444) e la densità di consumo di suolo presente in un duplice intorno circolare dell'edificio considerando per essi rispettivamente un raggio di 57 m (I57) e 100 m (I100 m).

L'analisi è stata condotta in aree tipicamente urbane e in quelle classificate "aree parco/rurale" come rilevata dalla carta del PCS (Piano Strutturale Comunale) del comune di Parma. Sono poi stati individuati eventuali livelli soglia (break-points) in cui le relazioni fra LST-ASTER e densità di consumo di suolo cambiano significativamente. I due casi si distinguono sia per il tipo di sorgente dati sia per la scala di dettaglio spaziale.

2.11.4 RISULTATI

Caso studio: Consumo di suolo e LST-MODIS

I risultati di questo studio condotto su quattro importanti città italiane sono stati pubblicati recentemente su una rivista scientifica di settore (Morabito et al., 2016). In particolare, dalle analisi è emersa una robusta relazione positiva e statisticamente significativa ($p < 0.001$) tra la densità di consumo di suolo e la temperatura superficiale (Fig. 2.90), con impatti variabili durante il periodo diurno e notturno e nelle varie stagioni, dipendenti anche dalla dimensione e morfologia dell'area urbana considerata.

Tale situazione è anche confermata dalle mappe prodotte che mostrano la distribuzione spaziale delle differenti densità di consumo di suolo e delle temperature delle superfici urbane (LST) (Fig. 2.91). Le aree rosse/arancioni (caratterizzate di valori più alti di LST) sono generalmente interessate da cerchi neri con raggio maggiore (che rappresentano le aree con la più alta superficie di consumo di suolo).

Nelle quattro città studiate, un incremento di 20 ettari per km² di suolo consumato è risultato essere associato a un aumento medio di oltre mezzo °C (0.6 °C) della LST a livello annuale (Tab. 2.26). Tale aumento, inoltre, è risultato essere ancora più elevato nel periodo più caldo dell'anno (0.9 °C/20 ha/km²), cioè considerando solo il periodo primaverile-estivo (marzo-agosto), e nel periodo diurno.

Caso studio: Consumo di suolo e LST-ASTER

I risultati di questo studio condotto sulla città di Parma saranno presentati ufficialmente al prossimo convegno che si terrà a Orvieto nel mese di aprile 2017 su "Green Infrastructure: nature based solutions for sustainable and resilient cities". La città di Parma è stata selezionata come caso-studio per due importanti motivi. Il primo è stato la completa disponibilità di dati geo-riferiti sulle infrastrutture urbane, tra cui quelli utilizzati in questo studio e relativo agli edifici ad uso domestico. Il secondo motivo è dato dal fatto che Parma, sulla base del recente rapporto sul consumo di suolo coordinato da ISPRA (SNPA, 2016), è tra le città italiane con il maggiore consumo di suolo: 32060 ettari nel 2015, pari al 9.3 % del totale e con un incremento rispetto al 2012 dello 0.3 %.

Dallo studio è emerso che le aree urbane sono risultate essere caratterizzate da un consumo di suolo medio dell'87 % contro un valore medio del 57 % delle aree parco/rurali. In particolare, in giornate di fine giugno, caratterizzate dai più alti valori annuali di radiazione solare globale giornaliera, sono state osservate differenze significative ($p < 0.001$) della LST degli edifici ad uso domestico tra aree tipicamente classificate come "urbano" e "parco/rurale", con differenze lievemente superiori di notte (1.8 °C) rispetto al giorno (1.6 °C).

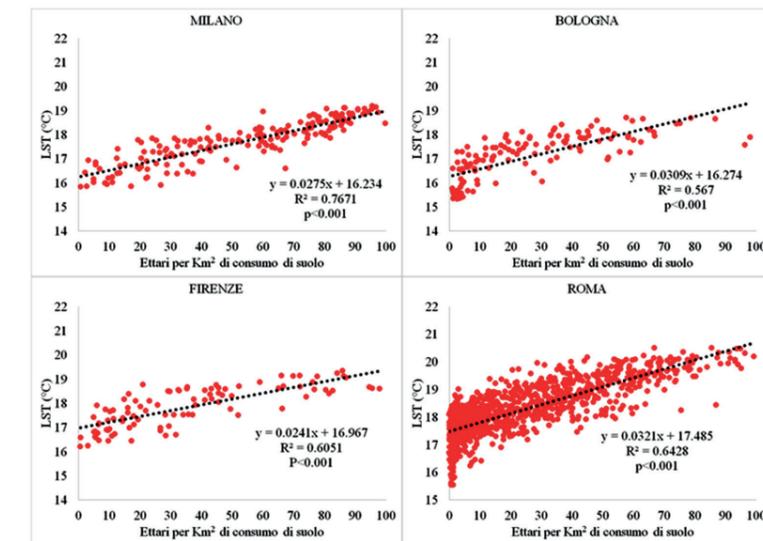


Fig. 2.90 - Analisi di regressione lineare tra temperatura delle superfici urbane (LST) e la densità di consumo di suolo (ettari per Km² di consumo di suolo) nelle 4 città studiate.

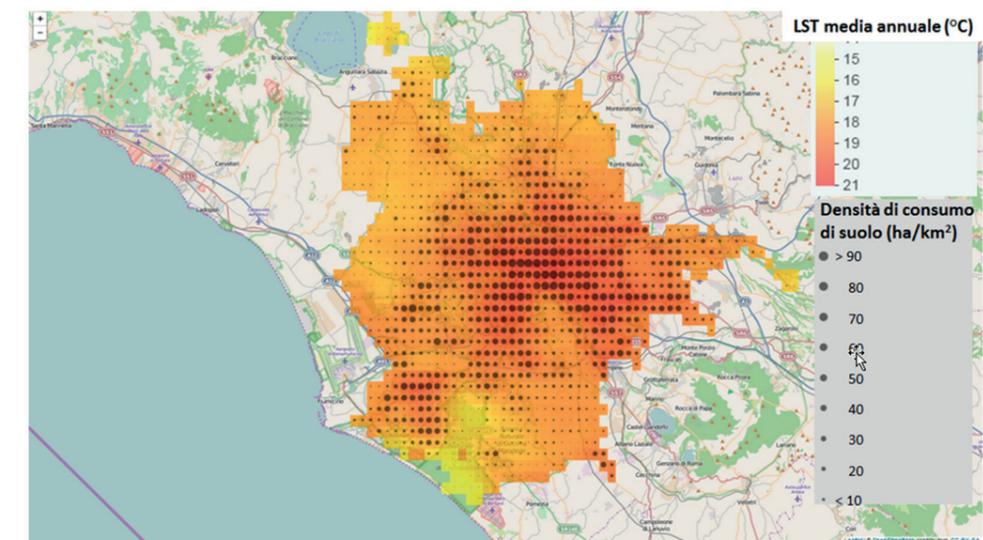


Fig. 2.91 - Mappa che riporta le temperature delle superfici urbane (LST) annuali e le densità di consumo di suolo per la città di Roma.

Le analisi GAM hanno evidenziato un incremento progressivo (anche se non proprio lineare) della LST degli edifici all'aumentare della percentuale di consumo di suolo delle superfici localizzate nell'interno dell'edificio stesso (Fig. 2.92). Un aumento della densità di consumo di suolo del 20 % in un intorno circolare dell'edificio (raggio di 57 m, SC57) è risultato associato a un aumento della LST dell'edificio di 0.7 °C di notte e di 1.0 °C durante il periodo diurno. È inoltre risultato un valore di Breck Point, punto oltre il quale la LST-ASTER dell'edificio aumenta significativamente, più elevato durante il giorno (circa 88 %) rispetto alla notte (circa 42 %). Quest'ultimo dato indica che durante il periodo notturno, bastano densità di consumo di suolo più basse affinché si verifichino aumenti significativi della LST dell'edificio.

Città	Variabili	Classi di densità di consumo di suolo (ha/km ²)					p	Coefficienti lineari di LST (°C/20 ha/km ²)
		≤ 20 ha/km ²	21-40 ha/km ²	41-60 ha/km ²	61-80 ha/km ²	> 80 ha/km ²		
Milano	Superficie (%)	13.6	21.6	16.5	23.3	25.0		
	LST (°C)	16.5 (±0.5) [16.2;16.7]	17.1 (±0.5) [16.9;17.3]	17.7 (±0.4) [17.6;17.9]	18.1 (±0.5) [17.9;18.2]	18.7 (±0.3) [18.6;18.8]	<0.001	0.6
Bologna	Superficie (%)	50.8	21.6	17.9	7.5	2.2		
	LST (°C)	16.4 (±0.8) [16.2;16.6]	17.5 (±0.5) [17.3;17.7]	17.9 (±0.5) [17.7;18.1]	18.2 (±0.3) [18.0;18.5]	18.0 (±0.6) [16.6;19.4]	<0.001	0.6
Firenze	Superficie (%)	38.2	23.7	16.5	11.3	10.3		
	LST (°C)	17.1 (±0.6) [16.9;17.3]	17.8 (±0.7) [17.5;18.1]	18.3 (±0.4) [18.2;18.5]	18.7 (±0.4) [18.4;19.0]	18.8 (±0.3) [18.6;19.0]	<0.001	0.5
Roma	Superficie (%)	59.1	19.9	12.8	6.5	1.7		
	LST (°C)	17.7 (±0.6) [17.6;17.7]	18.6 (±0.6) [18.5;18.7]	19.0 (±0.6) [18.9;19.1]	19.6 (±0.4) [19.5;19.7]	20.0 (±0.5) [19.8;20.2]	<0.001	0.6

Tab.2.26 - LST annuale e superficie ricoperta in ogni classe di densità di consumo di suolo nelle 4 città studiate. In parentesi tonda è indicata la deviazione standard; in parentesi quadra l'intervallo di confidenza al 95 %.

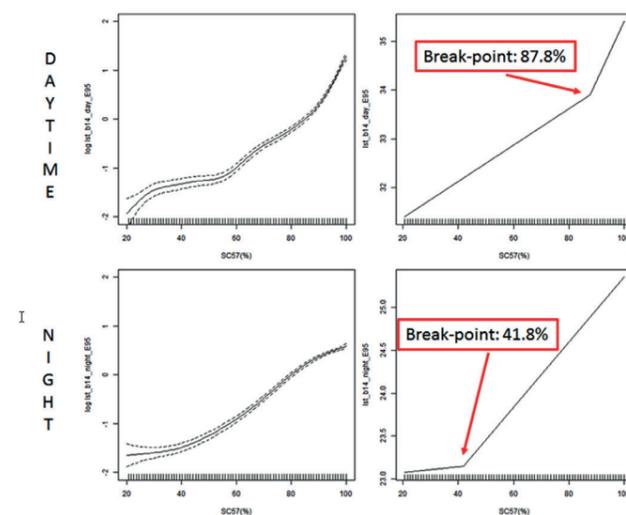


Fig.2.92 - Relazione tra consumo di suolo (SCS7) e LST-ASTER di edifici residenziali e identificazione dei break-points (valori soglia) durante il periodo diurno e notturno.

2.11.5 CONCLUSIONI

Questi studi rappresentano contributi innovativi che, attraverso l'utilizzo di diverse sorgenti di dati, permettono di analizzare in modo sempre più accurato la climatologia urbana, fornendo un sostanziale aiuto alla comprensione delle complesse dinamiche che regolano le relazioni tra superfici antropiche e le variazioni termiche in ambiente urbano. La quantificazione di impatto del consumo di suolo sulla temperatura superficiale a livello locale (scala urbana), assume oggi particolare importanza alla luce del fatto che, a livello globale, sulle regioni dell'area mediterranea, negli ultimi 40 anni sono stati osservati aumenti della temperatura media annuale ed estiva rispettivamente di 1.0 °C e 1.8 °C (Giorgi e Lionello, 2008). Tali aumenti sono quindi facilmente riproducibili su scala urbana considerando un aumento medio di suolo consumato di circa 35 ha/km² a livello annuale o di 40 ha/km² durante il periodo più

caldo. Questo aumento termico, e in particolare quello estivo, inoltre, ha attualmente, ma lo avrà anche in un prossimo futuro (viste le proiezioni degli scenari climatologici), un effetto diretto sulla salute, con un crescente impatto sulla popolazione in termini di aumento della mortalità legata al caldo, con effetti particolarmente elevati nei paesi dell'Europa meridionale. Scenari che prevedono aumenti medi della temperatura di circa 2 °C (come quella osservata nel periodo più caldo nelle nostre città con un aumento di 40 ha/km² di suolo consumato), stimano un aumento dei decessi legati al caldo in aree urbane anche di 2-3 volte rispetto la situazione attuale (Stern, 2006). L'aumento termico associato al consumo di suolo, inoltre, avrà anche effetti diretti sul settore energetico in una duplice modalità: aumento della domanda per l'utilizzo dei condizionatori in estate (associati all'aumento dei *cooling degree days* soprattutto nei paesi dell'Europa meridionale, tra cui l'Italia) e riduzione del riscaldamento invernale (associati alla diminuzione degli *heating degree days*). Inoltre c'è da considerare anche l'accresciuto rischio idraulico dovuto alla crescente impermeabilizzazione, che inoltre rappresenta un ulteriore fattore aggravante sulla disponibilità della risorsa acqua nelle città.

La possibilità di conoscere con grande dettaglio spaziale le complesse dinamiche che regolano le variazioni termiche delle superfici degli edifici in funzione del consumo di suolo (studi futuri saranno anche indirizzati ad altre tipologie di infrastrutture urbane quali scuole, edifici pubblici, ecc.), possono aiutare a individuare pratiche di gestione più sostenibili del territorio urbano. Ad esempio l'individuazione di edifici considerati dei veri e propri "hot-spots", su cui indirizzare azioni di mitigazione da parte delle autorità locali con potere decisionale sull'uso del territorio e competenze in ambito urbanistico. Azioni di mitigazioni, quali la rimodulazione dei parametri delle superfici esposte alla radiazione (*Cool Roofs*) e un arresto alle dinamiche del consumo di suolo mediante il ripristino e la rigenerazione di aree verdi, sono strade assolutamente da perseguire.

2.11.6 BIBLIOGRAFIA

- Aebischer B., Catenazzi G., Jakob M. (2007). *Impact of climate change on thermal comfort, heating and cooling energy demand in Europe*. Eceee 2007 Summer Study. Saving Energy – Just Do It! <http://www.cipra.org/en/publications/4118>.
- Bivand R., Keitt T., Rowlingson B. (2015). *rgdal: Bindings for the Geospatial Data Abstraction Library*. R package version 1.0-4. <http://CRAN.R-project.org/package=rgdal/>.
- Cheng J., Xie Y. (2015). *leaflet: Create Interactive Web Maps with the JavaScript 'Leaflet' Library*. R package version 1.0.0. <http://CRAN.R-project.org/package=leaflet/>.
- Commissione Europea (2009). *The climate change challenge for European regions*. (Authors: Kelemen A., Munch W., Poelman H., Gakova Z., Dijkstra L., Torighelli B). Directorate-General Regional Policy-development, Conception, forward studies, impact assessment. Brussels, March 2009.
- Eurostat (2016). *Land cover and land use (LUCAS) statistics*. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Land_cover_and_land_use\(LUCAS\)_statistics#Further_Eurostat_information](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Land_cover_and_land_use(LUCAS)_statistics#Further_Eurostat_information)
- Forkel M., Carvalhais N., Verbesselt J., Mahecha M., Neigh C., Reichstein M. (2013). *Trend Change Detection in NDVI Time Series: Effects of Inter-Annual Variability and Methodology*. *Remote Sens.* 5: 2113-2144.
- Forkel M., Wutzler T. (2015). *greenbrown- land surface phenology and trend analysis*. A package for the R software. Version 2.2, 2015-04-15, <http://greenbrown.r-forge.r-project.org/>.
- Giorgi F., Lionello P. (2008). *Climate change projections for the Mediterranean region*. *Global Planet. Change* 63: 90–104.
- Greenberg J.A., Mattiuzzi M. (2015). *gdalUtils: Wrappers for the Geospatial Data Abstraction Library (GDAL) Utilities*. R package version 2.0.1.7. <https://cran.r-project.org/web/packages/gdalUtils/index.html>.
- Hijmans R.J. (2015). *raster: Geographic Data Analysis and Modeling*. R package version 2.3-40. <http://CRAN.R-project.org/package=raster/>.
- Hunziker P. (2016). *velox: Fast Raster Manipulation and Extraction*. R package version 0.1.0. <https://cran.r-project.org/web/packages/velox/index.html>

- Maucha G., Büttner G., Kosztra B., (2011). European validation of GMES FTS soil sealing enhancement data. In Proceedings of the 31st European Association of Remote Sensing Laboratories Symposium (EARSeL 2011): Remote Sensing and Geoinformation not only for Scientific Cooperation (Ed. Lena Halounová). Prague, Czech Republic 30 May–2 June 2011, European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL), 223–238, ISBN: 978-1-62748-543-2.
- Morabito M, Crisci A, Messeri A, Orlandini S, Raschi A, Maracchi G, Munafò M. (2016). The impact of built-up surfaces on land surface temperatures in Italian urban areas. *Sci Total Environ.* 551-552: 317-326.
- Muggeo V.M. (2003). Estimating regression models with unknown break-points. *Stat Med* 22: 3055–71.
- Muggeo V.M. (2015). segmented: Regression Models with Breakpoints/Change-points Estimation. R package version 0.5-1.4. <https://cran.r-project.org/web/packages/segmented/index.html>
doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.02.029.
- Munafò M., Assennato F., Congedo L., Luti T., Marinosci I., Monti G., Riitano N., Sallustio L., Strollo A., Tombolini I., Marchetti M. (2015). Il consumo di suolo in Italia. Edizione 2015. Rapporti 218/2015. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Roma, ISBN 978-88-448-0703-0.
- Oke T. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* 7: 769-779.
- R Core Team (2015). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria Version 3.1.3. <https://www.r-project.org/>
- SNPA (2016). Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. ISPRA, Rapporti 248/2016. Available at http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/rapporti/Rapporto_consumo_suolo_20162.pdf.
- Stern N. (ed) (2006). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press, Cambridge.
- United Nations (2014). Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights ST/ESA/SER.A/352*. Available at <http://esa.un.org/unpd/wup/Highlights/WUP2014-Highlights.pdf>.
- Wood S.N. (2006). *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, Fla, USA, 2006.
- Wood S.N. (2016). mgcv: Mixed GAM Computation Vehicle with GCV/AIC/REML Smoothness Estimation. R package version 1.8-16. <https://cran.r-project.org/web/packages/mgcv/index.html>

2.12

IL RUOLO DEL DESIGN NELLA PROGETTAZIONE E GESTIONE DEL VERDE VERTICALE: DUE CASI DI STUDIO

Follesa S.(1)

1 UNIFI - Dipartimento DIDA di Progettazione Architettonica

2.12.1 INTRODUZIONE

La progettazione del verde nelle città abbraccia ruoli e competenze differenti che talvolta si integrano talvolta si alternano nella definizione dei rapporti tra natura e costruito. Le diverse figure professionali che, per conoscenze e ruolo, definiscono il progetto del verde mutano al variare della scala dell'intervento. Alla macro-scala progettuale sono gli urbanisti e i paesaggisti a programmare la presenza di parchi e aree verdi negli agglomerati urbani, alla scala del progetto di un parco intervengono equipe pluridisciplinari composte da botanici, architetti, paesaggisti e geologi, nel progetto di una piazza sono quasi sempre gli architetti a tracciare le linee di organizzazione del verde. Ma alla scala più piccola, quella dei piccoli spazi della città, sino ad arrivare alla presenza del verde all'interno delle nostre abitazioni e dei nostri giardini, sono i designer a definire le modalità di incontro tra naturale e artificiale.

Quella del progetto del verde è un'area di grande sviluppo all'interno delle scuole di design, sia per le connessioni sempre più strette con l'innovazione e le nuove tecnologie, sia per le evidenti implicazioni con la dimensione estetica. Da un lato lo sviluppo sempre maggiore di progetti che riguardano i microspazi delle città (dai *microgiardini urbani*¹ ai *Pocket Parks*²) e la loro stretta contiguità con un ruolo attivo del sistema del verde nelle sue molteplici dimensioni applicative costituisce un'area di ricerca per la disciplina nel suo complesso (dallo sviluppo del prodotto al suo inserimento nello spazio), dall'altro lo sviluppo di sistemi per il verde domestico, sia all'interno che all'esterno delle abitazioni, rappresenta un territorio di specializzazione per l'area specifica dell'*Interior Design* che si integra con la progettazione complessiva degli spazi dell'abitare. Tra le nuove figure professionali che contribuiscono ad ampliare i confini disciplinari, quella del *garden designer* appare tra quelle destinate a maggiore espansione e in più sedi il sistema universitario pubblico e privato promuove seminari, master e corsi professionalizzanti dedicati a questo specifico ambito progettuale. E l'attività progettuale è sempre più accompagnata dallo sviluppo di programmi specifici per la progettazione

1 Tra i più interessanti progetti che hanno coinvolto l'area Design "Microgiardini urbani" pensato come percorso di riqualificazione di 14 piccole aree urbane di proprietà del Comune di Sesto San Giovanni in Lombardia; in alcuni casi fazzoletti residui di terreno incolto, in altri casi giardini urbani senza caratteristiche di particolare pregio. Tutte le fasi del progetto, partito nel 2008 e concluso nel 2011, sono state sviluppate da una equipe composta da designer, agronomi e architetti.

2 "I Pocket Park sono micro-interventi nello spazio urbano con lo scopo di rivitalizzare gli interstizi della città e dello spazio minuto-misurabile per migliorarne gli aspetti sociali, ambientali e culturali" Francesco Armato - Pocket Park, lo spazio della gente in Armato F. (a cura di)- Design per la città- Il progetto degli spazi esterni. Navarra Editore, Palermo 2016.

di giardini e aree verdi.³ Alcuni di questi programmi sono a libero accesso e quindi liberamente scaricabili dalla rete e utilizzano interfacce di semplice fruizione.

L'inserimento della vegetazione negli spazi abitativi ha da sempre avuto molteplici funzioni: culturali-identitarie, simboliche, estetiche, economiche, ambientali. Le piante, sin dallo sviluppo delle prime civiltà, favoriscono sotto molteplici aspetti una maggiore qualità del vivere. L'impiego del verde nelle architetture greche, romane, ispano-moresche e lo sviluppo di alcune tipologie architettoniche che ne definivano l'inserimento (le pergole, i portici, le vasche), sottolinea lo stretto rapporto con la dimensione abitativa. E lo stesso avveniva all'interno degli spazi pubblici; numerose fonti attestano, ad esempio, l'utilizzo in epoca romana di alberi accanto ad arbusti sagomati, quali elementi di decoro delle strade di maggiore importanza; una anticipazione di ciò che in seguito diventerà il verde urbano.

Nel Medioevo, all'interno delle mura cittadine e nei monasteri il verde assume una funzione quasi esclusivamente produttivo-alimentare, spesso fonte di sussistenza durante gli assedi in una società dominata dall'incertezza del vivere.

Dal Quattrocento in poi alla funzione estetica e rappresentativa si aggiunge il ruolo funzionale di sviluppo di un ideale microclima (protezione dai venti invernali e dal caldo estivo), che si sviluppa in particolare nel sistema delle ville suburbane. Nei giardini delle ville del Cinquecento e del Seicento, nella progettazione del verde, prevalevano gli aspetti principalmente scenografici.

Se all'origine le città erano integrate alla campagna limitrofa, con i primi processi di inurbamento questo legame viene a modificarsi determinando una netta divisione tra spazio urbano e territorio agricolo che accompagna il processo graduale di espansione urbana; il verde nel costruito inizia ad assumere nuovi ruoli, non più solo simbolici o decorativi ma legati alla definizione stessa delle città. Nel Settecento, a partire dalla Parigi di Haussman, il verde acquista sempre maggiore importanza all'interno delle aree urbane. Si diffondono i giardini pubblici favoriti anche dalla disponibilità di aree interne all'abitato a seguito all'abbattimento delle mura cittadine. È in tale fase che, oltre alla caratteristica principalmente decorativa delle piante, viene riconosciuta anche una funzione ambientale, legata alla salubrità dell'aria e ancora un ruolo sociale del verde dove al verde privato si antepone quello pubblico. Per tutto l'Ottocento il fenomeno dei massicci inurbamenti contribuì particolarmente allo sviluppo del verde urbano. I piani regolatori all'inizio del Novecento iniziano a prevedere ampie aree da indirizzare al verde pubblico.

Oggi la vegetazione svolge un ruolo importante nel clima generale delle città e nel microclima degli edifici; il verde è sempre più considerato come uno spazio vitale in grado di assolvere funzioni ambientali, ecologiche, sociali ed economiche. Esso non viene più percepito come un obbligo a cui le amministrazioni devono sottomettersi ma come un'opportunità di crescita per le comunità urbane. Alberi ed aree verdi forniscono un "reddito" largamente superiore al costo necessario per il loro impianto: annualmente, a fronte di un euro investito nel verde ne possono rientrare, a seconda dei casi citati nella letteratura scientifica, da 1,3 a 3,07 euro.⁴ La riqualificazione urbana del territorio, in un pianeta in cui più della metà degli abitanti vive in ambienti urbanizzati, implica una più ampia e diffusa cultura del verde e le discipline del progetto devono farsi carico di questo importante ruolo.

All'interno di questa vasta area, la ricerca sul verde verticale e sui sistemi di coltivazione in spazi minimi sembra essere quella più fertile di possibili sviluppi per la disciplina design, sia nella dimensione della città che all'interno delle abitazioni, con una ricerca orientata parimenti agli aspetti tecnico-funzionali e alle implicazioni estetiche. La crescente necessità dell'elemento vegetale negli ambienti di vita contribuisce allo sviluppo crescente di sistemi basati sul concetto di verde verticale sperimentati sul campo da privati e aziende ma non ancora sufficientemente accompagnati da ricerche e studi in ambito accademico. Il verde verticale rappresenta una delle più importanti novità per la cultura progettuale nella prima decade di questo secolo. Questo testo analizza lo stato dell'arte nei due principali ambiti applicativi del verde verticale (lo spazio urbano e lo spazio domestico) indagandone gli strumenti e i metodi. L'obiettivo è quello di mostrare attraverso alcuni

³ Tra i più diffusi NBL Landscape Designer, Vectorworks Landmark, Google Sketchup, Marshall's Garden Visualizer, GardenPuzzle,

⁴ Carminati M. (a cura di), La gestione del verde urbano e rurale - Manuale di buone pratiche e suggerimenti. Provincia di Bergamo- Settore Agricoltura ed Expo. 2014

progetti sviluppati in ambito universitario il contributo che la disciplina design può dare su un tema specifico di grande attualità culturale.



Fig.2.93 - Applicazione del verde verticale negli spazi interni.. Progetto Enisa Grecia MOSS wall verticale produzione Verde Profilo

2.12.2 SISTEMI DI VERDE VERTICALE NELLE ABITAZIONI

Da alcuni anni l'attenzione dei designer si sta riversando sulle modalità e sui sistemi di inserimento del verde nelle abitazioni. Oltre ai prodotti che rileggono con nuovi linguaggi formali i tradizionali elementi d'arredo dei giardini privati e delle terrazze, altri vedono una sempre maggiore interazione con sistemi tecnologici per l'irrigazione e il controllo remoto (ampliando l'area delle applicazioni domotiche) con l'obiettivo di rendere possibile l'inserimento del verde a fini estetici e produttivi negli interni. Tra le differenti finalità applicative i giardini verticali rappresentano uno strumento del progettista nella definizione degli spazi e delle visuali ma svolgono al contempo un ruolo utilitario consentendo l'inserimento di aree verdi anche in abitazioni anche piccole o prive di spazi esterni. Tali applicazioni possono essere allestite, internamente o esternamente, mediante l'uso di contenitori sospesi oppure possono rivestire intere pareti tramite pannelli a rete o sistemi magnetici. Non esistono particolari limiti alla varietà delle specie di piante adatte a questo genere di coltivazione, siano esse piante fiorite, sempreverdi o rampicanti, piante grasse o erbe aromatiche fino addirittura a piccoli frutti od ortaggi.

Coltivare educa ad un rapporto corretto con l'ambiente fatto più di attenzioni che di sfruttamento, implica un'educazione al rispetto dei tempi biologici e dell'alternanza stagionale e, negli spazi collettivi dell'abitare (si guardi all'inserimento del verde nei cohousing), all'interesse collettivo e alla condivisione. Tra gli aspetti psicologici la pratica del verde coinvolge e amplifica molte percezioni sensoriali quali vista, tatto, olfatto favorendo il nostro rapporto con gli spazi abitativi. Tra i molteplici vantaggi dell'inserimento del verde negli interni figura inoltre una maggiore salubrità degli ambienti. Un rapporto dell'OMS, l'Organizzazione Mondiale della Sanità, ha rivelato che circa il 40% dei materiali utilizzati in edilizia e nelle pulizie domestiche possono avere effetti nocivi sulla salute degli abitanti e la situazione può peggiorare ulteriormente in presenza di impianti di condizionamento sui quali non venga effettuata una regolare manutenzione. Secondo uno studio dell'Università di Sheffield (Gran Bretagna), a causa dell'uso di forni, cucina a gas, deodoranti e detersivi, i livelli di monossido di carbonio e altri gas dannosi per la salute registrati in un appartamento possono essere ben superiori ai limiti ammessi dalle normative dei vari stati negli ambienti esterni.

Particolarmente funzionali alla risoluzione del problema dell'inquinamento dell'aria sono diverse piante d'appartamento (tra queste la *Palma Areca*, la *Sansevieria* e l'*Epipremnum*), capaci di rimuovere alcune sostanze chimiche nocive quali, ad esempio, la formaldeide spesso contenuta nei mobili in agglomerato ligneo. Sempre in rapporto alla salubrità dell'aria, l'utilizzo di piante all'interno delle abitazioni può comportare una serie di effetti benefici per le persone, quali minor mal di testa e arrossamenti agli occhi, migliore ossigenazione del sangue, maggiore rendimento lavorativo e minor inquinamento.

Negli interni, si possono sviluppare sistemi verticali, modulari o meno, creati per l'accoglienza e la crescita di piante, muniti talvolta di irrigazione automatizzata. Tali prodotti, inizialmente, ideati come mezzo per la sostenibilità e per l'inverdimento delle città e degli ambienti urbani sono statinell tempo adattati per un utilizzo negli ambienti interni. Presentano pannelli con scompartimenti verticali applicabili su superfici esistenti quali muri e pareti libere o inseriti in strutture reticolari autoportanti di metallo o di materiale plastico. Nel primo caso si tratta generalmente di pannelli in polietilene ad alta densità applicabili a muro, suddivisi al loro interno in celle nelle quali viene inserito il substrato per le piante; nel secondo caso di griglie dalle forme più o meno regolari sulla quale vengono agganciati contenitori di varie forme e dimensioni. La maggior parte di tali sistemi utilizza colture fuori suolo nelle tre varianti: Idroponica, aeroponica, acquaponica. Queste modalità di coltivazione forniscono alcuni vantaggi rispetto alle coltivazioni tradizionali a suolo o in vaso.

Tra questi possiamo considerare:

- un minor consumo d'acqua: alcuni sistemi consentono un risparmio d'acqua fino al 80/90%. Infatti da un lato, nella maggior parte dei sistemi non è necessario annaffiare le piante con frequenza quotidiana, dall'altro l'acqua utilizzata viene fatta ricircolare all'interno dello stesso sistema mediante il sistema di irrigazione.
- un maggior controllo del nutrimento: attraverso il totale controllo sulla somministrazione dei fertilizzanti si ottiene una maggiore fertilizzazione della pianta senza carenze degli elementi necessari alla crescita ed eliminando le sostanze tossiche.

- una minor esposizione delle piante alle malattie: altro importante vantaggio portato da queste tecnologie è la eliminazione dei virus e dei batteri presenti nel suolo. In assenza di terriccio e sostanze organiche l'impatto delle malattie è quasi nullo.
- maggior qualità dei prodotti: mediante il controllo completo dei fattori di crescita della pianta, essa riesce a svilupparsi in maniera ottimale garantendo come conseguenza una maggiore qualità del prodotto.
- una maggiore resa: i tre sistemi di coltura fuori suolo garantiscono una resa maggiore, da 2 a 10 volte rispetto alla tradizionale crescita in terra.

La ricerca sulle tecniche di inserimento del verde verticale negli spazi abitativi è tema applicativo di corsi di studio, workshop e tesi di laurea, sia all'interno delle scuole di architettura sia nell'ambito disciplinare del design. Oltre ad un sempre maggiore inserimento negli spazi domestici nei quali ha un ruolo prevalentemente utilitario, per le sue connotazioni estetiche il verde verticale trova sempre maggiore applicazione negli ambiti del retail (gli spazi del commercio) e in quelli dell'exhibit design (gli spazi espositivi). Il lavoro esposto nelle pagine a seguire mostra alcune delle modalità con cui la disciplina design indaga tale tematica, anche integrando principi ed elementi di varie discipline.

IL VERDE VERTICALE NELLE ABITAZIONI: UN PROGETTO ⁵

La tesi presentata e sviluppata all'interno del corso di laurea in Disegno Industriale dell'Università di Firenze propone una ipotesi di verde verticale all'interno delle abitazioni. Obiettivo della tesi è lo sviluppo di un sistema per la coltivazione negli spazi interni che sia al contempo elemento funzionale ed elemento d'arredo. Tra i requisiti del sistema un ingombro ridotto, un sufficiente numero di alloggi per le piante ed una varietà di piante coltivabili ampia, mista ad una massima autosufficienza. Tali scelte possono avere un effetto sulla qualità dell'aria negli ambienti chiusi.

Il lavoro progettuale è preceduto da una analisi dei sistemi di coltivazione fuori terra utilizzabili all'interno di ambienti domestici. Tali sistemi sono stati analizzati e confrontati prendendo in considerazione i parametri più rilevanti:

- autosufficienza, intesa come capacità delle piante di crescere senza l'intervento continuo dell'utente; per la valutazione di tale parametro si è tenuto conto anche della presenza o meno di sistemi di illuminazione e irrigazione automatici;
- versatilità di applicazione in diversi ambiti, che esprime le potenzialità di impiego del sistema considerato;
- varietà delle piante, intesa come numero delle specie vegetali coltivabili all'interno del prodotto, anche in funzione del metodo di irrigazione utilizzato e della presenza o meno di ristagno all'interno dei vasi;
- componente estetica in rapporto all'inserimento in ambito arredativo;
- qualità dell'aria, dipendente dal numero e dalla grandezza delle piante coltivabili;
- risparmio dello spazio, legato all'ingombro del sistema di coltivazione considerato.

I sistemi analizzati sono stati divisi in tre macrocategorie: sistemi verticali privi di irrigazione, sistemi verticali muniti di irrigazione, sistemi orizzontali.

Sistemi verticali per interni privi di irrigazione automatica

Tale categoria è rappresentata da quei sistemi verticali, modulari o meno, creati per l'accoglienza e la crescita di piante, ma privi di una irrigazione automatizzata. Sono sistemi che implicano una cura costante delle piante da parte dell'utente, senza la quale le piante seccano e muoiono. La loro diffusione è legata al minor costo e alla volontà di molti utenti di dedicare tempo alla coltivazione di piante e fiori senza aiuti esterni, nella ricerca di relax ed un contatto più stretto con la natura.

⁵ Università degli Studi di Firenze – Dipartimento di Architettura DIDA - Corso Di Laurea In Disegno Industriale A.A 2015/2016. Tesi di laurea di Andrea Catorcioni "Coltivare fuori terra: il verde in casa" - Relatore: prof. Stefano Follesa

Sistema verticale a tasche - Rappresenta una delle prime soluzioni prodotte per la coltivazione verticale di piante e ortaggi. Composta da una parete a tasche quasi sempre in tessuto non tessuto, applicabile al muro mediante ganci o tassellatura. L'utilizzo di tale sistema necessita di alcuni accorgimenti onde evitare muffe e problematiche relative all'umidità, come mantenere il prodotto a debita distanza dal muro o aggiungere uno strato resistente all'acqua per evitare il contatto diretto, cosa che ne limita fortemente la versatilità di utilizzo.

Sistema vasi magnetici (Urbio) - Alternativa ai classici vasi agganciati al muro mediante l'uso di tassellature. Consiste in una sottile lastra in metallo a cui è possibile attaccare i contenitori per le piante, ciascuno provvisto di un piccolo gancio per evitare eventuali cadute indesiderate. Ogni vaso può essere spostato potendo realizzare così differenti composizioni.

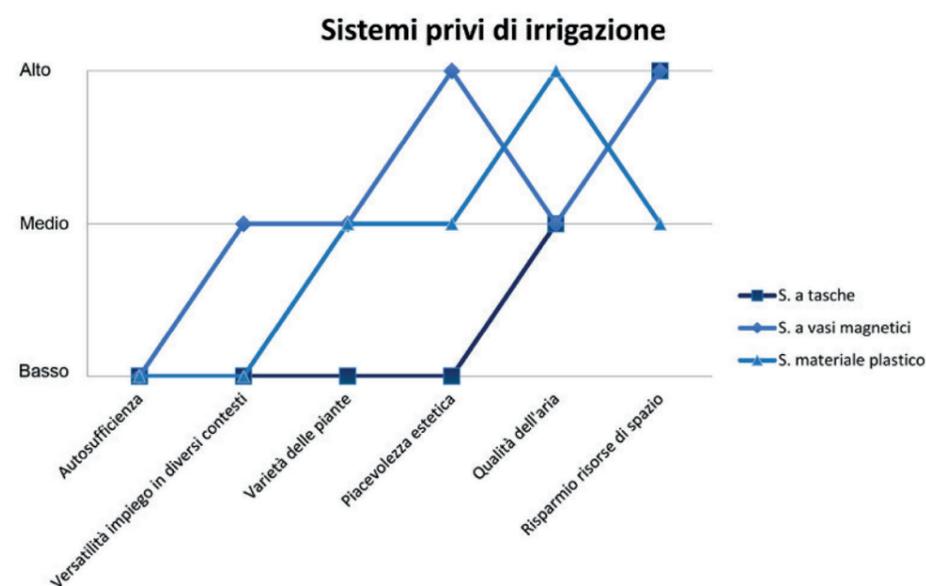
Sistema verticale materiale plastico - È una tipologia simile ai sistemi verticali a tasche. Moduli composti da una struttura, interamente in materiale plastico, che può essere fissata a muro tramite speciali agganci. È un sistema a tasche migliorato, in quanto non presenta la problematica dell'acqua o umidità a stretto contatto con la muratura, mantiene l'obbligo dell'irrigazione manuale da parte dell'utente.

Sistemi verticali per interni muniti di irrigazione automatica

Categoria rappresentata da sistemi verticali, modulari o meno, muniti di irrigazione automatizzata. Tali prodotti, inizialmente ideati per l'inverdimento delle città e degli ambienti urbani sono stati, successivamente, adattati per ambienti interni. Presentano alcune lacune legate, soprattutto, alla scarsa biodiversità coltivabile.

Hydroponic living wall system- È una struttura, in materiale plastico o metallico, ancorata al muro nella quale è possibile far crescere un numero elevato di piante. È un sistema idroponico dotato di irrigazione automatizzata. La varietà di specie vegetali che è possibile utilizzare è limitata. Tra i sistemi analizzati *Wally Three Living Wall Planter Kit* della *Wolly Pocket* risulta essere una dei più completi.

Vertical mini garden - Prodotto in moduli (9 vasetti a modulo) che possono essere fissati a muro mediante uso di viti e rondelle si completa di un sistema di irrigazione mediante l'uso di tubi e di gocciolatori. L'acqua in eccesso viene drenata nella piccola vasca di raccolta, presente nella base del prodotto. Non presente l'uso di fertilizzanti (da aggiungere manualmente) e il ricircolo dell'acqua.



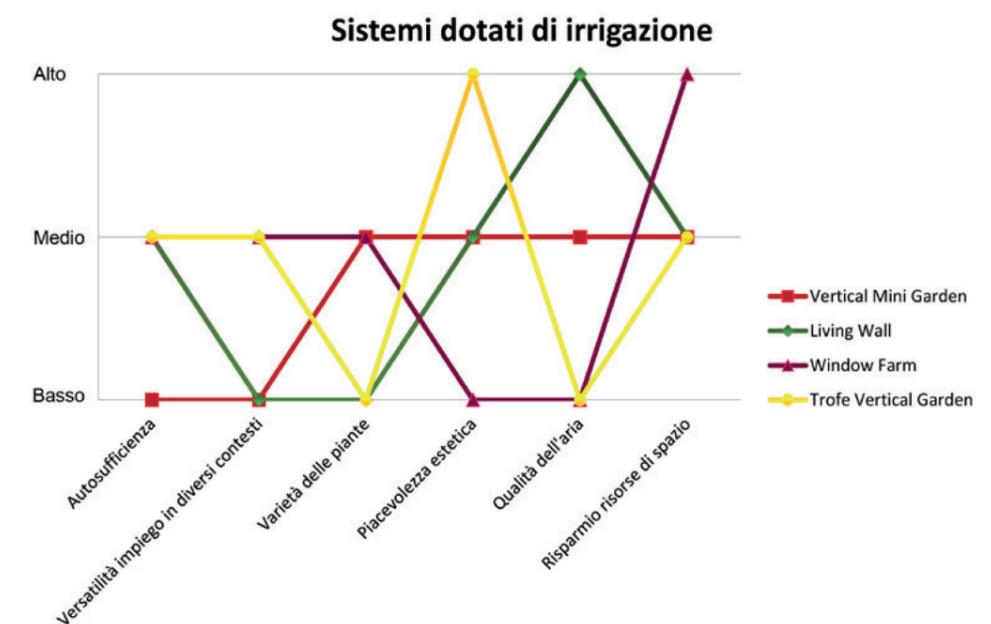
Tab.2.94- Tabella comparativa dei sistemi verticali per interni privi di irrigazione automatica

Window Farm - Colonne formate da 4 vasi, l'uno sopra l'altro, irrigati tramite sistema idroponico. Ogni vaso nella parte inferiore ha una forma ad imbuto per permettere il drenaggio dell'acqua nella parte sottostante, sia esso altro vaso o vaschetta di raccolta. È un prodotto molto poco ingombrante grazie allo sviluppo esclusivamente verticale. Aspetto negativo è il numero ridotto di vasi presenti in ogni colonna.

Trofe vertical garden- È sistema verticale idroponico composto da colonne che accolgono fioriere dal design fortemente caratterizzato. Pur avendo un disegno particolarmente ricercato presenta alcune carenze legate alla forma e alla dimensione dei vasi, internamente molto piccoli rispetto all'involucro esterno. Inoltre i contenitori tendono a far ristagnare l'acqua in eccesso permettendo la coltura di un numero limitato di piante. La versatilità di impiego nei diversi contesti risulta essere medio-bassa a causa dell'elevata dimensione della base ma al contempo si riesce in generale a garantire un risparmio delle risorse dello spazio medio-alto.

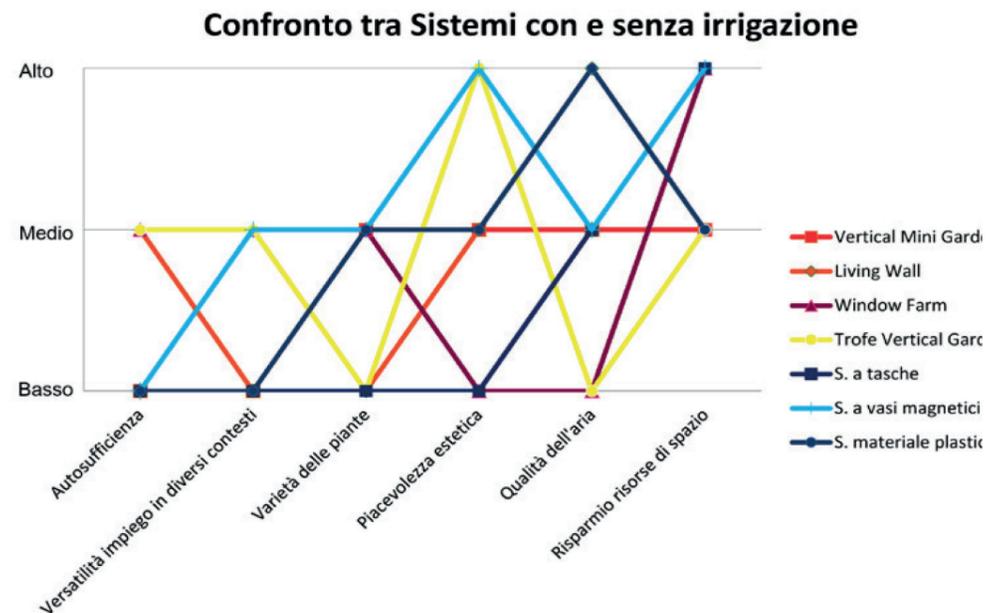
Sistemi orizzontali per interni muniti di irrigazione automatica

I sistemi appartenenti a questa categoria rappresentano l'evoluzione dei classici vasi da terra e come tali sono dei prodotti dalle ridotte dimensioni muniti di un' irrigazione automatizzata, sia essa idroponica, aeroponica o acquaponica. La varietà di specie vegetali utilizzabili aumenta drasticamente di numero rispetto ai sistemi verticali con irrigazione automatizzata, per contro, essendo generalmente di piccole dimensioni, si riduce il numero massimo di piante coltivabili. Rispetto ai sistemi verticali, quelli orizzontali per la loro compattezza sono dotati di una maggiore resistenza strutturale e sono più facilmente associabili ad un sistema di illuminazione al led. Sono prodotti pensati soprattutto per l'allevamento di piante per la cucina (piante aromatiche e ortaggi) e meno per piante floreali.



Tab.2.95 - Tabella comparativa dei sistemi verticali per interni dotati di irrigazione automatica

BB Little Garden - Realizzato da Hall Design, questo prodotto sfrutta il sistema idroponico "a stoppino". Si tratta di un mini giardino da appartamento dove coltivare erbe aromatiche per la cucina. Il prodotto è composto da un telaio a C dotato di lampada a LED e tre contenitori. Si tratta di un oggetto caratterizzato da un ottimo design, facilmente spostabile e poco ingombrante, in cui la presenza di irrigazione e illuminazione automatica costituiscono un valore aggiunto. Per contro, le dimensioni ridotte permettono la coltivazione di un numero estremamente esiguo di piante.



Tab.2.96- Tabella comparativa dei sistemi verticali

Green Farm Cube Hydroponic - Proveniente dal mercato giapponese, questo oggetto dalle dimensioni contenute permette la coltivazione di un numero esiguo di piante (fino a sei piccoli vasi). Si tratta di un prodotto dal design semplice, che contempla la possibilità di chiusura e timer luci-irrigazione integrato. Viene utilizzato il metodo idroponico dell'acquacoltura che permette prevalentemente la coltivazione di piante aromatiche.

AeroGarden - È un sistema che si "autocontrolla" per creare le condizioni di crescita ideali per ogni pianta, avvertendo quando è il momento di aggiungere ulteriore acqua e nutrienti. Ciò, unito al fatto che il prodotto è dotato di illuminazione integrata lo rende utilizzabile anche per gli inesperti. Non è ingombrante, ma è dotato di pochi vasetti, adatti ad erbe e simili.

Sun garden system - Oggetto semplice e dinamico, che utilizza il metodo idroponico a stoppino. Il tettuccio rialzabile permette la crescita delle piante più alte, aumentando il numero di specie vegetali coltivabili. Pur essendo dotato di un sistema di luci integrato, è carente dal punto di vista dell'autosufficienza, necessitando ricambio di acqua e nutrienti (senza alcuna spia), cosa che ne rende difficoltoso l'utilizzo per inesperti. Il suo ingombro relativamente elevato ne limita la collocazione all'interno dell'abitazione.

L'ipotesi progettuale

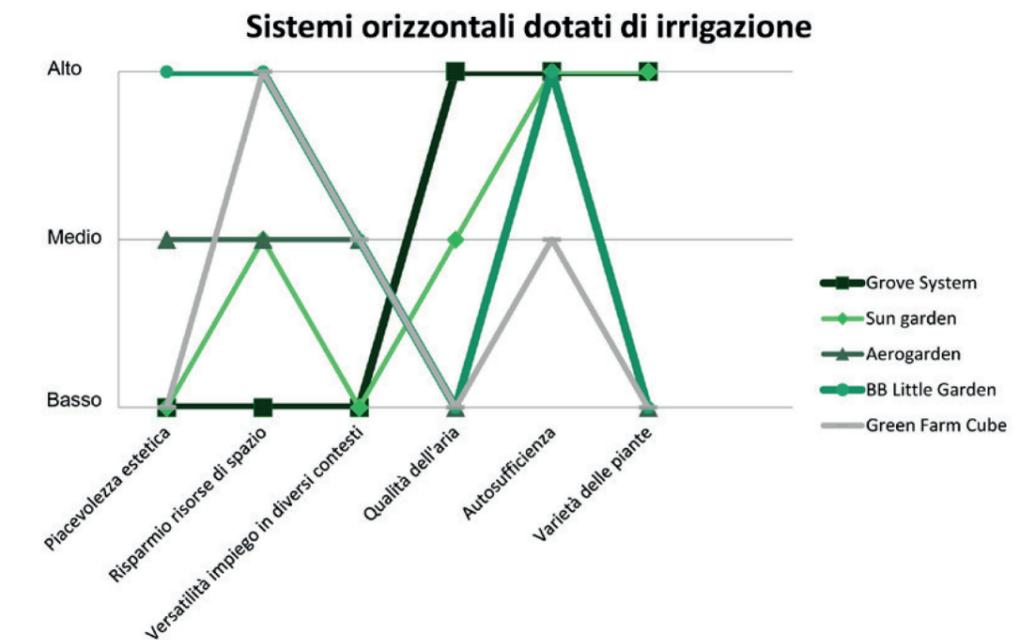
Dalla comparazione dei sistemi esistenti nel mercato emergono gli obiettivi del progetto. L'ipotesi è appunto quella di realizzare un vero e proprio elemento d'arredo assimilabile ad una libreria ma con ingombri contenuti in maniera da facilitarne l'inserimento anche in ambienti di non grandi dimensioni (cucine, zone pranzo) cercando al contempo di garantire un sufficiente numero di alloggi per le piante. Sulla base di tali considerazioni, è stato elaborato il concept: un oggetto che unisce i vantaggi dei sistemi idroponici industriali per la coltivazione di piante ed ortaggi, con la possibilità di garantire una qualità maggiore dell'aria mediante la disposizione all'interno delle abitazioni di vari tipi di pianta, sia produttive che floreali. L'obiettivo è quello di includere il massimo numero di benefici riscontrati nelle analisi effettuate, riducendo al minimo le problematiche derivanti dall'unione di tecniche e metodi diversi. In particolare in fase di progettazione sono stati perseguiti i seguenti obiettivi:

- creare un sistema modulare e personalizzabile che sia al contempo un elemento d'arredo;
- permettere la coltivazione di una vasta varietà di specie vegetali, grazie ad un sistema comple-

tamente automatizzato idro-aeroponico;

- incrementare la possibilità di scelta dei vegetali da far crescere all'interno di ogni casa;
- impiegare luci led particolarmente adatte per ricreare la luce solare di cui ogni pianta ha bisogno;
- consentire il posizionamento del sistema verticale in mezzo ad una stanza come divisorio o a muro internamente od esternamente.

Per rispondere a tutti gli obiettivi sopra esposti si è pensato ad un elemento dallo sviluppo prettamente verticale, con elementi modulari impilabili che garantiscono una flessibilità compositiva. Tale prodotto è impiegabile in ambito abitativo, in ambienti interni ed esterni essendo realizzato per lo più in materiale plastico. Lo schema base è quello del trilito con elementi contenitori sfalsati che consentono un ulteriore utilizzo delle mensole di collegamento.



Tab.2.97- Tabella comparativa dei sistemi orizzontali

Il sistema è composto da:

- base al cui interno è previsto l'alloggiamento di una vaschetta di raccolta liquidi, dove sarà installata la pompa a immersione (fig. 2.93);
- colonne collegabili in acciaio zincato, che costituiscono la parte strutturale del sistema;
- moduli a trilito (due vasi più una mensola) dotati di tubazioni e luci (figura 2.94).

La base è l'elemento principale sul quale poggiano, uno sopra l'altro, i vari piani della struttura. Contiene una vasca per la raccolta dei liquidi in eccesso nella quale è presente la pompa ad immersione per l'irrigazione. Sulla parete laterale è prevista la realizzazione di una doppia cavità per garantire l'allaccio alle utenze idriche ed elettriche dell'abitazione.

Le colonne hanno una funzione strutturale e garantiscono la resistenza e la rigidità necessarie per l'utilizzo dell'oggetto. Sono impilabili l'una sull'altra, in modo da consentire di personalizzare la struttura scegliendo l'altezza desiderata. Sono costituiti da tubolari rastremati alle estremità realizzati in acciaio zincato.

Il modulo trilito è composto da due elementi verticali, con funzione di vaso e sostegno, ed un elemento orizzontale appoggiato su di essi per l'illuminazione a LED delle vaschette che conterranno le piante. Il sistema prevede una bicromia: il bianco per l'involucro esterno dei vasi ed il verde per le mensole che vengono adagiate su questi ultimi, bloccate tramite l'uso delle colonne. I triliti sono

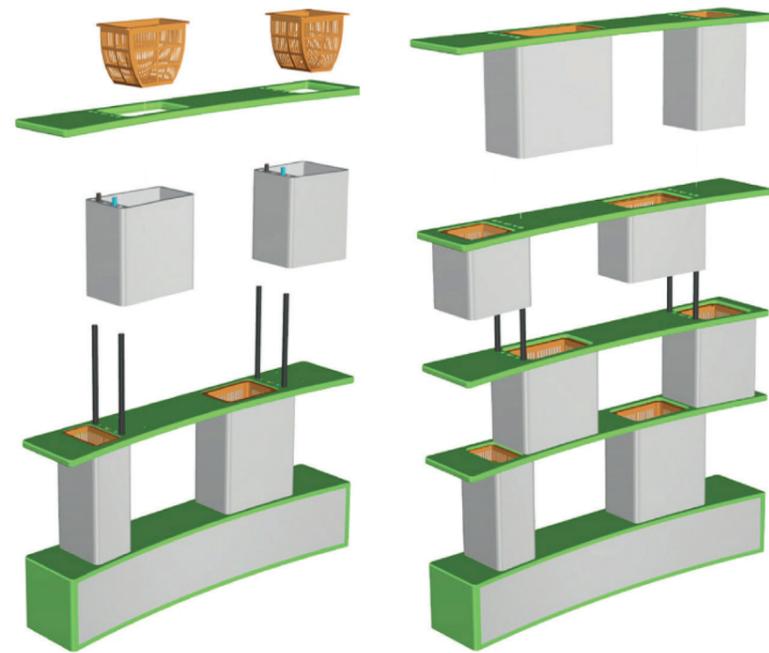


Fig.2.98 - Esploso del sistema con visualizzazione dei suoi componenti: base, colonne e moduli

stati progettati per essere sovrapposti l'uno sull'altro mediante l'uso di un sistema di tubolari ad incastro (in aggiunta delle guarnizioni dov'è necessario). Mediante questo espediente è possibile comporre la struttura scegliendo l'altezza totale richiesta, dimensione, forma e composizione dei vasi. L'ipotesi progettuale ha riguardato l'elemento base del sistema ma è ipotizzabile lo sviluppo di ulteriori componenti sino a sviluppare un sistema applicabile ai diversi ambienti dell'abitazione.

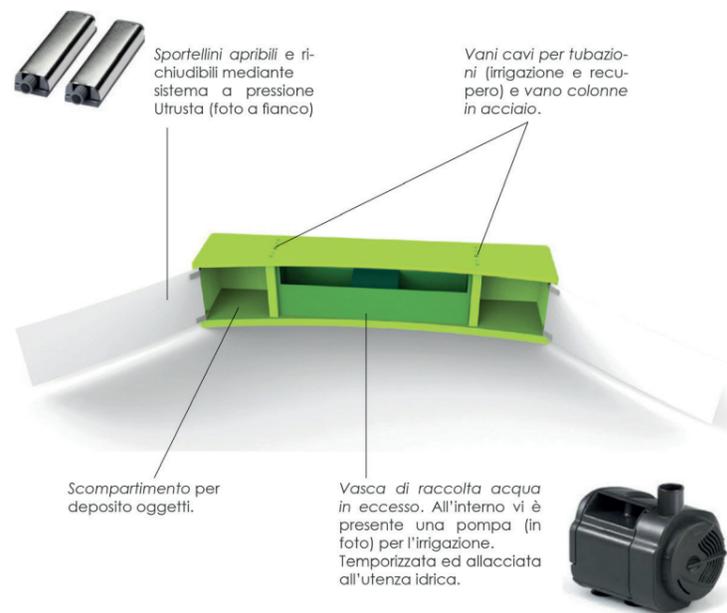


Fig.2.99 - Componenti della base

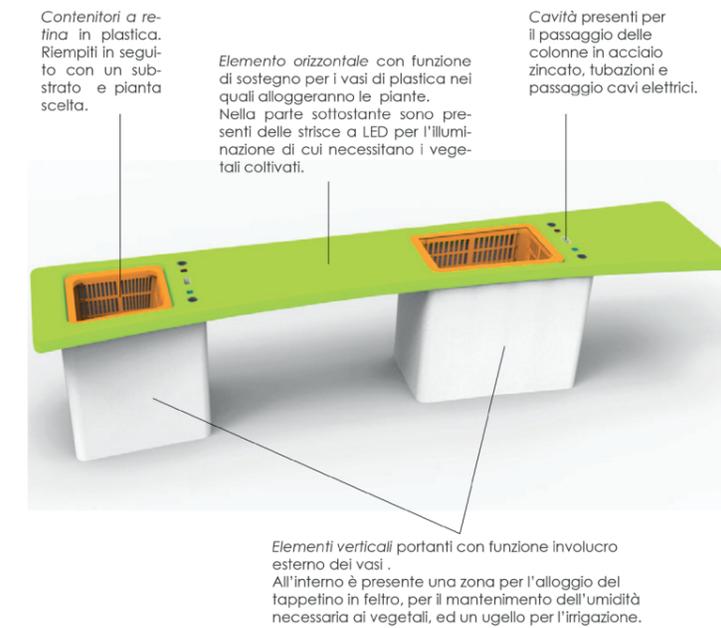


Fig.2.100 - modulo a trilitte in una delle possibili conformazioni

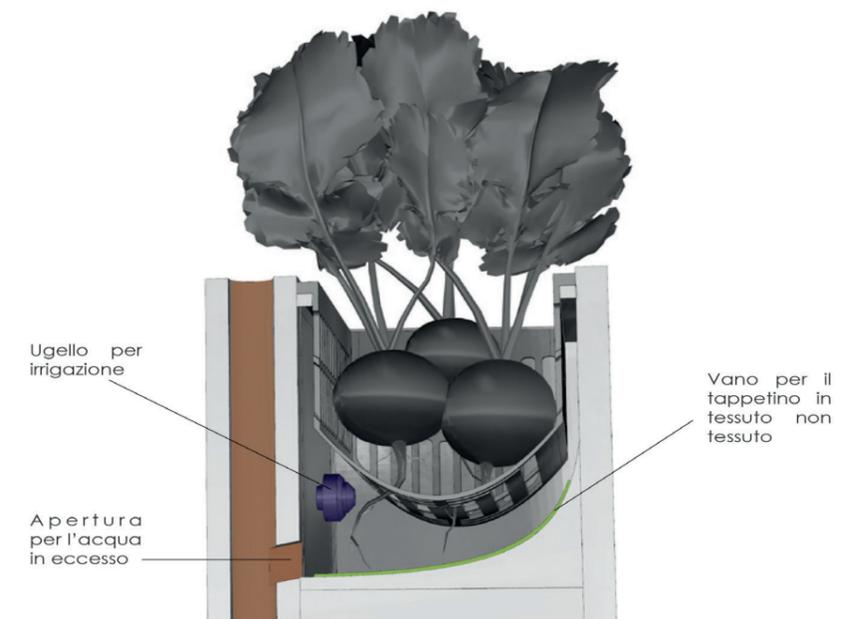


Fig.2.101 - Particolare del contenitore a retina in plastica



Fig.2.102- Il sistema completo in una delle possibili varianti nelle versioni con e senza specie vegetali e con alternativa di colore.

2.12.3 SISTEMI DI VERDE VERTICALE IN AMBITO URBANO

Una maggiore cultura ecologica e la consapevolezza di una dimensione invasiva del costruito, che ha progressivamente intasato tutti i microspazi della città, rendono oggi il progetto del verde urbano non più un'opzione ma una necessità. Il mercato edilizio del futuro si baserà sempre più sulla progettazione del verde urbano e in particolar modo del verde verticale, sia esso per esterni o per interni, e non sarà solo in funzione delle componenti estetiche, ma bensì incentrato sulle necessità ecologiche e sui vantaggi correlati. Un contesto fino a qualche tempo fa esclusivamente astratto e virtuale, ora rappresenta una necessità concreta e primaria, un bisogno condiviso a cui la cultura progettuale deve dare risposte. Significativi studi evidenziano, infatti, il ruolo del verde nel rinnovamento architettonico delle città, concentrandosi generalmente sui benefici e sugli effetti della vegetazione sul clima urbano e sugli edifici, ponendo l'accento sia sui sistemi di copertura verde degli edifici che sui sistemi di verde verticale. Questi due sistemi insieme consentirebbero una riduzione delle temperature superficiali e una riduzione degli effetti UHI⁶, se fossero impiegati in maniera diffusa nel recupero del costruito.

La capacità del verde di mitigare il clima urbano è ben conosciuta negli USA, dove è considerata la strategia più economica per contrastare appunto il fenomeno dell'isola di calore. La vegetazione nelle aree urbane, oltre alla produzione di ossigeno ed alla riduzione dei livelli di rumore, assume la funzione di regolazione del microclima. In estate l'ombra delle alberature attutisce

⁶ Con isola di calore urbana si intende un fenomeno che comporta delle differenze di temperatura tra un'area urbana (più calda) e le zone rurali limitrofe (più fresche). La temperatura media su base annua di una città di un milione di abitanti può risultare da 1 a 3°C più calda rispetto alle campagne circostanti e, durante le notti caratterizzate da poco vento, questa differenza di temperatura è in grado di salire fino a 12°C [Oke, T.R. (1987)]; a Milano questo effetto viene mediamente indicato intorno ai 6°C. Il fenomeno dell'isola di calore urbana dovrà essere diviso in due sottotipi: l'isola di calore di superficie (surface UHI) e l'isola di calore atmosferica (atmospheric UHI).

l'assorbimento di calore degli edifici diminuendo così il consumo elettrico a carico dei condizionatori. Al contrario in inverno le alberature fungono da ostacolo per l'azione del vento riducendo, di conseguenza, i consumi energetici per il riscaldamento.

I sistemi di verde verticale per la città rappresentano un tema relativamente nuovo e non ancora sufficientemente indagato. La ricerca è stata sviluppata particolarmente negli ultimi venti anni in Germania, focalizzata per buona parte sulle prestazioni ambientali ai fini dell'elaborazione di regolamenti e linee guida per le città. Per tale motivo gran parte della letteratura sull'argomento è pubblicata in tedesco ed è relativa a ricerche svolte in ambito universitario, con l'obiettivo di dimostrare il ruolo del verde nella creazione di un migliore clima interno e il conseguente risparmio energetico. Significativi contributi derivano anche da ricerche svolte da università inglesi e austriache. Nell'Università di Brighton è stata di recente portata avanti una ricerca sulle prestazioni di ombreggiatura dei rampicanti a parete e sui sistemi di integrazione di tecniche verdi nell'architettura contemporanea. Presso il Centro per la Progettazione Subtropicale dell'Università di Queensland a Brisbane, in Australia, è in corso un programma di ricerca sui sistemi a parete verde. Il progetto mira a individuare i vantaggi del sistema e a comprendere le sfide per presentarle con successo nell'ambiente costruito del Queensland subtropicale.

La definizione e lo sviluppo del verde verticale risale alla seconda metà del Novecento. Tra gli ideatori dei muri vegetali emerge la figura di Patrick Blanc. Blanc, considerato da tutti un artista o un designer è prima di tutto un ricercatore. Dopo la laurea e il dottorato di ricerca in Scienze Naturali, Blanc ha iniziato a lavorare presso il *Centre National de la Recherche Scientifique* come ricercatore specializzato in piante tropicali. È dallo studio dei sistemi tropicali che derivano le sue prime ricerche per facciate verdi. Il primo progetto di giardino verticale è stato completato nel 1985 alla *Cité de Sciences et de l'Industrie* di Parigi, ma solo a metà degli anni '90 il concetto di verde verticale è diventato argomento di discussione tra i professionisti, e solo nei primi anni del 2000 si è diffuso per raggiungere un pubblico più ampio. Quello progettato da Blanc è un sistema leggero (il *Mur Vegetal* può contenere 25-30 piante per m², mentre altri sistemi in commercio possono arrivare anche a 50-90/m²) e adattabile a supporti di qualsiasi dimensioni ed altezza.

A partire dagli studi effettuati da Blanc l'utilizzo del verde verticale in ambito urbano ha avuto negli ultimi vent'anni uno sviluppo esponenziale che ha coinvolto appieno le discipline del progetto e tra queste il design. Tutte le ricerche evidenziano quelli che sono i principali elementi di connotazione di una parete di verde verticale.

Essi possono essere così sintetizzati:

Riduzione della temperatura - Il verde verticale se applicato agli edifici crea i presupposti per la costituzione di un involucro termico che durante il periodo estivo limita il surriscaldamento e nei mesi invernali diminuisce le dispersioni di calore, migliorando le condizioni di benessere sia negli spazi aperti che negli spazi interni. Le *Turf Houses* islandesi (ovvero le case di torba) e le *Long Houses* vichinge precorritrici, secondo alcuni, del verde verticale, frutto di climi particolarmente avversi, offrivano un isolamento termico superiore rispetto ai fabbricati esclusivamente in legno o in pietra. Il rivestimento vegetale è un ottimo isolante termico che permette di rinfrescare l'aria d'estate o di diminuire la dispersione di calore in inverno, ma è al contempo un valido isolante acustico.

Nelle diverse città dove le soluzioni di verde verticale per le facciate vengono implementate si è evidenziato il potenziale di miglioramento del comfort termico dell'ambiente costruito. L'isolamento applicato all'esterno degli edifici è infatti molto più efficace dell'isolamento interno, specialmente durante i mesi estivi. I sistemi verdi verticali avrebbero il doppio effetto di ridurre l'energia solare entrante all'interno attraverso l'ombreggiatura e ridurre il flusso di calore nella costruzione attraverso il raffreddamento evaporativo, trasformando entrambi in risparmio energetico.

Alcune ricerche dimostrano come l'utilizzo di sistemi verdi verticali in ambito urbano, possa portare ad un abbassamento di temperatura intorno agli 8°C e una conseguente riduzione del consumo energetico degli edifici. Le pareti verdi possono abbassare l'influenza dei raggi UHI diretti sviluppando un assorbimento del calore per evapotraspirazione. La fluttuazione giornaliera di temperatura è ridotta di ben il 50% e, attraverso l'evapotraspirazione, una grande quantità di radiazioni solari può essere convertita in calore latente che non provoca aumento di temperatura.

Ombreggiatura - L'effetto di ombreggiatura dei sistemi verdi verticali riduce l'energia utilizzata per il raffreddamento (utilizzo di condizionatori d'aria) di circa il 23% in un clima temperato e del 20% dell'energia utilizzata dai ventilatori, con una riduzione annua dei consumi di circa l'8%. Sfasando pareti e finestre, l'energia solare in ingresso può subire una riduzione della temperatura di 5,5°C e di conseguenza può ridurre la quantità di energia necessaria per l'aria condizionata dal 50% al 70%.



Fig.2.103-James Biber . Padiglione USA all'EXPO Milano 2015 - <https://pixabay.com>

Funzione ambientale- I sistemi di verde verticale svolgono un'azione di termoregolazione naturale, una protezione dagli agenti ambientali attraverso il filtraggio dalle sostanze inquinanti e delle polveri presenti nell'aria (possono contribuire, ad esempio, a catturare le polveri sottili PM10 e PM 2,5 in ambiente urbano) creando una vera e propria barriera rigenerante grazie all'ossigeno prodotto

Funzione estetica - Il verde verticale ha una funzione estetica volta a mitigare gli effetti di degrado e gli impatti prodotti dalla presenza delle edificazioni ma anche a caratterizzare spazi interni ed esterni e riqualificare aree non urbanizzate. Ha inoltre un ruolo sociale: la presenza di parchi, giardini, viali e piazze alberate consente di soddisfare un'esigenza ricreativa e sociale che rende più vivibili gli spazi della città; le aree verdi contribuiscono al benessere psicologico e all'equilibrio mentale. Il colore infine assume un ruolo fondamentale, agendo inconsciamente a livello psicologico: il verde incarna infatti un'energia neutra con effetto calmante.

Vi sono però, al contempo, alcuni aspetti negativi. L'impiego di un sistema d'inverdimento verticale richiede una costante attenzione gestionale, superiore rispetto all'uso dei normali materiali

per l'edilizia e impegnativa sia sotto l'aspetto esecutivo che da un punto di vista energetico. Una parete vegetale richiede una continua manutenzione e quindi la costante presenza del vivaista, del giardiniere o dell'agronomo che deve continuamente monitorare lo stato di salute di piante che, a contatto le une con le altre, si sovrastano per cercare uno sbocco verso la luce. Anche il dispendio energetico è un altro punto a sfavore. Per permettere l'irrigazione automatica delle pareti verdi è necessario spesso usare molta elettricità con alti costi. Da tener presente anche l'utilizzo di fertilizzanti, necessari per permettere alle piante di fare fronte all'assenza di terreno naturale. I vegetali, infatti, crescono immettendo le proprie radici all'interno di pannelli di feltro, irrigati con acqua fatta cadere dall'alto e riutilizzata.

In parte per tali motivazioni, e a dispetto dei molteplici vantaggi, la diffusione degli spazi verdi nella città ha subito in tempi recenti un arresto legato a una fase di recessione economica nella quale la gestione di tali spazi pone alle amministrazioni problemi di sostenibilità indirizzando la progettazione verso soluzioni differenti con costi di manutenzione e di impianto minori.

Attualmente i sistemi verticali di verde costituiscono una tecnologia consolidata, ma sono in corso, sia in ambito privato che in ambito universitario, alcune interessanti sperimentazioni. Nell'ambito degli spazi interni, a titolo di esempio, si sta sviluppando l'impiego di muschi stabilizzati, ottenuti grazie alla stabilizzazione di un lichene naturale, adatto al rivestimento di qualsiasi superficie (il sistema MOSSwall® è brevettato e distribuito in tutto il mondo dall'azienda Verde Profilo). L'incredibile versatilità di questo materiale ha ispirato una nuova generazione di giardini verticali indoor che non necessitano di una eccessiva manutenzione se sviluppati in ambienti con un tasso minimo di umidità del 40-50%.

Tra le modalità applicative dei sistemi di verde verticale compare una sempre maggiore integrazione con i sistemi di rivestimento metallici per coperture e facciate. Tali sistemi, spesso costituiti da elementi modulari in alluminio, in quanto prodotti industriali, competono le conoscenze e la progettualità dei designer. A ciò si aggiungono le integrazioni con le nuove tecnologie illuminotecniche e con i sistemi informativi che costituiscono altresì ambiti di competenza della disciplina.

Il lavoro esposto nelle pagine a seguire rappresenta un approfondimento di tale integrazione con una applicazione in ambito urbano.

IL VERDE VERTICALE IN AMBITO URBANO: UN PROGETTO ⁷

La tesi discussa al corso di laurea in Disegno Industriale dell'Università di Firenze mostra un'ipotesi di utilizzo del verde verticale per la risoluzione di problematiche di natura ambientale all'interno della città. Il caso applicativo è la stazione ferroviaria di Lastra Signa in provincia di Firenze; un grande viadotto, con terminal per i viaggiatori e passaggio della linea nella parte superiore, che rappresenta oggi un elemento di barriera e disturbo visivo in un'area dal forte inquinamento ambientale, causato da una strada ad alto traffico. Dalle analisi effettuate a monte, in comparazione con casi studio con simili problematiche, si basa la scelta di utilizzo del verde verticale come sistema di rivestimento della struttura attuale con finalità ambientali ed estetiche.

Il progetto, comprende un complesso di interventi che si sviluppano su più livelli nello spazio preso in analisi, coprendo, un'area molto estesa nel rapporto con la città storica che si sviluppa in prossimità e rispetto alla quale il viadotto rappresenta una sorta di "portale di ingresso". Per ciascuna parte della stazione è stato previsto uno specifico intervento, ma tutti le azioni inserite nel progetto sono tra loro correlate.

La riorganizzazione dell'area è la somma di interventi che riguardano:

- la progettazione di pannelli isolanti che schermano/decorano l'attuale viadotto;
- la riorganizzazione dello spazio di sosta;
- la creazione di un percorso che collega la stazione al centro storico;

⁷ Università degli Studi di Firenze – Dipartimento di Architettura DIDA - Corso Di Laurea In Disegno Industriale A.A 2013/2014 . Tesi di laurea di Irene Rugi "Design per spazi d'attesa/ Riqualificazione della stazione di Lastra a Signa" Relatore: prof. Vincenzo Legnante - Correlatore: prof. Stefano Follesa

- la realizzazione di spazi d'attesa e l'inserimento di elementi d'arredo sia nella parte bassa della stazione, sia lungo i binari.

La tesi nasce dalla duplice esigenza di una riqualificazione estetica di cui possano beneficiare le visuali di accesso alla città e di una riqualificazione funzionale che consenta di trasformare un luogo attualmente degradato in uno spazio che possa rendere più piacevole la dimensione del viaggio. L'elemento unificatore di ogni idea è il progetto del verde che permette di creare uno stretto legame tra costruzione e spazio circostante, con l'inserimento di elementi che rendono l'intervento il meno invasivo possibile.

La struttura progettata è costituita da pannelli metallici che vengono sfalsati per creare giochi di forme e colori. L'intero rivestimento risulta formato da linee continue di diversa altezza, alle quali vengono applicate piante di colore chiaro e scuro, rotte da pannelli smaltati di colore bianco. Fondamentale è l'utilizzo della luce che riesce a creare giochi di colore che vanno a completare il quadro prodotto dall'utilizzo dei diversi materiali utilizzati. Nella nuova parete verde la luce è generata da LED che aumentano il senso di orizzontalità della struttura.

Il risultato è quello di un disegno semplice ma che, ripetuto con fasce in inclinazioni differenti, crea un effetto estremamente articolato. L'utilizzo dell'illuminazione artificiale consente infatti di realizzare scenari complessi: ciò che di giorno appare lineare, di notte si trasforma in un gioco di

segni capaci di attirare l'attenzione dell'utente. La luce permette agli oggetti di prendere vita, evidenziandone i particolari.

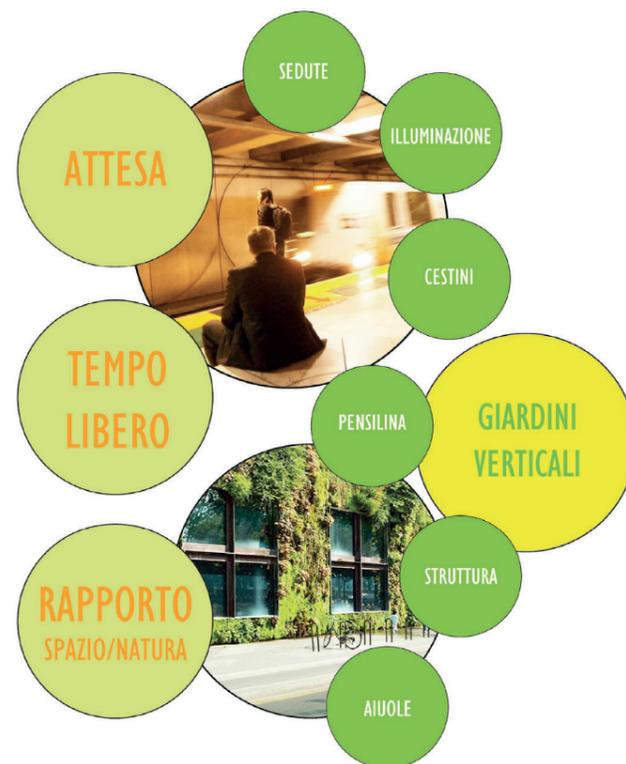


Fig.2.104- Schema grafico degli obiettivi dell'ipotesi progettuale

Gli aspetti cromatici infine hanno guidato la scelta delle piante da inserire nella parete verde: i colori, infatti, non hanno solamente una valenza estetica, ma agiscono inconsciamente a livello psicologico. L'uomo è in grado di reagire a stimoli esterni senza riuscire a percepirli visivamente ma

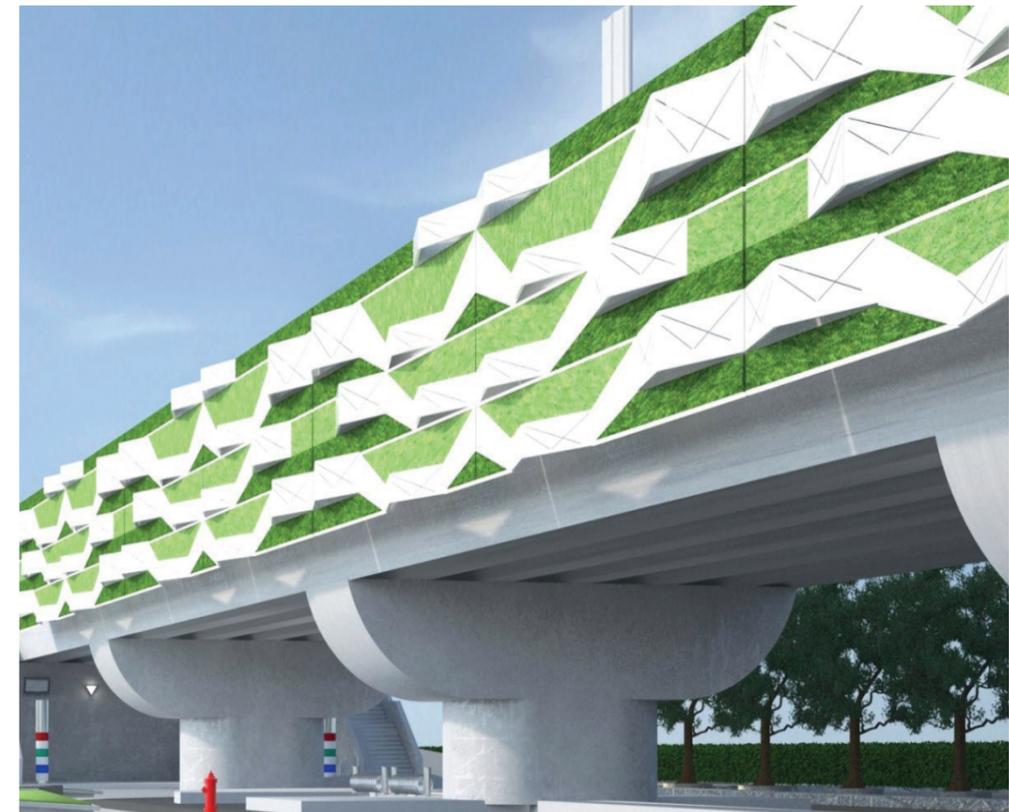
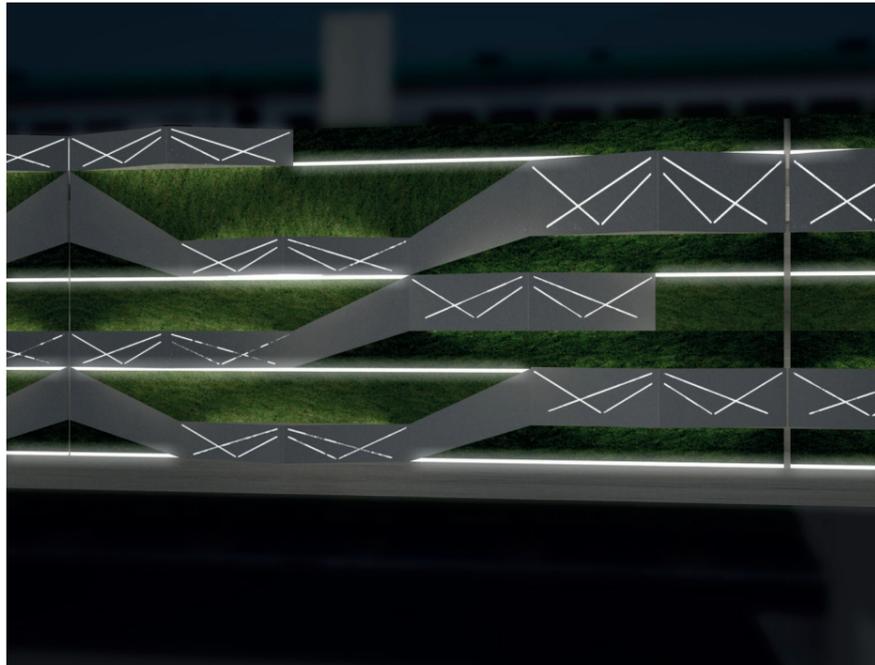


Fig.2.105 - Vista generale della parete principale con l'alternanza orizzontale tra pannelli vegetali e pannelli metallici

traendone effetti di pace e riuscendo ad entrare in armonia con il mondo e con se stesso.

La progettazione del giardino verticale è solo il punto di partenza della proposta complessiva di riqualificazione dell'area ferroviaria ma l'ipotesi progettuale estende l'utilizzo del verde a tutti gli spazi d'attesa comprese le aree pubbliche al di sotto del viadotto.

Ulteriore fattore qualificante, sul quale molto lavoro rimane da fare, è quello che riguarda la messa a punto di sistemi di gestione sostenibile, almeno per gli aspetti legati al monitoraggio e alla fertirrigazione dei pannelli. La ricerca, condotta in collaborazione con il CNR-IBIMET di Firenze, mira ad individuare procedure e componenti hw/sw, altamente affidabili, in grado assicurare alti standard gestionali, abbattendo al contempo gli ancora elevati costi richiesti per il mantenimento di queste strutture.



216



Fig.2.106 - Visione notturna con l'apporto dell'illuminazione a led e degli spazi di verde orizzontale a completamento dell'intervento

2.12.4 BIBLIOGRAFIA

- Allodi M., Cassone A., Marziani A. (a cura di), (2015), *Dal pensiero al progetto del verde: saperi, abilità e competenze*. Milano, Biblion Edizioni.
- Armato F. (a cura di), (2016), *Design per la città-Il progetto degli spazi esterni*. Palermo, Navarra Editore.
- Bellini O.E., Daglio L., (2009), *Verde verticale. Soluzioni tecniche nella realizzazione di living walls e green façades*, Bologna, Maggioli Editore.
- Bellini O.E., Daglio L., (2015), *Il verde tecnologico nell'housing sociale*, Milano Franco Angeli Editore.
- Bellomo A. *Verde in città* in Mybestlife.com consultato in data 15 Settembre 2016
- Bit E., (2012). *Il Nuovo Verde Verticale: Tecnologie, Progetti, Linee guida*. Torino, Wolters Kluwer.
- Blank P., (2012), *The Vertical Garden: From Nature to the City*, New York, W. W. Norton & Company.
- Corrado M. (a cura di), (2010), *Il verde verticale*, Napoli, Sistemi Editoriali.
- Quaranta C.G.,(2016), *La domotica per l'efficienza energetica delle abitazioni*, Bologna, Maggioli Editore.
- Grosso, M. ,(1997), *Il raffrescamento passivo degli edifici*, Rimini, Maggioli Editore.
- Haub, C. ,2007, *The 2007 World Population Data Sheet* , Population Reference Bureau
- Lambertini A., Ciampi M., (2007), *Giardini in verticale*, Firenze, Verbavolant.
- Perini K. , (2013), *Progettare il verde in città*, Milano, Franco Angeli.
- Tatano V.a (a cura di), (2008). *Verde: naturalizzare in verticale*. Bologna, Maggioli Editore.
- Santamouris, M. et al., (2001), *On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings*, Solar Energy, 70, 3, pp. 201-216.
- Semenzato, P., (2003), *Un piano per il verde. Pianificare e gestire la foresta urbana*, Padova, Signum Edizioni.
- Tong J. (2014), *Living Wall: Jungle the Concrete*, London, DesignMedia Publishing Limited.
- Tsarounas G., (2014), *Green Walls Green Roofs: Designing Sustainable Architecture Hardcover*, Victoria, The Images Publishing Group

217

Capitolo Terzo
Prospettive e Proposte

3

PROSPETTIVE E PROPOSTE

Il capitolo conclusivo di questo lavoro raccoglie alcune delle idee che s'intendono sviluppare negli anni a venire, ma soprattutto rappresenta una sorta di invito rivolto agli operatori del settore, ma anche ai comuni cittadini, a mantenere alta l'attenzione e l'impegno sui temi ambientali, sulla sostenibilità e sul giusto progresso.

Anche se la dinamicità di questi settori e delle problematiche ad essi associate suggerisce un atteggiamento prudente nella valutazione di qualsiasi scenario e nell'adozione di piani rigidi di sviluppo, vi sono elementi di attenzione che devono essere sempre tenuti presenti per indirizzare il progresso verso il raggiungimento degli obiettivi desiderati.

È infatti a livello preventivo che si devono confrontare le diverse posizioni e si possono tenere nella dovuta considerazione le varie legittime esigenze operative, sociali ed economiche. L'esperienza comune legata alle emergenze ambientali e ai drammi sociali ci porta ad innalzare il nostro livello di attenzione e il nostro grado di partecipazione alla gestione delle cose delle risorse comuni, nella consapevolezza che tali problematiche devono essere affrontate in modo coerente e coeso. Nessuno sforzo, per quanto possa apparire scarsamente rilevante, sarà vano, se indirizzato all'ottenimento di una condizione futura più sostenibile.

L'auspicio, quindi, è che questi contributi siano visti come un primo passo verso una progressiva condivisione di idee e programmi all'interno di spazi comuni, sia pubblici sia specialistici, per la realizzazione di un ambiente di lavoro e di confronto in grado di ospitare e valorizzare gli sforzi di ognuno.

3.1

LA RICERCA E IL RUOLO DELLE NUOVE TECNOLOGIE PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE

Rapi B. ⁽¹⁾, **Battista P.** ⁽¹⁾, **Romani M.** ⁽¹⁾

¹ CNR – Istituto di Biometeorologia, Via Madonna del Piano 10, Sesto Fiorentino (FI)

Gli esempi applicativi proposti in questo lavoro toccano soltanto alcuni degli aspetti chiave legati al ruolo che le nuove tecnologie possono giocare in qualità di intermediari tra l'uomo e l'ambiente. Tuttavia, mostrando varie procedure di integrazione e analisi, a livello metodologico tali applicazioni suggeriscono una strada che porta verso una sempre più larga condivisione delle conoscenze e una più ampia capacità di risposta a problematiche e criticità ambientali.

L'obiettivo condiviso da coloro che nel corso di questi anni hanno preso parte, direttamente o indirettamente, a questo progetto è stato quello di sviluppare un *framework* operativo, che consentisse di approfittare delle opportunità date dall'innovazione tecnologica nei diversi settori, per affrontare e risolvere problemi e sfide particolari o trasversali, con vantaggi significativi in termini molto concreti, anche di carattere economico e sociale.

Creare reti sinergiche multiscala e multiscopo, per la raccolta, lo scambio e l'analisi delle informazioni, significa dare vita a un organismo complesso, potenzialmente in grado di indirizzare e coordinare le attività dei diversi settori con i quali si relaziona. Un'entità prevalentemente digitale, in continua evoluzione, già predisposta per connettersi anche con sistemi biologici e per elaborare strategie proprie.

Se questo è il futuro che ci aspetta, ancora una volta la sfida per le componenti sociali e imprenditoriali è quella di gestire il processo evolutivo, intervenendo in maniera incisiva per indirizzarlo verso un progresso che sia rispettoso delle esigenze della collettività e rappresenti un reale vantaggio per la società e per le sue componenti.

Nella progettazione di questo futuro, la ricerca è chiamata a giocare un ruolo di primo piano, sia nello sviluppo delle componenti di un tale organismo sia nella creazione degli elementi richiesti per il suo controllo e la tutela dei vari soggetti. Da sola, tuttavia, non può fare altro che individuarne i punti di forza e di debolezza, senza incidere in modo significativo su quello che sarà lo scenario finale, la cui realizzazione dipende dall'azione e dall'interazione dei vari attori a livello globale.

Emerge pertanto con forza la necessità che ciascuna realtà locale, indipendentemente dalle sue dimensioni e dalla sua forza reale, si faccia promotrice di un atteggiamento sempre più costruttivo e fattivo, volto a individuare gli strumenti più adatti per la salvaguardia, il rafforzamento e la valorizzazione delle componenti ambientali, sociali ed economiche che a lei fanno riferimento. Si tratta, nel caso specifico della gestione delle risorse e della tutela ambientale, di progettare e realizzare un sistema per comunicazioni inter-professionale, in grado di combinare affidabilità e sicurezza, ma soprattutto di operare sulla base di criteri e procedure trasparenti, comprensibili e oggettive.

Le moderne metodologie di gestione ambientale, in particolare, rendono irrinunciabile l'acquisizione di informazioni di contesto, tipicamente multimediali, per poter meglio organizzare, coordinare e attuare le operazioni gestionali. Questo significa che, lungi dall'essere giunti ai massimi livelli di invasività, le nuove tecnologie penetreranno sempre più nella sfera individuale, monitorando

e indagando i singoli elementi, fino a diventare parte integrante di strutture e organismi viventi.

I vantaggi di questa crescente connettività sono già evidenti, sia in termini di sicurezza del singolo soggetto sia in termini di capacità di risposta o adattamento da parte della collettività. È su queste basi che occorre pertanto muoversi, per poter rispondere efficacemente alle esigenze di gestione delle emergenze ambientali e sociali, sfruttando le opportunità offerte dalle metodologie più avanzate e assecondando, con attenzione e intelligenza, lo sviluppo di metodologie basate sull'uso integrato di grandi quantità di dati provenienti da fonti diverse (BIG DATA).

Il lavoro della ricerca continuerà, pertanto coinvolgendo esperti dei vari campi tecnico-scientifici, con l'obiettivo di acquisire nuove conoscenze e capacità di analisi, da trasferire in sistemi dedicati ai vari settori afferenti all'ambiente e all'agricoltura, che permettano agli utenti finali di disporre delle informazioni necessarie ad operare in maniera sempre più consapevole ed efficiente.

In questo contesto si mira ad estendere la rete di sinergie operative, stringendo le maglie attorno a prospettive programmatiche e obiettivi chiari, rispetto ai quali siano state riconosciute priorità strategiche e siano state individuate adeguate risorse tecnico-economiche.

Nei confronti di problematiche e programmi specifici sarà tuttavia possibile, se non auspicabile, l'individuazione di gruppi di lavoro ristretti, chiamati ad azioni circoscritte, schematicamente riconducibili a quelle viste nel precedente capitolo, orientata all'individuazione di soluzioni, procedure e strumenti, destinate e divenire componenti di un sistema più ampio.

Accordi strategici con partner industriali sono stati e continueranno ad essere fondamentali per la definizione di piani di intervento e progetti congiunti, soprattutto sui temi legati alla realizzazione di prodotti e servizi con valenza economica che possano avere anche rilevanza sociale e ambientale.

3.2

PER UNO SVILUPPO COORDINATO DI SOLUZIONI PER L'AMBIENTE

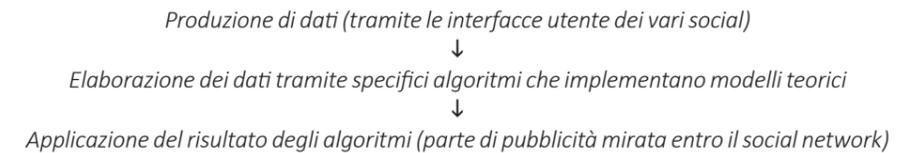
Andreani G. (1)

1 Geosystem, via Atto Vannucci 7, Firenze

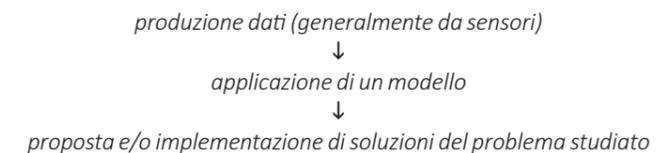
Nessun fenomeno può essere affrontato senza conoscenza; per conoscere è necessario disporre di quanti più dati certi possibile ed in questo l'evoluzione tecnologica può fornire poderosi strumenti per la raccolta e la elaborazione di informazioni.

Questo semplice paradigma è stato ben compreso ai giorni nostri da molti settori. Se esaminiamo per esempio il mondo della finanza e del commercio, questo ha cavalcato il fenomeno dei social network, utilizzandoli come preziosissima sorgente di dati per profilare il comportamento dei possibili clienti e indirizzare campagne pubblicitarie. Si pensi che il giro di affari pubblicitario del solo Google, nel 2014 era stimato in circa 65 miliardi di dollari (il 90% di 70 miliardi, incasso globale della società).

Se poi osserviamo il modello generale con cui Google e gli altri social generano introiti (che, ricordiamo, è la loro missione) possiamo definire questo *workflow*:



Questo esempio basato sul mondo della finanza si applica, *mutatis-mutandis*, anche per chi ha il compito di capire l'ambiente e le sue regole. Se esaminiamo i casi d'uso riportati nei capitoli precedenti si vede come l'approccio adottato, per quanto scientificamente complesso ed articolato, può essere schematizzato con il seguente *workflow*:



La similitudine tra i due *workflow* salta facilmente all'occhio e ci spinge ad approfondire un po' lo scenario. La prima domanda che ci poniamo è: questa similitudine regge anche se approfondiamo l'analisi dei diversi argomenti? In questo caso, alcuni distinguo devono essere effettuati.

Il primo riguarda la metrica dei risultati. Se è chiaro che nel mondo economico l'indicatore che definisce la bontà o meno di un approccio commerciale o produttivo riguarda la differenza tra ricavi e costi, indicatore facilmente misurabile ed espresso in via analitica in qualunque bilancio di società, più complessa è la valutazione del costo globale di una azione operata sull'ambiente. Se alcuni costi saltano subito all'occhio, quali quelli di acquisto e messa in opera di un sensore o rete di sensori, di scrittura di

software per implementare i modelli, di intervenire con strutture fisiche sull'ambiente, ben diversa è la valutazione dei costi nascosti, specie di quelli indotti da una cattiva politica ambientale.

Come valutare l'impatto e quindi il costo in spese mediche di una politica inquinante? E come quantificare il valore di una vita spezzata da un'alluvione o da una frana? E come valutare la tenuta nel tempo, variabile assai difficilmente controllabile, di una politica ambientale?

Questi aspetti restano un capitolo nel quale la tecnologia può fornire supporto, ma che rimangono campi in cui lo sforzo di modellazione dei fenomeni è ancora lontano dal poter fornire risposte certe. A parte questi aspetti peculiari, l'approccio generale

Sorgente di dati → modello → applicazione

può essere considerato un modello valido anche nello studio dei vari fenomeni ambientali. Specializzando il modello per affrontare problemi di tipo ambientale, questo diventa:

Sorgente di misure → modello ambientale → applicazione

Il primo elemento del *workflow* riguarda i dati. Si tratta di dati che descrivono informazioni di varia natura, fisiche e chimiche, e che necessitano di essere presi lungo un range temporale per poter analizzare le dinamiche insite nel fenomeno che si intende studiare (si pensi al diverso comportarsi, per esempio, di un vivaio o di un giardino al variare delle stagioni, delle modificazioni climatiche in un'area geografica, ecc.). Data la complessità dell'ambiente, lo studio dei fenomeni naturali richiede una grande disponibilità di dati la cui qualità e distribuzione spaziale, oltre che quantità, rappresentano un aspetto fondamentale per la riuscita di qualunque applicazione. Produrre, in un medio-lungo periodo, una grande quantità di dati significativi, rilevati in modo geograficamente idoneo a monitorare il fenomeno, richiede una rete di sensori distribuita sull'area di studio (che può essere anche molto vasta) e una infrastruttura in grado di far arrivare le informazioni ad un centro di raccolta ed elaborazione.

Il costo di questo impianto, comprensivo di manutenzione e operatività, è molto significativo, tanto da costringere spesso i ricercatori ad effettuare compromessi sulla quantità delle sorgenti di dati. Anche la modalità di raccolta e trasmissione verso un centro di elaborazione deve essere automatizzata e controllata, aggiungendo altri costi a un ipotetico progetto. Il centro informatico di raccolta ed elaborazione sembra forse il componente meno impegnativo dal punto di vista economico, anche se si devono tener conto dei costi di operatività del sistema e di aggiornamento tecnologico. Si tratta di infrastrutture *general purpose* e quindi più facilmente reperibili e condivisibili con altri progetti.

La modellazione dei fenomeni naturali e degli effetti che un intervento può avere sull'ambiente richiede l'implementazione di algoritmi che crescono esponenzialmente di complessità via via che si cerca di affinare il modello. Con l'aumentare delle conoscenze si alzano anche le aspettative che gli utenti, siano essi finali, tecnico-operativi o ricercatori, quindi lo sforzo che deve essere posto in questa fase è destinato a crescere. Di conseguenza si va sempre più verso una differenziazione dei modelli, ciascuno con un ben preciso focus applicativo. Lo stesso si può dire delle applicazioni che derivano dagli studi effettuati, in quanto all'aumentare della conoscenza e della sensibilità ambientale aumenta la richiesta di soluzioni che tengano conto di molteplici fattori e delle interrelazioni tra i vari aspetti delle politiche ambientali.

Si tenga anche conto che i costi di ciascuno studio possono essere anche molto significativi, tanto da richiedere spesso dei "tagli", che generalmente sono ottenuti limitando i punti di prelievo dati o tramite la semplificazione delle modalità di trasmissione ed elaborazione.

Da questa breve disamina emergono alcuni fattori:

- esiste un modello generale di *workflow* applicabile a molteplici studi ed applicazioni ambientali
- il modello prevede un forte impatto nella raccolta di dati ambientali; spesso i dati sono accompagnati da informazioni ancillari, richieste da modelli ed applicazioni diverse;
- la componente modellistica è invece molto specializzata in funzione della materia e dell'obiettivo dello studio;
- la componente di infrastruttura di elaborazione è una componente *general purpose*;
- c'è una necessità diffusa di riduzione dei costi e quindi di ottimizzazione delle risorse e, se possibile, di riuso.

Vediamo come da questo scenario si possono trarre alcune indicazioni per l'ottimizzazione e lo sviluppo coordinato di studi sull'ambiente, sfruttando le nuove tecnologie e un approccio di condivisione delle risorse. Se è vero che ogni studio ha una sua specifica finalità è anche vero che molti dei dati che vengono rilevati sono utili a più applicazioni. Se a questo si aggiunge la necessità di avere un approccio sempre più "geografico" per tener conto delle relazioni spaziali tra i vari oggetti, naturali e non, coinvolti, si capisce come la possibilità di vedere l'insieme dei sensori presenti in un'area, anche se realizzati per studi diversi, come un unico *network* di punti in ascolto che forniscono informazioni a chiunque le necessiti, rappresenta una svolta significativa.

In questa breve nota non si vuole dettare regole di implementazione, che possono essere tanto varie quanto lo sono gli approcci che si possono utilizzare per una simile realizzazione. Vogliamo invece provare a individuare delle linee guida generali, che possono dare spunto a un nuovo approccio orientato al miglioramento dell'efficienza con cui molti studi sull'ambiente possono essere sviluppati.

In un momento storico in cui "Interoperabilità", "cooperazioni applicativa", "Internet delle cose" sono diventati concetti sempre più diffusi ed utilizzati, la realizzazione di insiemi di sensori in grado di trasmettere dati in una rete di applicazioni condivise diventa non solo fattibile, ma anche fortemente auspicabile. Si noti che non si tratta di realizzare un "nuovo network di sensori", bensì di arrivare a una nuova logica con cui pian piano rendere cooperanti quelli che sono presenti sul territorio, ed altri che saranno successivamente aggiunti, come dialoganti tra loro tramite uno o più nodi di raccolta e condivisione.

L'idea è di definire una serie di protocolli informatici e regole operative che consentano ai sensori che partecipano a questo *network* di diventare fornitori di dati, e relativi metadati, verso uno o più nodi che fungano da centri di raccolta, scambio ed elaborazione. Ogni sensore si "iscrive" come fornitore di un determinato nodo che ne riceve i dati, tramite appositi protocolli informatici; ogni nodo si fa carico del controllo della ricezione (eventualmente emettendo segnali di richiesta di intervento su un determinato sensore), di verifica dell'ammissibilità dei dati e di memorizzazione in una banca dati in cui ogni informazione viene salvata insieme alla sua posizione geografica e al tempo a cui è riferita. Si noti che in questo caso si usa il termine "sensore" in modo generico, per indicare un qualsiasi rilevatore di una misura chimica, fisica e posizionale, in grado di trasmettere tale informazione a una rete di trasmissione. In questo modo ogni misura diventa riusabile, abbattendone il costo unitario e aumentando in modo estremo la quantità di dati utilizzabili per un dato studio o applicazione. Si ottiene così il duplice scopo di risparmiare in termini monetari e di aumentare la qualità di un'applicazione e le possibilità di studio.

In questa organizzazione giocano un ruolo molto delicato i metadati, ossia le informazioni da associare a ciascuna rilevazione, che descrivono come sono stati generati e con quali limiti possono essere utilizzati. Ogni dato che assume valenza generale, e che può quindi essere usato per più studi e con diverse finalità, deve essere in grado di descrivere in modo compiuto la sua genesi e la sua qualità; in questo modo entrando nel circolo del riuso dei dati potrà essere interrogato per conoscere non solo il valore della misura che rappresenta ma anche per capire se le sue caratteristiche lo rendono idoneo per un nuovo specifico uso. I dati rilevati dai sensori "federati" andranno quindi a fornire una duplice conoscenza: la misura e le caratteristiche derivanti dal modo (e dallo strumento) con cui sono stati prodotti. Si noti che nei metadati devono essere compresi non solo la tipologia dello strumento, eventuali tarature, limiti di risoluzione, età dello strumento e dell'ultima revisione, ma anche posizione, orientamento geografico, intervallo di trasmissione, ecc. Perdere i metadati associati a una misura significa perdere una grossa fetta di informazione, spesso determinante per capire l'uso ammissibile o meno del dato stesso.

La realizzazione di una rete federata di sensori richiede la definizione di protocolli tecnici e organizzativi, in grado di normare lo scambio sia dal punto di vista tecnico che di accordi tra le parti.

Un aspetto importante riguarda il coinvolgimento di privati e il regolamento che normi l'utilizzo di dati, sia da parte della componente scientifica che da parte di quella privata. Presumibilmente la gestione del network dovrebbe essere assegnata a un soggetto terzo, che si faccia garante sia della qualità del servizio che del rispetto delle regole di condivisione e dei diritti dei vari utilizzatori. Questo soggetto potrebbe esercire il sistema di raccolta lato server, mentre i vari proprietari dei sensori avrebbero in carico la consueta manutenzione operativa.

Questo approccio consentirebbe una diminuzione dei costi degli studi o applicazioni ambientali,

in quanto permette di condividere una delle componenti base per ciascun lavoro. Consentirebbe, inoltre, un aumento della qualità raggiungibile dalle applicazioni legate alla gestione ambientale, in quanto amplirebbe la copertura geografica delle sorgenti di dato, ne consentirebbe un controllo alla fonte e l'associazione a ciascun dato dei relativi metadati che evidenziano eventuali caratteristiche non compatibili con lo studio che si intende effettuare. Garantirebbe anche uno standard di raccolta e controllo, evitando di mescolare nella stessa applicazione dati disomogenei o poco significativi. La realizzazione di una banca dati centrale, a cui tutti i nodi federati farebbero capo, permetterebbe, infine, di realizzare studi a posteriori, dato che tutte le informazioni rilevate dalla sensoristica resterebbero disponibili anche nei tempi successivi al rilevamento e primo uso.

Riprendendo lo schema di *workflow* usato in questa breve nota, l'attuazione di un *network* di sensori federati porterebbe allo schema di figura 3.1, dove le parti in blu corrispondono alle competenze che dovrebbero essere delegate ad un'apposita struttura di riferimento e controllo. La parte applicativa manterrebbe la sua autonomia ma potrebbe appoggiarsi a una base dati condivisa, storica e geograficamente estesa dando la possibilità di realizzare studi più approfonditi ed applicazioni più efficaci, sia sulla base di dati attuali sia su serie storiche.

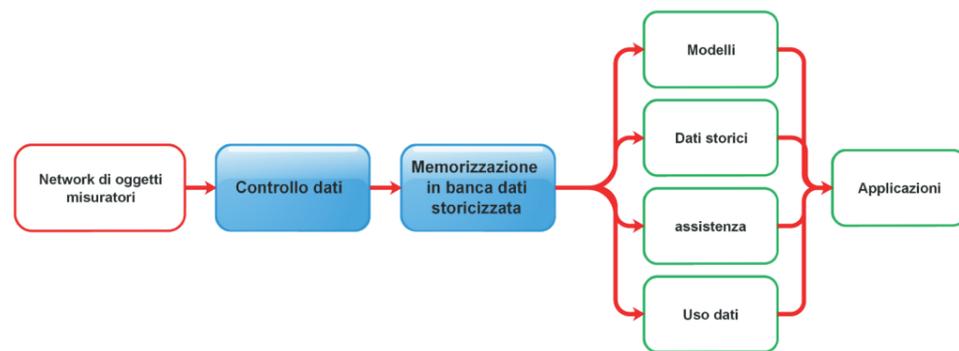


Fig. 3.1 - Schema di un network di sensori federati.

3.3

PROBLEMATICHE E NUOVE PROPOSTE PER LA GESTIONE DEL VERDE

Cacini S.⁽¹⁾, Mati F.⁽²⁾

1 CREA - Unità di Ricerca per il Vivaismo e la Gestione del Verde Ambientale ed Ornamentale, via dei Fiori 8, Pescia (PT)
2 Azienda Agricola Pianta Mati, via Bonellina 49, 51100 Pistoia

I molteplici benefici offerti dal verde a livello urbano, per quanto spesso facilmente intuibili (e.g. mitigazione del clima, mitigazione del run-off, abbattimento degli inquinanti, benefici ecologici e psicologici etc.) sono stati per anni trascurati. Prova ne è come lo sviluppo delle aree urbane durante il XX secolo sia stato non solo spesso caotico e incontrollato, ma soprattutto basato esclusivamente sulla cementificazione (Fini e Ferrini, 2007). Oggi tale visione di pianificazione urbana sta cambiando, tanto che termini quali "foresta urbana" e "smart city" sono sempre più diffusi, le città vengono viste come ospiti dell'ambiente naturale e non viceversa e le infrastrutture verdi rappresentano elementi imprescindibili nella progettazione di nuove aree urbane (Caragliu et al., 2009; FAO, 2016).

In un tale contesto la gestione del verde assume un ruolo fondamentale, in quanto strumento indispensabile al recupero di aree urbane di vecchia concezione, caratterizzate da ridotte o assenti aree verdi, spesso in stato di degrado, nonché a una corretta gestione delle nuove aree urbane, caratterizzate da grandi superfici a verde di elevata qualità funzionale ed estetica.

Tuttavia diverse sono le criticità nella gestione del verde, legate a diversi fattori, di sotto elencati e che spesso peraltro si concatenano, rendendo difficoltosa una sua corretta esecuzione:

- **Fattori climatici e ambientali;** è ormai noto come l'articolazione della struttura urbana comporti una profonda alterazione dei fattori ambientali modificando così il microclima e influenzando, di conseguenza, lo sviluppo e l'ecologia delle piante (Boselli, 1989; Savé et al., 2010). In particolare tali fattori possono essere individuati in disponibilità idrica non ottimale, salinità, radiazione solare e intensità luminosa, vento, inquinamento, infestati e ridotto spazio per lo sviluppo radicale (Fini e Ferrini, 2007; Bretzel e Pezzarossa, 2010; Savé et al. 2010). Tali fattori originano microambienti eterogenei, spesso limitanti, che sono quindi causa di stress abiotici, nonché di maggiore sensibilità agli stress biotici, con riduzione della capacità di sopravvivenza della pianta, o comunque della sua vita media. In particolare l'acqua e la gestione irrigua delle aree verdi vengono percepiti come fattori gestionali di maggior importanza, insieme con la gestione di fattori di stress biotici quali funghi, insetti, acari o infestanti. Rispetto a quest'ultimo punto va tenuto presente che le condizioni operative per il controllo di agenti biotici richiedono un'adeguata preparazione degli operatori del verde, sia per quanto previsto dalla normativa vigente inerente la lotta integrata obbligatoria (D. L.vo 150/2012 e PAN) sia per le complesse condizioni operative in ambiente urbano dovute alla continua presenza di utenti nelle aree verdi.
- **Fattori strutturali e progettuali;** nella progettazione delle aree verdi si è protratta a lungo la superficialità concettuale manifestata con piante usate come arredo dell'ultima ora, scelte spesso da non esperti (geometri, ingegneri, architetti) in base all'estetica, senza avvalersi magari della consulenza di professionisti. Tutto ciò ha avuto come conseguenza la realizzazione di opere a verde raffazzonate, spesso prive d'impianto d'irrigazione, destinate a far crescere male le piante scelte, con rischio di morte o ancor peggio di continua presenza di malattie attratte

dalla sofferenza. Questo comporta la presenza di aree verdi su cui risulta difficile intervenire in maniera adeguata per l'ottenimento/mantenimento di verde di qualità, l'instaurarsi di condizioni di pericolo legata a scarsa stabilità di alberature, nonché l'esecuzione di interventi estremamente dannosi per le piante. Ne sono esempio gli interventi di capitozzatura su alberi di prima grandezza, conseguenza dell'averli posizionati a ridosso di strutture in cemento o strade, senza rispettare opportuni spazi necessari per un corretto sviluppo della pianta. Numerosi sono anche i casi di caduta di alberi legati sia a uno sviluppo inadeguato degli apparati radicali, sia a danneggiamenti degli apparati stessi, a causa della presenza di sottoservizi o di lavori di realizzazione/manutenzione degli stessi in prossimità di alberature. La superficialità con cui il verde pubblico è gestito (con delle eccezioni per fortuna) comporta inoltre la progettazione di impianti irrigui inefficienti, o meglio non in grado di garantire un'adeguata distribuzione, per uniformità e quantità, dell'acqua in funzione delle reali esigenze idriche dell'area verde, e quindi non in grado di assicurare un uso razionale della risorsa idrica. In effetti, la progettazione degli impianti irrigui dovrebbe seguire la norma UNI EN 12484-5 (ultime integrazioni, versione 2003). Tale norma viene a oggi raramente applicata e comunque mal si applica se la progettazione dell'impianto è demandata a idraulici edili che non conoscono le esigenze idriche delle piante o comunque alle fasi successive alla messa a dimora delle piante. Prova ulteriore della sua scarsa e comunque difficile applicazione è che, nonostante tale norma sia stata introdotta nel 2001, non ne esiste ancora una versione aggiornata integralmente tradotta in italiano (l'ultima disponibile è la UNI EN 12484-2).

- **Fattori legislativi/amministrativi ed economici;** nonostante la legislatura si sia espressa in merito alla gestione del verde pubblico (Legge 10 del 14 gennaio 2013 – Norme per lo sviluppo degli spazi verdi urbani, G.U. n. 27 del 1 febbraio 2013, Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi della pubblica amministrazione, PAN GPP, aggiornato con Decreto 10 aprile 2013, G.U. n. 102 del 3 maggio 2013, contenente in Allegato 1 i Criteri Ambientali Minimi, CAM, per l'affidamento del servizio di gestione del verde pubblico) e nonostante ogni comune italiano si sia dotato di regolamenti del verde, che normano sia il verde pubblico che il privato, spesso tali norme vengono disattese, ad esempio affidando la gestione di aree verdi pubbliche ad associazioni cittadine di volontariato o comunque a ditte che, nonostante quanto previsto nell'allegato 1 inerente i CAM per l'affidamento del servizio di gestione del verde pubblico, operino senza una reale e comprovata esperienza agronomica, spesso senza avere ricevuto corsi sulla sicurezza obbligatori per ditte di manutenzione specializzate. Di fatto la scarsità di fondi a disposizione delle amministrazioni per la gestione del verde rende particolarmente difficile un'adeguata gestione, senza tener conto che, soprattutto nelle amministrazioni più piccole, non sempre esiste un ufficio tecnico preposto o comunque tale servizio non viene affidato a personale esperto del settore. Attualmente l'esempio di regolamento del verde più importante, spesso utilizzato da altre amministrazioni come guida, è sicuramente rappresentato, per attenzione, competenza e completezza rispetto a tutti gli aspetti legati alla gestione del verde, dal Regolamento del Verde Pubblico e Privato della Città Di Torino (Regolamento n. 317 approvato con deliberazione del Consiglio Comunale in data 6 marzo 2006, esecutiva dal 20 marzo 2006 e successive modifiche), formato da 7 capitoli, 90 articoli e 14 allegati.
- **Fattori legati alla professionalità degli operatori del verde;** nonostante esista la qualifica di giardiniere professionista (albo istituito in data 06/07/2016), come anche l'opportunità di rivolgersi ad arboricoltori certificati, tali professionalità vengono raramente richieste, sia a livello pubblico che privato, anzi tali professioni vengono sovente considerate come un'alternativa alla disoccupazione e intrapresa da "operatori" derivanti da altri settori, (edilizia, idraulica etc.) e quindi impreparati. Ciò è reso evidente dalla frequenza con cui è possibile osservare opere di manutenzione del verde del tutto discutibili, quali interventi di potature drastiche sulle alberature (capitozzature), scelta di specie non adatte all'area a cui sono destinate o impianti irrigui inefficienti.

È evidente come ai fini di un'ottimale gestione del verde sia necessario cercare di superare le criticità sopra descritte, progettando il verde in maniera consapevole, applicando al meglio le normative

vigenti, avvalendosi di operatori e tecnici qualificati e, non ultimo, sfruttando nuove tecniche e tecnologie in grado di rendere tale gestione sempre più efficiente e, per assurdo, meno costoso.

In particolare negli ultimi anni sono stati messi a punto tecnologie e sistemi ai fini di un uso razionale della risorsa idrica in agricoltura, applicabili anche alla gestione di aree verdi. Tali sistemi sono basati su sensori, collegabili in remoto a idonei software, in grado di rilevare o il contenuto idrico del suolo (*Soil Moisture Sensor*), o lo stato idrico della pianta tramite sensori *contactless* (i.e. sensori termici, multispettrali e iperspettrali), o di stimarne il tasso di evapotraspirazione tramite monitoraggio delle condizioni meteorologiche (*Weather-Sensing*), permettendo quindi la gestione degli interventi irrigui basandosi sulle reali esigenze dell'area verde (Pittenger et al., 2004; Farina e Bacci, 2005; White e Raine, 2008). Questi sistemi, in grado di lavorare anche in maniera integrata tra loro, applicati a impianti d'irrigazione ben progettati e realizzati, sono in grado di garantire un uso razionale ed efficiente dell'acqua irrigua, fattore quest'ultimo sempre più limitante, anche senza la presenza costante di un operatore, riducendo sensibilmente anche il consumo energetico. Un'adeguata gestione della risorsa idrica viene a oggi, infatti, considerata fattore fondamentale nella gestione del verde, non solo perché si tratta di un bene non sempre disponibile in quantità e qualità sufficiente, soprattutto se si considera l'acqua destinata a uso potabile, ma anche perché i sistemi d'irrigazione, rappresentano una voce di costo importante nella progettazione del verde (i.e. costi di progettazione e realizzazione, manutenzione, costo dell'acqua e di energia elettrica a servizio).

L'importanza della gestione idrica nel verde urbano, sia pubblico che privato, è testimoniata da programmi istituzionali e progetti diffusi in tutti il mondo, quali il programma "WaterSense", promosso dalla *United States Environmental Protection Agency* (<https://www.epa.gov/watersense>), il programma *Integrated Urban Water Management* (IUWM), promosso nell'ambito del *United Nations Environment Programme*, dalla *Division of Technology, Industry, and Economics dell'International Environmental Technology Centre* (UNEP- DTIE – IETC), il programma *Water Sensitive Urban Design* in Australia (*Evaluating Options for Water Sensitive Urban Design – A National Guide del Joint Steering Committee for Water Sensitive Cities*, 2009), il progetto internazionale SWITCH (2006-2011), *Managing Water for the City of the Future*, finanziato dalla Commissione Europea o la costituzione di gruppi di lavoro quale *l'European Innovation Partnerships (EIP) Water*, in cui al suo interno è possibile trovare sottogruppi su diverse tematiche, tra cui il gruppo *Water & Irrigated agriculture Resilient Europe (WIRE)* o il gruppo *CITY BLUEPRINTS- Improving Implementation Capacities of Cities and Regions* (<https://www.eip-water.eu/>).

Altri aspetti importanti della gestione del verde che rappresentano non solo una voce di costo e di impegno di manodopera notevole, ma che sono fondamentali a garantire la funzionalità estetica del verde sono da individuarsi nelle potature, nel taglio del tappeto erboso e nella gestione fitosanitaria.

In tali casi, rispetto alla gestione idrica per la quale, come già discusso, sono state messe a punto diverse soluzioni o che comunque è oggetto continuo di studi e sviluppi tecnologici, non esistono particolari soluzioni tecnologiche in grado di razionalizzare numero e tipologie di intervento, se non poche applicazioni dedicate, o meglio sviluppate per contesti specifici, quali tappeti erbosi intensivi dei campi da golf. Ne sono un esempio il modello di Gelernter e Stowell messo a punto per la programmazione degli sfalci dei tappeti erbosi (Gelernter e Stowell, 2005), nonché sistemi di allarme e programmazione degli interventi per alcune malattie crittogame dei tappeti erbosi basati sulla misura della *Leaf Wetness Duration (LWD)* (Madeira et al., 2001; Sentelhas et al., 2007; Keskin, 2008).

In realtà tali sistemi possono essere impiegati anche per la gestione di aree verdi urbane pubbliche e private, in cui spesso le superfici coperte a tappeto erboso sono notevoli, ma la gestione generale è resa molto più complessa dalle numerose specie vegetali presenti, caratterizzate da fabbisogni idrici, nutrizionali e manutentivi (potature) diversi tra loro, nonché caratterizzati da una diversa suscettibilità a diversi agenti biotici (insetti, acari, funghi, infestanti etc.).

Al momento pochi sono gli strumenti a disposizione per una gestione del verde in grado di fornire elementi utili ed integrati per una gestione razionale di tutte le diverse tipologie di intervento che possono essere necessarie in un'area verde. Un esempio su tutti è quanto sviluppato dal Progetto di Ricerca **GARANTES**, (Gestione Avanzata e controllo Remoto di Aree verdi: Nuove Tecniche per la Sostenibilità), finanziato dalla Regione Toscana nell'ambito del Programma di Sviluppo Rurale 2007-2013. Obiettivo primario è stato quello di mettere a punto un sistema esperto per la gestione in remoto di aree verdi, consentendo una gestione programmata degli interventi in funzione delle reali esigenze

di un'area verde, quali programmazione dell'irrigazione, programmazione degli interventi fitosanitari e/o di potatura, concimazione etc. (Bacci et al. 2012; Romani et al., 2012; Bacci et al. 2013; Cacini et al., 2016). Tale sistema, sviluppato nel corso delle attività di progetto, in realtà continua a essere studiato, aggiornato e implementato al fine di renderlo maggiormente applicabile e affidabile.

La sensoristica e le tecnologie oggi disponibili consentono quindi di sviluppare sistemi di monitoraggio continuo e caratterizzazione di aree ben definite e consentono quindi di sviluppare modelli previsionali in grado di fornire informazioni utili sia per la progettazione del verde, sia per la sua manutenzione, garantendo una gestione razionale delle risorse economiche e ambientali. Tali strumenti sono quindi fondamentali a garantire un verde sostenibile, anche dal punto di vista economico, se accompagnati da un'adeguata politica di programmazione, progettazione e realizzazione delle aree verdi stesse (FAO, 2016). Tuttavia se da un lato sono molte le soluzioni sul mercato già funzionali (e.g. gestione irrigua, gestione dei tappeti erbosi intensivi), molto resta da fare nel settore ornamentale per la messa a punto di sistemi di allarme per malattie e parassiti tipici di tali specie, capaci quindi di razionalizzare l'uso di prodotti fitosanitari, o comunque di sistemi di predizione di altri interventi quali concimazione o potatura.

In effetti, come risultato dalle criticità emerse durante il progetto *GARANTES* e motivo per il quale gli studi in tal senso stanno proseguendo, il numero e l'eterogeneità di specie impiegate nel settore ornamentale, tutte caratterizzate da necessità e problematiche diverse, è il fattore limitante nello sviluppo di un sistema quale *GARANTES*, rispetto a quanto già disponibile per sistemi produttivi monoculturali intensivi, quali vigneti, frutteti in genere colture orticole protette o di pieno campo etc..

La sfida verso una gestione del verde razionale e sostenibile non può prescindere quindi da una maggiore conoscenza delle specie ornamentali stesse, nonché da studi volti a implementare, aggiornare e migliorare la sensoristica per il monitoraggio e i sistemi predittivi finalizzati alla gestione razionale, sostenibile ed economicamente conveniente di specie ornamentali.

BIBLIOGRAFIA

- Bacci L., Battista P., Rapi B., Romani M. (2012). *Garantes Project - Advanced management and remote control of green areas: new techniques for the sustainability*. GREEN WEEK 2012, Brussels (Belgium), 23 May 2012.
- Bacci L., Battista P., Fiorillo E., Rapi B., Rocchi L., Romani M., Sabatini F., Zantonetti S., Mati F., Moro M., Tredici F., Cacini S., Pacifici S., Burchi G. (2013). *GARANTES - Gestione Avanzata e controllo Remoto di Aree verdi: Nuove Tecniche per la Sostenibilità: Relazione tecnico-scientifica Coordinata*. Pistoia, 12 dicembre 2013, pag. 40.
- Boselli M. (1989). *Ecosistemi urbani ed adattabilità delle specie vegetali*. *Acer*, 6: 15-19.
- Bretzel F., Pezzarossa B. (2010). *Sustainable management of urban landscapes with wildflowers*. Proceeding of the Second International Conference on Landscape and Urban Horticulture. *Acta Horticulturae*, 881: 213-220.
- Cacini S., Battista P., Massa D., Rapi B., Romani M., Sabatini F. (2016). *GARANTES: un sistema di supporto per una gestione sostenibile degli interventi irrigui e del controllo dei fitoparassiti in aree verdi urbane*. Conferenza "Tecnologie e innovazione per una gestione sostenibile dell'agricoltura dell'ambiente e della biodiversità (Ti4AAB)", 7-8 Luglio 2016, Certosa di Calci (PI), Università di Pisa. https://www.researchgate.net/publication/306077586_GARANTES_un_sistema_di_supporto_per_una_gestione_sostenibile_degli_interventi_irrigui_e_del_controllo_dei_fitoparassiti_in_aree_verdi_urbane
- Caragliu A., Del Bo C., Nijkamp P. (2009). *Smart cities in Europe*. 3rd Central European Conference in Regional Science – CERS: 45-49.
- FAO (2016). *Guidelines on urban and peri-urban forestry*, by F. Salbitano, S. Borelli, M. Conigliaro and Y. Chen. *FAO Forestry Paper No. 178*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, pag.172.
- Farina E., Bacci L. (2005). *Sensori per l'irrigazione: valutazione d'uso in substrati colturali e applicazioni*

di campo. *Italus Hortus*, 12 (6): 69-84.

- Fini A., Ferrini F. (2007). *Influenza dell'ambiente urbano sulla fisiologia e la crescita degli alberi*. *Italus Hortus*, 14 (1): 9-24.
- Gelernter, W., Stowell L. (2005). *Improved overseeding programs 1. The role of weather*. *Golf Course Manage.* March: 108–113.
- Keskin M. (2008). *Review of Sensor Studies for Environment-Friendly Input Application for Golf Courses*. 10th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, 14-17 October 2008, Antalya-TURKIYE
- Madeira A.C., Gillespie T.J., Duke C.I. (2001). *Effect of Wetness on Turfgrass Canopy Reflectance*. *Agricultural and Forest Meteorology* 107:117– 130.
- Pittenger D.R., Shaw D.A., Richie W.E. (2004). *Evaluation of weather-sensing landscape irrigation controllers*. Report submitted to Office of Water Use Efficiency, California Department of Water Resources. Available at: <http://ucce.ucdavis.edu/files/filelibrary/5764/21863.pdf>. Accessed 13/12/2011.
- Romani M., Rapi B., Battista P., Mati F., Bacci L. (2012). *Nuove tecnologie per il monitoraggio e la gestione dei giardini storici*. *SCIRES-IT*, Vol 2, Issue 1: 105-120.
- Savé R., De Herralde F., Aranda A., Biel C. (2010). *Potential effects of global change to urban vegetation: vulnerability and adaptation*. Proceeding of the Second International Conference on Landscape and Urban Horticulture. *Acta Horticulturae*, 881: 443-450.
- Sentelhas, P.C., T.J. Gillespie, E.A. Santos (2007). *Leaf Wetness Duration Measurement: Comparison of Cylindrical and Flat Plate Sensors Under Different Field Conditions*. *Int J Biometeorology* 51: 265–273.
- White S., Raine S.R. (2008). *A grower guide to plant based sensing for irrigation scheduling*. National Centre for Engineering in Agriculture Publication 1001574/6, University of Southern Queensland, Toowoomba, pag. 57.

3.4

TENDENZE TECNOLOGICHE E PROGETTAZIONE: dalla domotica alla progettazione del verde

Follesa S.⁽¹⁾

¹ UNIFI – DIDA Dipartimento di Architettura, Firenze

3.4.1 INTRODUZIONE

Il profondo modificarsi dei modelli organizzativi della società e lo sviluppo crescente di nuove tecnologie stanno radicalmente cambiando il nostro modo di abitare, sempre più transitorio, condiviso e connesso, ma anche consapevole delle sfide energetiche e vigile sugli aspetti ecologici. Queste modifiche culturali impongono conseguenti trasformazioni agli spazi abitativi; la “città liquida” di Bauman sta ridisegnando le nostre case, generando nuovi bisogni e funzioni che interessano anche il nostro rapporto col sistema del verde. La diminuzione del tempo che le persone trascorrono nelle proprie dimore, l’evoluzione verso un progressivo “nomadismo” dell’abitare, il crescente interesse verso forme di coltivazione fuori-suolo, incidono sul rapporto col verde privato e implicano l’adozione di procedure e tecnologie che possano ridefinire l’interazione tra l’uomo e le piante. I mutamenti in corso si sviluppano prevalentemente in due direzioni: le reti di sostegno allo sviluppo e alla definizione dell’abitare e l’interazione col sistema degli oggetti.

3.4.2 ABITARE E CONNESSIONI

Il ritorno al nomadismo come scelta di vita, seppure in forme diverse dall’abitare nomade del passato, e in generale la mobilità richiesta dalla società globale, comportano necessariamente una trasformazione dei sistemi organizzativi dell’abitare. In tali sistemi prevalgono le modificazioni degli spazi legate ad un pervasivo utilizzo dei sensori e dei sistemi di connessione che, penetrando negli oggetti, rendono gli ambienti intelligenti consentendone un controllo in termini energetici e percettivi. Su questo sistema in divenire interviene la modifica delle modalità abitative e il conseguente sistema di infrastrutture di ausilio all’abitare, che diventa talvolta “abitare comune”, concretizzandosi nella condivisione di ambienti, funzioni e relazioni digitali tra gli oggetti, i servizi e gli spazi.

In centri urbani sempre più popolosi lo sfaldamento della coesione sociale rende l’individuo più solo e con una bassa percezione di sicurezza sociale, inducendolo a sviluppare sistemi abitativi che consentano la difesa della sfera individuale all’interno di sistemi di protezione collettivi. Il *cohousing*, che nasce alla fine degli anni ’70 nei paesi scandinavi (dove si anticipavano problematiche sociali come la precarietà del mercato del lavoro, la dissoluzione della famiglia tradizionale e la crescita dei nuclei familiari monogenitoriali), propone modelli abitativi che riassociano attività professionale e vita domestica come possibile soluzione contro la crescente atomizzazione e solitudine delle grandi città.

Già nel Cinquecento e nel Seicento l’*Utopia* di Thomas More e la *Città del Sole* di Tommaso Campanella presentavano la vita comunitaria quale alternativa concreta alla deriva individualistica e ispirazioni analoghe hanno in seguito animato le comuni hippy degli anni Sessanta e le sperimentazioni radicali degli anni Settanta, ma la condivisione oggi è resa maggiormente possibile dal sistema delle connessioni e non si limita agli spazi e ai rituali, ma diventa sempre più condivisione delle cose. Un nuo-

vo modo di abitare che permette di creare reti tra gli inquilini, riportando in auge l'originale significato di vicinato. Oltre agli spazi infatti, si condividono attività, aree verdi e coltivazioni, corsi e interessi, spingendosi fino alla creazione di piccole comunità, come quelle dei gruppi di acquisto su filiere corte; un nuovo modo di vivere che fa della socialità e della razionalizzazione delle risorse i cardini di un nuovo approccio all'abitare.

La rete Internet ha nel suo codice genetico l'idea di cooperazione e condivisione e tale idea è congeniale ad una "facilitazione" dell'abitare. Il fenomeno del car sharing è condivisione del possesso di un'auto ma la rete ti consente al contempo di individuare il luogo dove prelevare il mezzo e ti aiuta poi a muoverti in ambienti non conosciuti. Ugualmente cresce nelle città la possibilità di sostituire l'auto con altri mezzi o di trovare, sempre attraverso la rete, chi può offrirti un passaggio, perché ha la tua stessa destinazione. Un progressivo sviluppo di nuove tecnologie si estende al servizio taxi e bus e ne demolisce le alte barriere di regolamentazione. In uno scenario di frigoriferi e dispense sempre più vuoti a causa della velocità dei ritmi e delle continue migrazioni abitative, le applicazioni per ordinare cibo *online* si moltiplicano. Si tratta di una nuova idea di città, abitabile in forme e dimensioni diverse dal passato, fortemente mediatica, che partecipa al processo di trasformazione della vita associata e pratica le poetiche dell'effimero. In tale ottica il rapporto col sistema del verde rischierebbe di essere sicuramente compromesso, ma in soccorso alla rinnovata consapevolezza ecologica sopraggiungono le nuove tecnologie che si sviluppano da un lato come evoluzione dei sistemi domotici di controllo degli impianti dell'abitazione, dall'altro come evoluzione degli oggetti che assumo un ruolo attivo all'interno dei processi abitativi.

La domotica e la gestione dell'abitare

La domotica è la scienza che si occupa della gestione remota degli impianti nell'abitazione. Il termine domotica proviene dal neologismo francese "*domotique*" che nasce dall'unione delle parole *domus* e *automatique* e sta ad indicare una gestione automatica dell'abitazione. Tuttavia nel trascorrere degli anni e nel modificarsi delle esigenze abitative e delle tecnologie, la domotica ha assunto via via differenti connotazioni orientandosi verso il raggiungimento di obiettivi di risparmio energetico e di miglioramento della qualità della vita, favorita dall'evoluzione dei sistemi *wireless* di raccolta e diffusione dei dati e dalle applicazioni per *smartphone* che sono alla base dei nuovi processi di connessione tra le persone e tra le persone e le cose. Una più corretta definizione di domotica è oggi quella di "disciplina che attraverso l'integrazione degli impianti all'interno degli edifici permette un controllo ed una gestione più efficiente, garantendo allo stesso tempo un miglioramento della qualità della vita".

Oggi le tecnologie domotiche consentono il controllo remoto di quasi tutti gli elementi tecnici delle abitazioni, dal riscaldamento al raffreddamento, dall'illuminazione all'accensione e spegnimento degli elettrodomestici, dall'apertura e chiusura degli infissi al rilevamento di malfunzionamenti (incendi, perdite di gas o acqua) sino al controllo della sicurezza che rappresenta uno dei principali ambiti applicativi. Ma le applicazioni domotiche possono spingersi anche verso l'integrazione dei servizi; ad esempio aziende come Whirpool ed Elettrolux stanno elaborando sistemi automatici che interfacciano attraverso il PC la diagnosi del frigorifero con i supermercati. Questi ultimi eseguono la consegna a domicilio in box con compressori esterni alle abitazioni che mantengono i prodotti freschi sino all'arrivo dell'utente, ottenendo il pagamento della spesa tramite carta di credito.

Tali tecniche vengono applicate in egual misura negli edifici privati e negli edifici pubblici dove le tecnologie HBES (*Home and Building Electronic System*) e i sistemi BUS (*Binary Unit System*) sono ormai utilizzati per la gestione dei principali musei. Oltre a ciò uno dei territori di sviluppo della disciplina è rappresentato dai sistemi di controllo dell'efficienza energetica delle architetture, attraverso la gestione dei relativi impianti. Tale gestione comprende, se pure in maniera differente, il tema dei consumi di energia e il tema del controllo della produzione di rifiuti e di emissioni (prevalentemente di CO₂), che costituiscono fonti di inquinamento ambientale.

Tra gli ambiti applicativi ai fini di una riduzione dei consumi figurano sempre più anche sistemi dinamici che consentono, ad esempio, la gestione del clima indipendente per le diverse parti di un edificio o di una abitazione, l'accensione automatica delle luci al passaggio degli utenti, la disattivazione della termoregolazione in caso di apertura di porte e finestre, l'automatizzazione del riscaldamento in funzione della presenza o assenza delle persone, la temporizzazione degli elettrodomestici, la gestione automatizzata di tapparelle e tende da sole o di sistemi di ombreggiatura in relazione all'irraggiamento

del sole. Tutte queste procedure contribuiscono al contempo alla riduzione dei consumi di energia e alla riduzione delle emissioni.

I BACS (*Building Automation and Electronic System*) sono sistemi di automazione e controllo degli impianti presenti in un edificio. Essi controllano, attraverso tecnologie TBM (*Technical Building Managment*), le applicazioni relative al riscaldamento, ventilazione, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria ed illuminazione per aumentare l'efficienza di tali processi attraverso azioni preventive e correttive (diagnostica, rilevamento consumi).

Un sistema domotico è, prima di tutto, una rete che scambia informazioni tra nodi connessi, da realizzarsi attraverso cavi che collegano i diversi terminali o segnali che viaggiano su radiofrequenze. Queste ultime, in passato utilizzate esclusivamente per la trasmissione di programmi radio-televisivi, sono oggi alla base delle connessioni tra i dispositivi informatici Bluetooth e WiFi¹, tra di loro e verso il mondo esterno. Inizialmente sono state introdotte nelle tecnologie domotiche nei sistemi di apertura/chiusura di serrande e cancelli, per poi trovare larga diffusione anche nei sistemi antieffrazione. Un impianto domotico *wireless* è composto da un'unità centrale (in genere un personal computer dedicato o una centralina domotica), che costituisce il cuore del sistema e comunica con dispositivi ausiliari, che raccolgono i segnali e li traducono in azioni sui dispositivi connessi presenti tra le mura domestiche. Le comunicazioni possono avvenire anche da remoto, grazie a sistemi di controllo a distanza per i quali è sufficiente avere un collegamento Internet e la casa può essere monitorata attraverso un computer, un tablet o uno smartphone.

La domotica e il verde.

Tra le applicazioni dei sistemi di domotica figurano le nuove tecnologie per il controllo del verde all'interno e all'esterno delle abitazioni. L'obiettivo minimo è quello della gestione da dispositivi mobili o fissi, dei sistemi di irrigazione, ma le applicazioni domotiche per il verde si sono recentemente orientate verso un controllo più esteso e radicale, che va dalla razionalizzazione degli interventi irrigui al monitoraggio del terreno, dal controllo microclimatico a quello fitosanitario, anche tramite acquisizione di immagini da videocamere e connessione diretta con centri specializzati; le app diventano il "cruscotto" da cui gestire il verde domestico.

La necessità è quella di superare i modelli esistenti di rapporto passivo attraverso tecnologie in grado di dare coerenza e continuità alla gestione del verde e delle risorse, lasciando libero l'individuo di operare secondo proprie legittime priorità. Questo può essere fatto rispondendo alle esigenze delle piante tramite sistemi automatici, anche connessi tra loro o parte di reti più ampie gestite da esperti esterni, che assicurino l'accesso immediato alle informazioni tecniche richieste. Queste nuove tecnologie potrebbero divenire elementi cardine di un cambiamento, in grado di supplire alle carenze derivanti dalla perdita di appartenenza dell'individuo all'ambiente e di promuovere un rinnovato rapporto col verde. Le conoscenze che avevano le generazioni che ci hanno preceduto legate alla terra e alle sue produzioni quindi, possono essere trasferite con successo a sistemi automatici, anche controllabili a distanza, in grado di assicurare una gestione ottimale delle risorse.

Ad un supporto di conoscenza sono legate alcune applicazioni per smartphone, in parte ad accesso libero ai fini di una maggiore diffusione, e con obiettivi diversi e talvolta complementari.

- **IScape, MyPlants e Garden Compass Plant** sono applicazioni gestionali per iPhone, iPad o Android per fiori e piante da giardino, studiate per seguire la vita di una pianta fin dalle prime fasi di progettazione o di preparazione di un giardino o di un orto. Forti di schede dettagliate delle differenti specie, hanno scadenziari che suggeriscono quando annaffiare e concimare le piante in funzione dei bisogni di ognuna. Altre applicazioni hanno obiettivi più specifici, come ad esempio:
- **Officinalis HD**, che ha come obiettivo la diffusione e l'utilizzo delle erbe in cucina per il benessere naturale; contiene un archivio di piante officinali e ricette per la preparazione di prodotti salutari quali infusi e decotti;

¹ Il bluetooth viene considerato un sistema PAN (Persona Area Network) mentre il WiFi è un sistema LAN (Local Area Network), pur lavorando nella stessa frequenza hanno portate e potenze impiegate differenti.

- **Skydrop** (Fig. 3.2), in grado di determinare i tempi di irrigazione ottimali consentendo un risparmio sul consumo di acqua. La tecnologia *Skydrop* si connette tramite la rete Wi-Fi per monitorare le stazioni meteorologiche locali e verifica in tempo reale i dati meteo specifici;



Fig. 3.2 - Il cruscotto dell'applicativo Sky Drop.

- **Buycott**, un piccolo scanner che, passato sul prodotto che vogliamo analizzare, riuscirà a risalire alle aziende che si celano dietro ai marchi multinazionali sino a risalire alla vera natura di un prodotto e ai suoi legami con aziende definite "non etiche" a causa delle loro pratiche non sostenibili. Ad esempio, potremo sapere se stiamo mangiando dei cereali a colazione, da colture OGM;
- **IBarter**, un'applicazione geolocalizzata gratuita che permette un vero e proprio mercato relativo al riciclo creativo. L'applicazione permette infatti di barattare oggetti e servizi; il concetto alla base di *iBarter* è analogo e simile per certi versi alla banca del tempo.

Ad un livello successivo avviene l'interazione tra il sistema delle app e gli oggetti in grado di compiere azioni sul verde:

- **Botanicalls**, le cui prime applicazioni risalgono al 2006, progettato da quattro ex-studenti della New York University: Robert Faludi, Kate Hartman, Kati Londra e Rebecca Bray che, partendo da una scheda Arduino, hanno messo a punto un canale di comunicazione virtuale tra le piante e gli esseri umani (Fig. 3.3). Un kit provvisto di sensori misura l'umidità del terreno dei vasi; quando il sistema registra un livello di umidità troppo basso fa scattare la chiamata tramite la centralina telefonica alla quale è collegato, un messaggio registrato parte in automatico non appena il proprietario della pianta risponde al telefono. Il sistema è costituito da un microcontrollore, un modulo ethernet e due sonde per rilevare l'umidità. Il progetto Botanicalls è fondamentalmente sulla comunicazione tra le piante e le persone. Consacrato da un apprezzamento transdisciplinare da parte della comunità scientifica, Botanicalls è stato inserito nella collezione permanente del Moma, il museo d'arte contemporanea di New York.



Fig. 3.3 Botanicalls: Sensori + scheda arduino + smartphone

- **Edyn Garden Sensor** è un sistema complesso composto da una app e da sensori che vengono inseriti nel terreno. Le condizioni ambientali all'interno del giardino sono in continua mutazione e il sistema della Edyn consente di monitorarne i cambiamenti in modo da poter anticipare e risolvere i problemi prima che essi si verifichino. I sensori controllano costantemente le condizioni dei vegetali e si collegano alla rete Wi-Fi per l'invio delle informazioni. La app, sulla base dei dati provenienti dai sensori e dalle previsioni meteo locali, controlla il sistema di irrigazione, somministrando alle piante esattamente la quantità d'acqua necessaria. Ciò consente di risparmiare nei consumi, ma al contempo il sensore rileva le condizioni di luce, umidità, temperatura e gli elementi nutritivi presenti nel suolo, incrociando tutte queste

informazioni con i database promuovendo un adattamento delle pratiche gestionali.

- **Flower Device** della Parrot ha uno sviluppo molto simile al precedente sistema della Edyn ma con in più un design dei terminali estremamente attuale e di grande rilevanza formale
- **Koubachi Wi-Fi Plant Sensor Indoor** consente misurazioni altamente precise dell'umidità del suolo, dell'intensità della luce e della temperatura e trasmette tramite Wi-Fi informazioni dettagliate per la cura delle piante via iPhone o Web.

3.4.3 GLI OGGETTI DEL VERDE

Nelle trasformazioni in corso sull'abitare figura, come già scritto, una rinnovata coscienza ecologica che porta a coltivare piante anche in spazi estremamente ridotti all'interno delle abitazioni. Nuove tecniche di coltivazione hanno generato una famiglia di oggetti "intelligenti" che sempre più popolano le nostre abitazioni. Molti di questi oggetti segnalano una crescente attenzione della disciplina design al tema del verde domestico sino ad oggi limitata alla riproposizione di materiali e tipologie consolidati. L'attenzione prevalente è quella su oggetti che consentano la coltivazione di piante all'interno delle abitazioni sfruttando le principali tecniche di coltivazione fuori suolo: idroponica, aeroponica e acquaponica.

- **The Green Wheel** è un progetto ideato inizialmente dalla NASA come sistema idroponico per la fornitura nello spazio di erbe fresche e insalata in ambienti ristretti. Il concept è stato ridisegnato dallo studio italiano DesignLibero e miniaturizzato per un utilizzo casalingo (Fig. 3.4). Si compone di una ruota in fibra di cocco, un piccolo serbatoio d'acqua alla quale attingono le radici delle piantine non appena passano per quel punto (circa una volta all'ora grazie al lavoro di un piccolo motorino elettrico). La ruota mostra diverse cavità o vasetti in grado di ospitare decine di esemplari. Al centro della ruota trova posto un tubo LED che si occupa di fornire luce adeguata in caso di luoghi particolarmente bui.
- Sullo stesso concetto si sviluppa il progetto di **AeroGarden** che dispone di una copertura con lampada, una camera idroponica di nutrienti e un sistema di controllo computerizzato che innaffia le piante al momento giusto e accende e spegne le luci.
- **Windowfarms** è un progetto più complesso che nasce e cresce tramite una community da cui è possibile scaricare le istruzioni dettagliate per creare un proprio orto idroponico verticale. Ogni alloggiamento di ogni pianta viene alimentato con una soluzione nutriente, automaticamente e lentamente, grazie ad un set di pompette regolate da un timer. La soluzione viene trasportata in alto da dove poi scende da pianta a pianta, alimentandole tutte. Un'intera colonna di Windowfarm può contenere fino a otto piante e può essere acquistata in rete o autocostruita.



Fig. 3.4- Green Wheel di DesignLibero.

Altri oggetti contaminano gli elementi d'arredo di una abitazione col tema del verde.

- **Grass Lamp** è una combinazione di giardinaggio e design d'interni; è una lampada da interni progettata dal designer serbo Marko Vučković che consente di far crescere micro-piante utilizzando solo acqua e la luce al LED (Fig. 3.5). Una luce LED a risparmio energetico fornisce abbastanza illuminazione per consentire alle piante di crescere.



Fig. 3.5 Grass Lamp di Marko Vučković.

- Il progetto **The Phytophiler** dello studio milanese Dossofiorito ha l'obiettivo di interagire e comunicare, attraverso delle estensioni funzionali con le micro-piante presenti nelle abitazioni (Fig. 3.6). Comprende una serie di vasi in terracotta sui quali, attraverso un sistema di fori, sono installate delle appendici funzionali: lenti di ingrandimento per l'accurata osservazione delle foglie; specchi per favorire una visione totale della pianta e per moltiplicarne la bellezza; vasi sonori per stimolare lo sviluppo della pianta attraverso delle vibrazioni; un piccolo giardino aggiuntivo per far apparire un arbusto da interni come un albero che domina un prato; una struttura in rete, per consentire a un rampicante di crescere e creare una pergola domestica; e ancora piccoli vasi che, come satelliti, accolgono piantine di altre specie, a creare un microclima in cui l'umidità prodotta da ciascuna pianta si va a unire a quella delle vicine, per un benessere reciproco. Si tratta di utensili non comunemente usati per la cura delle piante, che rappresentano tentativi di interazione col mondo vegetale domestico.
- **Orto Green Design** è una collezione di oggetti dedicata alla coltivazione nel paesaggio domestico, progettata dal designer italiano Tommaso Mancini. Una linea di design sostenibile, che introduce nella quotidianità la cura di "fazzoletti di terra" e porta l'attenzione sulle nuove forme di agricoltura urbana. *Orto Ground Milano* è un contenitore in materiale biodegradabile, un mosaico di sette piccoli vasi che, in aggiunta di terra e semi, servono a coltivare un piccolo orto. Le piante, una volta cresciute, verranno trasferite direttamente in vasi più grandi sui balconi, negli orti urbani o in un giardino, senza bisogno di essere travasate, la peculiarità di *OrtoGround* è, infatti, che esso è progettato per compostarsi con il terreno e diventare nutrimento per le piante stesse (Fig. 3.7). *OrtoBrick* è un mattoncino di terra fertile, simile a una saponetta,

contenente i semi di una pianta, pronto all'uso. E' un semenzaio disegnato per sperimentare indoor la fase della germinazione e realizzato con differenti semi di piante orticole.



Fig. 3.6 - The Phytophiler di Dossofiorito.



Fig. 3.7 - Orto Green Design.

- **Volet Vegetale** dello studio francese Barreau & Charbonnet è una estensione per finestre costituita da tre vasi fissati ad un telaio mediante dei perni che permettono loro di restare sempre in posizione "dritta" (Fig. 3.9). La struttura è in grado di abbassarsi ed alzarsi grazie ad un sistema di barre, corde e tiranti. Questo sistema permette, a chiunque non abbia un balcone o un terrazzo, di poter ritagliare dello spazio e dedicarlo alla propria passione verde: in posizione orizzontale consente alle piante di godere maggiormente del sole; in posizione verticale, consente loro un riparo dalle intemperie.

E ancora, attorno al sistema del verde domestico, nascono start-up volte ad incentivare la diffusione di piccole colture domestiche. **Piccolo Veggies For Pots** è una start up italiana che ricerca, seleziona e distribuisce sementi adatte alla coltivazione in vaso. L'obiettivo è quello di far nascere ortaggi con la stessa passione che altri hanno per le piante ornamentali e dietro vi è un lavoro di ricerca, selezione e distribuzione di semi di varietà tradizionali di ortaggi adatti alla coltivazione in vaso. Nel 2015 **Piccolo Veggies For Pots** ha avviato diversi percorsi di attività didattica e laboratoriale sulla bio-diversità, la cultura del recupero delle antiche varietà di semi e workshop per introdurre all'*urban e home farming*.



Fig. 3.8 - Volet Vegetale.

Le direzioni sopra-esposte aprono una finestra sui nuovi scenari che si vanno definendo nell'interazione tra la disciplina design e le scienze agrarie e ambientali. Scenari in continua e progressiva evoluzione che, a causa dell'obsolescenza estetica e tecnologica, sono destinati a mutare continuamente rendendo inattuale ogni analisi al momento stesso della sua enunciazione. Esse hanno il valore di annotazione sullo stato dell'arte ma anche la volontà di segnalare possibili ipotesi di lavoro per gli anni a seguire.

3.4.4 BIBLIOGRAFIA

- Bauman S. (2006), *Vita liquida*, Laterza, Roma-Bari.
- Bellini O.E., Daglio L. (2015). *Il verde tecnologico nell'housing sociale*, Franco Angeli, Milano.
- Corrado M., Ferrari M. (2013). *Natural Design*, Wolters Kluwer Italia, Milano.
- Figini L. (2013). *L'elemento «verde» e l'abitazione* (rist. anast. 1950), Libraccio Editore, Milano.
- Herwing R. (1991). *Enciclopedia delle piante d'appartamento*, Zanichelli, Bologna.
- Moschella V. (2016) *Home automation con Arduino*, Sandit Libri, Bergamo.
- Nisco G. (2012). *Gli impianti domotici residenziali*, Maggioli Editore, Bologna.
- Prampolini G. (2012). *Prefazione* in Nisco G., *Gli impianti domotici residenziali*, Maggioli Editore, pag. 9.
- Trisciuglio D. (2009). *Introduzione alla domotica*, Tecniche Nuove, Milano.

3.5

PROSPETTIVE DEI SISTEMI INTEGRATI IN AMBITO REGIONALE: L'ESPERIENZA DEL CONSORZIO LAMMA.

Gozzini B.⁽¹⁾

¹ Consorzio LAMMA, via Madonna del Piano 10, Sesto Fiorentino (FI)

3.5.1 INTRODUZIONE

Il LaMMA, Laboratorio di Monitoraggio e Modellistica Ambientale per lo sviluppo sostenibile, è un consorzio pubblico tra Regione Toscana e Consiglio Nazionale delle Ricerche, così come definito dalla Legge Regionale Toscana 39/2009.

Inizialmente il LaMMA nasce per unire le competenze della ricerca scientifica del CNR con le finalità di pubblica utilità dell'amministrazione regionale, allo scopo di sviluppare conoscenza in campo ambientale e da questa realizzare prodotti e servizi ad alto valore aggiunto a favore del territorio e della collettività toscana. Oggi è una struttura tecnico-scientifica di alta qualificazione per realizzare attività di ricerca, sviluppo, cooperazione e trasferimento di conoscenze in campo ambientale, che fornisce supporto operativo per la gestione delle funzioni regionali per la protezione civile, la difesa del suolo, la tutela delle acque e dell'atmosfera, ed è in grado di progettare, sviluppare e gestire banche dati e servizi WEBGIS secondo gli standard internazionali, con un target di utenza anche più ampio di quello del solo territorio toscano. Inoltre partecipa, fin dalla propria costituzione, a progetti di ricerca e sviluppo a livello nazionale ed internazionale, così da mantenere una rete di contatti e relazioni internazionali tale da garantire il continuo aggiornamento delle competenze tecnico-scientifiche e fornire servizi sempre in linea con lo stato dell'arte dei vari settori. Lo studio e l'osservazione dei fenomeni rimane nel tempo la base sulla quale si fonda il trasferimento a livello operativo delle conoscenze acquisite, diretto allo sviluppo di soluzioni e servizi mirati per la Toscana e il suo territorio, in particolare per la definizione di politiche e strategie per la protezione e il controllo dell'ambiente.

3.5.2 MISSION E COMPETENZE DEL CONSORZIO

La mission del Consorzio LaMMA, riprendendone l'acronimo stesso, può essere declinata definendo alcuni obiettivi di massima:

1. **Il Monitoraggio:** interpretato in termini di valorizzazione delle reti e dei sistemi di misura esistenti sul territorio, la loro integrazione con strumenti allo stato dell'arte, la progettazione e sperimentazione di nuovi metodi di misura di parametri di grande rilevanza per la conoscenza dello stato ambientale. Negli strumenti sono compresi sia sistemi in situ che di osservazione remota, come radar e satelliti. Riguardo ai metodi l'innovazione risiede nell'estrarre informazioni precedentemente non disponibili, tramite l'integrazione di sorgenti eterogenee di misura esistenti o tramite l'utilizzo di strumenti nati per scopi diversi da quello di interesse. L'attività del Consorzio in questo ambito si esplica anche nello sviluppo di sistemi informativi per l'organizzazione e l'accesso alle misure disponibili.

2. **La Modellistica Ambientale:** interpretata in termini di integrazione delle misure esistenti per lo sviluppo di sistemi di modellazione dei fenomeni naturali a crescente accuratezza e definizione spaziale e temporale, secondo obiettivi stabiliti dai requisiti di qualità dell'informazione necessari per la gestione *science-based* delle emergenze e del territorio. L'attività di misura è sia fondamento dei processi di calibrazione e validazione dei sistemi di simulazione sia input dinamico nel processo di ricostruzione dei campi meteo-oceanografici di interesse tramite tecniche di assimilazione.
3. **Lo Sviluppo Sostenibile:** interpretato in termini di definizione e realizzazione prototipale di applicazioni e servizi per lo sviluppo del territorio ad esempio basati su tecnologie WEB GIS, che prediligano obiettivi di risparmio, sicurezza, efficienza e nuove forme di sfruttamento controllato delle risorse ambientali, secondo criteri scientifici di monitoraggio. Applicazioni e servizi possono essere sviluppati anche in prospettiva di trasferimento tecnologico.

Da queste premesse nasce la struttura logica organizzativa del LaMMA, schematizzata in figura 3.10. L'Infrastruttura dei Dati Spaziali (IDS) implementata presso il LaMMA, è lo strumento all'interno del quale vengono organizzati, secondo standard e specifiche internazionali, tutti i livelli informativi esistenti. IDS è dunque costituita dall'insieme dei dati, dei servizi resi disponibili ai vari utenti e ai cittadini, attraverso lo sviluppo di servizi di rete (webservices) realizzati con il Geoportale del LaMMA (Giannecchini et al., 2013), dalle modalità di organizzazione delle informazioni in maniera interoperabile e dagli strumenti hardware e software necessari per attuarle.

In pratica questa piattaforma è in grado di rappresentare al meglio il quadro conoscitivo di base del territorio su cui si deve operare, secondo i principi di condivisione ed interoperabilità promossi dalla normativa italiana ed europea, e costituisce il nodo su cui vengono inserite ed integrate le elaborazioni ed i dati derivanti dalle attività di monitoraggio e le simulazioni della modellistica ambientale tali da esemplificare in tempo reale la situazione esistente, valutarne la sua evoluzione nel breve, medio ed anche lungo periodo, costruire scenari, identificare nuove potenzialità di conoscenza derivanti dall'integrazione dei layer informativi, esponendo le risultanze specifiche di elaborazioni effettuate nella IDS di base.

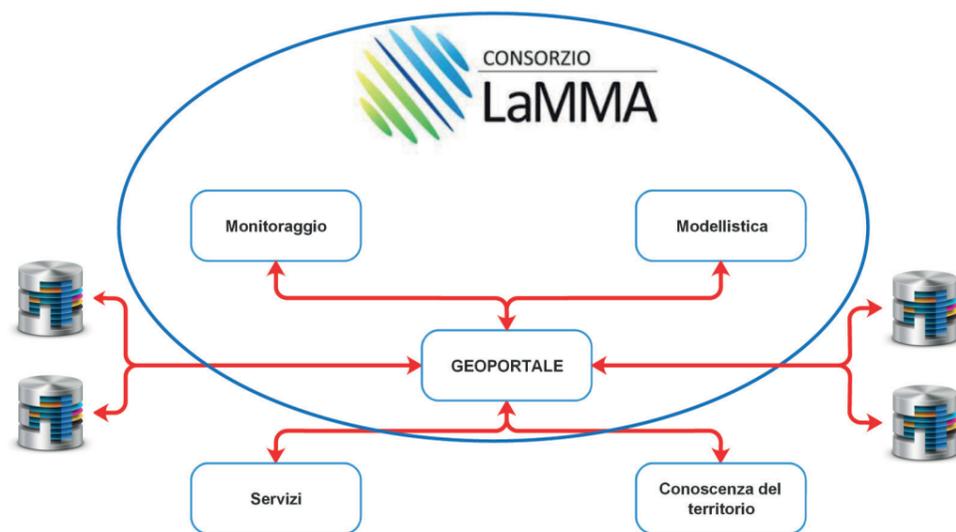


Fig. 3.10 - Schematizzazione grafica dei tasselli alla base della mission del LaMMA. I principali ambiti di competenza del Consorzio LaMMA

I principali ambiti di competenza del Consorzio LaMMA

Il LaMMA è oggi servizio meteo oceanografico regionale per la protezione civile. Inoltre le competenze interdisciplinari acquisite hanno permesso di sviluppare servizi specifici per attività di

interesse pubblico, ma anche di crescente rilevanza per le imprese, con le quali il Consorzio coopera in diverse iniziative nazionali ed europee. Necessità ambientali e più di recente anche contingenti, hanno favorito lo sviluppo di riconosciute competenze, in particolare di meteorologia marina e costiera, confluite anche in servizi specifici per i quali è richiesta elevata precisione e affidabilità. Fra questi possiamo ricordare il servizio meteo-marino ufficiale per le operazioni di recupero e trasferimento a Genova del relitto della Costa Concordia (con presenza costante presso la sala operativa Titan-Micoperi di Giglio Porto), il servizio meteo marino operativo per le operazioni della piattaforma di rigassificazione OLT a largo di Livorno (tramite CNR-IBIMET), nonché in molteplici progetti, fra cui progetti europei di meteorologia GNSS, a favore di servizi per la navigazione marittima, quali COSMEMOS e PROFUMO, progetti di oceanografia regionale, quali MOMAR e SICOMAR e di prevenzione del rischio idrogeologico quali RESMAR e PROTERINA-2.

Il LaMMA gestisce una rete regionale di strumenti di misura meteorologica e oceanografica, con una vocazione particolare verso la gestione di reti osservative ad alta tecnologia (quali ad esempio radar e robot marini). Questi strumenti comprendono tre radar meteorologici in banda X installati in zone costiere e insulari, un radar marino in banda X (in comodato d'uso dalla Regione Toscana), un mareografo, alcune stazioni meteo di ultima generazione ed alcune stazioni GNSS, di cui due riceventi anche il segnale Galileo, una delle quali installata su una nave traghetto (ME2 di Corsica Ferries). Inoltre è proprietario di diversi strumenti oceanografici e di un wave-glider SV3, veicolo autonomo di ultima generazione (robot marino a propulsione da moto ondoso e gestito da remoto), equipaggiato con strumenti elettroottici e acustici di varia tipologia per misure di parametri fisici, chimici e biogeochimici del mare, oltre a parametri atmosferici. Ai dati provenienti da tali sistemi osservativi, si aggiungono quelli di due radar marini HF della Regione Toscana (alla cui installazione ha contribuito il Consorzio), di due Ferry box (su navi Corsica Ferries) disponibili grazie al progetto SICOMAR, e quelli della rete di monitoraggio regionale a cui il LaMMA ha libero accesso, che oltre alle numerose stazioni meteo interne e costiere, consiste in alcuni correntometri, due boe ondometriche (fra le poche oggi operative in Italia) e nei campionamenti costieri operati da ARPAT. In particolare al LaMMA è richiesto un costante contributo nello sviluppo della rete meteo-oceanografica regionale.

Relativamente ai sistemi di previsione, il LaMMA opera su diverse catene di modelli stato dell'arte ad alta risoluzione, basate sul codice WRF per l'atmosfera (inizializzate sia con dati ECMWF sia GFS), WW3 per il moto ondoso (sull'intera area mediterranea), e ROMS per l'oceanografia regionale ad alto dettaglio, per i quali è in corso di sviluppo un'integrazione crescente con le sorgenti di misura disponibili. Tutto questo fa dell'area marino costiera toscana una delle aree più significativamente strumentate del Mediterraneo.

Le competenze acquisite dal LaMMA nell'ambito della modellistica meteorologica sono state utilizzate anche per lo sviluppo di particolari applicazioni, fra cui quelle riguardanti la qualità dell'aria, le cui stime vengono utilizzate a supporto del Piano regionale della qualità dell'aria.

Oltre alle attività legate alla previsione e prevenzione delle emergenze, il Consorzio LaMMA è operativo nel supporto alla gestione del post-emergenza, in ambito sia meteo-marino che territoriale. A questo proposito, a titolo di esempio, si riporta l'esperienza maturata a seguito dell'evento calamitoso del 5 marzo 2015, che ha colpito il territorio regionale causando notevoli danni al patrimonio forestale. Su incarico della Regione, in collaborazione con il Corpo Forestale e l'Accademia di Scienze Forestali, è stata realizzata la mappatura e la stima dei danni utilizzando dati telerilevati, compreso una ripresa aerea ad hoc con sensore LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*), e tecnologie GIS. Inoltre il LaMMA da alcuni anni garantisce il supporto tecnico all'amministrazione regionale nelle procedure di recepimento e attuazione della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE. In questo ambito continua attivamente a collaborare alla predisposizione e attuazione del PGRA (Piano Gestione Rischio Alluvioni).

Dal punto di vista dei servizi geologico e pedologico regionali il Consorzio ha fornito un importante supporto tecnico operativo realizzando approfondimenti conoscitivi, rilevamenti, elaborazione e gestione di dati e informazioni specialistiche per molteplici finalità di tutela ambientale, pianificazione territoriali e gestione delle relative banche dati.

Infine si è consolidato, nel corso degli anni, un'area di climatologia per lo studio dei cambiamenti climatici in atto sul territorio toscano, attraverso l'individuazione di eventuali segnali significativi e lo sviluppo di particolari prodotti fra cui le previsioni stagionali.

Verso un'Infrastruttura geografica

La complessità delle informazioni gestite nonché la relativa fornitura di servizi sono aspetti chiave dell'attività del Consorzio, che rendono necessario l'orientamento verso una infrastruttura geografica. Gli sviluppi strategici di ricerca sono sempre più connessi alle applicazioni trasversali: ne sono validi esempi le connessioni tra meteorologia/climatologia e geologia per lo sviluppo di sistemi di allerta o previsione dei rischi naturali, l'idrologia e l'oceanografia, per gli studi sulla risorsa idrica. Da ciò deriva che lo sviluppo della capacità di gestione di dati multidisciplinari è un requisito fondamentale nel quadro dei processi di analisi del Consorzio, insieme alla complessa amministrazione del binomio "ricerca – servizi". Uno degli aspetti più delicati, infatti, del trasferimento dei risultati della ricerca a livello operativo, è proprio quello di organizzare attività di verifica delle risultanze scientifiche nei diversi ambiti applicativi, cogliendo leggi più generali e completando il quadro informativo fino a rispondere alle esigenze operative degli utenti finali, ai vari livelli spaziali e temporali. Si tratta, quindi, di intervenire sui processi di raccolta e analisi delle informazioni multiscala, con modelli multi geometria a dettaglio variabile e fonti con diverso grado di precisione.

Per tale motivo, negli ultimissimi anni si è sentita la necessità di creare un'adeguata infrastruttura gestionale, in grado di tener conto sia delle caratteristiche dei repository sia delle strutture dati funzionali all'analisi e alla modellizzazione dei fenomeni, per lo sviluppo di applicazioni multi-operative. Tale piattaforma deve essere sufficientemente flessibile da garantire aggiornamenti ed integrazioni in tempo reale, seguendo l'evoluzione tecnologica e privilegiando le soluzioni maggiormente promettenti.

L'infrastruttura complessiva in corso di progettazione (di cui il GeoPortale rappresenta una *milestone* importante) intende tener conto sia delle caratteristiche dei repository che delle strutture dati, funzionali all'analisi ed alla modellazione dei fenomeni, oltre allo sviluppo di applicazioni generiche e specifiche, in un'ottica di ricerca e di erogazione di servizi. Tale infrastruttura dovrà essere sufficientemente flessibile da garantire aggiornamenti ed integrazioni in continuo ed in conformità alla innovazione tecnologica.

Per quanto riguarda l'attenzione agli standard, dal 2007 il Consorzio LaMMA è socio UNINFO e partecipa alle attività normative sui dati geografici dell'ISO TC/211 e del CEN TC/287. Sempre dal 2007 ha espresso il suo interesse verso la direttiva INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in the European Community*, costituendosi come SDIC (*spatial Data Interest Community*) tra Regione Toscana e il Consiglio Nazionale delle Ricerche- Istituto di Biometeorologia e partecipando alle fasi di test relative ai temi: *Addresses, Land Cover, Buildings*. Di fatto, il LaMMA gestisce (direttamente o indirettamente) dati che si sovrappongono a circa il 70% dei temi proposti da INSPIRE, per tale motivo il suo orientamento agli standard è anzitutto una necessità di merito oltre che una opportunità.

L'obiettivo di queste iniziative ai diversi livelli territoriali è quello di supportare programmi regionali che mirino ad avere un impatto positivo sull'ambiente, favorendo l'interoperabilità delle infrastrutture di dati spaziali e creando un contesto operativo in grado di assicurare il monitoraggio e la valutazione delle politiche comunitarie nei vari ambiti, giungendo a trasmettere le necessarie informazioni ai cittadini. Tali infrastrutture, per il momento, sono orientate a dare risposte alle problematiche ambientali più urgenti e socialmente significative, ma appare naturale la loro graduale estensione verso altri settori economicamente rilevanti.

3.5.3 I DATI METEO E LA DERIVAZIONE DI DATASET GEOGRAFICI PER LA PUBBLICAZIONE

Le informazioni meteorologiche, descritte prima, sono strutturate in modelli, archivi e formati che dipendono dalla natura delle stesse informazioni, dalla fonte di acquisizione o di osservazione e dal grado di elaborazione. In tutti i casi, tali formati non sono funzionali o direttamente trattabili nella loro complessità, come dati da rendere disponibili e immediatamente accessibili. Per tali motivi i dataset oggetto di pubblicazione necessitano di una fase preliminare di valutazione ed analisi dei contenuti, al fine di individuare gli elementi più opportuni alla divulgazione tramite filtri ed elaborazioni, che mantengano una efficace significatività delle variabili da evidenziare come tematismi.

Il dato meteorologico, storicamente e titolarmente di principale identificazione e visibilità delle attività del Consorzio LaMMA, è di fatto l'ambito meno inflazionato dal punto di vista degli aspetti di accessibilità geospaziale delle informazioni correlate. Per tale motivo la parte meteo è stata la tematica

prioritaria oggetto di pubblicazione tramite geoportale. Tale strumento si è inteso rivolgere al personale interno in primo luogo, ma anche ad un pubblico più vasto, per visualizzare, interrogare e quando possibile scaricare, i prodotti geospaziali usualmente elaborati e utilizzati dal Consorzio LaMMA nelle sue molteplici applicazioni in ambito meteorologico e ambientale.

Punto chiave di questa tipologia di strumento è la possibilità di sovrapporre le variabili dei modelli meteorologici elaborati internamente, tra loro e con le informazioni di un archivio contenente i dati meteorologici misurati e aggiornati il più rapidamente possibile dalle reti osservative italiane e internazionali, anch'esso gestito e realizzato presso il Consorzio LaMMA. Tali informazioni, pur dotate di componente spaziale, non erano finora state utilizzate in un contesto geospaziale e quindi visualizzate in un ambiente GIS, essendo state predisposte per la sola distribuzione agli utenti finali in forma testuale, finalizzate a specifiche elaborazioni oppure utilizzate per la produzione di grafici.

Oltre ai modelli meteorologici vengono prodotte internamente, a partire da dati *raw*, anche le immagini provenienti dai satelliti geostazionari meteorologici *meteosat MSG (Meteosat Second Generation)* gestiti da EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*) e le immagini RADAR provenienti dalla Protezione Civile Nazionale. Di seguito si riporta la lista dettagliata di tutti i dati in uso e di prodotti del Consorzio LaMMA esposti dal GeoPortale meteo anche in modalità *near real-time*.

Modellistica meteorologica (di pubblico accesso)

- Modello globale **GFS (Global Forecast System)**, risoluzione spaziale 50 km, previsioni meteo a 180 ore, frequenza di aggiornamento 4 volte al giorno.
- Modello ad area limitata **WRF (Weather Research and Forecasting model)**, risoluzione spaziale 12 km, dati di inizializzazione GFS, con dominio esteso a tutto il Mediterraneo e previsioni meteo a 120 ore (*med_gfs_12km**), frequenza di aggiornamento 2 volte al giorno
- Modello meteorologico **WRF, con risoluzione spaziale 3 km, dati di inizializzazione ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)**, dominio esteso all'Italia, con previsioni meteo a 60 ore (*arw_ecm_3km**), frequenza di aggiornamento 2 volte al giorno

I dataset pubblicati su geoportale sono una selezione di alcune variabili di maggior rilevanza presenti all'interno dei succitati modelli e sono pubblicamente accessibili e visualizzabili nel *Viewer* integrato con il catalogo (Fig. 3.11) oppure scaricabili liberamente come immagini georeferenziate (GeoTIFF). Per i modelli meteorologici viene al momento mantenuta una finestra temporale di 3 giorni, cioè sono di volta in volta disponibili tutti i dati e la relativa metainformazione antecedente 3 giorni dalla data di accesso al geoportale.

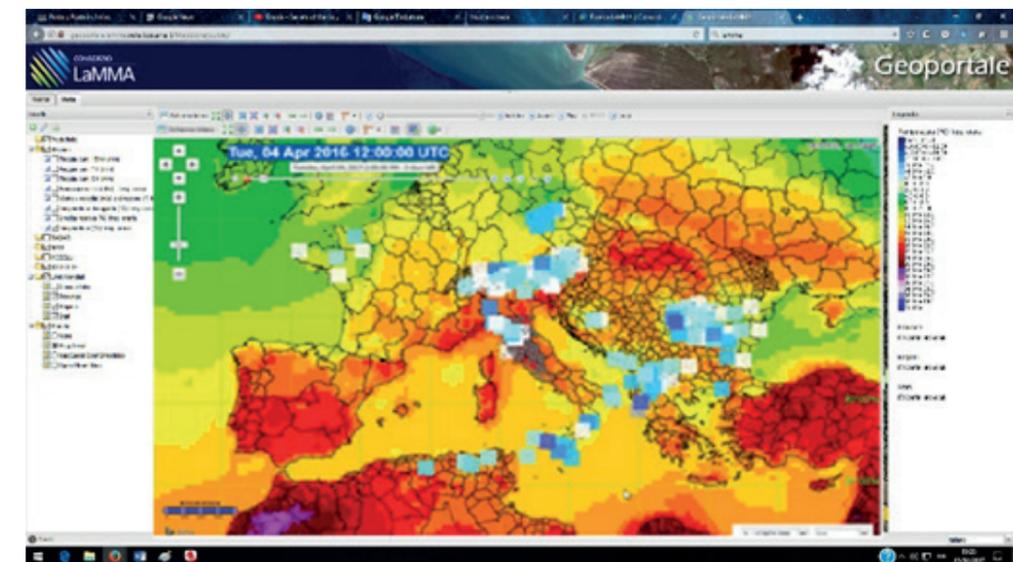


Fig. 3.11 - Schermata del Geoportale, relativa alla temperatura prevista dal modello confrontata con i dati delle stazioni.

Archivio delle immagini di NDVI (di pubblico accesso)

Il Consorzio LaMMA mantiene un archivio di immagini NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) provenienti dal satellite MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer). L'archivio inizia da Febbraio 2000 e le immagini hanno una risoluzione temporale di 16 giorni mentre quella spaziale è di 250 m.

Immagini del satellite MeteoSat di seconda generazione, MSG (accesso riservato)

L'MSG è un satellite geostazionario posizionato a 36.000 km sull'Equatore. Ogni 5-15 minuti acquisisce la stessa immagine per l'area mediterranea e africana in 12 differenti canali spettrali, dal visibile al lontano infrarosso. Il buon campionamento spaziale e temporale permette il monitoraggio e l'osservazione di sistemi nuvolosi oltre che, dopo specifiche elaborazioni, la rilevazione di nebbie, incendi, temperatura del mare, etc. Nel geoportale sono presenti i dataset:

- MSG2 (Meteosat 9), con frequenza di aggiornamento 5 minuti.
- MSG3 (Meteosat 10), con frequenza di aggiornamento 15 minuti.

Il sistema di ingestione produce, a partire dai singoli canali spettrali, composizioni RGB ad hoc per la pubblicazione di prodotti meteorologici specifici quali ad esempio *Dust Storm*, *Natural Colors* ed *AirMass*.

Immagini RADAR (accesso riservato)

Sistema a sensore attivo, che geolocalizza zone caratterizzate da sistemi precipitativi attraverso l'uso di onde elettromagnetiche.

- CAPPI- *Constant Altitude Plan Position Indicator* (Indicatore della posizione della costante altimetrica), con frequenza di aggiornamento 15 minuti:
 - o Z2000: riflettività a 2000 m
 - o Z3000: riflettività a 3000 m
 - o Z5000: riflettività a 5000 m
- SRI- *Surface Rainfall Intensity* (intensità istantanea della pioggia), con frequenza di aggiornamento 15 minuti
- SRT- *Surface Rainfall Total* (cumulata di pioggia), con frequenza di aggiornamento 60 minuti:
 - o SRT1: cumulata oraria
 - o SRT3: cumulata 3 ore
 - o SRT6: cumulata 6 ore
 - o SRT12: cumulata 12 ore
 - o SRT24: cumulata 24 ore

A breve saranno disponibili i dati radar di proprietà o in gestione al Consorzio che saranno resi di dominio pubblico.

Stazioni Meteo del Consorzio LaMMA e delle reti osservative italiane e internazionali (di pubblico accesso)

Dati in tempo reale delle stazioni meteo del LaMMA.

- Pioggia cumulata (mm) (15 minuti, oraria, 6 ore),
- Velocità (m/s) e direzione (gradi 0- 360) del vento con frequenza oraria,
- Temperatura di rugiada (°C) e Umidità relativa (%) con frequenza oraria
- Temperatura (°C) con frequenza oraria.

Per supportare lo sviluppo del GeoPortale (Fig. 3.12), il Consorzio LaMMA, in fase di design della infrastruttura, ha deciso la customizzazione di componenti Open Source con l'obiettivo di complementare i software proprietari esistenti (e.g. il DBMS Oracle) avendone previsto la continuità di utilizzo. Il Consorzio LaMMA ha quindi investito i fondi risparmiati sulle licenze in formazione per

il proprio staff ed in supporto professionale per sviluppi, bug-fix e customizzazioni. E' importante sottolineare come alcuni di questi sviluppi siano entrati a far parte della codebase dei relativi prodotti Open Source (e.g. il miglioramento al supporto per la dimensione *TIME* in GeoServer).

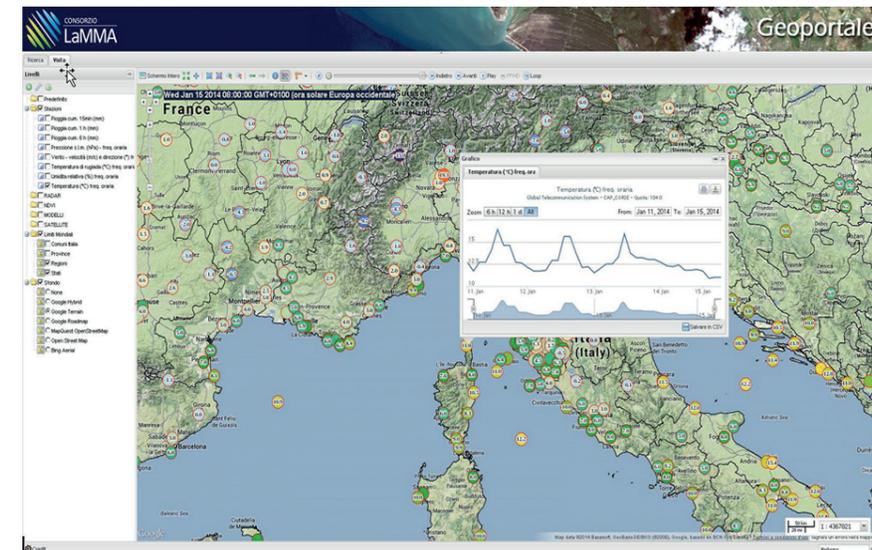


Fig. 3.12 - Schermata del Geoportale, con grafico dell'andamento della temperatura oraria su 5 giorni.

Punto focale di tutto il lavoro è stata la messa in opera di una infrastruttura di *preprocessing* ed ingestione automatica, che fosse in grado di elaborare, catalogare e ingerire in maniera *unsupervised* la mole enorme di dati acquisiti in real-time a vario titolo dal LaMMA (come descritto nelle sezioni precedenti), al fine di poter creare dei *mash-up* ad alto contenuto informativo e sempre aggiornati. E' altresì importante sottolineare come allo scopo di ridurre le risorse hardware e software necessarie per l'infrastruttura si è deciso di limitare la finestra temporale dei dati disponibili online, affidandosi a delle procedure automatiche che andassero durante il periodo notturno, quindi di scarsi accessi, a rimuovere il contenuto ritenuto obsoleto (e.g. output di modelli meteo più vecchi di 3 giorni).

Integrazione e fruibilità

L'accesso ai dati e alle informazioni prodotte è possibile tramite la piattaforma opendata del Consorzio LaMMA (dati.lamma.toscana.it), che oltre a consentirne il *download*, ne favorisce e incentiva l'impiego da parte degli utenti interessati, indipendentemente dal settore di afferenza. I dataset contenuti, recentemente aggiornati nell'ambito del progetto LIFE+IMAGINE, sono in continua evoluzione e rapido ampliamento, secondo programmi e priorità legati alle esigenze e agli interessi regionali, associabili ai criteri dell'amministrazione trasparente.

Grazie alle funzioni specifiche in esso implementate, il portale OD (*Open Data*) assicura:

1. l'organizzazione dei dataset, che devono essere direttamente scaricabili come layer auto consistenti;
2. l'attribuzione della relativa licenza d'uso (*CC - BY - Creative Commons Attribution*)
3. l'accessibilità anche da parte di utenti non esperti di procedure GIS;
4. l'integrazione tra dati geografici e non geografici (tramite CKAN, della *Open Knowledge Foundation*).

Le informazioni possono essere visualizzate nel loro contesto geospaziale e quindi in un ambiente GIS *oriented*, assieme a mappe e immagini satellitari o RADAR, provenienti da fonti diverse (Fig. 3.13).

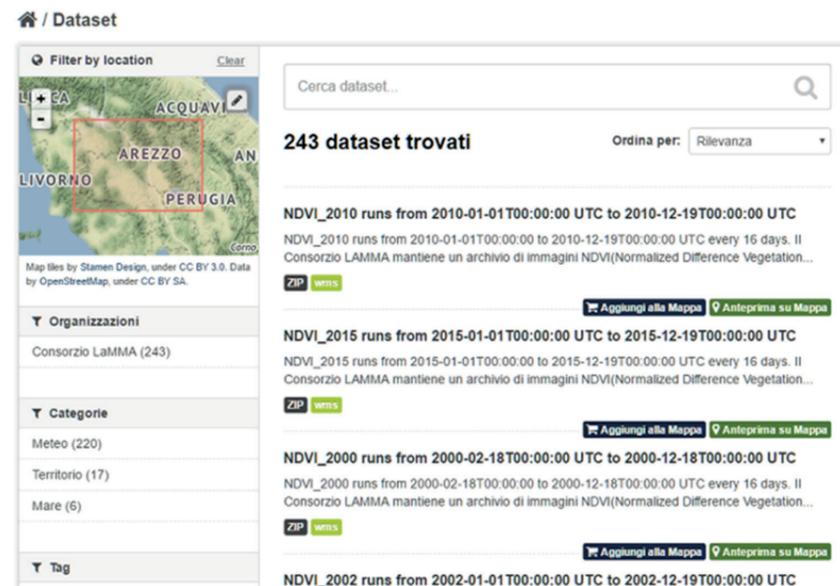


Fig. 3.13 - Visualizzazione dei risultati di una ricerca sui dati disponibili in archivio.

3.5.4 CONCLUSIONI

Gli esempi mostrati e il lavoro fin qui svolto testimoniano l'impegno del Consorzio LaMMA per l'acquisizione e la diffusione di dati e strumenti dedicati al rafforzamento della capacità di analisi e comprensione dei fenomeni ambientali. Secondo gli interessi e le direttive regionali, tale attività rimane tra le priorità di tutti gli organismi titolari di funzioni pubbliche di rilevanza territoriale e ambientale che da tempo sono impegnate in uno sforzo comune di trasparenza e inclusione che inizia a dare i suoi frutti.

I contenuti del Geoportale saranno progressivamente integrati e ampliati fino a renderlo un punto di accesso alle risorse informative geografiche (dati, servizi, metadati, etc.) del Consorzio. Una funzionalità operativa molto utilizzata dal personale del servizio Meteo è relativa alle previsioni del tempo a brevissima scadenza (*nowcasting*). Infatti il Geoportale permette di visualizzare contemporaneamente, in maniera semplice e intuitiva, diverse informazioni (stazioni, radar, modelli meteorologici, etc.), semplificando il continuo monitoraggio della situazione meteorologica in condizioni critiche.

Grazie al Geoportale sarà possibile l'implementazione di ulteriori importanti funzionalità con finalità operative, quali ad esempio la gestione della fase di allertamento e di monitoraggio delle informazioni per la protezione civile. In questo campo, infatti, risulta di primaria importanza la possibilità di visualizzare informazioni meteo e analoghe, in forma georiferita, su tematismi specifici della protezione civile. Il sistema permetterà ad utenti specializzati (sia meteorologi che personale della protezione civile), di visualizzare e di compiere elaborazioni in real-time sulle cosiddette aree di allertamento (aree basate su confini amministrativi e su condizioni meteo-climatiche omogenee), consentendo un più efficace coordinamento delle informazioni verso la popolazione ed una gestione ottimizzata degli interventi sul territorio.

Strumenti come questo saranno in grado di assicurare l'interscambio capillare di dati ambientali affidabili e aggiornati, in forma georiferita su tematismi specifici, anche rispetto agli elementi di maggiore criticità, come quelli propri della protezione civile e della sicurezza ambientale. Il passo successivo sarà quello di dare la possibilità all'utente anche non esperto di gestire le informazioni in modo dinamico e interattivo, personalizzandone i contenuti e decidendone autonomamente e dinamicamente i criteri di aggregazione o scambio.

3.5.5 BIBLIOGRAFIA

Gianecchini S., Mari R., Corongiu M., Bottai L., Fibbi L., Pasi F. (2013). Geoportale del Consorzio LaMMA. *Disseminazione di dati meteo in near real-time tramite standard OGC e software Open Source*. Rivista Geomedia 5: 12-16.

