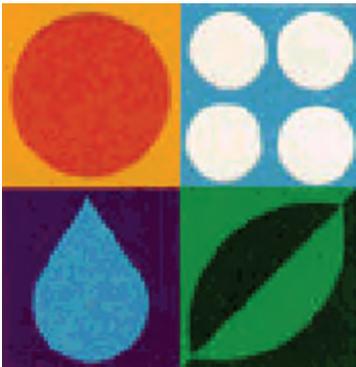




Consiglio Nazionale delle Ricerche

LA COSTA DELLA PROVINCIA DI SASSARI



Collana tecnico-scientifica IBIMET

Quaderno n. 16

edito a cura di
Fabrizio Benincasa
2015

Istituto di Biometeorologia (IBIMET)

COLLANA TECNICO-SCIENTIFICA IBIMET

LA COSTA
DELLA PROVINCIA DI SASSARI

Quaderno n. 16

edito a cura di
Fabrizio Benincasa

2015

Collana tecnico – scientifica IBIMET

a cura di F. Benincasa

CNR – IBIMET Sede di Sassari

Traversa La Crucca 3,

Località La Baldinca, 07100 Li Punti Sassari

Tel. 079 2841504, Fax 079 2841599,

e-mail F.Benincasa@ibimet.cnr.it

Comitato Scientifico

Fabrizio Benincasa CNR-IBIMET, Sassari

Claudio Conese CNR-IBIMET, Firenze

Luciano Gutierrez Dipartimento di Agraria, Università di Sassari

Carlo Natali Dipartimento di Architettura, Università di Firenze

Giuseppe Vendramin CNR-IBBR, Firenze

Segretario del Comitato Scientifico e Responsabile di redazione

M. De Vincenzi

CNR – IBIMET Sede di Sassari

Traversa La Crucca 3,

Località La Baldinca, 07100 Li Punti Sassari

Tel. 079 2841508, Fax 079 2841599,

e-mail M.DeVincenzi@ibimet.cnr.it

ISBN: 978-88-95597-25-6

Anno: 2015

INDICE

PREFAZIONE	IX
CAPITOLO PRIMO	pag. 1
OSSERVAZIONI STORICO-GEOGRAFICHE DEL TERRITORIO	
1. Introduzione	3
2. Golfo dell'Asinara	5
2.1 Blocco di Castelsardo	6
2.2 Litorale di Platamona	7
2.3 Blocco di Porto Torres	8
2.4 Litorale di Fiume Santo – Le Saline	9
3. Insenatura di Porto Conte (Alghero)	10
3.1 Il villaggio nuragico e il nuraghe Palmavera	11
3.2 Sant'Imbenia	11
3.3 L'ambiente carsico	12
3.3.1 Grotta di Nettuno	12
3.3.2 Grotta Verde	13
4. Bibliografia essenziale	34
CAPITOLO SECONDO	pag. 37
BREVI NOTE SULLA NOZIONE GIURIDICA DI “GESTIONE INTEGRATA DELLE ZONE COSTIERE”	
CAPITOLO TERZO	pag. 45
MONITORAGGIO DELLA LINEA DI COSTA: ALCUNI ESEMPI IN PROVINCIA DI SASSARI	
1. Il monitoraggio quale strumento per la protezione, gestione e valorizzazione delle risorse costiere	47
1.1 Introduzione	47
1.2 Modelli per lo studio delle dinamiche ambientali	48
2. La modellistica idrodinamica a scala regionale-costiera	50
2.1 Comportamento delle onde	51
3. Il monitoraggio della linea di costa	52
3.1 Implicazioni dei cambiamenti della linea di costa	52
3.2 Acquisizione dei dati (metodi di campionamento)	53
3.3 Pericolosità da erosione-modello concettuale	53
3.4 Valutazione della vulnerabilità	54

3.5	Valutazione del rischio costiero	54
3.6	Monitoraggio dell'evoluzione della costa: analisi della variazione di superficie rispetto all'analisi dei transetti	54
3.7	Il telerilevamento per il monitoraggio dell'erosione delle coste	55
4.	Mareografia	56
4.1	Cenni storici	56
4.2	La Rete Ondametrica Nazionale	57
4.3	La Rete Mareografica Nazionale	57
5.	Esempi applicativi in provincia di Sassari	58
5.1	Introduzione	58
5.2	Aree di studio	58
5.3	Tipo e struttura dei dati: disponibilità e limiti	59
5.4	Strumenti di calcolo - Metodologia di elaborazione	60
5.4.1	Correlazione tra dati	60
5.4.2	Analisi meteo-marina sulla costa	61
5.5	Variazione della linea di costa	62
5.6	Considerazioni finali	63
	POSTFAZIONE	65
	FIGURE*	pag. 67
	Capitolo Primo	69
	Capitolo Secondo	83
	Capitolo Terzo	88
	INDICE DEGLI AUTORI	pag. 111

* Per motivi tipografici tutte le figure sono riportate in fondo al volume.

PREFAZIONE

L'analisi proposta dagli autori è particolarmente interessante per la Sardegna in quanto l'Isola, con circa 2000 km di coste comprese le isole minori, è la regione italiana con il maggiore perimetro costiero; le coste sono per lo più alte e a falesia (circa il 76 %).

Lunghezze (km) delle coste italiane (elaborazione da [9], del Capitolo Primo).

Regione	Coste Alte, Falesie	Spiagge	Totale
Liguria	256	94	350
Toscana	243	199	442
Lazio	74	216	290
Campania	256	224	480
Basilicata	32	36	68
Calabria	44	692	736
Puglia	563	302	865
Molise	14	22	36
Abruzzo	26	99	125
Marche	28	144	172
Emilia Romagna	0	130	130
Veneto	0	140	140
Friuli Venezia Giulia	35	76	111
Sicilia	506	1117	1623
Sardegna	1438	459	1897

Le coste della Sardegna sono ben diverse da quelle della Penisola. L'unico litorale ampio e sicuro è quello di Cagliari, tutti gli altri sono: o archi sabbiosi con dune e stagni palustri (un tempo malarici), o approdi chiusi da barriere montuose, o approdi rocciosi e inospitali, o piccoli porti naturali esposti al vento di Maestrale. Il primato di inviolabilità spetta alla costa orientale: una sorta di bastione ostile che intimorisce i naviganti e che solamente nella sua parte settentrionale si frastaglia in mille insenature e si frantuma in mille isolotti pericolosi a causa degli scogli sommersi.

Certamente questa tipologia di costa, poco attrattiva, non ha favorito l'insediamento della popolazione isolana che si è progressivamente concentrata verso l'interno. Ciò ha, per contro, favorito l'insediamento di popolazioni allogene che si sono fermate, quando possibile, sulle coste proprio per non incontrare i *barbari* indigeni. È grazie a questi stranieri che sulle coste sarde si sviluppa l'unica forma di vita *civile, urbana*, ne sono esempio le antiche città¹:

- Olbia nella costa nord-orientale;
- Turrìs Libisonis (l'odierna Porto Torres-SS) in quella settentrionale;
- Tharros (OR), Còrnus (OR), nella costa occidentale;

¹ Per le province (sigla) vedi figura a pagina 67.

- Neàpolis (VS), Sùlcis (CI), Bithia (CA), Nora (CA), Kàrales (l'odierna Cagliari²), nella costa sud-occidentale.

In età medioevale e moderna fra le sette *città regie*³ cinque erano costiere: Cagliari (regia dal 1327), l'unica “finestra sul mondo” grazie al suo porto e ai quartieri commerciali, Castelsardo (SS, dal 1448) città-fortezza, Oristano (dal 1479) nata in conseguenza allo spopolamento di Thàrros, Bosa (OR, dal 1499) città agricola alla foce del fiume Temo, Alghero (SS, dal 1501) singolare città-fortezza; e due erano non costiere, sia pure molto prossime alla costa: Iglesias (CI, dal 1327) l'antica *Villa Ecclesiarum* e Sassari (dal 1331) nata in conseguenza allo spopolamento di Turrìs.

Recentemente alcuni lavori hanno considerato i più importanti monumenti archeologici dell'Isola localizzati lungo la costa in funzione della variazione della linea di riva; da questa prima ricognizione appare evidente che l'alterazione non è stata uniforme in tutto il perimetro costiero dell'Isola ma, in alcuni tratti, il ruolo dei movimenti isostatici è stato determinante nell'accentuare il fenomeno in senso positivo o negativo.

La risalita eustatica sarebbe la causa della sommersione di numerosi siti archeologici e oscillerebbe tra 0,74 e 1,7 mm/anno per il periodo compreso tra quello romano e l'attuale. Lavori successivi portano a concludere che la risalita eustatica abbia avuto, mediamente, un'ampiezza massima di 0,50 m negli ultimi duemila anni per il Mediterraneo occidentale, mentre per quello orientale i dati rimangono ancora contrastanti.

Il modesto numero di resti archeologici presenti lungo il litorale orientale dell'Isola e la distribuzione dei singoli siti lungo le coste paiono confortare l'ipotesi che la Sardegna sia stata luogo d'approdo e di insediamento soprattutto lungo le fasce costiere occidentali, settentrionali e meridionali a seguito della situazione geomorfologica, che connotava l'Isola. Infatti, lungo queste fasce costiere insistevano le più importanti pianure e le più importanti foci fluviali della Sardegna. Un limite evidente per una più precisa valutazione dell'indagine

² Nel 238 a.C. ebbe luogo il repentino passaggio della Sardegna sotto il controllo romano, conseguenza indiretta della sconfitta cartaginese nella prima guerra punica. Subito dopo la conquista accanto alla preesistente città-stazione commerciale punica di Krly o Karel (Cagliari) fu fondato *vicus Kàralis*. Il passaggio dalla forma singolare Kàralis a quella plurale Kàrales è da collocarsi nel corso del II sec. a.C., con l'avvenuta fusione dei due centri in un unico spazio urbano (da [14], del Capitolo Primo).

³ Queste città, pur non essendo infeudate, erano sottoposte alla diretta giurisdizione reale e godevano di privilegi e concessioni, derivanti dal loro status. Le città regie avevano poteri amministrativi di autogoverno, che esercitavano attraverso propri rappresentanti eletti (attraverso vari sistemi che solitamente combinavano voto e sorteggio) chiamati consiglieri, e sui quali l'amministrazione regia interveniva per sancire o rigettare le decisioni assunte, tramite un rappresentante chiamato vicario (*veguer*) o podestà; inoltre le città regie avevano anche poteri politici, in quanto i loro rappresentanti, chiamati sindaci, costituivano uno dei tre bracci del Parlamento del Regno (lo *stamento* reale). Generalmente la rappresentanza era inibita ai nobili, che invece facevano parte dello *stamento* militare. Il governo sabauda del Regno di Sardegna, pur riconoscendo i sette titoli urbani pregressi, utilizzò sempre per gli stessi centri la terminologia di città, secondo la consuetudine diffusa in Piemonte. Col governo dei Savoia, infatti, il parlamento non fu più riunito e di fatto i privilegi delle città regie vennero vanificati (da [8], del Capitolo Primo).

è legato alla difficoltà di reperire, per i monumenti archeologici, lavori che riferiscano con esattezza un'attribuzione cronologica al monumento stesso; in tal modo le poche testimonianze presenti in tutto il litorale della Sardegna non hanno consentito di affrontare con sufficiente precisione l'arretramento o la scomparsa di tratti di litorale.

Tuttavia appare evidente la differenza della velocità di arretramento che determina situazioni di particolare dissesto in alcuni siti archeologici nelle spiagge dell'Isola.

Dopo questo brevissimo *excursus* sulla costa sarda è necessario “entrare in argomento” dando qualche indicazione sulla costa della provincia di Sassari.

Il territorio provinciale (vedi figura 1.1 a pag. 69), che si estende su una superficie di circa 4 300 km², è in gran parte collinare ma con vaste aree pianeggianti, principalmente concentrate a nord ovest, nella Nurra.

La linea di costa si estende per oltre 300 km, compresi i perimetri delle piccolissime isole minori e dell'isola dell'Asinara, nell'estremo nord ovest del territorio. La costa occidentale è prevalentemente alta e rocciosa ad esclusione del tratto compreso tra la città di Alghero e il promontorio di Capo Caccia. A nord, la costa del Golfo dell'Asinara è invece in gran parte bassa e caratterizzata da lunghi litorali sabbiosi.

Tutto il territorio provinciale presenta caratteristiche geomorfologiche di grande interesse, che rendono il paesaggio straordinariamente vario.

Per quanto riguarda la costa possiamo citare i due parchi:

- *Parco Nazionale dell'Asinara*, che ricade interamente nel territorio di Porto Torres, il quale comprende l'isola dell'Asinara e una fascia marina di rispetto (vedi figura pagina seguente);
- *Parco Naturale Regionale di Porto Conte*, nel Comune di Alghero, che inizia a sud-est con lo stagno di Calich e prosegue verso la costa, includendo il rilievo del Monte Doglia, fino all'ampia insenatura di Porto Conte, protetto dai promontori di Punta Giglio e di Capo Caccia (vedi figura pagina seguente);

e le due aree marine protette:

- *Area Marina Protetta Isola dell'Asinara*, che ricade interamente all'interno dell'omonimo parco nazionale;
- *Area Marina Protetta di Capo Caccia / Isola Piana*, adiacente al parco regionale di Porto Conte.

Lungo il territorio costiero e nell'immediato entroterra vi sono numerosi Siti di Importanza Comunitaria (SIC):

- isola dell'Asinara, Isola Piana, e Capo Caccia-Punta Giglio, inclusi all'interno delle due aree parco;
- le coste e le isolette del nord-ovest e gli stagni di Pilo e di Casaraccio (nel territorio di Sassari e di Stintino);
- lo stagno e il ginepreto di Platamona (nei comuni di Porto Torres, Sassari e Sorso);
- il lago di Baratz e Porto Ferro (nel territorio di Sassari e di Alghero);
- la zona costiera e l'entroterra tra Capo Marraggiu e Punta Tangone (nei comuni di Villanova Monteleone, Alghero, Padria e Monteleone Rocca Doria)
- parte del territorio di Valledoria, incluso nel sistema ambientale delle Foci del Coghinas.



Notevoli, per quantità e qualità, sono i beni archeologici e culturali presenti diffusamente in tutta la provincia, comprese le zone interne. I siti archeologici e architettonici di interesse sono oltre 65, mentre del patrimonio costituito da chiese parrocchiali, basiliche e cattedrali oltre 35 di questi monumenti sono stati censiti dall'Assessorato Regionale alla Cultura.

Numerosi e di pregevole valore sono anche gli insediamenti nuragici, i castelli e i palazzi storici.

*Il Curatore
Fabrizio Benincasa*

CAPITOLO PRIMO¹

OSSERVAZIONI STORICO-GEOGRAFICHE DEL TERRITORIO

Questo contributo allo studio delle coste della Provincia di Sassari intende fornire una ricostruzione della recente variazione della linea di riva sulla base delle testimonianze antropiche, antiche e recenti, proseguendo quella linea di indagine che da diversi anni ha interessato il rapporto tra processi fisici e uso antropico del territorio.

I monumenti che sono stati considerati, per la valutazione complessiva dell'arretramento della linea di costa, appartengono a periodi diversi e insistono su differenti strutture geologiche, pertanto si è reso necessario correlarli alle morfologie costiere che hanno favorito il processo di insediamento.

Due aree sono apparse particolarmente ricche di testimonianze archeologiche e storiche:

- il Golfo dell'Asinara
- l'Insenatura di Porto Conte (Alghero).

Di esse sono stati individuati alcuni siti particolarmente interessanti al fine di ricostruire l'evoluzione della linea di costa, siti a volte poco noti, se non sconosciuti, ai più.

Come già detto, poiché i monumenti considerati insistono su differenti strutture geologiche, partendo da est verso ovest si è suddivisa la fascia costiera in quattro zone, caratterizzate dalla presenza di due alti strutturali (*blocco di Castelsardo* e *blocco di Porto Torres*) intervallati da due fosse (*litorale di Platamona* e *litorale di Fiume Santo - Le Saline*).

Fra i monumenti naturalistici che caratterizzano la baia di Porto Conte, fondamentale grotte aeree e subacquee, particolare attenzione è stata data alla Grotta Verde che fin dalla prima metà dell'Ottocento attrasse l'attenzione di Alberto La Marmora (geografo, profondo conoscitore della Sardegna) che cercò, senza trovarlo, un collegamento con la vicina e più celebre Grotta di Nettuno.

Nell'ambito dei lavori, fatti dal Comune di Alghero, per l'apertura al pubblico della Grotta Verde, gli Autori hanno provveduto a uno studio sulle variazioni temporali dei principali parametri atmosferici rilevati al suo interno. A conclusione del capitolo, si riportano, per sommi capi, alcuni risultati di questo studio.

¹ Le figure di questo capitolo sono da pagina 69 a pagina 82.

OSSERVAZIONI STORICO-GEOGRAFICHE DEL TERRITORIO²

Donatella Carboni, Matteo De Vincenzi,
Gianni Fasano, Alessandro Materassi

1 Introduzione

Alla luce delle considerazioni effettuate e dal momento che la Provincia di Sassari (vedi figura a pagina 67) risulta avere un'area costiera particolarmente ricca di testimonianze archeologiche e storiche, attribuibili cronologicamente, in particolare nella porzione nord-occidentale (figura 1.1), appare molto interessante mettere in correlazione dati di tipo geografico con dati di tipo archeologico e storico al fine di sviluppare una conoscenza sul modello evolutivo che ha interessato i litorali di questa Provincia.

Sul tratto di costa considerato tre città spiccano per la loro importanza storica e ambientale: Castelsardo, Porto Torres, Alghero.

Castelsardo

La fondazione di Castelsardo viene fatta risalire al 1102, nello stesso anno di quella di Alghero, quando i due siti, una ripida groppa montuosa protesa nel mare per il primo e una piatta penisola per il secondo, cadono sotto la dominazione genovese della potente famiglia Doria. In epoca altomedioevale intorno a un eremo, poi priorato benedettino dedicato a Sant'Antonio Abate, si sarebbe sviluppato un primo insediamento abitato, su un tavolato di vulcaniti del Terziario proteso sul mare a chiudere a nord-est l'ampia insenatura del Golfo dell'Asinara. Caduto sotto il dominio dei Doria il sito fu trasformato in una poderosa fortezza che rimase attiva per almeno sette secoli. Funzione esclusiva poiché i suoi scali di Frigiano, Mare Picinnu e Agustina non potevano competere con i più grandi e attrezzati porti di Torres e di Alghero a ovest e di Longosardo (Santa Teresa di Gallura) ad est.

Il borgo, ultimo a capitolare agli aragonesi (1448), accetta di mutar nome, senza troppe resistenze, a ogni cambio di padrone: *Castella Jane* (Castel Genovese), *Castel Aragonese* (dal 1448) e *Castelsardo* (dal 1767) dopo il consolidarsi dell'apparato statale sabauda.

Porto Torres

Il centro abitato è documentato dal I secolo a. C., ma già in epoca più lontana nella zona erano presenti numerosi nuraghi, con i relativi villaggi, disposti lungo la costa. La storia della città romana si ricostruisce attraverso le ricchissime testimonianze archeologiche. Le fonti letterarie documentano il nome *Turris Libisonis* o *Libyssonis* e Plinio, in particolare, riferisce che era l'unica colonia romana della Sardegna.

² Benché il lavoro sia frutto comune tra gli autori, i paragrafi da 1 a 3.2 sono stati maggiormente curati da Donatella Carboni, mentre il paragrafo 3.3 e i relativi sottoparagrafi sono stati curati prevalentemente da Matteo De Vincenzi, Gianni Fasano e Alessandro Materassi, che hanno anche realizzato il sistema di monitoraggio della Grotta Verde.

Il porto, attivo fino dall'epoca romana, è nella parte più riparata del Golfo dell'Asinara, ciò trova giustificazione nelle caratteristiche morfologiche del Golfo (impostato sul pilastro tettonico carbonatico della Nurra) e dell'entroterra, attraversato da due corsi d'acqua che, in passato, assicuravano l'irrigazione della fertile pianura circostante (rio Mannu e fiume Santo).

Un mosaico pavimentale del Foro delle Corporazioni di Ostia, raffigurante una barca a vele spiegate con l'indicazione degli armatori turritani (*Navicularii Turritani*), conferma per il secondo secolo d.C. i rapporti commerciali di Turrus Libisonis con il porto di Roma. I miliari posti lungo le strade e i testi degli itinerari indicano Turrus come *caput viae* dell'arteria viaria centrale dell'Isola che la collegava con il maggior porto della Sardegna meridionale: *Kàrales* (Cagliari). La vitalità del porto inseriva la città anche nel percorso della strada costiera che univa *Tibula*, in Gallura, con *Carbia* (Alghero).

Oggi Porto Torres ha uno scalo passeggeri tra i maggiori del Mediterraneo ed è la più importante area industriale del nord Sardegna.

Alghero

Carbia, l'Alghero di epoca romana, era a circa 4 km a nord rispetto all'attuale insediamento, dove sono ancora visibili le arcate del ponte sullo stagno di Calich e traeva la sua importanza come stazione sulla litoranea occidentale, poco discosta dal *Portus Nympharum* di Tolomeo, l'attuale Porto Conte.

La fondazione di Alghero si fa risalire al 1102 a opera dei Doria di Genova, ma questa datazione è, a tutt'oggi, priva di riscontri documentali che, invece, si hanno per il breve periodo 1283-1284 di occupazione pisana.

A partire dal 1353 la città passa dai Doria al comune di Genova, il cui governo è di breve durata poiché la flotta genovese, nei pressi di Porto Conte, si arrende senza combattere agli aragonesi che ne mantengono il possesso fino al 1409. Il carattere militare e commerciale della località, sempre indicata come *villa*, o *locum*, o *castrum*, perdura fino all'inizio del Cinquecento quando inizia ad essere denominata città, anche per la presenza di una propria sede vescovile.

Le convulse vicende legate alla successione dell'impero spagnolo incidono anche su Alghero che passa dalla dominazione aragonese a quella castigliana che si chiude nel 1720 con il passaggio della Sardegna ai Savoia.

Oggi Alghero costituisce uno dei principali centri turistici della Regione con una area portuale finalizzata alla nautica da diporto e uno scalo aeroportuale che la collega con varie destinazioni europee.

La presenza di numerosi comuni e il capoluogo della Provincia (seconda città dell'Isola per dimensioni e popolazione) testimoniano un uso della fascia costiera assai diversificato e utile ai fini della ricostruzione dell'uso del territorio costiero da parte dell'uomo. Lungo la costa, oltre a quelli già citati, possiamo ricordare due rinomati centri turistici: Stintino, area portuale finalizzata alla nautica da diporto, localizzato sulla parte occidentale del Golfo dell'Asinara in prossimità di Capo Falcone e Valledoria, alla foce del fiume Coghinas.

Numerose sono le testimonianze di epoca Nuragica, Fenicia, Romana, Medioevale, Aragonese, Spagnola, Sabauda, ecc. che documentano la lunga e complessa storia della Provincia e le stratificazioni antropiche.

In questa ricognizione ci soffermeremo soprattutto sulle testimonianze antecedenti il XX secolo, ma in questa sede non si può omettere che con l'avvento di detto secolo si assiste sia all'affermarsi dei centri minerari, sia a una nuova serie di tentativi di colonizzazione, ne sono esempi il borgo dell'Argentiera (figura 1.1), già sorto nell'Ottocento, e quello poco distante di Canaglia del 1911.

Durante il ventennio fascista, inoltre, iniziò un periodo di bonifiche, durante il quale l'assetto del territorio della provincia, in alcune zone venne completamente trasformato. L'intervento fascista prevedeva sia la bonifica idraulica sia la colonizzazione e lo sfruttamento del territorio. In particolare, nel territorio in esame, venne progettata la bonifica della Nurra (figura 1.1), quella dell'algherese, con la fondazione di Fertilia e Santa Maria La Palma, le cui tracce sono fortemente evidenti ancora oggi, e quella della Bassa Valle del Coghinas.

Nel periodo più vicino a noi, l'impatto più forte lo ebbe l'industrializzazione dell'area di Sassari, in particolare del polo chimico di Porto Torres e di Fiume Santo (figura 1.1), nonché la forte attività edificatoria delle coste, legata al boom del turismo marittimo. In questo quadro, numerose modificazioni vennero introdotte nel territorio, a partire dalla centrale Enichem, fino alla zona industriale di Porto Torres e Sassari, ma anche all'insediamento costiero.

Dopo questo breve *excursus* che testimonia la complessità del percorso antropico sul territorio di questa porzione di Sardegna, non ci resta che passare all'analisi di alcune testimonianze archeologiche presenti lungo il litorale della Provincia di Sassari. Queste documentano una dinamica costiera assai vivace, accompagnata da morfologie e depositi recenti che confermano un generale arretramento della linea di riva sebbene questa, localmente, mostri velocità di arretramento maggiori che determinano situazioni di particolare dissesto.

L'analisi dei resti archeologici e monumentali, alcuni dei quali conosciuti solo dagli specialisti, l'osservazione delle immagini aeree oramai risalenti a oltre mezzo secolo, la letteratura esistente permettono oggi di formulare una valutazione sul generale assetto del litorale dell'intera Provincia di Sassari.

Due aree appaiono particolarmente ricche di testimonianze archeologiche e storiche:

- il Golfo dell'Asinara,
- l'Insenatura di Porto Conte (Alghero).

Di esse sono stati individuati alcuni siti particolarmente interessanti al fine di ricostruire l'evoluzione della linea di costa, siti a volte poco noti se non sconosciuti ai più. Anticipiamo subito che dall'analisi di queste aree è emerso che le modificazioni della linea di costa sono state prevalentemente naturali fino alla prima metà del secolo passato e più significativamente indotte dall'uomo dopo gli anni Sessanta, ciò è attestato anche dai siti archeologici e storici individuati e analizzati.

2 Golfo dell'Asinara

Questo Golfo occupa l'intero settore costiero nord occidentale della Sardegna includendo i lunghi litorali sabbiosi di Platamona e Marritza, nella parte orientale, e di Porto Torres-Stintino nella porzione occidentale. Il Golfo, ad occidente, è chiuso dalla lunga e stretta isola dell'Asinara che costituisce una barriera naturale per le mareggiate e i venti provenienti dal IV Quadrante.

La costa viene sporadicamente interrotta dalla foce di alcuni fiumi, alcuni dei quali assumono un ruolo significativo nel contesto di tutto il territorio nord occidentale della Sardegna; in particolare il Rio Mannu di Porto Torres, il maggior corso d'acqua di questo territorio, la cui foce ad estuario solca i sedimenti del Miocene. Gli altri corsi d'acqua presenti lungo questa costa non offrono particolare interesse per i loro caratteri di portata e di regime.

I monumenti considerati insistono su differenti strutture geologiche, pertanto è opportuno individuarli a partire dal settore est verso quello ovest suddividendo la fascia costiera in quattro zone, caratterizzate per la presenza di due alti strutturali (*blocco di Castelsardo e blocco di Porto Torres*) intervallati da due fosse (*litorale di Platamona e litorale di Fiume Santo - Le Saline*).

2.1 Blocco di Castelsardo

- *Porto di Castelsardo.* Dai documenti medioevali e post-medioevali appaiono tre scali portuali correlati direttamente alla città fortezza di Castelsardo (Castelgenovese): si tratta del Porto di Frigiano, a occidente, e a oriente, degli scali di Mare Picinnu (Cala Marina) e di Agustina (Cala Ostina). Le ricerche archeologiche subacquee e protostoriche documentano l'uso antico di questi approdi. Cala Ostina rivestiva una notevole importanza rispetto alla città in quanto costituiva un approdo secondario ma ben riparato, dove rifugiarsi nel caso di tempesta. Di recente presso Cala Ostina sono state ritrovate delle strutture in *opus caementicium* e un lungo tratto di strada romana lastricata.

Frigiano era il porto della città che si serviva anche degli scali di S'Arena e Sa Marina. I documenti duecenteschi accostano Bonifacio a Castelsardo, più che a Porto Torres, Alghero o Bosa, come scali obbligati che puntano su Genova o su Pisa, come perni del commercio tra le due isole e le due città tirreniche.

Il porto era dominato dalla torre di un vecchio fortificio medievale che, verso la fine del XVI secolo, fu riadattato e la torre entrò a far parte del sistema difensivo della costa nord-occidentale dell'Isola realizzato dagli spagnoli fra la fine del XVI e l'inizio del XVII secolo (figura 1.1: Golfo dell'Asinara, punto 1).

Nelle Corti del 1643 la città chiese di far "*serrar dicha cala de Frixiano*" affinché le imbarcazioni potessero "*estar segures*". Alla fine del '600, il sindaco sollecitava il sovrano ad intervenire per rafforzare le difese militari e, soprattutto, per rendere più sicuro il porto con la chiusura della bocca d'ingresso. Una relazione degli anni Venti del Settecento afferma che nel porto, tra tutti i porti e le spiagge del Regno di Sardegna i "*..bastimenti piccoli et ancor grandi se vogliono ponno tirar in terra..*".

Per gran parte della prima metà del '700, come si evince anche dalle relazioni del Regno di Sardegna, la città si trova "*a vista nel lido del mare in una spiaggia la più tortuosa e pericolosa del Regno*". È un'immagine che sarebbe stata riproposta anche nei secoli successivi da J. F. Mimaut, console di Francia in Sardegna tra il 1815 e il 1818 "*Son port ne peut recevoir que de petits bâtimens marchands, e sa plage n'est fréquentée que par de barquer e des felouques*".

Oggi il porto di Frigiano è, in qualche modo, inglobato nel nuovo ampio porto turistico di Castelsardo (con profondità fra 3 e 5 metri, con 800 posti per barche fino a 35 metri, figura 1.2). La costa del comune di Castelsardo è un susseguirsi di coste rocciose

intervallate da piccole insenature, con la sola eccezione della spiaggia di Lu Bagnu (frazione di Castelsardo, a ovest del paese).

- *Santa Filitica*. In questa porzione di territorio sono presenti alcuni resti archeologici. Più precisamente il complesso di Santa Filitica (figura 1.1: Golfo dell'Asinara, punto a) è ubicato nel territorio di Sorso a pochi metri dal mare lungo la linea di costa, nella località omonima tra Porto Torres e Castelsardo (figura 1.3). Si tratta di un insediamento pluristratificato, romano e alto medioevale, costituito dai resti di una villa di età romana imperiale con fasi di prolungato riutilizzo di un abitato di fine V-VI secolo e di un villaggio di età bizantina che interessa complessivamente un arco cronologico compreso tra il III e il IX secolo.

I quattordici ambienti della villa romana, messi in luce, costituiscono l'estremità occidentale della parte residenziale e sono pertinenti ad un impianto termale. Il momento e le cause dell'abbandono della villa non sono per ora precisabili, le ultime campagne di scavo hanno tuttavia permesso di accertare che agli inizi del VI secolo, e forse già alla fine del V, gli ambienti dell'edificio furono rioccupati con diversa destinazione d'uso e con l'apporto di modifiche strutturali. In questo nuovo utilizzo la terma, nel suo complesso, divenne sede di una importante attività produttiva riconducibile alla metallurgia del ferro. L'attività metallurgica dell'insediamento doveva essere finalizzata alla produzione di utensili per il fabbisogno del villaggio e probabilmente si doveva basare sull'utilizzo del materiale dalla località di Canaglia, come sembrano suggerire le analisi diffrattometriche effettuate sui reperti.

2.2 Litorale di Platamona

- *Tonnara di Pedras de Fogu (Sorso-Sassari)*. Il complesso è ubicato nel Golfo dell'Asinara, in località La Tonnara (figura 1.1: Golfo dell'Asinara, punto b), di fronte a un tratto di mare caratterizzato da fondali bassi e prevalentemente sabbiosi. Nel 2000, in seguito alle violente mareggiate che avevano eroso la linea di costa, sono stati evidenziati e segnalati i resti della tonnara, che dava il nome alla zona. I resti sono visibili fra le sabbie attuali che hanno sepolto il pavimento e le strutture murarie. Lo stabilimento fu attivo almeno dalla metà del XVII secolo fino agli anni '70 del XVIII secolo. Ulteriori rovine, rinvenute alla fine degli anni '90, sono inglobate in un terrapieno divenuto nuovo piano d'uso, di circa due metri di altezza rispetto alla spiaggia sulla quale sono fondate le strutture della Tonnara (figura 1.4). L'unica muratura visibile nella sezione esposta dalle mareggiate ha andamento rettilineo, parallelo alla linea di costa, dalla quale dista meno di tre metri, con orientamento nord est - sud ovest.

Appare significativo il ruolo delle coperture eoliche di questa zona che hanno consentito una sepoltura delle strutture, successiva all'abbandono del sito. Ciò permette di testimoniare l'interessante attività di queste dune mobili a partire dalla metà del 1700. Solo recentemente non vi è testimonianza di ulteriori modificazioni di queste. Il sito della Tonnara appare quindi significativo nella ricostruzione dell'evoluzione della linea di riva del Golfo dell'Asinara orientale.

- *Marritza*. L'area di Marritza (figura 1.1: Golfo dell'Asinara, punto c), in prossimità dell'abitato di Sorso lungo il litorale di Platamona (figura 1.5), rappresenta la zona a maggior rischio di erosione da parte del mare. Le abitazioni in prossimità della linea di costa si trovano su un gradone di falesia.

- *Torre di Abbacurrente*. La torre, attiva dal 1595, grava sulle rocce carbonatico-marnose del Miocene che formano il promontorio occidentale dell'ampio litorale sabbioso di Platamona (figura 1.6). Benché essa poggi su un substrato roccioso oggi la sua situazione è piuttosto precaria essendo soggetta all'azione dei marosi che determinano un progressivo e rapido degrado della sua struttura. Nei quattro secoli della sua esistenza il gradino morfologico è arretrato di molti metri giungendo a minacciare la stabilità della torre. Appare azzardato quantificare l'arretramento di questa costa rocciosa, tuttavia si può ipotizzare un valore non inferiore a 10 metri in rapporto alla distribuzione delle rocce nella zona sommersa antistante e alla frequenza delle frane sulla falesia adiacente, ad ovest, indotte dall'energia del moto ondoso.

La torre di Abbacurrente (figura 1.1: Golfo dell'Asinara, punto 2) faceva parte di un sistema difensivo della costa nord-occidentale dell'Isola realizzato tra la fine del XVI secolo e gli inizi del XVII secolo. Le altre torri presenti nel territorio, ad ovest di Abbacurrente, sono: la torre aragonese³ di Porto Torres (figura 1.1: Golfo dell'Asinara, punto 3), quelle delle Saline (1572), della Pelosa (1593) e di Capo Falcone (1596) (figura 1.1: Golfo dell'Asinara, punti 4, 5, 6), dell'Isola Piana (1572) (figura 1.1: Golfo dell'Asinara, punto 7) e quelle di Trabuccato, Cala d'Oliva e Cala d'Arena (1609-1611) sull'isola dell'Asinara (figura 1.1: Golfo dell'Asinara, punti 8, 9, 10). Ad est di Abbacurrente è presente la sola torre del porto di Frigiano, presso Castelsardo, di cui si è detto in precedenza.

La presenza delle torri costiere non fu però in grado di arginare il fenomeno del contrabbando; infatti, tartane, brigantini, feluche, fregate, attraccavano nelle spiagge di Sorso per caricare di frodo i cereali senza passare i controlli degli ufficiali patrimoniali e senza pagare i diritti di esportazione. Ciò conferma ulteriormente la continua frequenza antropica sull'intero litorale del Golfo.

2.3 Blocco di Porto Torres

- *Scavi di Marinella* (figura 1.1: Golfo dell'Asinara, punto d). Nell'ambito di questi scavi, risalenti alla fine degli anni '70 (figura 1.7), fra aprile e novembre del 1993 (con la realizzazione del nuovo asse di collegamento degli agglomerati industriali al porto industriale di Porto Torres) si è attuata un'indagine al fine di tutelare l'eventuale presenza di resti archeologici. L'indagine ha restituito quasi certamente le più antiche testimonianze, o una delle più antiche fino a ora conosciute, del primo insediamento della città. Sono affiorate, infatti, alcune strutture edilizie e sepolture; esse consistono per lo più in fosse scavate nel calcare, ma non mancano tombe ipogeiche a camera. Dal punto di vista cronologico le strutture possono essere fatte risalire a un periodo compreso fra la seconda metà del I e il II secolo d.C. Lo scavo ha messo in luce le sepolture in posizione giacente o incassata su un deposito di origine marina che costituiva, probabilmente, l'antica linea di riva durante il Tirreniano (figura 1.7).

³ La torre, costruita dagli aragonesi nel 1325, inizialmente serviva a scopi di controllo doganale e fiscale della zona. Dalla fine del XVI secolo fece parte del sistema difensivo costiero realizzato dagli spagnoli. La torre ha forma ottagonale, molto diversa dalla maggior parte delle torri isolane di classica forma cilindrica. Per alcuni studiosi la forma prismatica suggerirebbe una origine catalana.

2.4 Litorale di Fiume Santo – Le Saline

- *Fiume Santo (Porto Torres)*. Nell'estate del 1983, in previsione della costruzione del secondo gruppo della centrale elettrica, furono eseguiti alcuni sondaggi di scavo archeologico in località Fiume Santo alla foce dell'omonimo fiume. Questa zona, particolarmente felice per la vicinanza alla romana *Turris Libisonis*, l'attuale Porto Torres, offre una testimonianza di frequentazione della località dall'età romana imperiale fino all'alto Medioevo grazie al ritrovamento di numerosi ambienti, solo parzialmente individuati, relativi probabilmente a una fattoria o a una villa rustica (figura 1.8). L'ubicazione della villa è sulla sinistra orografica della foce del rio di Fiume Santo (figura 1.1: Golfo dell'Asinara, punto e), ma gran parte delle strutture murarie si trovano sotto il livello del mare, distrutte dalla dinamica del moto ondoso. Solo una porzione dell'edificio si conserva lungo l'area perimetrale dell'impianto industriale della centrale termoelettrica. La debole inclinazione dell'area sommersa suggerisce comunque un importante arretramento della linea di riva post-romana di alcune centinaia di metri.

- *Torre delle Saline (Stintino)*. Le saline (figura 1.9), di proprietà dei monaci di Santa Maria di Tergu, sfruttate dal XIII secolo, si trovano a breve distanza dallo stagno di Casaraccio e dal complesso ottocentesco della Tonnara, oggi trasformato in residenza turistica. In seguito, questa porzione di litorale è stata soggetta a sfruttamento delle sabbie silicee ghiaiose provenienti dal disfacimento della *beachrock*⁴ tirreniana. L'inizio dell'attività di prelievo è certamente antecedente alle stesse saline poiché è già presente nelle costruzioni romane della città di *Turris Libisonis*.

La Torre delle Saline nel 1847 distava oltre 10 metri dalla battigia e nel 1897, in periodo di accrescimento della spiaggia, 55 metri. Alla fine degli anni '50 del Novecento, il mare raggiungeva la Torre in conseguenza di un abbassamento del livello di base di circa 60 cm, eventi che determinarono i primi crolli nella massiccia costruzione. Poco più a sud della Torre, un pontile in cemento, costruito durante l'ultimo conflitto mondiale, con radice incastrata in un paio di metri di spiaggia, si trovava già isolato in acqua a una decina di metri dalla linea di riva [6].

- *Stintino - La Pelosa*. Il comune di Stintino insiste sulla omonima penisola che si protende verso l'isola dell'Asinara, situata a breve distanza. Quest'ultima ospita il Parco Nazionale dell'Asinara, istituito con la legge n. 344 del 1997, e per il quale Stintino rappresenta l'imbarco più prossimo. L'origine del borgo di Stintino è dovuta alla decisione del Governo italiano di istituire il 22 giugno 1885 sull'isola dell'Asinara in località Cala Reale il primo lazzeretto a uso sanitario, insieme a una colonia penale in località Cala d'Oliva.

Il porto di Stintino ospita ancora numerose barche a vela latina, che dopo l'avvento delle imbarcazioni a motore hanno trovato nuova linfa nel turismo diportistico e nelle regate veliche.

La principale attrattiva turistica è la spiaggia di La Pelosa, collocata nell'estremo lembo nord-occidentale della Sardegna, e affacciata sul Golfo dell'Asinara e sull'omonima isola. La spiaggia è caratterizzata da una sabbia bianca finissima e da un mare azzurro-turchese con un fondale molto basso. Immediatamente prospiciente a una spiaggia più piccola, chiamata La Pelosetta, si trovano l'isolotto, raggiungibile a piedi, della Torre della

⁴ Sedimento litificato, formatosi nella zona intertidale per cementazione del sedimento che costituisce la spiaggia entro cui esso si trova.

Pelosa (costruita dagli spagnoli nel 1572) e l'Isola Piana che ospita una torre spagnola alta 18 metri chiamata Torre della Isola Piana, edificata nel XVI secolo e restaurata nel 1931.

3 Insenatura di Porto Conte (Alghero)

Come il Golfo dell'Asinara anche l'Insenatura di Porto Conte (Alghero) è molto ricca di reperti archeologici. Questa Insenatura è una profonda ria⁵ formatasi a seguito delle modificazioni climatiche che hanno determinato l'innalzamento del livello del mare nel postglaciale, allorché il mare penetrò in profondità nella valle carsica che caratterizzava l'intera zona oggi sommersa. Molte grotte lungo le falesie del promontorio di Capo Caccia e di Punta Giglio, situate a varie profondità, sono state sommerse durante la progressiva rimonta del mare.

L'Insenatura di Porto Conte risulta un sito particolarmente ricco di resti archeologici e di depositi recenti che possono permettere la ricostruzione dell'evoluzione geomorfologica e l'uso di questa porzione di territorio da parte dell'uomo.

I numerosi dati provenienti dalle evidenze archeologiche, dalle fonti letterarie e dai dati geomorfologici mettono in evidenza la particolare complessità di questo tratto costiero della Sardegna, sottolineando l'uniforme arretramento della linea di costa.

Anche l'Insenatura di Porto Conte era ben presidiata da torri difensive quali quella del Lazzaretto, di Punta Giglio, di Porto Conte, di Tramariglio, del Bulo, della Pegna (figura 1.1: Insenatura di Porto Conte, punti 1, 2, 3, 4, 5, 6)

Le osservazioni fatte mostrano chiaramente che il livello marino è variato in modo considerevole durante i diversi periodi appartenenti all'arco temporale degli ultimi 8000 anni (Olocene) (figura 1.10).

3.1 Il villaggio nuragico e il nuraghe Palmavera

Il complesso nuragico di Palmavera è ubicato a meno di 2 km dal mare sul versante del monte omonimo a circa 65 m di quota s.l.m. lungo una via che collega il Golfo di Alghero con quello di Porto Conte (figura 1.1: Insenatura di Porto Conte, punto a). Il nuraghe è costituito da una torre alla quale fu aggiunto un rifascio di forma irregolarmente ellittica, il quale, oltre ad avere il compito di consolidamento del mastio, racchiude una torre secondaria, un cortile scoperto e un corridoio con nicchie (figure 1.10 e 1.11). L'insieme dell'edificio è delimitato da un imponente antemurale, con quattro torri-capanne intorno al quale erano disposte le numerose capanne del villaggio. L'ingresso principale, orientato a sud-est, è sormontato da un architrave che introduce attraverso un breve corridoio al piccolo cortile scoperto; dal cortile si ha l'accesso al mastio e alla torre secondaria. Tutta la parte superiore dell'edificio era costituita da un terrazzo con spalti. Il villaggio, che sicuramente si estendeva più a sud verso il mare, è costituito da una quarantina di capanne, non tutte esplorate, costruite intorno alla cinta pentagonale e disposte in modo non ordinato. Le capanne sono prevalentemente a pianta circolare, anche se non mancano costruzioni rettangolari che sembrano essersi sovrapposte ad ambienti circolari. Sulla base degli impianti architettonici e culturali si

⁵ Insenatura costiera, piuttosto stretta, derivata dall'invasione del mare in una valle fluviale perpendicolare alla costa.

possono supporre tre fasi che vanno dal XIII secolo a. C. alla fine dell'VIII secolo a. C., l'abbandono del villaggio è da collocarsi nel VII secolo a. C. Dai materiali rinvenuti nel corso degli scavi appare evidente l'economia del complesso nuragico; infatti, la popolazione integrava l'attività agricola, localizzata principalmente nell'area intorno a Maristella, dove insistono suoli con capacità produttiva, con la pastorizia diffusa nelle aree intorno al monumento, dove prevalgono sterili coperture di *terra rossa* (suoli residuali con presenza accentuata di frazione argillosa e calcarea). La presenza di un amo da pesca documenta che tali attività non escludevano, anche per questo sito, una frequentazione e un uso costante del mare, sebbene il complesso fosse ubicato a una discreta distanza dalla linea di costa.

3.2 Sant'Imbenia

La villa romana

Nella baia di Porto Conte, in località Sant'Imbenia, in posizione dominante sull'ampia rada, si conservano resti di strutture murarie appartenenti ad un edificio di epoca romana (lunghezza oltre 90 metri). Il complesso degli ambienti di Sant'Imbenia (figura 1.1: Insenatura di Porto Conte, punto b) testimonia la presenza di una imponente *villa maritima* sorta su uno dei latifondi che gestiva l'agricoltura di un'area più vasta dell'entroterra della baia di Porto Conte (figure 1.10 e 1.12). La posizione costiera era stata certamente scelta per favorire il rapido smistamento del grano verso i mercati della Penisola. La tranquilla baia di Porto Conte forniva un approdo protetto, infatti, nel fondale antistante, sono presenti strutture attribuibili a moli portuali. I piccoli blocchi lavorati, disposti perpendicolarmente alla riva, che si scorgono in mare di fronte al complesso meridionale, potrebbero essere quanto resta di un piccolo attracco. Le caratteristiche architettoniche e di decoro dell'edificio evidenziano una struttura di particolare pregio attribuibile a una proprietà di una certa importanza. È stato ipotizzato che il secondo nucleo potesse ospitare un settore termale collegato con la parte residenziale della villa. Per quanto riguarda la cronologia dell'intero complesso, in mancanza di ulteriori dati, rimane ferma la datazione, proposta da Maetzke⁶, alla seconda metà del I secolo d. C. La porzione meridionale della villa si trova oggi in condizioni di precarietà a causa dell'erosione marina che dopo aver sommerso il cortile esterno dell'edificio, ne minaccia le strutture portanti determinandone il crollo. Appare evidente che la linea di costa ha subito un considerevole arretramento posteriore all'edificazione della villa che sorgeva a diverse decine di metri dalla battigia. La debole inclinazione della spiaggia ha favorito una diffusa penetrazione del mare nell'area di Sant'Imbenia; resti della costruzione romana si rinvengono sommersi oltre la batimentrica di 1,20 m.

Il complesso nuragico

Il complesso nuragico di Sant'Imbenia (figura 1.13), grazie ai numerosi reperti ritrovati durante gli scavi, testimonia la vivacità degli scambi tra gli abitanti del villaggio e del nuraghe con altri popoli (Fenici e forse anche Greci) che, tra il IX e l'VIII secolo a. C.,

⁶ Guglielmo Maetzke (Firenze 1915 - Firenze 2008), archeologo che ha operato in Sardegna dagli anni Quaranta agli anni Sessanta del '900.

stabilirono i primi contatti commerciali. Il nuraghe, dal profilo del bastione retto-curvilineo con tre torri (il mastio e le due affrontate sul lato sud-est), costituisce il fulcro attorno al quale si estendeva, in tempi e con soluzioni planimetriche differenti, un villaggio. Le condizioni del territorio perimetrico al villaggio erano dominate dalla presenza di suoli ad elevata potenzialità agricola derivata dal fatto che il luogo era stato “bonificato” naturalmente dalla riduzione dello stagno che dominava l’area, circa 4 mila anni a. C. Certamente l’economia, prevalentemente agricola, doveva essere integrata con l’uso delle risorse del mare.

3.3 Il sistema carsico

L’insenatura di Porto Conte è delimitata a occidente dal promontorio di Capo Caccia, impostato su un sistema carsico, che la protegge dal dominio dei venti del IV Quadrante (figura 1.1). Tutta la falesia dell’insenatura, oltre 25 km, è costituita da rocce calcaree del Mesozoico che danno luogo a forme di costa alta con differenti contesti di evoluzione e di rischio [12]. Solo nel breve tratto più settentrionale la falesia è impostata su rocce calcaree del Trias, queste costituiscono un tratto con fenomeni di elevata instabilità per la presenza di argille gessose e di gessi.

Fra i monumenti naturalistici che caratterizzano questa baia, fondamentalmente grotte aeree e subacquee, vogliamo citare la Grotta di Nettuno e la Grotta Verde (figura 1.1: Insenatura di Porto Conte, punti c, d). Fin dal 1800 queste, e le altre grotte presenti, furono oggetto di esplorazioni: Alberto La Marmora⁷ cercò, senza trovarlo, un collegamento fra la Grotta di Nettuno e la Grotta Verde⁸.

3.3.1 Grotta di Nettuno

Niente di nuovo c’è da dire su questa celeberrima grotta, ormai preda del turismo di massa. La Grotta ha una lunghezza totale di circa 4 km di cui soltanto alcune centinaia di metri sono fruibili dai visitatori. Può essere raggiunta a piedi dalla sommità del promontorio di Capo Caccia scendendo lungo l’*Escala del Cabriol* (la scala del capriolo), una scalinata panoramica di 656 gradini (figura 1.14), realizzata alla fine degli anni Cinquanta lungo la parete della falesia. L’accesso alla grotta è possibile, inoltre, via mare con le imbarcazioni che partono da Alghero e da Cala Dragunara (nell’insenatura di Porto Conte).

All’interno si trovano formazioni concrezionali come stalattiti e stalagmiti, e un lago salato (Lago La Marmora) di circa 100 metri di lunghezza, 25 metri di larghezza e 9 metri di profondità, allo stesso livello del mare. Al centro del lago è presente una colonna stalagmitica di un paio di metri. La massima altezza, sul livello del mare, della volta della Grotta è di circa 50 metri.

Nel 2010 il Comune di Alghero ha iniziato i lavori per la realizzazione di un camminamento di circa 150 m, esterno sulla falesia, che congiunge il piazzale da dove inizia la scalinata, che scende alla Grotta di Nettuno, e l’ingresso della Grotta Verde (figura 1.15).

⁷ Alberto La Marmora (Torino 1789 – ivi 1863). Nel 1849 gli fu attribuito l’incarico di Comandante Generale della Sardegna. Con l’opera *Viaggio in Sardegna* (1826) contribuì a diffondere la conoscenza degli aspetti geografici e sociali dell’Isola.

⁸ Gli ingressi delle due grotte distano, in linea d’aria, circa 420 metri.

3.3.2 Grotta Verde

Il suo nome deriva dai muschi e dai licheni di color verde che incrostano le colonne calcaree, alte circa 20 metri, situate di fronte all'ingresso che precipita quasi come un imponente inghiottitoio. La cavità è denominata anche Grotta dell'Altare o Grotta di Sant'Erasmo⁹ per i resti di un altare paleocristiano che pare sorgesse nella sala.

L'ingresso della Grotta (larghezza 50 m, altezza 15 m) ha forma di ellisse allungata e inclinata (circa 45°) verso il basso in direzione nord. Detto ingresso è situato sul lato est di Capo Caccia a circa 90 m sul livello del mare (figure 1.16 e 1.17).

La Grotta si articola in: una cavità aerea, un cunicolo, una sala sottomarina e numerose sale successive (figura A¹⁰). La cavità aerea sprofonda verso ovest fino a raggiungere un laghetto, cristallino, salmastro, contornato da massi con graffiti, Laghetto dei Graffiti (3 m per 4 m, a circa 13 °C, a 0 m sul livello del mare).

Il fondo del laghetto, dopo un primo tratto in piano, scende verticalmente fino alla profondità di 9 m (figura B¹⁰). Qui si trova un basso passaggio che dà accesso all'anticamera di un ampio salone di 40 m di lunghezza, 20 m di larghezza, 39 m di altezza complessiva, di cui 26 m subacquei e 13 m aerei; in conseguenza di ciò, tra i due ambienti che si determinano, si ha un lago (Lago Elena, 31 m per 8 m) nel quale i primi due metri sono di acqua dolce-salmastra¹¹. Dal lago si emerge in un ambiente aereo molto concrezionato lungo 26 m, largo poco meno di 8 m e con il soffitto 13 m più in alto. Dal soffitto e dalle pareti inclinate pendono numerose stalattiti, anche molto grandi; alcune di esse affondano oltre la superficie del lago sottostante per più di 2 m. Le numerose sale successive, alcune sommerse e altre no, sono intercomunicanti, ma non sono state ancora del tutto esplorate.

L'esame dei materiali rinvenuti permette di attribuire alla cavità aerea la funzione di luogo d'insediamento temporaneo o stanziale databile al Neolitico Medio e al Neolitico Recente e di luogo di culto durante l'epoca paleocristiana. I materiali ceramici ritrovati nella sala sottomarina e nel cunicolo, per le loro caratteristiche tecniche testimonierebbero un uso quotidiano, dettato probabilmente dall'esigenza di attingere acqua dolce o un possibile uso religioso; l'individuazione di reperti ossei umani, nelle nicchie che si trovano nel cunicolo, testimonierebbe la presenza di sepolture da attribuire probabilmente ad epoca più tarda. L'uso di questi ambienti si può datare tra il Neolitico Antico e il Neolitico Recente. Bisogna tuttavia considerare che il livello del mare si trovava a una quota decisamente inferiore rispetto all'attuale favorendo in tal modo la frequentazione della grotta fino in profondità.

Nell'ambito dei lavori iniziati nel 2010, oltre al camminamento che consente di andare dal piazzale, dove inizia la scalinata della Grotta di Nettuno, all'ingresso della Grotta Verde il Comune di Alghero ha previsto anche lavori di adattamento di questa grotta per renderla visitabile dai turisti: rifacimento della scalinata di accesso (figura 1.17), impianto di illuminazione, camminamento dall'ingresso alla zona delle colonne (figura A punto 4).

⁹ Sant'Erasmo o Sant'Elmo (III secolo – 303), fu vescovo di Formia e martire. È venerato come patrono dei marinai.

¹⁰ Nella sezione FIGURE questa è riportata col numero 1.18 ed è seguita da alcune fotografie dei principali punti in essa indicati.

¹¹ L'acqua dolce proviene dal sistema di circolazione delle acque di origine carsica.

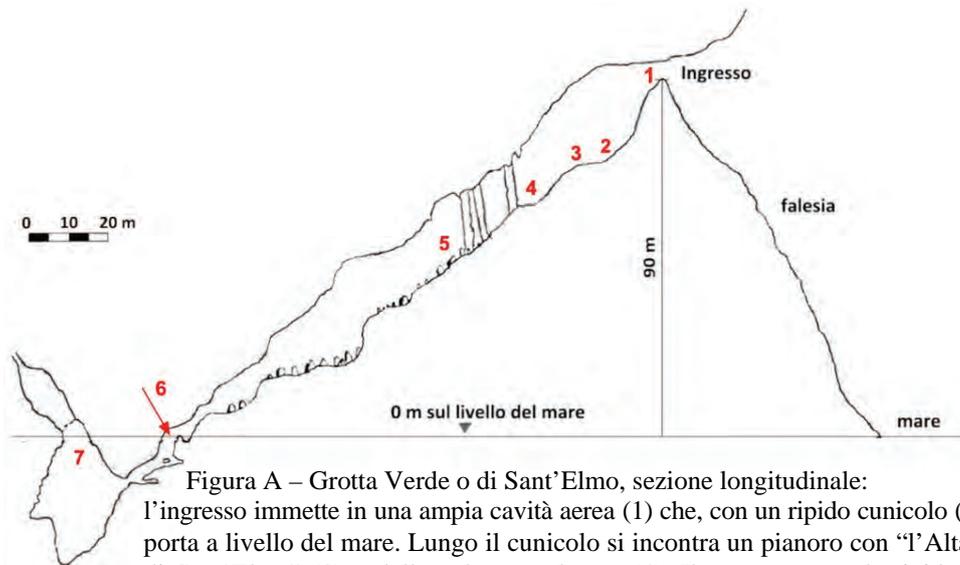


Figura A – Grotta Verde o di Sant’Elmo, sezione longitudinale: l’ingresso immette in una ampia cavità aerea (1) che, con un ripido cunicolo (2), porta a livello del mare. Lungo il cunicolo si incontra un pianoro con “l’Altare di Sant’Elmo” (3) e delle colonne calcaree (4). Il percorso scende ripido su una frana (5) al laghetto dei Graffiti (6), nel quale ci si può immergere per raggiungere la parte sommersa della Grotta (7), (da Guillot, 1997). In figura B la parte sommersa è maggiormente dettagliata.

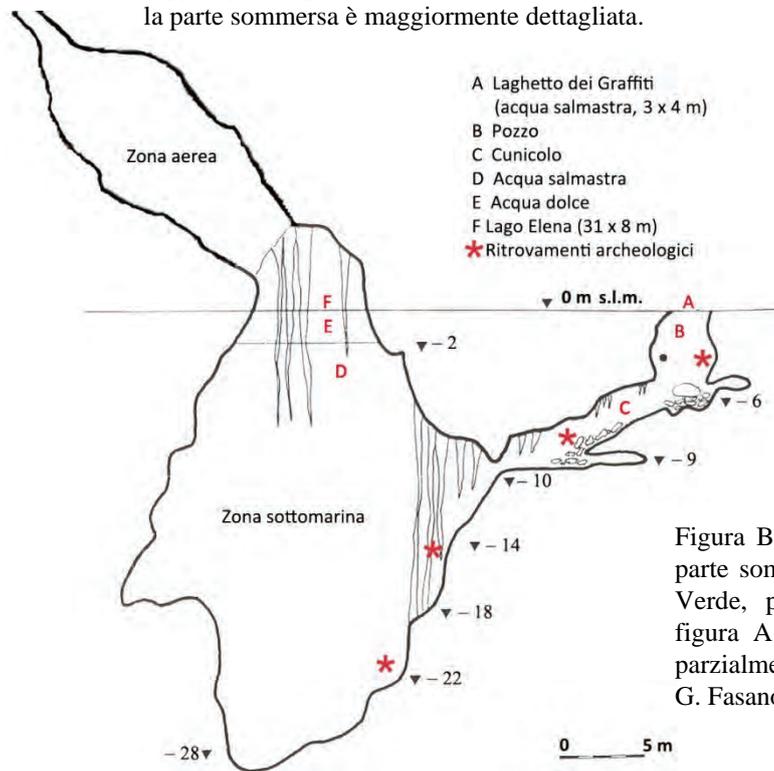


Figura B – Particolare della parte sommersa della Grotta Verde, punti (6) e (7) in figura A. (da Tanda, 1999, parzialmente modificata da G. Fasano).

Considerazioni sul microclima della Grotta Verde

Mentre per gli aspetti geologici e archeologici della Grotta Verde c'è una vasta letteratura, sul microclima di questa Grotta c'è poco o niente. Per ovviare a questa limitazione, in tre punti della Grotta (figura A):

- all'ingresso, punto (1),
- nei pressi dell'Altare, punto (3),
- nella zona delle Colonne, punto (4),

per un biennio, si sono monitorati i seguenti parametri dell'aria:

- temperatura [°C],
- umidità relativa [%],
- tasso di Anidride Carbonica [ppm (parti per milione)].

Al contempo sono state rilevate le principali caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua nel Laghetto dei Graffiti (vedi tabella 1.2).

La morfologia della Grotta, con il forte dislivello fra i punti estremi in cui sono state eseguite le misure (1 e 4 in figura A), circa 50 m, condiziona fortemente la termodinamica dell'aria al suo interno. Il ricambio, a parte l'azione del vento, è affidato ai gradienti di temperatura, umidità e CO₂ che si instaurano fra i punti di misura, in relazione alle condizioni meteorologiche esterne. Queste condizionano anche le oscillazioni degli andamenti temporali delle grandezze misurate che si ripetono, sia pure attenuate in ampiezza, nei tre siti di misura andando da (1) a (3) a (4), passando da un sito all'altro con un certo ritardo che viene attenuato in presenza di vento. Ciò significa che, anche in assenza di vento, per effetto dei gradienti prima citati, c'è un debole movimento d'aria, che va, di norma, da (1) verso (4).

- Temperatura dell'aria

Dai dati rilevati risulta del tutto evidente che nel periodo maggio-ottobre la temperatura del punto (4) è più stabile (indice di scarso rimescolamento dell'aria), e di norma più bassa, di quella nei punti (1) e (3). Nel periodo tardo-autunnale la temperatura in (4) comincia ad avere, sia pure per brevi periodi, valori superiori alle altre e ad assumere un andamento più oscillante. L'effetto si enfatizza nei mesi seguenti fino a febbraio dove le temperature nei tre siti sono molto simili ma quella in (4) è comunque più alta. In primavera con l'allungamento delle giornate e con il riscaldamento dell'aria esterna, la temperatura in (4) ricomincia a oscillare meno e ad assumere valori crescenti ma sempre minori dei valori in (1) e in (3).

Questa dinamica suggerisce che solamente nei mesi invernali ci può essere, grazie al gradiente di temperatura che rende l'aria in fondo alla Grotta meno densa di quella esterna, un buon ricambio d'aria; ciò è confermata dal fatto che la temperatura in (4) ricalca l'andamento oscillatorio di quella in (1) e in (3)¹².

Nei mesi estivi, essendo l'aria in (4) più fredda (quindi più densa) il ricambio d'aria è fortemente ridotto. A questo si aggiunga che anche il vapor d'acqua, in questo periodo, è in

¹² Ciò significa che l'aria di (1) passa da (3) e raggiunge (4).

quantità minore in (4) rispetto agli altri siti. Ciò aumenta ulteriormente la densità dell'aria¹³ in (4) e con questa si inibisce maggiormente l'afflusso d'aria dall'esterno verso l'interno.

- Umidità dell'aria

Per valutare la dinamica del vapor d'acqua, all'interno della Grotta, appare più significativa l'umidità assoluta¹⁴, UA, rispetto all'umidità relativa, UR; è per tale motivo che questo parametro, non misurato direttamente, è stato ricavato, per ogni sito, dalla misura della temperatura e dell'umidità relativa.

I dati rilevati mostrano che l'UR nel sito (4) è di norma superiore a quella negli altri siti, questo potrebbe indurre a pensare, erroneamente, a un trasferimento di vapore dal fondo verso l'ingresso della Grotta, con conseguente ricambio d'aria. Di fatto la maggiore UR è dovuta alla minore temperatura nel sito (4) rispetto agli altri siti. Si può notare inoltre che l'UA nel sito (4) ha oscillazioni meno marcate che negli altri siti (come anche l'UR) ma risulta talvolta maggiore e talvolta minore dell'UA di (1) e di (3). Questo significa che quando l'UA in (4) risulta minore il gradiente di vapore è tale da lasciare supporre un trasferimento di questo dall'ingresso verso l'interno della Grotta, con conseguente modesto ricambio d'aria. Questa situazione si manifesta quando UR e UA sono in (1) contemporaneamente molto alte, molto verosimilmente ciò accade quando fuori dalla Grotta piove o c'è nebbia.

Un contributo all'umidità atmosferica della Grotta può pervenire anche dal Laghetto dei Graffiti posto a quota più bassa del sito (4), punto (6) in figura A. Le misure delle caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua del Laghetto hanno mostrato, fra la profondità di 4,3 m e la superficie una variazione di salinità di circa 0,76 %. Questa minore salinità dell'acqua superficiale, dovuta a percolazioni di acque meteoriche, indica un modesto, se non nullo, rimescolamento dell'acqua, e una maggiore evaporabilità di questa. L'evaporazione dell'acqua dal lago è condizionata dall'UR dell'aria sovrastante (a parità di temperatura, aumenta quando UR diminuisce), ciò produce una sorta di stabilizzazione di questa e quindi, in assenza di apporti di aria dall'esterno, l'umidità nel sito (4), il più prossimo al lago, tende a essere costante nel tempo. Ciò è particolarmente evidente nel periodo estivo.

- Anidride carbonica

Gli andamenti temporali del tasso di CO₂ mostrano tutti che la massima quantità si ha in (1), in (4) è media e, infine, in (3) la quantità è minima. Questo risultato suggerisce che la CO₂, in assenza di persone nella grotta, proviene dall'esterno¹⁵: entra da (1), dove mostra un valore simile a quello esterno, scende lungo il pendio lambendo (3) e, raggiunto il tratto pianeggiante dove è il sito (4), rallenta la corsa, in parte si disperde nei cunicoli e in parte prosegue lungo il pendio che porta al Laghetto dei Graffiti e oltre. Lo stesso Laghetto

¹³ L'acqua ha peso molecolare 18, mentre il "peso molecolare" dell'aria (media ponderata fra 80 % di azoto e 20 % di ossigeno) è 29.

¹⁴ L'UA si misura in grammi di vapor d'acqua per metro cubo d'aria. L'UR è definita come la quantità di vapore presente in un volume d'aria in rapporto alla quantità che potrebbe essere, nello stesso volume, in relazione alla temperatura dell'aria.

¹⁵ Sul mare è comune un tasso di CO₂ intorno a 360 ppm.

contribuisce al parziale smaltimento¹⁶ della CO₂ arrivata da (4). Queste affermazioni sono corroborate dall'analisi dei momenti in cui i picchi di CO₂ si manifestano nei tre siti. Abbiamo praticamente sempre prima il picco in (1), poi in (3) e quindi in (4); pertanto la CO₂ scorre da (1) verso (4) dove la "corsa" rallenta e il tasso di CO₂ aumenta rispetto al sito (3) che, trovandosi sul pendio, non consente accumuli di CO₂. Ovviamente il ritardo con cui si manifestano i picchi in (3) e in (4) rispetto ad (1) è legato alla distanza di (3) e di (4) da (1) ed è condizionato dalla presenza e dall'intensità del vento.

- Laghetto dei Graffiti

Come già detto questo è un piccolo lago (3 m per 4 m) al livello del mare col quale, in qualche modo, comunica, ma che, per effetto dell'acqua dolce proveniente dal sistema di circolazione delle acque carsiche, ha acqua salmastra¹⁷ (salinità compresa fra 19 ‰ e 27 ‰, contro il 37 ‰, medio, della superficie del mar Mediterraneo in prossimità delle coste sarde), leggermente acidula (pH compreso fra 6,64 e 6,94, contro 7,95 e 8,13 del mare che risulta pertanto moderatamente alcalino), con una modesta quantità di ossigeno disciolto (compreso fra 3,76 e 4,17 mg/l, contro un valore medio di 6,8 mg/l del mare aperto). Questi parametri fisico-chimici dell'acqua del Laghetto, insieme alla temperatura (13,5 – 14,5 °C), si mantengono abbastanza costanti durante l'anno (nelle acque costiere la temperatura varia da 12 a 23 °C nelle diverse stagioni).

Tramite una sonda multiparametrica sono state rilevate, in modo estemporaneo, alcune caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua del Laghetto i cui valori medi annuali sono riportati nella seguente tabella. In essa si può osservare l'incongruità dell'acqua più fredda in superficie, ma considerando che è acqua molto più dolce, anche se un po' più fredda, è meno densa e quindi l'incongruità è solo apparente.

Tabella – Valori medi annuali di alcuni parametri fisico-chimici del Laghetto dei Graffiti.

Profondità [m]	Temperatura [°C]	pH	Conducibilità [mS/cm]	Salinità [‰]	Ossigeno Disciolto [mg/l]	Redox [mV]
0,3	13,5	6,94	32,0	19,4	4,17	156
0,6	13,5	6,92	32,0	19,4	4,16	156
1,0	13,5	6,91	32,0	19,4	4,14	156
1,5	13,5	6,88	32,4	19,6	4,08	157
2,0	13,7	6,86	32,8	20,0	4,00	157
2,5	13,8	6,84	32,8	20,0	3,99	158
3,1	14,1	6,79	34,2	20,9	3,81	158
4,3	14,7	6,64	43,1	27,0	3,76	161

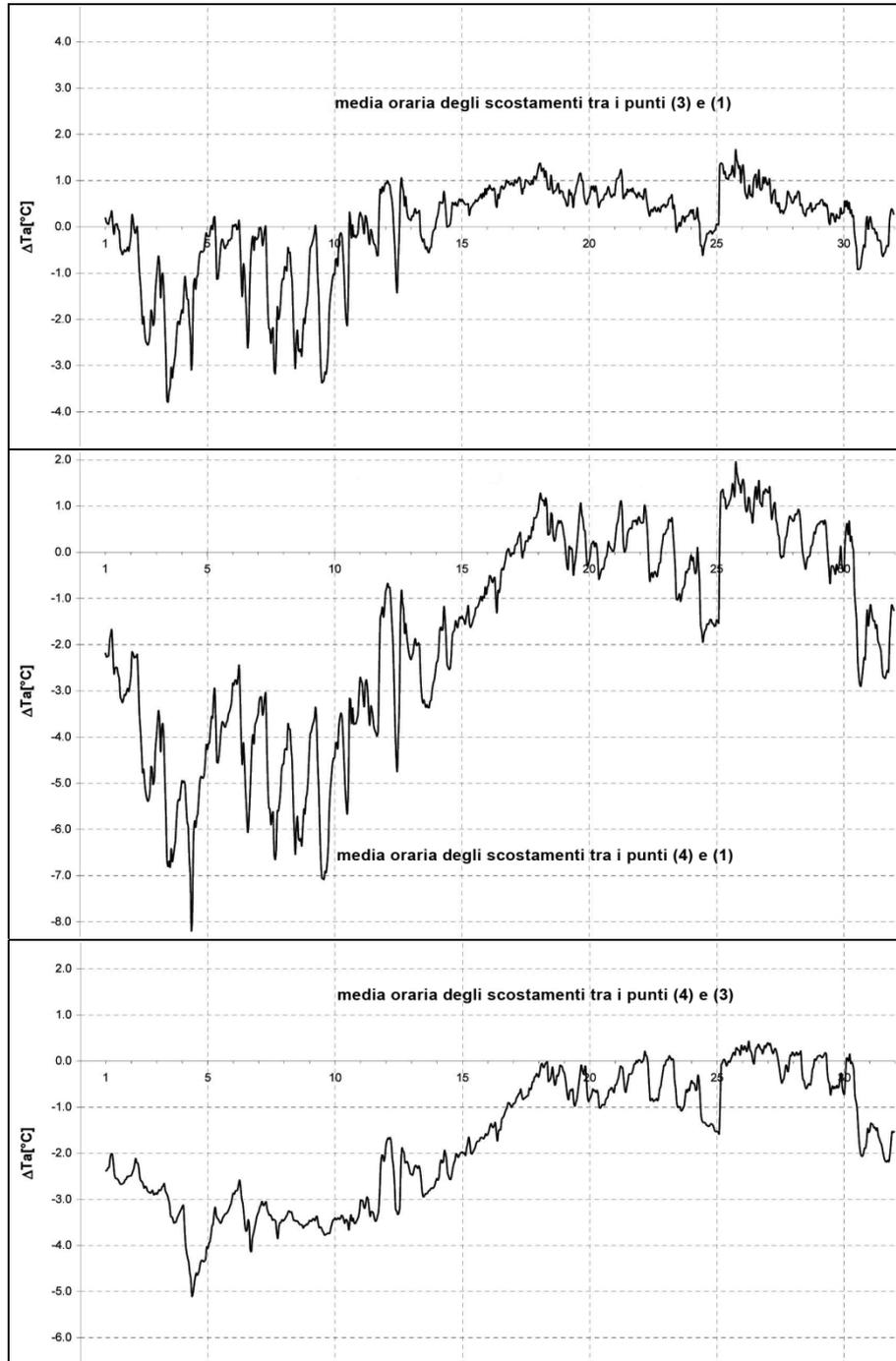
Nelle figure seguenti sono riportati, come esempi, gli andamenti delle differenze fra i valori di temperatura, umidità relativa, umidità assoluta e tasso di CO₂, dei tre siti di misura per un mese per ciascuna stagione dell'anno.

¹⁶ Come ogni gas la CO₂ è solubile in acqua in funzione di: temperatura, salinità, pressione [1].

¹⁷ L'acqua è salmastra se contiene fra 0,5 e 24÷30 grammi di sale per kilogrammo d'acqua.

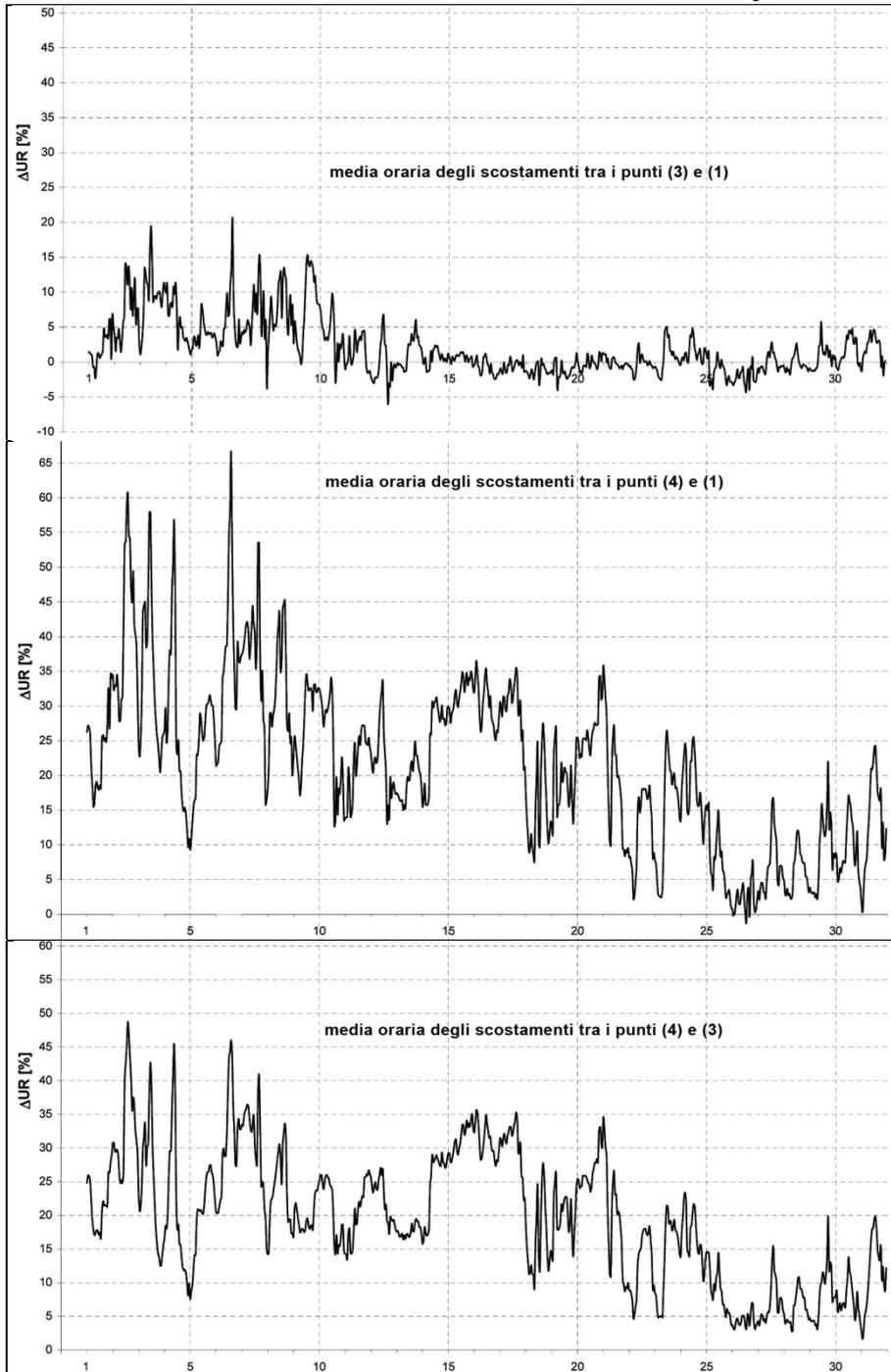
Ottobre 2010:

andamenti della differenza fra i valori di TEMPERATURA nei tre punti di misura.



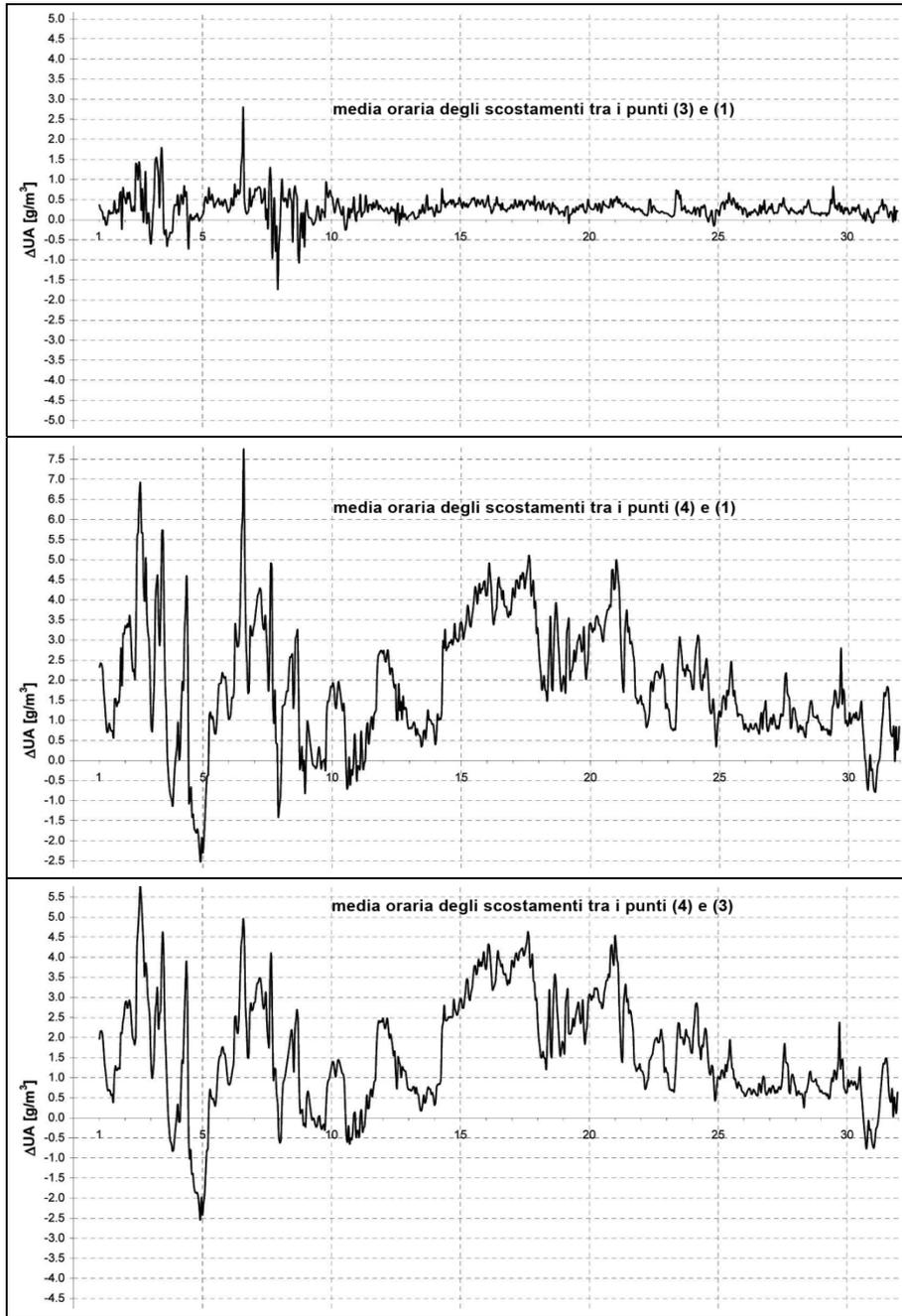
Ottobre 2010:

andamenti della differenza fra i valori di UMIDITÀ RELATIVA nei tre punti di misura.



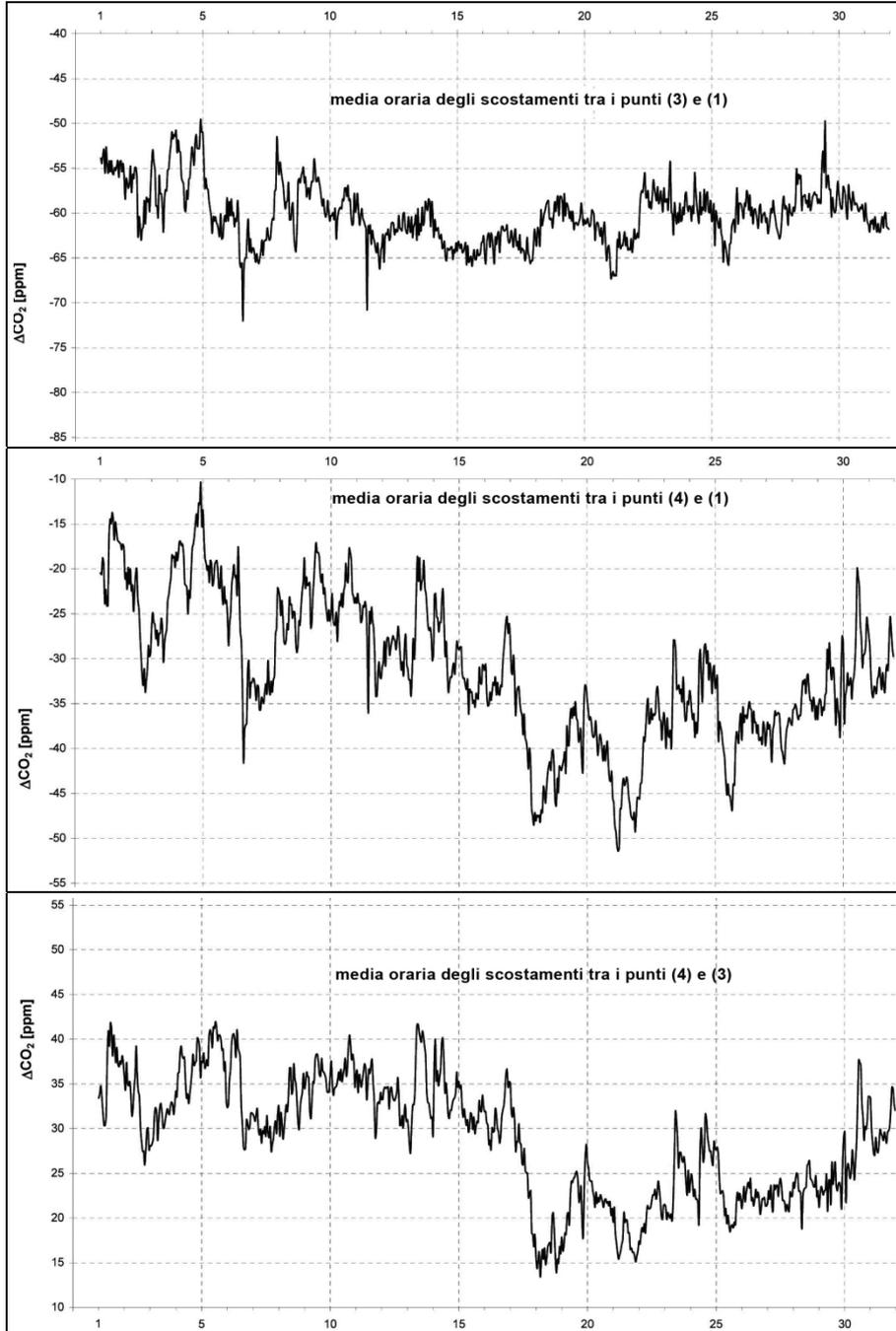
Ottobre 2010:

andamenti della differenza fra i valori di UMIDITÀ ASSOLUTA nei tre punti di misura.



Ottobre 2010:

andamenti della differenza fra i valori di TASSO DI CO₂ nei tre punti di misura.



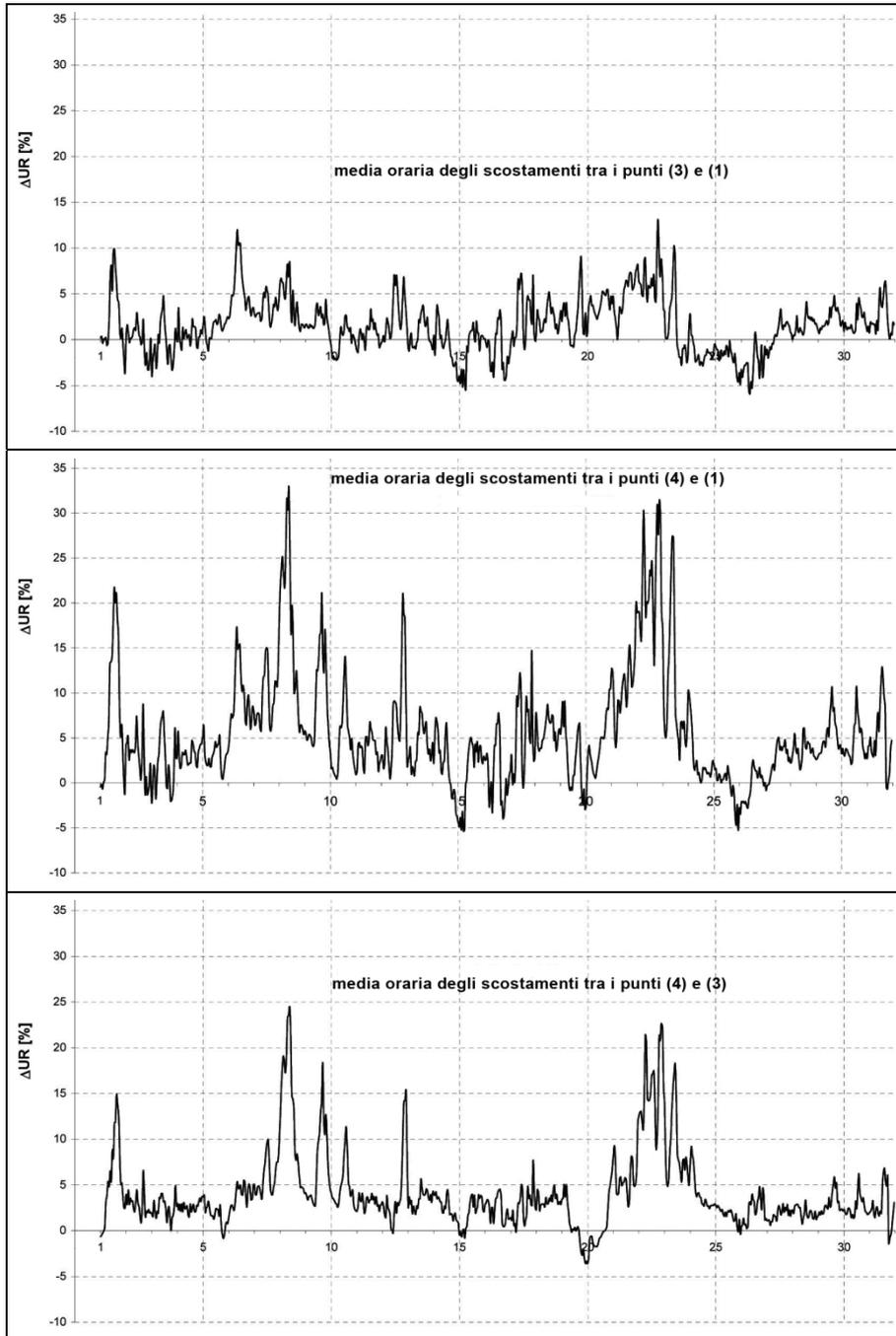
Dicembre 2010:

andamenti della differenza fra i valori di TEMPERATURA nei tre punti di misura.



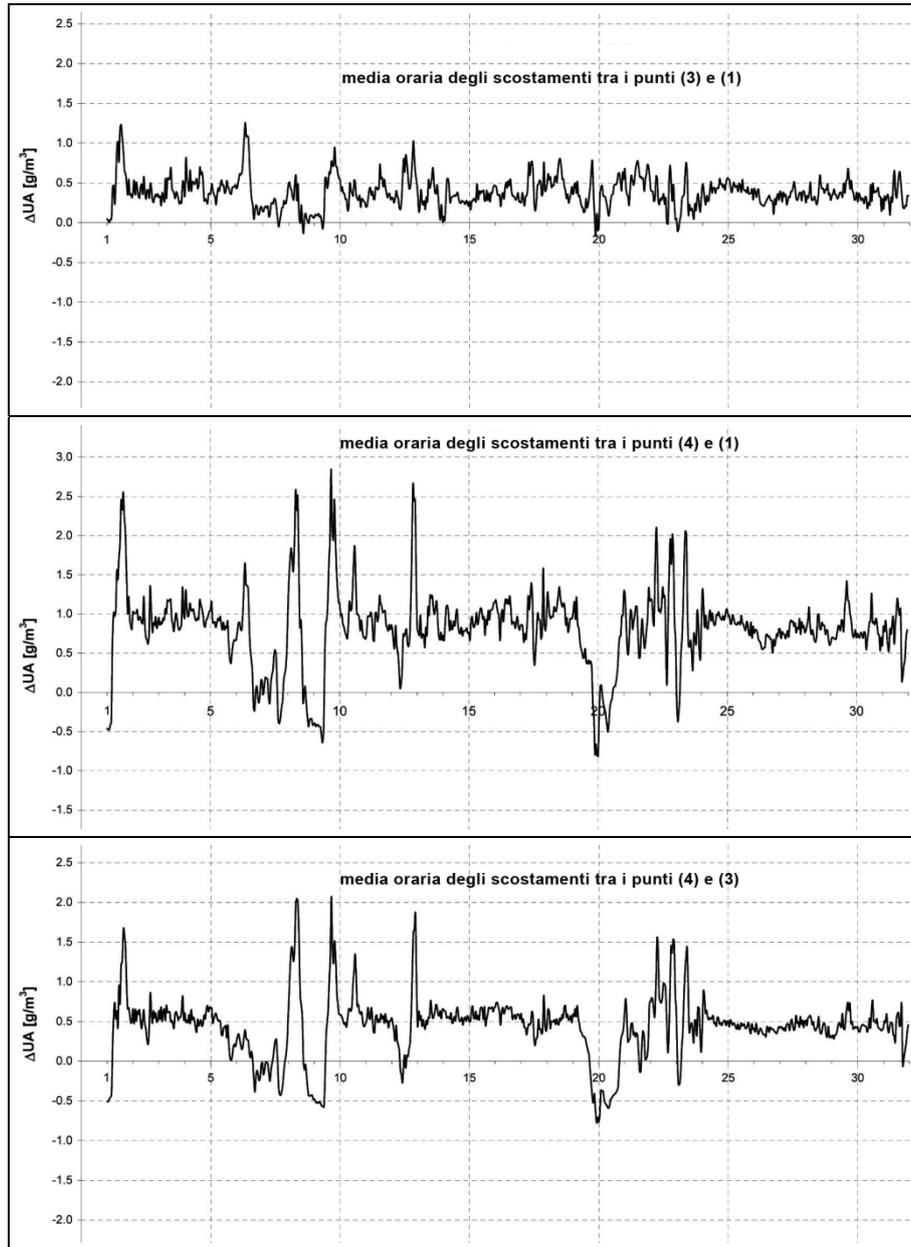
Dicembre 2010:

andamenti della differenza fra i valori di UMIDITÀ RELATIVA nei tre punti di misura.



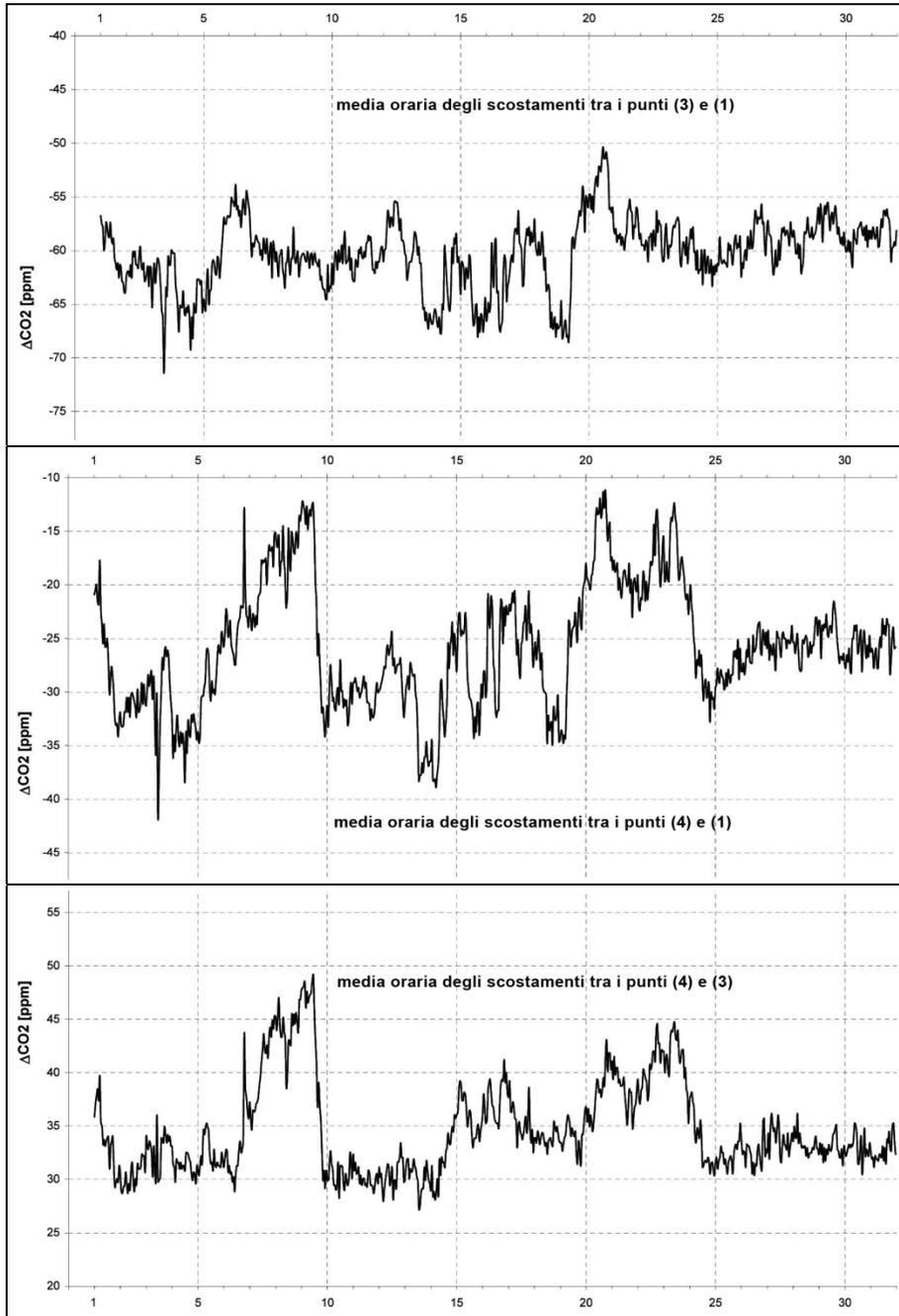
Dicembre 2010:

andamenti della differenza fra i valori di UMIDITÀ ASSOLUTA nei tre punti di misura.



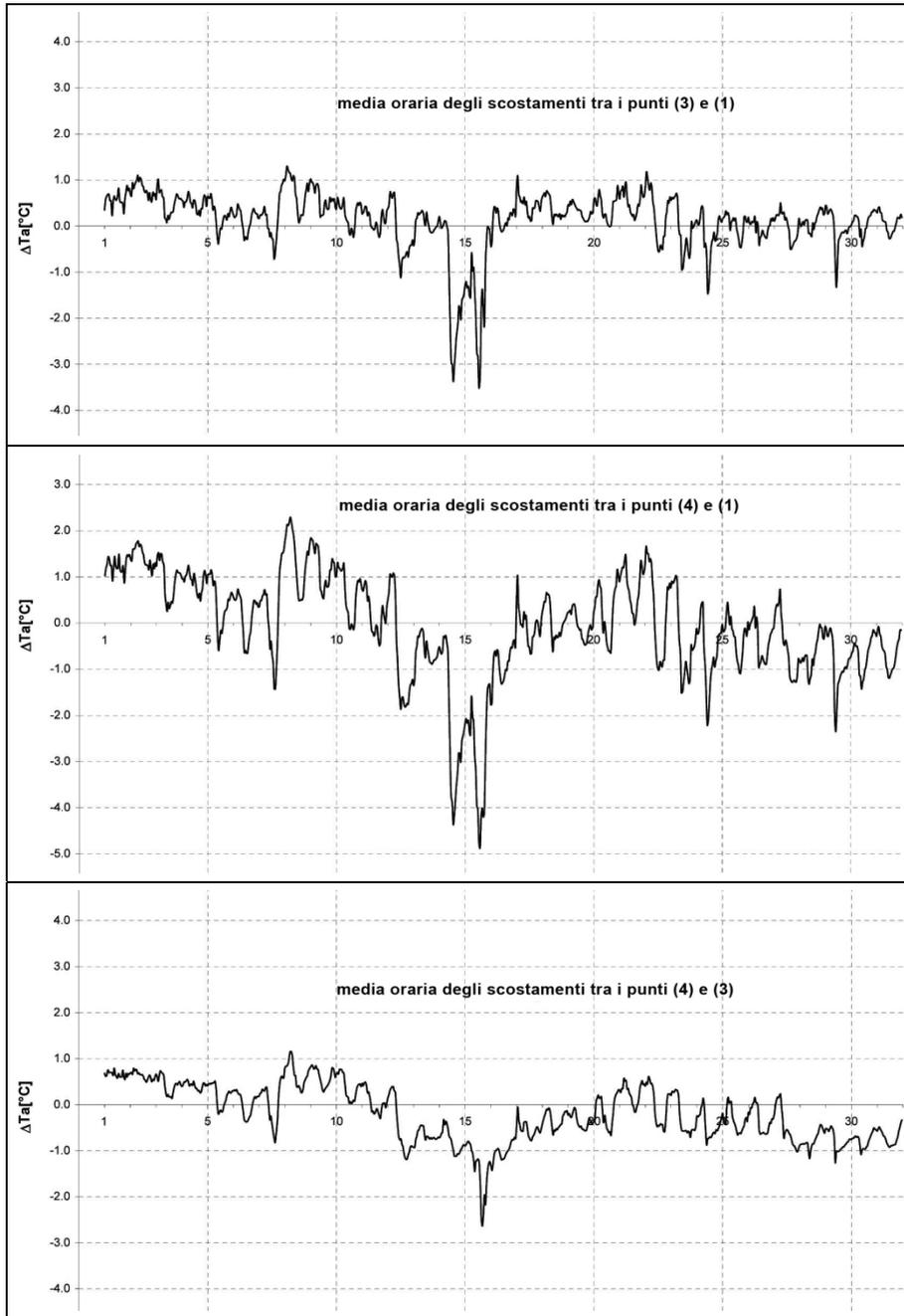
Dicembre 2010:

andamenti della differenza fra i valori di TASSO DI CO₂ nei tre punti di misura.



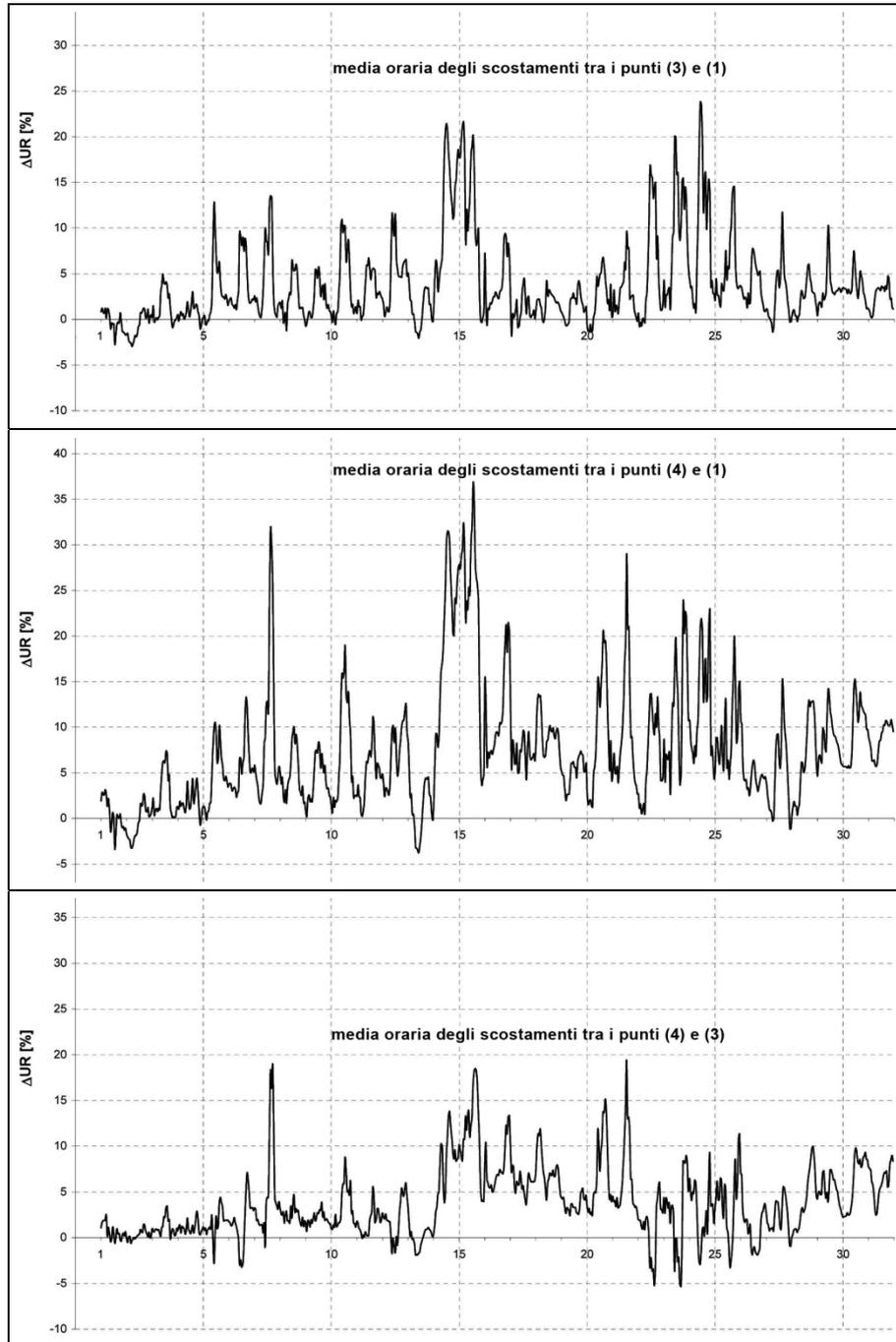
Marzo 2011:

andamenti della differenza fra i valori di TEMPERATURA nei tre punti di misura.



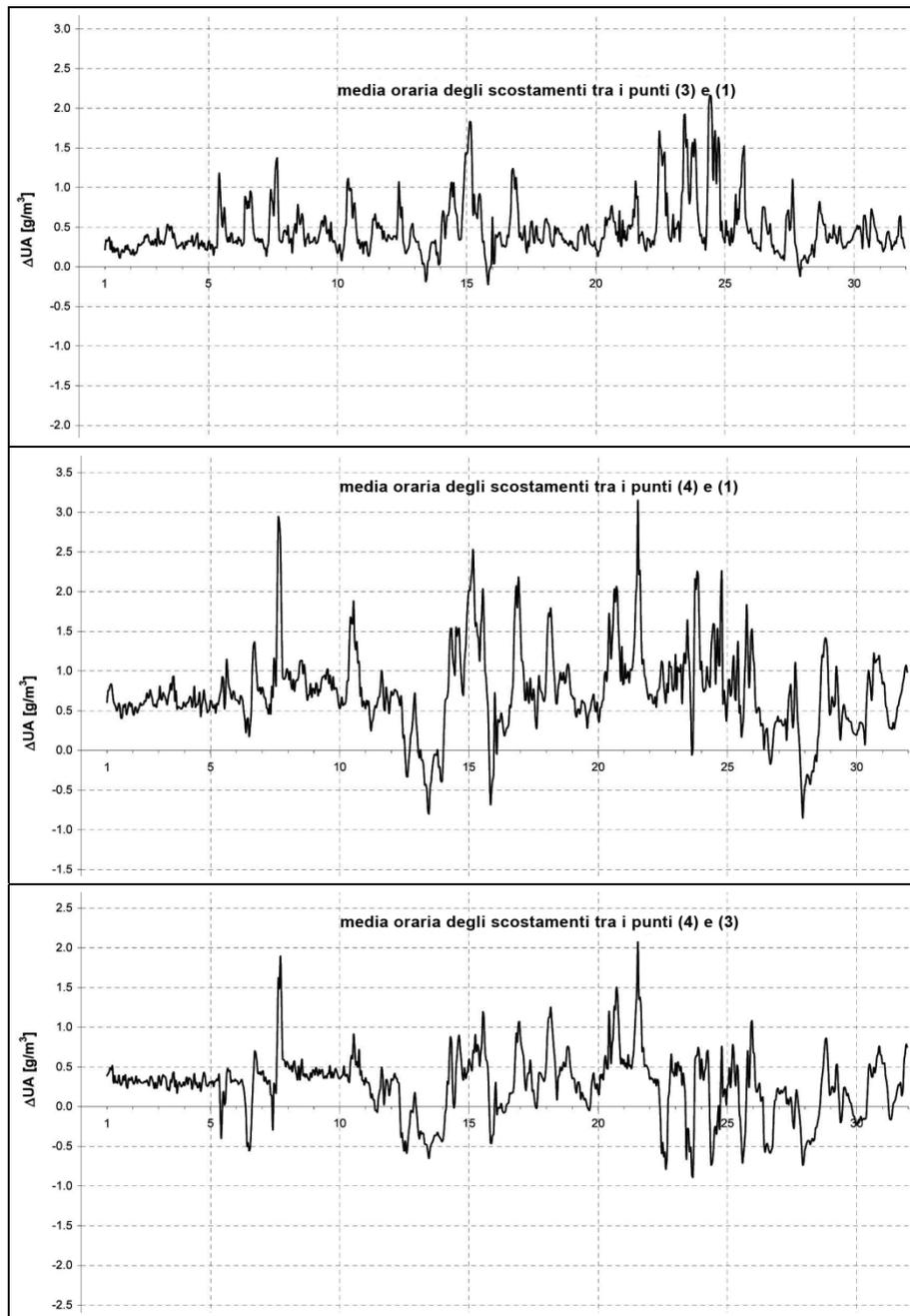
Marzo 2011:

andamenti della differenza fra i valori di UMIDITÀ RELATIVA nei tre punti di misura.



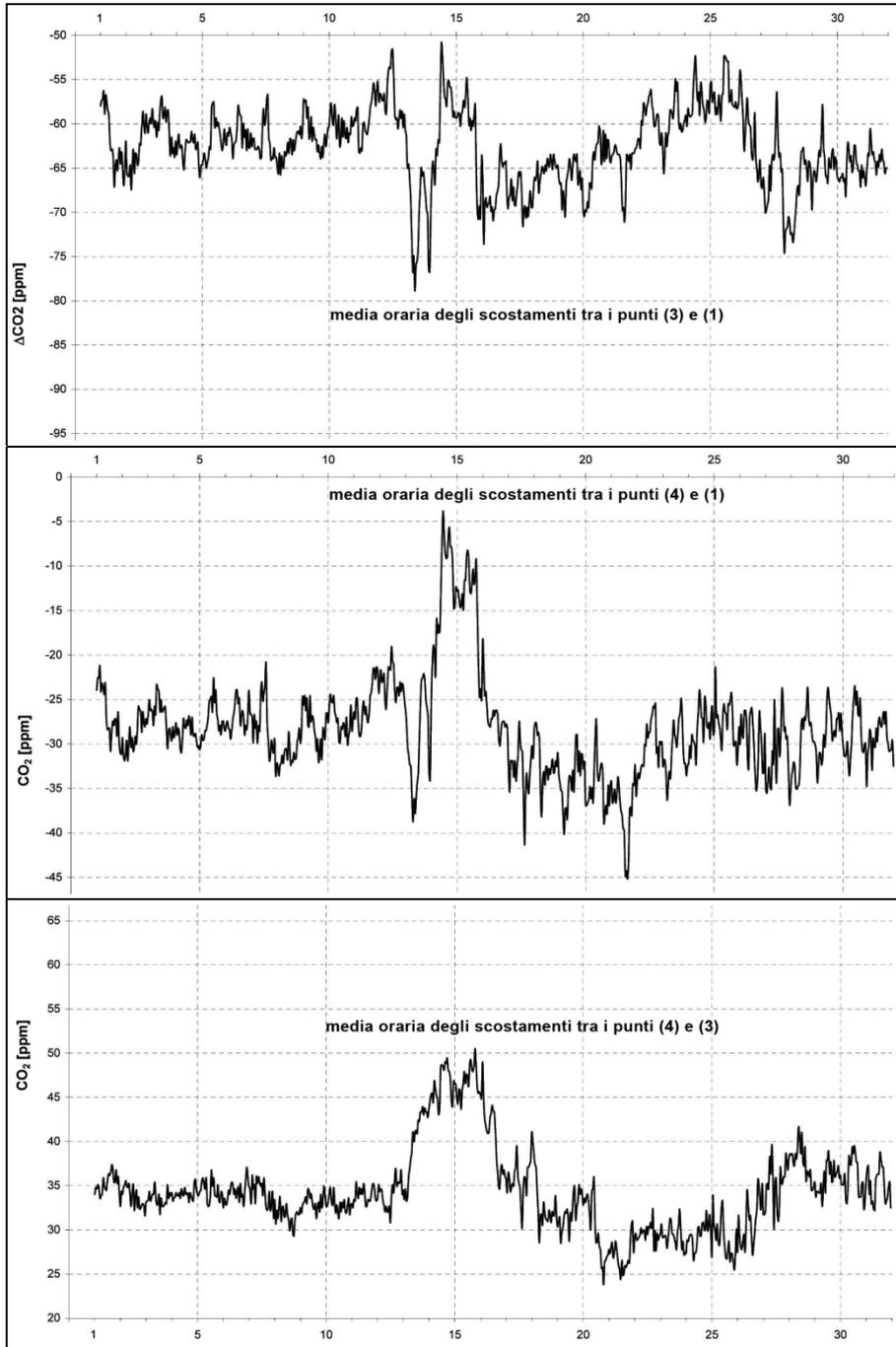
Marzo 2011:

andamenti della differenza fra i valori di UMIDITÀ ASSOLUTA nei tre punti di misura.



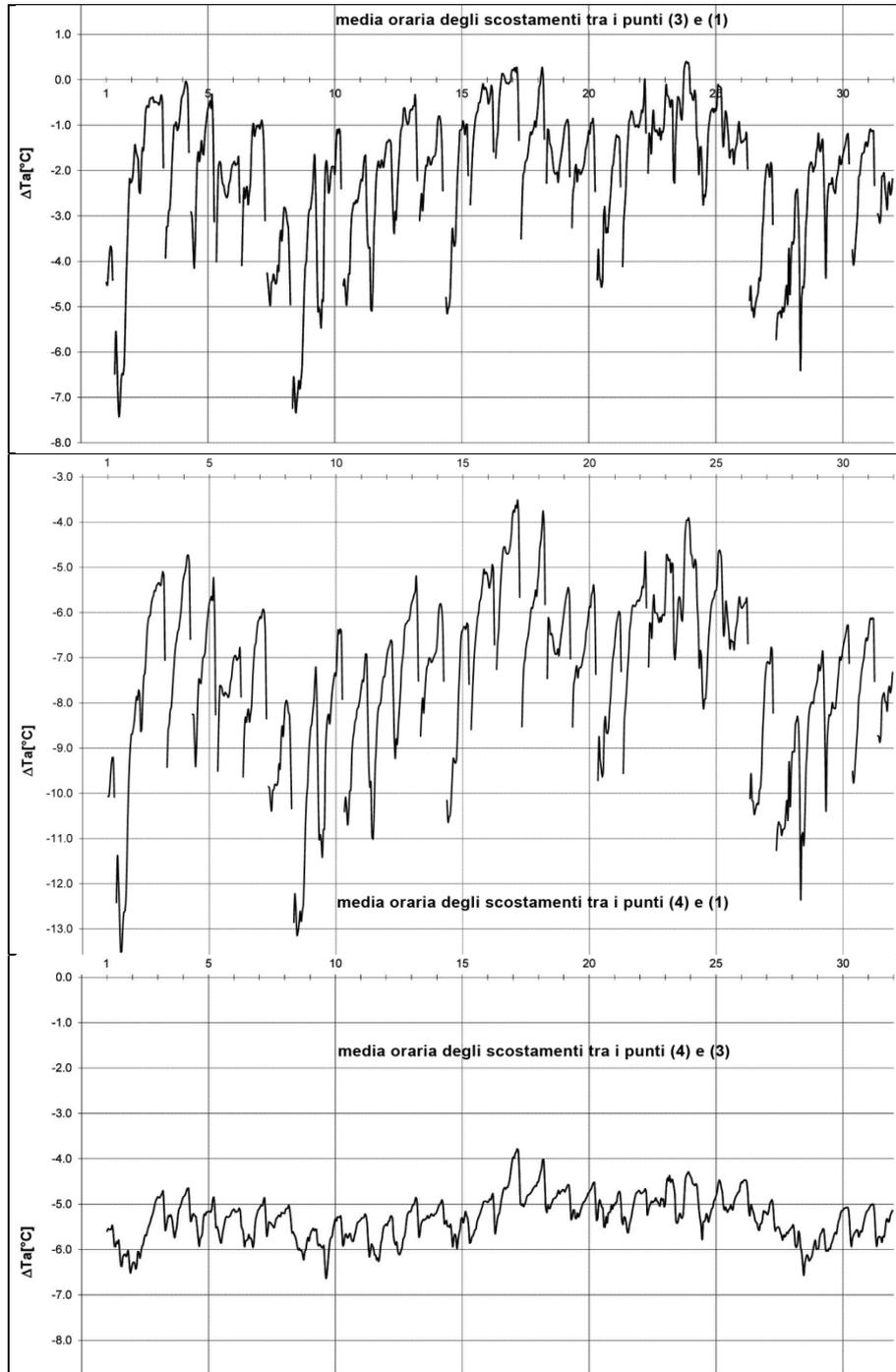
Marzo 2011:

andamenti della differenza fra i valori di TASSO DI CO₂ nei tre punti di misura.



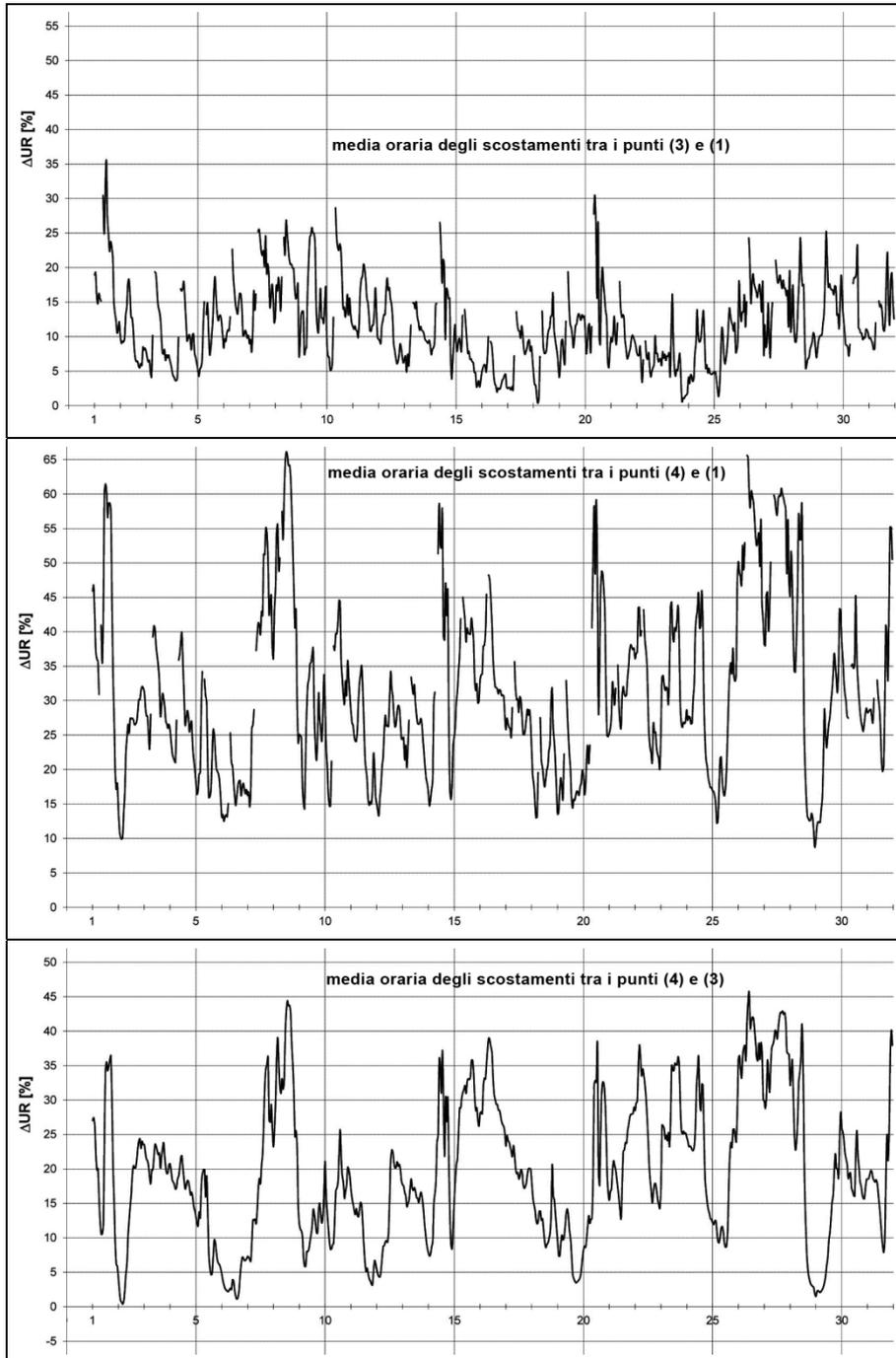
Luglio 2012:

andamenti della differenza fra i valori di TEMPERATURA nei tre punti di misura.

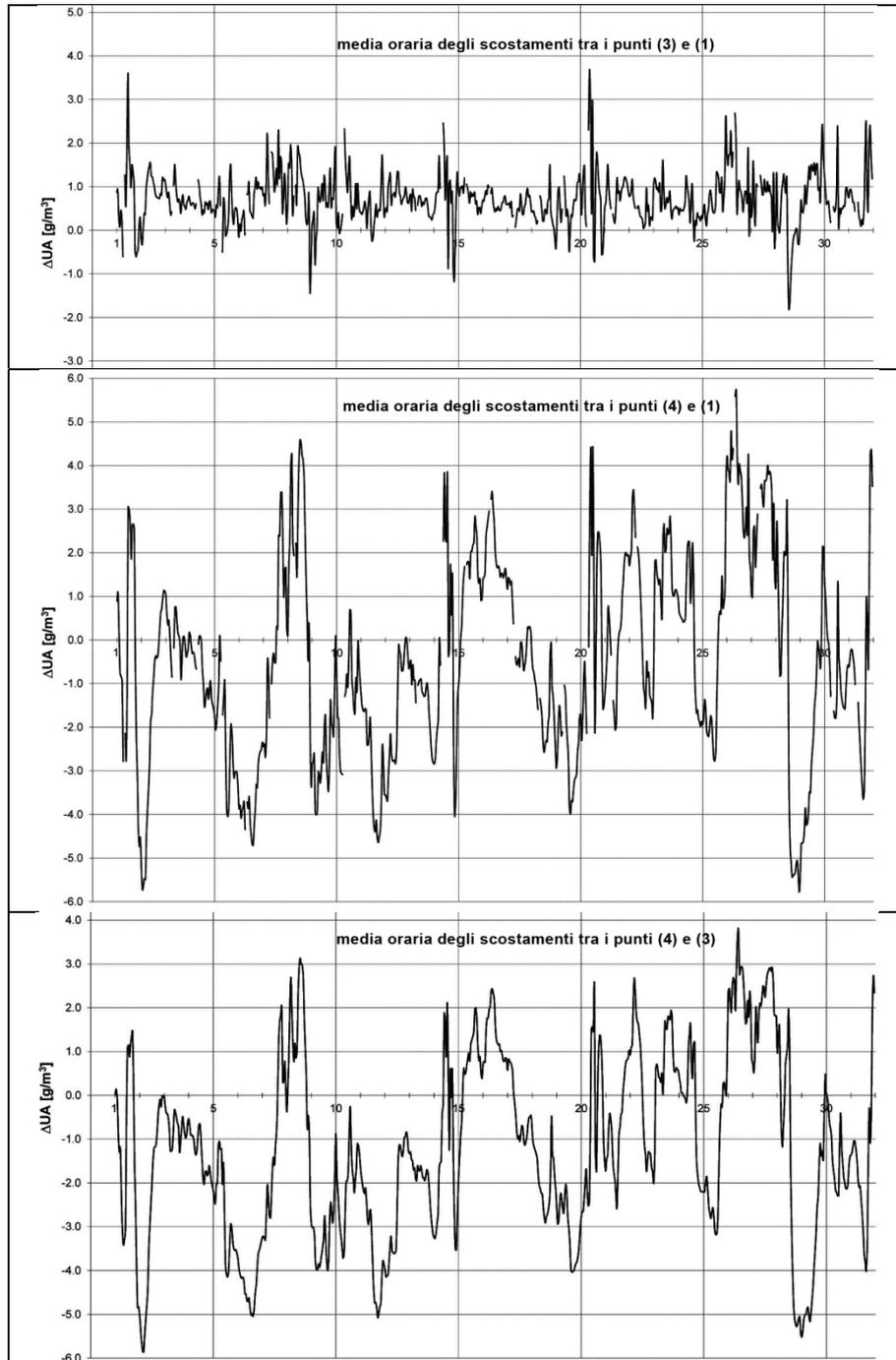


Luglio 2012:

andamenti della differenza fra i valori di UMIDITÀ RELATIVA nei tre punti di misura.

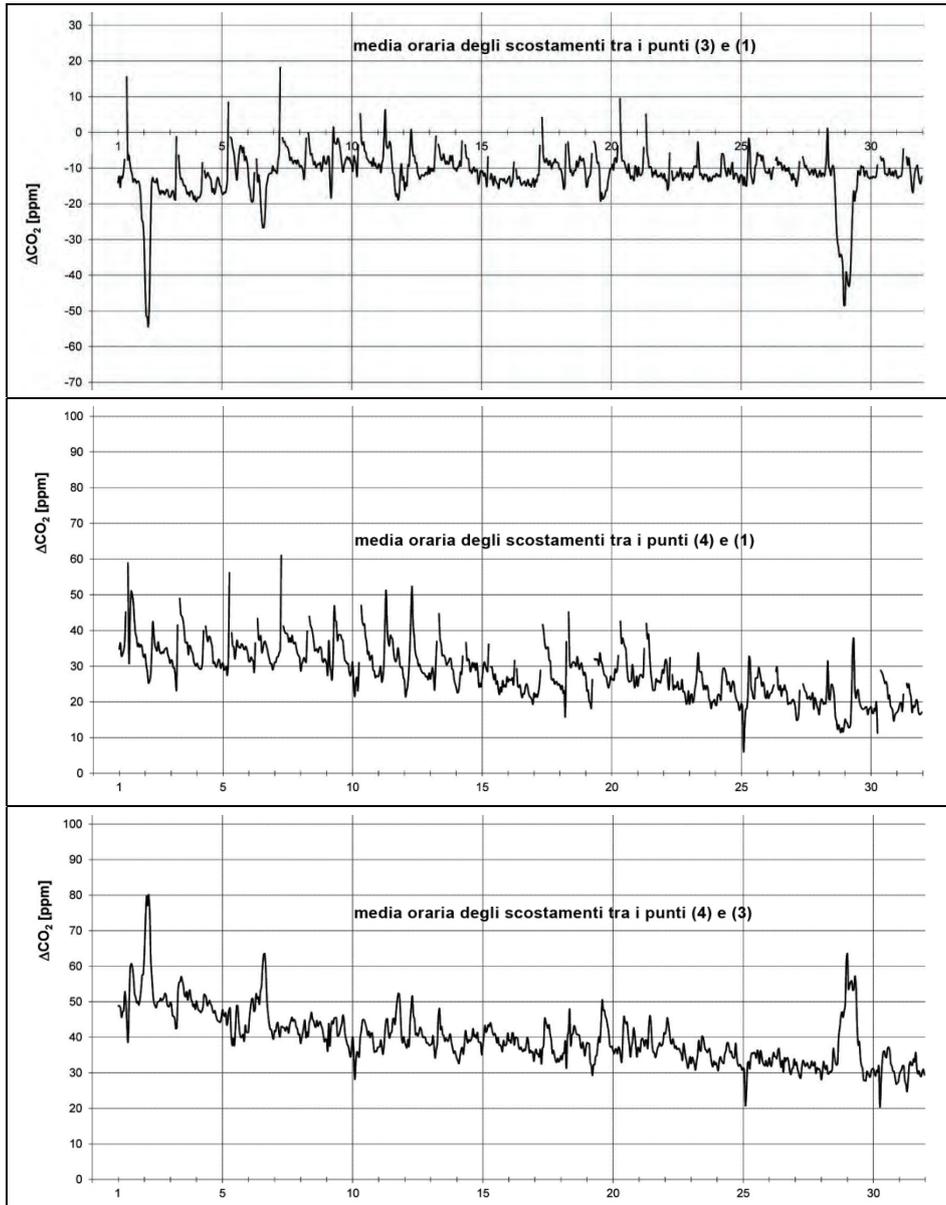


Luglio 2012:
andamenti della differenza fra i valori di UMIDITÀ ASSOLUTA nei tre punti di misura.



Luglio 2012:

andamenti della differenza fra i valori di TASSO DI CO₂ nei tre punti di misura.



4 Bibliografia essenziale

- [1] Benincasa F. (a cura di) – *L'acqua sulla Terra*, (2003), Quaderno n. 13, Collana tecnico scientifica CNR-IBIMET, Firenze.
- [2] Billeci B., Zini G., Dessì M. – *Il sistema difensivo costiero in Sardegna: architettura e paesaggio*, in Proceedings of Fifth International Symposium “Monitoring of Mediterranean Coastal Areas: Problems and Measurement Techniques”, Livorno, 17-19 giugno 2014, ed. CNR-IBIMET, Firenze, pp. 323-332.
- [3] Caputa G. – *I Nuraghi della Nurra*, (2000), Imago Media Ed., Piedimonte Matese.
- [4] Carboni D., Ginesu S. – *Evoluzione della linea di costa in alcuni siti archeologici della Sardegna nord occidentale*, in Atti del Simposio “Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo problematiche e tecniche di misura”, Sassari, 4-6 ottobre 2006, ed. CNR-IBIMET, pp. 301-308.
- [5] Carboni D., Ginesu S. – *The Evolution of the Coastline in Some Archaeological Sites in North-West Sardinia*, in “Marine Research at CNR, Department of Earth and Environment, National Research Council of Italy”, (2011), CNR - Dipartimento Terra e Ambiente, Roma, pp. 1013-1024.
- [6] Carboni D., Ginesu S. – *Variazione della linea di costa lungo il Golfo dell'Asinara (Sardegna settentrionale) sulla base delle morfologie sommerse, emerse e dei dati storici e archeologici*, in Atti del Terzo Simposio Internazionale “Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo problematiche e tecniche di misura”, Livorno, 15-17 giugno 2010, ed. CNR-IBIMET, pp. 413-432.
- [7] Carboni D. – *L'occupazione delle coste d'Italia*, in Ginesu S. (a cura di) *La costa d'Italia*, (2011), Carlo Delfino Editore, Sassari, pp. 97-108.
- [8] Casula F. C. – *La Storia di Sardegna*, (1994), Carlo Delfino Editore, Sassari.
- [9] Fierro G. (a cura di) – *Atlante delle Spiagge Italiane*, (1999), CNR-MURST, S.EL.CA. EDITORE, 108 tavole.
- [10] Ginesu S., Carboni D., Marin M. – *Coastline modifications in Sardinia starting from archaeological data: a progress report*, in “Procedia Environmental Sciences”, 14, (2012), pp. 132-142.
- [11] Ginesu S., Carboni D., Secchi F., Russino G., Sias S. – *Tutela e valorizzazione degli ambienti carsici dell'Area Marina Protetta di Capo Caccia-Isola Piana: La grotta verde di Capo Caccia (Alghero, Sardegna nord-occidentale)*, in “XX Congresso Nazionale di Speleologia”, Iglesias, 27-30 aprile 2007, Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, vol. XXI, (2008), Bologna, pp. 517-526.
- [12] Ginesu S., Fasano G. – *Le grotte sommerse lungo le falesie di Capo Caccia e Punta Giglio (Alghero, Sardegna nord occidentale)*, in Atti del Secondo Simposio Internazionale “Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo problematiche e tecniche di misura”, Napoli 4-6 giugno 2008, ed. CNR-IBIMET, pp. 533-536.
- [13] Guillot F. – *La Grotta di Sant'Elmo o Grotta Verde in Alghero*, in “Revista de L'Alguer” vol. 8, n. 8, (1997), pp. 81-92.
- [14] Ibba M.A. – *Nota sulle testimonianze archeologiche, epigrafiche e agiografiche delle aree di culto di Karalì punica e di Carales romana*, in “Aristeo. Quaderni del Dipartimento di Scienze Archeologiche e Storico-artistiche”, 1, (2004), pp. 113-145.

- [15] Lo Schiavo F. – *Ricerche subacquee nella Grotta Verde di Alghero* in Gianfrotta P. A. (a cura di) *Archeologia Subacquea* 3, (1987), Supplemento al n. 37–38 di Bollettino d'Arte 1986, IPSZ Roma, pp. 63-67.
- [16] Montaldo G. – *Le torri costiere in Sardegna*, (1992), Carlo Delfino Editore, Sassari.
- [17] Moravetti A. – *Alghero Loc. Palmavera*, in Anati E. (a cura di) *I Sardi. La Sardegna dal Paleolitico all'età Romana*, (1999), Jaka Book, Milano, pp. 275-276.
- [18] Mulas G. – *Esplorazione del lago terminale della Grotta Verde (Alghero)*, in “*Sardegna Speleologica*”, n.20 giugno-dicembre 2003, pp. 29-32.
- [19] Pallarés F. – *Vecchie e nuove esperienze nell'archeologia subacquea italiana*, in Giacobelli M. (a cura di) *Lezioni Fabio Faccenna II. Conferenze di archeologia subacquea (III-V ciclo)*, (2004), Edipuglia srl, Bari, pp. 87-98, consultato il 5-03-2015 su <http://www.bibar.unisi.it/node/378>
- [20] Rovina D., Schoenberger W., Wilchens B., Delussu F. – *La tonnara di Perdas de Fogu a Sorso (Sassari) – XVII –XVIII secolo*, in “*Archeologia Postmedioevale*”, 5, (2001), pp. 203-219.
- [21] Tanda G. – *Alghero Grotta Verde*, in Anati E. (a cura di) *I Sardi. La Sardegna dal Paleolitico all'età Romana*, (1999), Jaka Book, Milano, pp. 273-275.

CAPITOLO SECONDO¹⁸

BREVI NOTE SULLA NOZIONE GIURIDICA DI “GESTIONE INTEGRATA DELLE ZONE COSTIERE”

Quello di “gestione integrata delle zone costiere” è concetto ormai risalente, dato che già nel 1973, con la Risoluzione (73) 29 sulla protezione delle aree costiere, il Consiglio d’Europa, preso atto del degrado della maggior parte delle coste europee che sono sottoposte a pressioni antropiche crescenti e in grado di compromettere l’equilibrio di ecosistemi particolarmente fragili, sottolinea la necessità che, stante la molteplicità di interessi coinvolti, le azioni di tutela siano il frutto dell’azione coordinata delle varie autorità pubbliche coinvolte.

Da una cospicua serie di documenti a livello sia internazionale che comunitario si desume che quello di “gestione integrata” è concetto complesso, che indica non solo un *risultato*, ma anche, ed in conseguenza di ciò, un *procedimento* che, in funzione del raggiungimento dell’obiettivo, deve essere strutturato in modo da consentire l’emersione e la corretta ponderazione di tutti gli interessi in gioco.

E però, a distanza di più di 40 anni da quel primo documento del Consiglio d’Europa, la tutela integrata delle zone costiere appare ancora un obiettivo non raggiunto; d’altro canto, manca ad oggi perfino una definizione univoca di “zona costiera”. La costa (intesa come luogo in cui mare e terra si incontrano) è infatti tuttora oggetto di una molteplicità di interventi, ciascuno volto al perseguimento di uno specifico interesse, attraverso una congerie di strumenti differenti, in particolare, ma non esclusivamente, di tipo pianificatorio, ciascuno dei quali si riferisce ad ambiti spaziali non coincidenti fra loro. Nella oggettiva impossibilità di una *reductio ad unum*, ormai svanito, cioè, il ‘mito’ della pianificazione unica, ricordando che la gestione integrata è, prima ancora che un risultato, un procedimento, diverse sono le scelte che si offrono al legislatore. E, accanto al ricorso al ‘vecchio’ strumento della c.d. “gerarchia degli interessi”, si affermano nuovi modelli, quali, in particolare, quello che porta alla individuazione di obiettivi comuni all’atto della predisposizione dei piani ovvero alla elaborazione di modelli di *governance* condivisa pubblico-privato.

¹⁸ Le figure di questo capitolo sono da pagina 83 a pagina 87.

BREVI NOTE SULLA NOZIONE GIURIDICA DI “GESTIONE INTEGRATA DELLE ZONE COSTIERE”

Ilaria Loli

Nell'ormai lontano 1973, con la Risoluzione (73) 29 sulla protezione delle aree costiere, il Consiglio d'Europa, preso atto del degrado in cui versava la maggior parte delle coste europee, sottoposte a pressioni antropiche crescenti, in grado di compromettere l'equilibrio di ecosistemi particolarmente fragili, sottolineava la necessità di predisporre una serie di strumenti per la loro tutela.

Si tratta, molto probabilmente, del primo documento che, quantomeno a livello europeo (gli Stati Uniti avevano avviato già negli anni '60 una serie di iniziative a tale scopo), affronta la questione della tutela delle coste. E lo fa con un approccio che appare singolarmente maturo ed attuale e che prefigura già quella che, a partire dagli anni '90, si chiamerà “gestione integrata delle zone costiere”. Sulle coste, si legge infatti nella risoluzione, insiste una molteplicità di interessi (mantenimento dell'equilibrio ecologico e biologico, tutela del paesaggio, conservazione delle risorse naturali, ma anche promozione dello sviluppo economico e salvaguardia del retroterra), che devono essere presi contestualmente in considerazione, attraverso l'azione coordinata delle varie autorità pubbliche coinvolte. Partendo da questi presupposti, la risoluzione individuava alcune misure la cui adozione sarebbe stata auspicabile da parte dei legislatori degli Stati membri, fra cui, in particolare:

- a) la redazione di un inventario e di uno studio omnicomprensivo delle coste, se necessario anche avvalendosi della collaborazione di organismi scientifici;
- b) la divisione delle aree costiere in zone omogenee e la conseguente predisposizione per ciascuna di esse di un sistema pianificatorio che tenga conto degli effetti sulle zone limitrofe;
- c) la predisposizione di meccanismi di coordinamento dell'azione delle autorità pubbliche, sia statali che locali;
- d) la ricognizione di tutti gli strumenti normativi volti alla protezione delle coste, sia di quelli specificamente dedicati ad esse sia quelli che considerano l'intero territorio nazionale;
- e) la introduzione di meccanismi rigidi di utilizzo del territorio costiero ma anche, contestualmente, il riconoscimento del libero accesso alle coste;
- f) la adozione di misure di tutela ambientale per la conservazione della flora, della fauna e dei biotopi e la lotta ai fenomeni di erosione e di inquinamento;
- g) la adozione di campagne informative che sollecitino comportamenti virtuosi da parte dei cittadini.

Cosa debba oggi intendersi per “gestione integrata delle zone costiere” (Gizc) è desumibile da una molteplicità di documenti a livello sia internazionale che comunitario¹⁹.

¹⁹ Molti sono i documenti, sia a livello internazionale che comunitario, che richiamano il concetto di “gestione integrata delle zone costiere”. A livello internazionale si possono ricordare, senza alcuna

Così, per il Protocollo alla Convenzione di Barcellona sulla gestione integrata delle zone costiere nel Mediterraneo (Madrid, 2008) la Gizc è «*un processo dinamico per la gestione e l'uso sostenibili delle zone costiere, che tiene conto nel contempo della fragilità degli ecosistemi e dei paesaggi costieri, della diversità delle attività e degli utilizzi, delle loro interazioni, della vocazione marittima di alcuni di essi e del loro impatto sulle componenti marine e terrestri*».

A sua volta, la Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento europeo su «Gestione integrata delle zone costiere: una strategia per l'Europa» (Com/2000/0547 definitivo) definisce la Gizc come «*un processo dinamico, interdisciplinare e iterativo inteso a promuovere l'assetto sostenibile delle zone costiere*» e che, pertanto, «*copre l'intero ciclo di raccolta di informazioni, pianificazione (nel suo significato più ampio), assunzione di decisioni, gestione e monitoraggio dell'attuazione*». A tale scopo, essa «*si avvale della collaborazione e della partecipazione informata di tutte le parti interessate al fine di valutare gli obiettivi della società in una determinata zona costiera, nonché le azioni necessarie a perseguire tali obiettivi*», allo scopo di «*equilibrare, sul lungo periodo, gli obiettivi di carattere ambientale, economico, sociale, culturale e ricreativo nei limiti imposti dalle dinamiche naturali*».

Quello di gestione integrata è dunque concetto complesso e polisemico. Esso indica infatti non solo un *risultato* (quello che la Raccomandazione 2002/413/CE riassuntivamente individuava in una gestione «sostenibile a livello ambientale, equa a livello economico, responsabile a livello sociale, sensibile a livello culturale»), ma anche, ed in conseguenza di ciò, un *procedimento* che, in funzione del raggiungimento dell'obiettivo, deve essere strutturato in modo da consentire l'emersione e la corretta ponderazione di tutti gli interessi in gioco; ciò che implica:

- a) un approccio interdisciplinare;
- b) l'attenzione alle scale spaziali ed alle scale temporali;

pretesa di esaustività: a) la Convenzione delle Nazioni Unite sul diritto del mare (Montego Bay, 1982); b) il cap.17 del Programma di azione Agenda 21 (UNCED, 1992); c) la Raccomandazione OCSE C(92)114; d) il Codice europeo di condotta del Consiglio d'Europa per le aree costiere CO-DBP(99)11 (1999); e) la Convenzione di Barcellona per la protezione dell'ambiente marino e della regione costiera del Mediterraneo (Barcellona, 1976; emendata nel 1995) ed il Protocollo sulla gestione integrata della zona costiera nel Mediterraneo (Madrid, 2008).

A livello comunitario, invece, anche qui senza pretese di completezza, si possono ricordare, in ordine cronologico, i documenti e le iniziative intraprese per promuovere la gestione integrata delle zone costiere: a) il 1° Programma d'azione (1973-1976) ed il 2° Programma d'azione (1977-1981) in materia ambientale; b) la Carta europea del litorale (1981) adottata dalla Conferenza delle Regioni periferiche marittime della Cee, recepita dal Parlamento europeo con Risoluzione del 18 giugno 1982; c) la Risoluzione del Consiglio 92/C 59/01, relativa alla futura politica comunitaria per la zona costiera europea; d) la Risoluzione del Consiglio 94/C 135/02, concernente una strategia comunitaria di gestione integrata delle zone costiere; e) il 5° Programma d'azione (1993-2000) in materia ambientale; f) il Programma dimostrativo sulla Gestione integrata delle zone costiere (1996-1999); g) la Comunicazione della Commissione COM/2000/547 sulla "Gestione integrata delle zone costiere"; h) la Raccomandazione del Parlamento e del Consiglio 2002/413/CE relativa all'attuazione della gestione integrata delle zone costiere in Europa; i) il 6° Programma d'azione in materia ambientale (2002-2012); l) la Comunicazione della Commissione COM/2007/308 definitivo sulla valutazione della attuazione della Gizc.

- c) il coinvolgimento di tutti i livelli di governo e di tutti i soggetti portatori di interessi;
- d) l'adozione di un metodo adattativo, il quale postula il monitoraggio costante delle azioni intraprese, al fine della verifica della loro efficacia ed eventuale modifica, secondo un principio di circolarità del procedimento (analisi, azione, valutazione, *feedback*).

Come è evidente, non vi è dubbio che l'introduzione del concetto di «gestione integrata delle coste» abbia rappresentato una tappa fondamentale nel riconoscimento della specificità dell'ambiente costiero, in cui le pressioni antropiche, qui solitamente maggiori che in altre zone del territorio, rischiano di compromettere ecosistemi particolarmente fragili. E però, a distanza di quasi 40 anni da quel primo documento del Consiglio d'Europa, la Gisc stenta ancora a trovare attuazione concreta dal punto di vista normativo, rischiando di trasformarsi in una sorta di 'clausola di stile', in realtà priva di contenuto.

L'idea 'nuova' della gestione integrata trova infatti un ostacolo formidabile nella assenza, a livello normativo, di una definizione univoca di 'zona costiera'²⁰. Se infatti il Codice civile ed il Codice della navigazione, nel lontano 1942, parlavano di beni del 'demanio marittimo' (con tutte le ulteriori incertezze definitorie legate ad espressioni quali 'lido' e 'spiaggia'), negli anni successivi il legislatore, nel riferirsi all'ambito costiero, ha fatto uso di espressioni diverse, spesso addirittura senza offrire alcuna definizione. Così, se nel d.p.r. n.616/77 si parla per la prima volta di 'litorale' (senza peraltro che questo sia definito), la legge n.979/1982 introduce un 'piano generale di difesa del mare e delle coste marine dall'inquinamento e di tutela dell'ambiente marino' e fa più volte riferimento alla 'gestione delle coste', anche qui senza che sia fornita alcuna definizione. E parimenti non definite risultano le locuzioni variamente utilizzate dal d.lgs. n.112/1998 nel ripartire le funzioni amministrative fra lo Stato e gli enti territoriali²¹.

²⁰ Scarsamente utile appare la definizione contenuta nel Protocollo alla Convenzione di Barcellona sulla gestione integrata della zona costiera nel Mediterraneo (Madrid, 2008), per il quale la zona costiera è «l'area geomorfologica situata ai due lati della spiaggia, in cui l'interazione tra la componente marina e quella terrestre si manifesta in forma di sistemi ecologici e di risorse complessi costituiti da componenti biotiche e abiotiche che coesistono e interagiscono con le comunità antropiche e le relative attività socioeconomiche» (art.2, 1° comma, lett.e) e che è definita, salvo diversa volontà dello Stato (art.3), verso il mare, dal limite esterno del mare territoriale; verso la terraferma, dal limite delle unità costiere competenti definite dalle parti.

²¹ Così, ad esempio, per quel che concerne la tutela dell'ambiente, gli artt.69 e 70 affidano alla competenza esclusiva dello Stato, compiti di «protezione, sicurezza, osservazione della qualità dell'ambiente marino», alla competenza concorrente dello Stato e delle regioni compiti di «protezione dell'ambiente costiero», alle regioni (ed agli enti locali) compiti di «protezione e osservazione delle zone costiere». E si riferisce al «litorale» l'art.73 quando conferisce alla Regione Sardegna l'attuazione di tutti gli interventi necessari per la realizzazione del programma di salvaguardia di questo e delle zone umide nell'area metropolitana di Cagliari di cui alla legge n.67/1988 (figure 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5). E ancora, per quel che concerne l'inquinamento delle acque, l'art.80 incardina in capo allo Stato la competenza per la redazione del «piano generale di difesa del mare e delle coste», nonché funzioni di prevenzione e sorveglianza e gli interventi operativi per azioni di «inquinamento marino», oltre alla determinazione dei criteri generali per il monitoraggio e il controllo della «fascia costiera» finalizzati in particolare a definire la qualità delle acque costiere, l'idoneità alla balneazione nonché l'idoneità alla molluschicoltura e sfruttamento dei banchi naturali di bivalvi, mentre l'art.81 affida alle Regioni il monitoraggio sullo stato di eutrofizzazione delle acque interne e costiere. Infine,

Parimenti insoddisfacente appare peraltro il quadro che emerge da una sommaria ricognizione delle leggi di settore per la tutela dei diversi interessi 'ambientali', nei casi in cui esse prendono specificamente in considerazione l'ambiente costiero e le sue risorse²², dal momento che il legislatore, nel delimitare l'ambito spaziale di applicazione delle norme, non attinge ad una unica definizione, ma di volta in volta utilizza criteri diversi, sicché la 'costa', o l' 'ambiente costiero' o i 'territori costieri' (tanto per richiamare alcune delle locuzioni utilizzate) si dilatano o si restringono a seconda dell'interesse per la cui tutela si agisce.

Lasciata irrisolta la questione lessicale e definitoria in ordine a che cosa debba in definitiva intendersi per 'ambiente costiero', la legislazione in materia di tutela delle coste e dell'ambiente marino, frutto di una stratificazione di decenni, appare in sostanza come nient'altro che la sommatoria di interventi settoriali e frammentari, che danno vita ad un sistema complesso, caratterizzato dalla presenza di una pluralità di soggetti cui è affidata la tutela di interessi contigui e talvolta confliggenti; dalla esistenza di una molteplicità di strumenti di tutela, sia settoriali che settoriali, scarsamente coordinati fra loro²³; dalla non coincidenza dei confini degli ambiti spaziali di riferimento dei diversi interventi, in certi casi coincidenti con i confini amministrativi degli enti territoriali, ed in altri casi no²⁴.

Né i problemi si esauriscono in questo, dal momento che a ciò si somma anche la difficoltà, in un quadro di reale integrazione, di coordinare gli strumenti per la tutela dell'ambiente costiero con quelli che mirano a promuovere lo sviluppo urbanistico, sociale ed economico dei territori costieri e che quindi sono volti al soddisfacimento di una molteplicità di interessi diversi, connessi ai diversi ambiti di svolgimento delle attività umane (industria, insediamenti urbani, energia, pesca, turismo, navigazione, infrastrutture, e così via), il cui perseguimento è affidato, anche in questo caso, ad una pluralità di soggetti diversi e ad una molteplicità di strumenti differenti, in particolare, ma non solo, di tipo pianificatorio (piani urbanistici, dei trasporti, per la pesca, per il turismo, per i porti, energetici, anche qui solo per citarne alcuni).

Come è noto infatti, a fronte della inadeguatezza degli strumenti della pianificazione urbanistica a farsi carico del perseguimento di interessi diversi da quelli urbanistici in senso stretto (ambientali, ma anche economici e sociali), si è generato un complesso di tutele concorrenti e parallele il cui unico criterio di ricostruzione è stato, almeno fino ad oggi, quello della così detta «gerarchia degli interessi», criterio mobile che,

quanto alle risorse idriche ed alla difesa del suolo, mentre l'art.88 attribuisce allo Stato il compito di determinare gli indirizzi generali ed i criteri per la «difesa delle coste», l'art.89 affida alle Regioni compiti di programmazione, pianificazione e gestione integrata» degli interventi di «difesa delle coste e degli abitati costieri».

²² Si pensi, solo per citarne alcune, alle norme in materia di tutela del paesaggio, di aree protette, di tutela dell'assetto idrogeologico o delle acque (costiere e marine), di gestione dei rifiuti, di tutela dall'inquinamento acustico.

²³ Senza alcuna pretesa di esaustività, si possono ricordare: piani di bacino, piani stralcio e piani di settore per la tutela dell'assetto idrogeologico, piani per l'erosione costiera e/o per il ripascimento degli arenili, piani di tutela delle acque, piani paesaggistici, piani per il parco, piani per la gestione dei rifiuti, zonizzazione acustica, misure per la tutela delle acque marine.

²⁴ Si pensi, ad esempio, ai criteri che presiedono alla delimitazione dei bacini idrografici o delle aree protette, oppure all'ambito applicativo delle misure per la tutela del mare dall'inquinamento di cui al d. lgs.190/2010, che, in virtù di quanto previsto dall'art. 12, possono assumere efficacia conformativa di piani e di provvedimenti amministrativi.

nel confronto fra due o più interessi, porta al perseguimento di quello ritenuto di volta in volta prioritario.

Ed è evidente che non pochi problemi sorgono quando la valutazione in ordine alla priorità di un dato interesse è rimessa all'apprezzamento discrezionale della pubblica amministrazione e da qui, conseguentemente, all'intervento ermeneutico della giurisprudenza.

Ma anche quando è la legge stessa che, una volta per tutte, individua un interesse come prioritario e ne afferma la preminenza sugli altri, non è detto che problemi non sussistano. A livello normativo, infatti, da un lato spesso manca, o è palesemente insufficiente, la previsione di adeguati meccanismi di raccordo, istituzionale e/o procedimentale, che assicurino la partecipazione dei soggetti portatori di quegli interessi che sono stati ritenuti soccombenti²⁵; dall'altro lato, assai di frequente non viene chiarito in quali termini debba essere inteso il rapporto gerarchico fra piani, se cioè, esso si traduca nella diretta precettività del piano sovraordinato e nella conseguente immediata abrogazione delle previsioni non conformi ovvero se la sua adozione comporti un obbligo di adeguamento, eventualmente assistito dalla possibilità di introdurre misure di salvaguardia.

A fronte della sostanziale debolezza di un quadro normativo ipertrofico, privo di sistematicità ed organicità, ormai svanito il 'mito' della pianificazione unica²⁶, alimentato negli anni passati da alcune scelte del legislatore, peraltro mai andate a buon fine²⁷, è lecito domandarsi se ed in quali termini sia ancora possibile parlare di «gestione integrata delle zone costiere».

Come si è detto sopra, la gestione integrata è, prima ancora che un risultato, un procedimento. Come arrivare dunque alla integrazione degli interessi?

Ad oggi tre sembrano le vie percorribili.

La prima soluzione è quella che, in applicazione del principio della «gerarchia degli interessi», costruisce in chiave di sovra-sottoordinazione i rapporti fra piani. Ciò richiede peraltro, lo si è detto, che da un lato siano previsti adeguati meccanismi di coordinamento e di raccordo che favoriscano la partecipazione di tutti i soggetti portatori di interessi in chiave di «gerarchia cooperativa» (o «cooperazione gerarchica»); e che, dall'altro lato, siano definiti i termini di tale rapporto di subordinazione gerarchica.

In contrapposizione a questa via, si potrebbe pensare, secondo alcuni²⁸, a sostituire al coordinamento fra piani la individuazione di obiettivi comuni (*in primis* la conservazione

²⁵ Ed è appena il caso di sottolineare come, tanto maggiore è il coordinamento all'atto della pianificazione e della programmazione, tanto più semplice sarà poi la gestione coordinata dei diversi provvedimenti autorizzatori, per i quali non dovrebbero più profilarsi i rischi di decisioni contraddittorie da parte delle singole amministrazioni.

²⁶ In ciò si sostanzierebbe l'approccio olistico, secondo il quale, partendo dal presupposto che il tutto è più complesso della somma delle parti, una pianificazione complessiva sarebbe più efficace delle singole pianificazioni tematiche che non tengono conto di tutte le variabili in gioco.

²⁷ Si pensi a quanto previsto dall'art.57 del d.lgs. n.112/1998, in virtù del quale le regioni potrebbero prevedere che il piano territoriale di coordinamento provinciale assuma, previa intesa con le amministrazioni competenti, il valore e gli effetti dei piani di tutela nei settori della protezione della natura, della tutela dell'ambiente, delle acque e della difesa del suolo e della tutela delle bellezze naturali. Ma la norma non ha avuto seguito.

²⁸ Cfr. F. KARRER, *Pianificazione e infrastrutturazione dei centri urbani costieri*, in AA.VV., *Le risorse del mare e delle coste. Ordinamento, amministrazione e gestione integrata*, a cura di N. Greco, Edistudio, 2010, p.516 ss.

della resilienza degli ecosistemi) e di forme di controllo; in questo quadro, si dice, si potrebbe intervenire con il potenziamento di strumenti quali la Valutazione ambientale strategica (Vas) per la individuazione della soluzione di piano o di programma maggiormente efficace da un lato; per il monitoraggio ed il coordinamento *in itinere* delle diverse pianificazioni dall'altro lato.

C'è poi chi²⁹ ritiene che, analogamente ad altri settori (quale quello della gestione dei servizi pubblici), si potrebbe pensare ad un sostanziale arretramento dei pubblici poteri, nel senso del passaggio, in capo a questi ultimi, dalle tradizionali funzioni di stampo pianificatorio alla elaborazione di politiche regolatorie, attraverso la attivazione-conduzione di modelli di *governance* condivisa tra i diversi attori, pubblici e privati. In questo quadro, il soggetto pubblico sarebbe chiamato a predisporre un *frame* che definisca l'orizzonte valoriale in chiave di sostenibilità delle attività e che costituirebbe il parametro di tutte le attività, sia pubbliche che private; ciò che dovrebbe portare all'abbandono dei meccanismi autoritativi per accedere ad una dimensione convenzionale in cui assumerebbero un ruolo importante gli strumenti incentivanti.

Quale che sia la strada che il legislatore vorrà eventualmente intraprendere, restano due ultime considerazioni.

La prima. Quando si parla di tutela dell'ambiente costiero, non si può non tenere conto della esistenza di un 'convitato di pietra', rappresentato dalla disciplina sul demanio marittimo. Non è questa la sede per soffermarsi su un tema che, per la sua vastità, ha richiesto ben altre trattazioni. Basterà qui sottolineare le difficoltà che emergono dalla esigenza di conciliare una disciplina – quella sul demanio – sostanzialmente imperniata su un sistema di vincoli e concessioni, e quindi di per sé suscettibile di portare a scelte isolate, che rischiano di costituire il fondamento di provvedimenti autorizzatori talvolta eccessivamente discrezionali, con l'idea 'moderna' della preventiva definizione delle scelte pubbliche e della conoscibilità anticipata dei comportamenti conseguenti dell'amministrazione.

La seconda. Come in fondo già sottolineava la Risoluzione del Consiglio d'Europa da cui abbiamo preso le mosse, le «zone costiere» non costituiscono delle 'monadi' separate dal resto del territorio, per cui è auspicabile che, nell'elaborazione di linee di intervento per la gestione sostenibile e la tutela delle coste, si tenga conto anche della esigenza di salvaguardare il retroterra, soprattutto da quello immediatamente limitrofo, introducendo anche per questo adeguati strumenti di promozione dello sviluppo economico e sociale e di tutela degli ecosistemi.

²⁹ Cfr. E. BOSCOLO, *La "regolazione" in Italia e le prospettive nella gestione integrata delle coste*, in AA.VV., *Le risorse del mare e delle coste. Ordinamento, amministrazione e gestione integrata*, a cura di N. Greco, Edistudio, 2010, p.309 ss.

CAPITOLO TERZO³⁰

MONITORAGGIO DELLA LINEA DI COSTA: ALCUNI ESEMPI IN PROVINCIA DI SASSARI

La dinamica dei processi costieri naturali – ad es. i regimi di marea, le condizioni climatiche e meteorologiche, i meccanismi di trasporto dei sedimenti, i collegamenti idrologici tra il bacino imbrifero e la costa – ha influenzato la capacità dell'uomo di sostenere le proprie attività nelle zone costiere. Spesso però interventi quali l'ubicazione inadeguata di nuove infrastrutture e l'eccessivo sfruttamento delle risorse hanno fortemente modificato la situazione naturale, sia creando maggiori rischi, sia portando a un aumento considerevole dei costi di gestione e alla distruzione degli habitat e alla conseguente riduzione delle risorse, compromettendo quindi la capacità stessa di tali zone di svolgere molte loro funzioni essenziali.

L'aumento della popolazione, sia residente sia temporanea, determina conflitti sempre più marcati tra i possibili usi della componente sia marina sia terrestre delle zone costiere. Destinazioni a basso impatto sono spesso sostituite da altre a carattere intensivo che risultano principalmente solo remunerative nel breve termine ma che in un tempo non necessariamente lungo minano il potenziale della costa riducendone la "resilienza".

Possiamo elencare alcuni dei problemi comuni alle zone costiere:

- *Sviluppo non programmato che provoca sprechi negli investimenti, occasioni mancate di occupazione durevole e veloce degrado ambientale e sociale.*
- *Declino dei settori tradizionali ed eco-compatibili che genera disoccupazione, flussi migratori e instabilità sociale.*
- *Reti di trasporto e comunicazioni non adeguate*
- *Erosione costiera che danneggia gli habitat naturali e gli insediamenti umani, distrugge l'economia e minaccia la vita umana.*

Il tema dell'erosione/alterazione della linea di costa ha assunto grande evidenza anche in Sardegna e, con riferimento alla Provincia di Sassari, ne parliamo in questo Capitolo.

Ovviamente ogni singolo fenomeno locale va interpretato considerando, di base, il fenomeno generale che, nello specifico, è individuabile nel possibile innalzamento del livello del mare determinato dai cambiamenti climatici. Questo è un processo che può acuire il fenomeno dell'erosione, che è comunque naturale ed è sempre esistito, contribuendo nel corso della storia al modellamento della linea di riva, ma al presente è palese che la tendenza erosiva non sia un processo meramente naturale. Ogni attività economica infatti implica una pressione sull'ambiente naturale, e nel caso specifico delle aree costiere bisogna considerare anche il proliferare di opere ingegneristiche, l'intensivo uso dei litorali a scopo ricreativo e turistico e l'estrazione dalle aree costiere di sabbie e ghiaie per usi costruttivi. Questo si traduce con un degrado progressivo della fascia costiera

³⁰ Le figure di questo capitolo sono da pagina 88 a pagina 110.

che in molte località è stato ulteriormente acuito dai tentativi per sanare tale situazione, per esempio erigendo opere di difesa: in molti casi, infatti, le “soluzioni” individuate e applicate per fronteggiarlo si sono rivelate addirittura controproducenti, con l’aggiunta dello spreco delle scarse risorse finanziarie.

MONITORAGGIO DELLA LINEA DI COSTA: ALCUNI ESEMPI IN PROVINCIA DI SASSARI

Claudio Conese

Anche se gli esempi applicativi hanno avuto per oggetto essenzialmente lo studio della variazione della linea di costa, è stato svolto un esame approfondito, seppur sintetico, dei vari aspetti caratterizzanti le attività legate alla realizzazione di un sistema di monitoraggio, nonché delle varie Direttive nazionali e comunitarie. Infatti qualsiasi azione di studio della situazione ambientale, di monitoraggio e di intervento, non si può considerare isolata dal contesto in cui viene attuata, ovvero non si può non tener conto dei rapporti di causa/effetto che essa sicuramente ha nei confronti degli altri elementi ambientali. Questa attenta analisi deve essere fatta prima di tutto in fase di progettazione, ma deve proseguire sia nella fase di realizzazione che in quella operativa, al fine di valutarne l'efficacia e di intervenire tempestivamente per correggere eventuali errori.

Questa è la considerazione base che si deve avere presente quando si parla di gestione integrata, concetto troppo a lungo interpretato soggettivamente ma che va oggi affrontato secondo le indicazioni del capitolo precedente.

A sostegno di questa affermazione è sufficiente esaminare interventi realizzati negli anni passati, anche recenti, che possono forse aver risolto o attenuato il problema specifico al quale erano rivolti ma che hanno indotto reazioni collaterali, non di rado negative quanto il problema stesso, assolutamente non trascurabili e che hanno richiesto interventi altrettanto onerosi.

1 Il monitoraggio quale strumento per la protezione, gestione e valorizzazione delle risorse costiere

1.1 Introduzione

La difesa del mare e delle coste è una esigenza ufficialmente riconosciuta, anche se molto rimane da fare perché si concretizzi in una attività operativa delle politiche mondiali e, per quanto ci riguarda, comunitarie con riferimento al Mediterraneo; essa rientra nei più ampi processi strategici di gestione integrata che dovrebbero coordinare le varie politiche riguardanti le zone costiere e la pianificazione degli spazi marittimi.

Il concetto di gestione integrata presenta aspetti di notevole complessità che rendono la sua applicazione piuttosto difficile; il lato più controverso è quello del rapporto tra sviluppo economico e tutela ambientale, intorno al quale il dibattito internazionale è tuttora apertissimo con molte posizioni discordanti. Il lato tecnico, riguardante strumenti e metodologie con i quali affrontare le varie problematiche in modo da fornire una rappresentazione utile a prendere le opportune decisioni, seppur certo non facile, si può considerare ad oggi decisamente efficiente a patto di disporre delle adeguate risorse economiche ed umane.

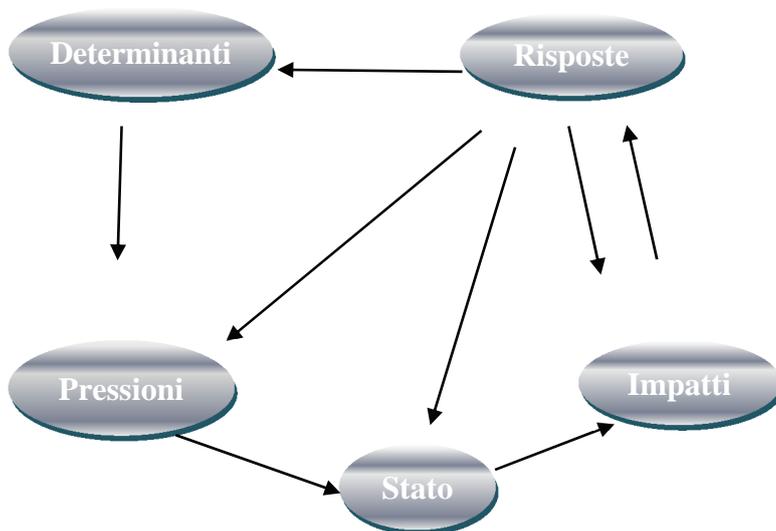
Le caratteristiche ambientali di questo processo sono ormai abbastanza ben delineate e trovano la loro definizione nelle direttive comunitarie; il modello che sta alla base di tali direttive individua nel monitoraggio marino, finalizzato alla conoscenza del contesto, la prima delle componenti operative del sistema di *governance*.

1.2 Modelli per lo studio delle dinamiche ambientali

Il principale modello utilizzato per studiare le dinamiche ambientali mettendo in relazione le componenti e identificando degli indicatori che ne permettano la valutazione, è il **DPSIR** (Determinanti – Pressioni – Stato – Impatti – Risposte), sviluppato dall'EEA (*European Environment Agency*) e adottato dall'ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione Ambientale) per l'implementazione del sistema conoscitivo d'informazione e osservazione per i controlli ambientali. L'adozione di questo modello assicura la creazione di un sistema di conoscenza e comunicazione dello stato dell'ambiente ai diversi livelli istituzionali.

Il modello è composto dai seguenti elementi:

- Determinanti o cause: sono le attività che comportano un impatto ambientale, ad esempio industria e trasporti; nel caso di ambiente costiero, ad esempio acque di scarico, acquacoltura e maricoltura, strutture portuali, attività di pesca, turismo.
- Pressioni: sono i modi in cui le cause agiscono sull'ambiente, ad es. con emissioni inquinanti; per le coste, perdita fisica e danni a causa di strutture antropiche, interferenze con i processi idrologici, perturbazioni biologiche.
- Stato: è lo stato in cui si trovano determinate parti dell'ambiente, come ad es. la qualità dell'acqua, dell'aria, del suolo; per il mare, la biodiversità, le specie non indigene, le popolazioni di pesci e molluschi, i contaminanti, le proprietà e quantità dei rifiuti marini.



Schema DPSIR

- Impatti: sono gli effetti negativi del degrado ambientale, come problemi di salute e perdita di biodiversità; per il mare, caratteristiche fisico-chimiche delle acque, distruzione del fondo marino, erosione costiera, perdita habitat.
- Risposte: sono le azioni possibili per risolvere o almeno mitigare il problema, come la produzione energetica pulita, efficiente disponibilità di mezzi di trasporto pubblici, politiche di protezione, regolamentazione della navigazione, schema di gestione integrata delle zone costiere.

Elemento fondamentale di tale processo è la conoscenza dello stato dell'ambiente ed il controllo della sua evoluzione: una continua attività di monitoraggio permette di verificare l'effetto delle azioni di mitigazione intraprese e quindi, se necessario, procedere ad un loro *tuning*: si innesca così una sorta di processo ciclico capace di migliorarsi nel tempo.

Si distinguono quindi almeno due fasi di monitoraggio: la prima, definita come momento T_0 in quanto inizio dello studio, è finalizzata ad acquisire le conoscenze sullo stato della risorsa e a permettere la scelta consapevole di politiche adeguate agli obiettivi che si intendono raggiungere. La seconda è quella di controllo, da ripetersi più volte nel tempo con l'obiettivo di valutare i cambiamenti indotti dalle azioni intraprese ed eventualmente adottare provvedimenti correttivi.

La sola messa a punto di un sistema di monitoraggio può sembrare un passo insufficiente se consideriamo la complessità del concetto di gestione integrata della fascia costiera e degli spazi marittimi. Tuttavia, grazie alla sua relativa semplicità concettuale ed alla possibilità di avere risultati obiettivi, condivisi, facilmente comunicabili e ripetibili, si rivela un efficace strumento di tutela ambientale.

Si deve però precisare che il monitoraggio marino, se è relativamente semplice dal punto di vista concettuale, da quello tecnico-scientifico presenta notevoli difficoltà, in quanto rappresentazione dello stato ambientale di un ecosistema estremamente complesso e variabile con dinamiche composite. Alcune sue caratteristiche salienti sono:

- rappresentatività dei vari aspetti che caratterizzano l'ambiente marino;
- misurazione degli impatti in tempi brevi da quando sono stati prodotti, in modo da rendere possibile un intervento tempestivo sulle cause dell'impatto stesso;
- estensione ad uno spazio d'acqua rappresentativo del problema in esame ma al contempo non talmente ampio da diventare operativamente ingestibile;
- condivisione dei risultati scientifici tra comunità scientifica e amministrative/gestionali e scambio delle informazioni in tempo reale;
- economicamente sostenibile e replicabile.

In sintesi, gli elementi da prendere in considerazione in un progetto di monitoraggio sono i seguenti:

- conoscenza generale delle criticità (pressioni-impatti-stato), analisi e monitoraggio iniziale;
- criteri e indicatori da elaborare e quindi elementi da rilevare;
- scelta della scala spaziale;
- scelta della frequenza temporale;
- metodi di monitoraggio.

Il percorso dovrà essere condiviso da tutte le amministrazioni che si affacciano sulla stessa regione marittima, che dovranno anche adottare sistemi per lo scambio continuo

delle informazioni; ciò è tanto più importante per un bacino relativamente confinato e limitato nella sua estensione come quello mediterraneo.

Le attività da svolgere sono molteplici: campagne di misura costiere e in mare aperto, lancio di boe oceanografiche, sperimentazione e validazione di modelli matematici, iniziative di sensibilizzazione ed educazione delle popolazioni nei confronti dell'ambiente marino.

2 La modellistica idrodinamica a scala regionale-costiera

I sistemi marini costieri trovano nella modellistica idrodinamica numerica uno dei più potenti e adeguati strumenti d'indagine. Tali modelli possono rispondere a varie esigenze connesse sia alle attività di studio e monitoraggio, quali la previsione e la ricostruzione delle onde, delle correnti marine e del livello del mare, sia alla determinazione di alcune caratteristiche fisiche fondamentali, come temperatura e salinità.

L'insieme di questi dati costituisce l'informazione per la creazione dei *database* che accompagnano i sistemi di osservazione e monitoraggio necessari per la valutazione dello stato dell'ambiente marino e dei rischi che ricadono su di esso.

L'idrodinamica marina abbraccia una serie di fenomeni che si manifestano su diverse scale spaziali e temporali: è indicata come "globale" la scala dei grandi sistemi di corrente che si manifestano sulla terra, come "regionali" le scale di maggior dettaglio che rappresentano parti dell'oceano globale non troppo estese e sufficientemente omogenee, come tipicamente "costiere" le scale nelle quali si manifesta ogni e qualunque interazione delle correnti marine con la costa; una parte fondamentale della circolazione che si manifesta sul Mediterraneo può essere spiegata sulla base di meccanismi di circolazione a scala regionale e costiera.

L'intero sistema di modellazione oceanografica è comunque molto complesso, e necessita di:

- condizioni iniziali,
- condizioni al contorno,
- forzanti meteorologiche,
- input idrologici.

Le condizioni iniziali sono un insieme di dati misurati o calcolati a un certo istante di tempo, spesso partendo da un modello a più larga scala. Si deve però tener presente che raramente esistono reti di misura *in situ* in grado di fornire continuamente dati aggiornati; l'installazione di tali reti è uno dei problemi da risolvere se si vuole implementare un efficiente sistema di monitoraggio.

Le condizioni al contorno e forzanti atmosferiche vengono ottenute da altri modelli che attualmente hanno raggiunto un discreto grado di affidabilità.

Gli input idrologici sono le foci fluviali che influenzano la circolazione e gli apporti di sedimento; le previsioni idrologiche sono normalmente difficili a causa del grandissimo numero di interazioni tra le varie componenti fisiche del modello (copertura vegetale, suolo, falde acquifere, corpi idrici superficiali, ecc.).

Una logica attualmente molto seguita è quella del multi-modello: ogni modello ha caratteristiche proprie e le informazioni fornite assumono più attendibilità se usate in maniera sinergica con quelle ottenute da altri modelli.

Nello stesso tempo i dati misurati sul mare, fondamentali per la costruzione di modelli previsionali affidabili, non potranno limitarsi a informazioni ricavate da campagne oceanografiche, pur fondamentali, ma che hanno una durata temporale limitata. Il ricorso a misure *in situ* multiparametriche, eseguite in modo continuo da piattaforme fisse o mobili, è sempre più un'esigenza dell'oceanografia operativa anche alle scale sub-regionali e marino-costiere.

2.1 Comportamento delle onde

È opportuna una breve analisi del comportamento delle onde, in quanto sono esse, anche se influenzate da tutti gli altri fattori, le agenti finali che determinano il comportamento della costa.

Quando un'onda incontra un ostacolo sul suo cammino, oppure passa da un mezzo di propagazione a uno diverso, hanno luogo vari fenomeni; quelli che interessano in questo contesto sono la riflessione, la rifrazione, la diffrazione, l'interferenza.

Riflessione: avviene quando un'onda incontra un ostacolo che non può attraversare e viene rinviata indietro verso la sorgente. Questo accade, ad es., quando un'onda del mare incontra una barriera; l'angolo di incidenza e quello di riflessione sono uguali rispetto alla normale alla superficie di impatto.

Rifrazione: avviene quando un'onda passa da un mezzo materiale a un altro, con densità diversa, per cui la sua velocità e la sua direzione di propagazione subiscono delle variazioni. In un'onda superficiale prodotta sull'acqua, il fenomeno della rifrazione avviene anche quando l'onda passa da una zona dove l'acqua è più profonda a una dove l'acqua è meno profonda; la sua lunghezza d'onda diminuisce e per il legame tra la lunghezza d'onda e la velocità di propagazione diminuisce anche la velocità di propagazione. Questo fenomeno è importante nello studio dell'erosione costiera, perché fa sì che l'energia finale delle onde sia molto minore, e quindi meno efficace, sulle coste basse o dove comunque si ha una diminuzione di profondità graduale. Sulle coste alte che sprofondano in mare l'onda impatta con tutta la sua energia e quindi produce effetti molto più distruttivi, anche se spesso meno evidenti nell'immediato a causa della natura rocciosa della costa stessa.

Diffrazione: avviene quando un'onda incontra un ostacolo di piccole dimensioni; se esso ha dimensioni paragonabili alla lunghezza d'onda dell'onda incidente, essa aggira l'ostacolo e si propaga anche nella parte di ostacolo che dovrebbe essere in ombra. La diffrazione si osserva per es. nelle onde del mare in corrispondenza di moli o frangiflutti: le onde non si limitano a passare al di là degli ostacoli, ma invadono anche lo spazio retrostante gli ostacoli stessi.

Interferenza: si verifica quando due onde si incontrano; in generale, vale il principio di sovrapposizione, cioè l'onda risultante si ottiene sommando tra loro, in ogni istante e in ogni punto, gli spostamenti relativi a ciascuna onda, tenendo conto sia dell'intensità sia del verso (la risultante è quindi la somma vettoriale delle due onde originarie). Un'importante caratteristica dell'interferenza tra onde è data dal fatto che l'onda risultante, descritta dal principio di sovrapposizione, non altera le due onde originarie, le quali, al di là della zona di sovrapposizione, mantengono le loro caratteristiche originarie.

3. Il monitoraggio della linea di costa

La determinazione della posizione della linea di costa e del suo *trend* di variazione è uno degli aspetti che più coinvolgono le amministrazioni locali che hanno la responsabilità di gestire il territorio anche attraverso azioni di prevenzione e protezione ed è essenziale per la pianificazione e la gestione delle coste, per il controllo delle aree edificabili e il progetto delle opere di salvaguardia e difesa. È appurato che la costa è una entità morfologica estremamente dinamica i cui cambiamenti sono strettamente correlati con le condizioni: meteorologiche, del mare e delle maree. Lo sviluppo di nuove, più accurate e veloci tecniche di indagine è necessario quando i cambiamenti delle coste sono veloci ed il monitoraggio viene effettuato a scala regionale o nazionale. Tuttavia una mera serie di controlli, anche se affidabili, non assicura la comprensione dei trend di evoluzione a lungo termine. Quando si intende conoscere la tendenza e la dimensione dei cambiamenti spaziali e temporali, la metodologia di raccolta dei dati deve tenere conto di differenti considerazioni e schemi di monitoraggio, oltre che delle tecniche di monitoraggio stesse.

Ci si riferisce a “lungo termine” parlando di tempi decennali, mentre il “breve termine” sarà l'annuale, l'intrannuale, lo stagionale ed il singolo evento.

La linea di costa può spostarsi a causa di molteplici fattori e processi:

- andamento dell'innalzamento del livello del mare;
- differenza dell'apporto di sabbia lungo la riva, considerando anche i cambiamenti dei passaggi di collegamento tra i vari compartimenti della costa;
- cambiamenti delle condizioni delle onde di tempesta, come altezza, livello, durata e angolo di incidenza;
- cambiamenti del *budget* di sedimenti, provenienti sia da terra (trasporto fluviale) sia dal largo;
- variazioni nel clima delle onde lungo la costa;
- cambiamenti stagionali del livello del mare;
- eventi estremi, con tempi di ricorrenza di anche 50/100 anni, che provocano una elevazione abnorme del livello medio dell'acqua;
- azioni dell'uomo.

Ognuno di questi fattori contribuisce diversamente alla migrazione della linea di costa; la relazione causa-effetto, così come i tempi di risposta, tra ogni fattore e la reazione della spiaggia sono spesso ancora poco chiari: ancora una volta una applicazione consistente delle azioni di monitoraggio si ripropone come fondamentale per lo studio nel tempo dei fenomeni, una loro classificazione statistica e conseguentemente una possibile determinazione della relazione causa-effetto.

3.1 Implicazioni dei cambiamenti della linea di costa

L'entità dell'indeterminazione nella posizione della linea di costa è una combinazione tra l'accuratezza della sorgente dei dati, l'elaborazione/interpretazione degli stessi e la sua naturale variabilità.

L'indicatore più usato per determinare la posizione della linea di riva è la linea dell'acqua alta (*High Water Level*, HWL), anche se essa non è una struttura morfologica

(quindi fissa) ma è la linea umido/asciutto lasciata dal precedente evento di acqua alta. L'HWL è direttamente visibile sul posto e può essere estratta con fotointerpretazione dalle foto aeree sfruttando il tono di colore; può essere approssimata dalla vegetazione, da resti di legname portati dal mare, cambiamento di colore delle rocce e, come detto, dal contrasto cromatico tra spiaggia secca e umida nelle riprese aeree. Questa caratteristica è quella che è risultata più evidente nelle immagini di *remote sensing* satellitare ed è quella che più si è sfruttata nello studio di seguito riportato effettuato sulle aree campione.

In generale si può dire che gli indicatori della linea di costa hanno una variabilità tanto più alta quanto più sono bassi sulla spiaggia.

In Italia, l'isobara zero è generalmente considerata come la linea di costa di riferimento. Anche se essa non è ovviamente visibile sulla spiaggia, è un elemento geodetico oggettivo, facile da mappare tramite un GPS differenziale.

3.2 Acquisizione dei dati (metodi di campionamento)

Gli intervalli di campionamento influenzano la significatività dei dati, quindi possibilmente è meglio non affidarsi ad un singolo o pochi profili, ma è preferibile averne una serie che rappresenti un segmento di spiaggia più lungo. Ovviamente gli intervalli sia spaziali che temporali dipendono dagli scopi, ma in generale è riconosciuto che non si dovrebbero mai superare i 5 km per arrivare anche ai 40 m. Se fare campionamenti molto ravvicinati aumenta la precisione, si deve tener conto che aumenta anche l'onerosità di gestione ed elaborazione.

Dovrebbe essere adottato uno schema di campionamento uniforme, sia spazialmente che temporalmente, ponendo però attenzione a non avere dati affetti dalla periodicità del clima delle onde. Il monitoraggio andrebbe effettuato durante periodi di calma, generalmente estivi, per ridurre gli errori indotti da condizioni avverse che inducono instabilità; diminuendo l'intervallo di campionamento, si minimizza l'effetto della variabilità a corto termine.

3.3 Pericolosità da erosione – modello concettuale

La valutazione della pericolosità da erosione può essere basata sull'applicazione di un modello matematico strutturato con il metodo dell'*overlay* dei dati. Tramite fasi successive, si implementa un modello concettuale che serve, partendo dalle informazioni disponibili ed elaborate nelle fasi di preparazione, a stabilire i parametri geologici e morfologici, ritenuti effettivamente influenti nella valutazione del fenomeno di pericolosità e rischio da erosione costiera. Contemporaneamente viene realizzato un data base geografico che viene progressivamente popolato.

In definitiva, per ogni componente del modello si elabora una carta tematica nella quale sono valutati i vari gradi di suscettività del territorio all'erosione costiera in funzione dei parametri ambientali presi in considerazione

Il modello concettuale si adatta poi secondo un modello logico di dati numerici, con l'assegnazione di un valore ad ogni classe di suscettività di ciascuna componente del modello adottato. In questo modo l'influenza relativa ad ogni parametro viene espressa

numericamente come grado di predisposizione del territorio ai processi erosivi che tiene conto dell'impedenza che esprime una singola componente ambientale.

I dati di suscettività risultanti per ciascun parametro del modello concettuale vengono convertiti in formato *raster* con attribuzione dei valori ad ogni classe, e quindi sommati secondo un metodo di *map algebra*. Il *raster* finale, risultato delle combinazioni dei valori delle classi di suscettività per ogni parametro del modello concettuale adottato, seguendo il criterio dell'addizione, viene riclassificato al fine di poter rappresentare il grado di pericolosità geomorfologica secondo una scala qualitativa espressa in genere nelle quattro classi: basso, medio, medio-elevato, elevato.

3.4 Valutazione della vulnerabilità

La vulnerabilità si può valutare partendo da una ricognizione cartografica accurata della tipologia, della distribuzione e dell'importanza delle aree in esame, tenendo conto di tutti i loro aspetti caratterizzanti. Da qui deriva un *dataset* nel quale vengono distinte diverse categorie di beni ambientali-costieri in senso generale. In seguito si procede ad una distinzione delle differenti categorie di beni per livello di interesse sulla base del loro valore intrinseco dal punto di vista degli elementi di pregio, quali essi siano: non solo ambientali in senso stretto, ma, ad esempio nel caso di insediamenti umani, anche artistici, architettonici e socio-economici.

3.5 Valutazione del rischio costiero

Il rischio, per definizione, viene espresso come prodotto della vulnerabilità per la pericolosità. Pertanto, con un procedimento analogo a quello descritto per la determinazione della pericolosità, vengono moltiplicati i dati *raster* di input della vulnerabilità e della pericolosità, attraverso elaborazioni di *map algebra*; il *raster* finale, risultato delle moltiplicazioni dei valori delle classi di vulnerabilità e della pericolosità, viene riclassificato al fine di poter rappresentare il grado di rischio a cui sono soggetti i beni in esame secondo una scala qualitativa espressa in quattro classi: basso, medio, medio-elevato, elevato.

3.6 Monitoraggio dell'evoluzione della costa: analisi della variazione di superficie rispetto all'analisi dei transetti

La determinazione della variazione della posizione della linea di costa è uno dei componenti più importanti della Gestione Integrata delle Zone Costiere (*Integrated Coastal Zone Management, ICZM*), sia per il monitoraggio dei processi erosivi sia per la valutazione dell'efficacia degli interventi di protezione delle coste.

Dopo l'acquisizione di una serie temporale di profili della linea di costa (rilievi diretti, mappe, foto aeree), il confronto viene generalmente effettuato calcolando lo spostamento medio della linea di costa, ad esempio dividendo la variazione della superficie della spiaggia per la lunghezza del tratto esaminato. Questa Analisi della Variazione di

Superficie (*Surface Variation Analysis*, SVA) fornisce lo spostamento medio della linea di costa per ogni tratto in studio, assumendo ovviamente che la linea di confine “inshore” rimanga inalterata.

Un diverso approccio è l'Analisi dei Transetti (*Transept Based Analysis*, TBA), basata sulla misura e confronto della distanza tra ogni linea di costa ed il punto di riferimento lungo i transetti. Il rilevamento può essere piuttosto rapido, perché è limitato alla misura tra la linea di costa ed il punto di riferimento (un monumento, oppure direttamente sulle mappe o foto aeree). Sia la lunghezza del settore che la frequenza dei transetti dipendono dal tipo di studio, variando da poche decine di metri per studi locali e di dettaglio fino ai chilometri per le scale regionali.

I risultati forniti da questi due metodi differiscono principalmente nel caso di coste frastagliate, perché in tal caso la distanza (frequenza) fra i transetti assume un'importanza fondamentale: se i transetti non sono adeguatamente vicini, si perdono i dettagli dell'andamento della costa.

3.7 Il telerilevamento per il monitoraggio dell'erosione delle coste

Nel 1972 la comunità scientifica ebbe per la prima volta accesso ai dati provenienti dal primo satellite a media risoluzione per l'osservazione della terra; da allora il *remote sensing* è stato usato per l'osservazione delle zone costiere.

Solo l'avvento dei satelliti IKONOS e Quickbird, con risoluzioni spaziali tra 4 m e 0,6 m a seconda delle bande di ripresa, ha sancito l'uso del telerilevamento satellitare come strumento valido per l'osservazione delle coste sotto l'aspetto della loro variazione. Ad essi si è aggiunto Geo-Eye-1 con risoluzione di 0,5 m. A fronte di questa valida risoluzione spaziale, quella spettrale è limitata ai 900 nm, non consentendo l'analisi in quelle lunghezze d'onda dove il contrasto acqua/terra o sabbia umida/asciutta è più evidente. Non è stata quindi ancora raggiunta una metodologia efficiente per l'estrazione della linea di costa in maniera totalmente automatica, cosa che permetterebbe processi di analisi e confronto completamente indipendenti dall'operatore e quindi del tutto oggettive.

L'arrivo del WorldView-2 ha fornito una banda spettrale da 0,86 a 1,04 nm, banda nella quale l'acqua ha una risposta spettrale abbastanza differente da quella della sabbia saturata, dando quindi un ulteriore incremento alle possibilità di uso del satellite per il monitoraggio costiero.

Sono state comunque sviluppate metodologie semiautomatiche per l'estrazione della linea di costa da immagini satellitari ad alta risoluzione. Queste procedure si basano sull'identificazione del bordo acqua/non acqua, estrazione della linea di contatto applicando un filtraggio di riconoscimento dei contorni ed infine una traslazione che è funzione della pendenza della spiaggia (misure in loco) e valori di pressione e di marea.

La procedura è piuttosto complessa e non evita misure di verità a terra, che spesso sono il punto debole di questi processi in quanto, oltre ad essere onerose in termini di tempo e di risorse, non sempre sono facilmente eseguibili. Inoltre le accuratezze raggiungibili sono dell'ordine di qualche metro, decisamente scarse per processi che hanno in generale una evoluzione annuale più limitata, almeno nei nostri bacini. Ancora una volta, quindi, l'applicabilità del metodo dipende dalle specifiche del caso in esame.

Tabella 3.1 – Sunto delle tecniche di rilievo e relativi vantaggi/svantaggi.

<i>Tecnica</i>	<i>Vantaggi</i>	<i>Svantaggi</i>
Rilievi terrestri (trasetti)	Molto accurati, facilmente ripetibili	Copertura spaziale e temporale limitata, tempi di esecuzione lunghi
Confronto di carte topografiche	Economico, buona disponibilità	Scarsa precisione dovuta alla scala
Foto aeree non rettificate	Economico, buona disponibilità	Scarsa precisione, impossibilità di confronto temporale oggettivo
Foto aeree rettificate	Buona disponibilità, elevata precisione, possibilità di confronto oggettivo tramite procedure automatiche	Tempi lunghi di processamento, software ed hardware piuttosto costosi
Immagini satellitari	Buona disponibilità, intervallo temporale regolare, ottima risoluzione spaziale, confronto oggettivo tramite procedure automatiche	Dipendenza dalle condizioni meteo, acquisto su ordinazione, software ed hardware piuttosto costosi
LIDAR	Buona copertura spaziale, elevata precisione	Costoso, sia per il rilievo che per il processamento dei dati

Un aspetto da tenere particolarmente in considerazione è la pendenza della spiaggia; una spiaggia a lieve pendenza viene sommersa da un sottile strato di acqua per svariati metri, rendendo difficile l'esatta individuazione della vera linea di separazione. Più aumenta la pendenza, più la separazione è netta e facilmente individuabile.

Nel monitoraggio tramite immagini il ruolo delle condizioni del mare al momento dell'acquisizione è fondamentale, e quindi si devono, quanto più possibile, usare riprese effettuate in condizioni di mare calmo, per evitare indeterminazioni dovute alle onde e alla risacca.

4. Mareografia

4.1 Cenni storici

La mareografia è uno dei rami più importanti della oceanografia, la scienza che studia i fenomeni fisici del mare. Nei nostri mari, dove le maree raggiungono solo raramente ampiezze notevoli, il relativo studio interessa l'idraulica e l'idrografia, essendo la buona conservazione delle lagune, degli estuari e dei porti intimamente legata al fenomeno di marea, al turismo, alla nautica. Nel 1896 iniziano le osservazioni sistematiche e strutturate in reti in Italia, proseguite fino al 1998, anno in cui l'ultima rete mareografica, impiantata nel 1986 dal Ministero dei Lavori Pubblici cessa l'attività per essere sostituita da quella della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

Fin dal secolo scorso l'Associazione Geodetica Internazionale decise di adottare il livello medio del mare come superficie di riferimento per l'altimetria. L'altezza di un punto venne così riferita al geoide, superficie di equilibrio delle acque del mare sotto l'influenza della forza centrifuga e dell'attrazione di tutte le masse all'esterno ed all'interno della terra.

4.2 La Rete Ondametrica Nazionale

La Rete Ondametrica Nazionale è attiva dal luglio 1989, configurata attualmente su quattordici stazioni di misura. Ogni boa segue il movimento della superficie dell'acqua e permette di determinare l'altezza e la direzione delle onde. Gli strumenti sono dotati di un sistema di localizzazione che utilizza il satellite ARGOS per il controllo continuo della posizione.

Le stazioni sono completate da un centro di ricezione ed elaborazione a terra dei dati inviati via radio dalla boa. Un apposito computer li decodifica, esegue il controllo sulla qualità dei dati e li pre-elabora. I dati vengono acquisiti normalmente per periodi di 30 minuti ogni tre ore e con intervalli inferiori nel caso di mareggiate particolarmente significative.

Vengono ottenuti:

parametri sintetici:

- Hs (metri) altezza d'onda significativa spettrale;
- Tp (secondi) periodo di picco;
- Tm (secondi) periodo medio;
- Dm (gradi N) direzione media di propagazione;

parametri spettrali per banda di frequenza:

- densità di energia;
- direzione media di propagazione;
- dispersione direzionale (*spread*);
- asimmetria (*skewness*);
- curtosi.

Il funzionamento ininterrotto della rete da circa dieci anni, con un rendimento complessivo superiore al 92 % in termini di dati archiviati, permette di avere a disposizione una buona quantità di dati validi per elaborazioni scientifiche ed ingegneristiche, anche se è presente qualche interruzione nella disponibilità dei dati stessi.

4.3 La Rete Mareografica Nazionale

La Rete Mareografica Nazionale è composta da ventisei stazioni di misura uniformemente distribuite sul territorio nazionale ed ubicate prevalentemente all'interno di strutture portuali. Le stazioni sono dotate anche di un sensore anemometrico (velocità e direzione del vento a 10 metri dal suolo), di un sensore barometrico, di un sensore di temperatura dell'aria e di un sensore di temperatura dell'acqua. Da quando la nuova Rete Mareografica Nazionale è pienamente operativa, l'ISPRA³¹ mette a disposizione degli utenti informazioni aggiornate relative a serie storiche, osservazioni in tempo reale, previsione dei dati di marea astronomica, analisi dei dati a fini progettuali e scientifici.

³¹ Il decreto 21 maggio 2010 n. 123 del Ministero dell'Ambiente e per la Tutela del Territorio e del Mare definisce le norme concernenti la fusione dell'APAT, dell'INFS e dell'ICRAM in un unico istituto, denominato Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

5 Esempi applicativi in provincia di Sassari

5.1 Introduzione

Sulla base di tutte le considerazioni precedenti, si è proceduto nuovamente ad un esame delle possibili situazioni sulle quali applicare una metodologia di monitoraggio e di analisi dei fenomeni di movimento della linea di costa.

Tale attività propedeutica è stata condotta esclusivamente su foto aeree e satellitari, in quanto non era possibile, data la ridotta entità delle risorse disponibili, svolgere ricerche in situ che avrebbero richiesto anche una approfondita ed impegnativa ricerca presso tutti gli Uffici ed Istituzioni che potenzialmente potrebbero avere informazioni storiche di lungo periodo.

Prendendo in esame i due tipi principali di costa, vale a dire costa bassa sabbiosa e costa alta rocciosa, non si sono evidenziati fenomeni significativi riguardanti il secondo tipo. Si devono però precisare due aspetti: primo, la risoluzione delle riprese aeree non è elevata soprattutto in quelle più vecchie e, seppur decisamente più elevata, in quelle più recenti non è sufficiente per mettere in evidenza fenomeni di piccole dimensioni. Secondo, come è risaputo, l'erosione delle coste rocciose avviene in tempi considerevolmente più lunghi che non in quelle sabbiose, al "piede" della parete, dove batte l'onda. Questo porta ad un effetto di scavo che non è rilevabile dall'alto, in quanto la parte superiore rimane integra fino al momento della rottura dell'equilibrio statico dovuto alla consistenza della roccia ed al conseguente collasso della "terrazza". Quindi, anche se dalle immagini non si rilevano eventi di questo tipo, è possibile e probabile che siano in atto fenomeni di erosione della costa rocciosa che solo un sopralluogo diretto potrebbe rivelare.

5.2 Aree di studio

Lo studio si è quindi concentrato su esempi di coste basse sabbiose, situate in contesti diversi (figura 3.1): la spiaggia di *Mugoni* nella Baia di Porto Conte (Alghero), che è una tipica spiaggia "chiusa" cioè posta al fondo di una insenatura che la ripara notevolmente dall'azione del mare ma che, essenzialmente per le sue ampie dimensioni, non è propriamente una *pocket beach*³², e una piccola spiaggia in località *Lu Bagnu*, appena ad ovest di Castelsardo, che invece è completamente esposta al mare da nord - nord ovest e che, in quanto a dimensioni, potrebbe essere classificata come una *pocket beach*, anche se non presenta la conformazione tipica di chiusura tra pareti rocciose.

Dell'insenatura di Porto Conte si è parlato sufficientemente nel Capitolo Primo, e in ogni caso è zona turistica ben conosciuta.

Meno nota è la spiaggia di *Lu Bagnu*, a 3 km dal centro maggiore, che da piccola frazione è divenuto un robusto centro balneare con innumerevoli problemi derivanti dalla rapidità della crescita e dalla cattiva gestione del territorio; l'abitato è infatti il risultato di una diffusa e irrazionale edificazione, a ridosso della spiaggia, protratta fino agli anni Ottanta, in cui è ravvisabile una delle maggiori cause dell'alterazione della costa.

³² Piccole spiagge confinate tra promontori rocciosi; lo scambio di sedimenti tra queste spiagge e le linee di costa adiacenti è nullo o molto limitato.

Terza area di studio è la celeberrima spiaggia de *La Pelosa*, all'estremo ovest del Golfo dell'Asinara (figura 3.1), nel Comune di Stintino, che per la sua importanza turistica è oggetto di esame ed attenzione in questi ultimi anni. La spiaggia bianchissima ha un'acqua che dai toni celesti, laddove lambisce la sabbia, passa a tutte le tonalità dell'azzurro e del blu, con l'abbassarsi del fondale. Questa spiaggia, per effetto delle innumerevoli costruzioni realizzate nel tempo, si è gradualmente ridotta. In coerenza con le necessità che si sono progressivamente evidenziate in termini di: conservazione e tutela della costa, gestione integrata della fascia costiera, piano urbanistico comunale, prevenzione del rischio idrogeologico e infine di recupero dei dissesti esistenti, il Comune di Stintino, fin dal 2005, ha intrapreso un percorso conoscitivo dello stato dell'ambiente che ha portato a primi interventi di salvaguardia del proprio litorale.

È ovvio che questi tre casi non possono rappresentare la grandissima varietà di situazioni che si riscontrano in un territorio costiero come quello della Sardegna. Essi vogliono solo esemplificare una metodologia comune applicata in contesti molto diversi per dimostrarne la validità generale e costituire una base di discussione e riflessione sul fenomeno dell'erosione o, per meglio dire, della variazione della linea di costa.

Al momento di questo studio, non si è a conoscenza se nelle aree esaminate sono stati effettuati nel tempo interventi di conservazione o ripristino, quindi tutte le considerazioni sui risultati ottenuti sono state fatte nell'ipotesi che ciò non sia avvenuto e quindi l'evoluzione sia stata naturale, ancorché con la possibilità di una influenza di cause antropiche circostanti, come ad esempio il porto di Castelsardo.

5.3 Tipo e struttura dei dati: disponibilità e limiti

I dati utilizzati sono stati di tre tipi, due dei quali (foto aeree e riprese satellitari) coerenti e direttamente confrontabili, mentre il terzo è costituito dai dati meteo-marini.

Le foto aeree e le riprese satellitari sono risultate disponibili in numero sufficiente presso gli archivi del Servizio Cartografico della Regione Sardegna, scaricabili via rete o direttamente consultabili.

Le immagini ortorettificate sono state elaborate tramite GIS, quelle che non lo erano e che non è stato possibile ortorettificare perché non sono stati reperiti i dati di riferimento dei voli necessari per questa operazione sono state comunque usate per un confronto visivo e per un'analisi a transetti.

I dati meteo-marini sono stati ottenuti dalla boa di Alghero e della stazione di Porto Torres. Questi sono risultati i punti di misura più vicini ma si deve precisare che la loro significatività per le aree di studio non è certo ottimale. La boa di Alghero rileva i dati ondametrici che sicuramente sono validi per le zone adiacenti, ma che rapidamente perdono correlazione all'aumentare della distanza e dell'esposizione della costa, a maggior ragione in presenza di situazioni estremamente frastagliate come quella della costa sarda. La stazione di Porto Torres è nata essenzialmente per lo studio della situazione portuale o adiacente e, come tutte le stazioni meteo, i dati rilevati sono significativi per un ben preciso dominio circostante.

In conclusione, si può affermare che l'utilizzo di tali dati è valido per esemplificare una procedura, ma non è assolutamente idoneo per fare uno studio né tantomeno una previsione in casi specifici, per i quali deve essere prevista una mini-rete di sensori che possa fornire dati con una maglia spazialmente stretta.

Di seguito una tabella con i dati utilizzati e alcuni confronti; per questi ultimi è stata scelta l'ortofoto del 2006 nonostante la sua risoluzione non massima (che è invece quella del 2008) ma che risulta più comparabile con le altre immagini.

I diversi orari di ripresa hanno comportato, soprattutto per Porto Conte, una diversa riflessione della luce solare sulla superficie dell'acqua, con effetti di disturbo che in alcuni casi impediscono, su una porzione di immagine, la visione della linea di confine terra-acqua. Si conferma con evidenza quanto detto precedentemente: i rilievi devono essere programmati con attenzione e devono essere espressamente mirati al problema relativamente al quale vengono eseguiti.

Tabella 3.2 – Confronto tra le immagini di Lu Bagnu e Porto Conte (ortofoto 2006).

Lu Bagnu			Porto Conte		
<i>volo</i>	<i>data</i>	<i>ora</i>	<i>volo</i>	<i>data</i>	<i>ora</i>
1987	22/09/87	12,40	1968	26/06/68	11,35
1998	08/05/98	11,20	1995	03/10/95	10,20
1987	22/09/87	12,40	1998	26/04/98	14,05
1995	03/10/95	13,20	1999	14/06/99	11,55
1999	14/06/99	11,20	2001	22/03/01	14,15
2001	22/03/01	12,35	2002	20/04/02	10,05
2002	18/04/02	11,40	1987	25/06/87	11,05

5.4 Strumenti di calcolo - Metodologia di elaborazione

Le immagini ortorettificate sono state elaborate con software di elaborazione immagini ERDAS e GIS ArcInfo.

Le immagini non ortorettificate sono state confrontate visivamente tramite GIS ArcInfo, e visualizzatore disponibile sul sito del portale Sardegna Territorio.

I dati meteo-marini sono stati elaborati tramite software Excel o sfruttando le procedure di graficazione presenti sul sito ISPRA-Idromare.

5.4.1 Correlazione tra dati

Correlazione fra immagini: per quelle ortorettificate la correlazione è stata effettuata tramite GIS, mentre per quelle non ortorettificate è stata eseguita visivamente e con estrazione delle coordinate di alcuni punti notevoli.

Correlazione fra dati meteo-marini e dati fotografici: è stata effettuata per periodi prendendo come momento di riferimento, T_0 , il giorno della ripresa. Sono stati analizzati statisticamente i dati del semestre, del mese e della settimana antecedenti T_0 , per evidenziare eventuali fenomeni particolari.

La correlazione finale tra i vari tipi di dato è stata eseguita con considerazioni deduttive totalmente a carico dell'operatore, non risultando possibile, a causa della già citata carenza di dati per questa applicazione specifica, eseguire un *run* dei modelli di erosione.

5.4.2 Analisi meteo-marina sulla costa

Ai fini della determinazione dei flussi di energia, legati al moto ondoso, che agiscono sulle aree test considerate, si sono svolte le seguenti elaborazioni.

Determinazione delle caratteristiche meteo-marine dedotte dalle misure in-situ

Come detto, la boa di misura del moto ondoso più vicina ai litorali oggetto di questo studio è quella di Alghero. La figura 3.2 mostra la direzione media di provenienza del moto ondoso (misurata in °N) nel periodo 01/01/1996 - 31/12/2011. Le calme totali sono 9600 pari al 10 % del totale (ISPRA Servizio Mareografico www.idromare.it).

Da questa boa possono essere dedotte alcune delle caratteristiche salienti delle onde che incidono sui litorali della costa NO della Sardegna.

Le onde incidenti nel sito sono in grandissima parte provenienti dall'arco di direzioni tra nord-ovest e ovest-nord-ovest (da 290° N a 310° N).

Queste mareggiate sono prevalentemente associate con i flussi di Mistral dal golfo del Leone. Eventi minori e meno frequenti possono incidere dall'arco di direzioni tra ovest e ovest-sud-ovest, che potrebbero in teoria incidere con un *fecth* piuttosto ampio. In questo ultimo caso sono esposti solo i litorali prospicienti Alghero, ma sono protetti i litorali sul golfo dell'Asinara.

Determinazione delle condizioni meteo-marine calcolate dai modelli di moto ondoso

I modelli operativi di generazione e propagazione delle onde descrivono una situazione di questo tipo: nella figura 3.3 è rappresentata una mareggiata che ha investito la costa nord-Occidentale della Sardegna negli ultimi mesi: il Mistral, che soffia da nord-nord-ovest al largo del golfo del Leone, tende a ruotare e a disporsi in direzione ovest-nord-ovest avvicinandosi alla Sardegna.

Si noti come questo vento incida direttamente sul Golfo dell'Asinara, in cui viene attenuato in gran parte solo per diffusione dell'energia all'interno del bacino molto ampio del Golfo.

Le condizioni di incidenza del Mistral al largo di Porto Conte e Lu Bagnu appaiono, perciò, in gran parte simili.

Nella figura 3.4 vengono riportate le distribuzioni direzionali delle onde dedotte dai modelli di calcolo, per periodo che va dal 2006 al 2012, in particolare il modello utilizzato è il WW3 operativo presso il Consorzio LaMMA (*Laboratorio di Monitoraggio e Modellistica Ambientale per lo sviluppo sostenibile* di cui sono soci il Consiglio Nazionale delle Ricerche e la Regione Toscana).

Le distribuzioni direzionali al largo di Porto Conte sono ovviamente simili a quelle calcolate per la boa di Alghero, mentre quelle calcolate al largo di Lu Bagnu, nel Golfo dell'Asinara, pur simili nella forma, danno un'intensità media ridotta (a causa degli effetti di attenuazione sopra accennati), e mostrano anche un'incidenza ridotta delle onde

“sopra soglia” (più alte di 2,5 m) in cui spicca la direzione intorno a 300° N, mentre sono attenuate o schermate le direzioni con incidenza minore di questo angolo.

5.5 Variazione della linea di costa

La misura della variazione della linea di costa è stata effettuata sia tramite confronto tra le varie linee dei diversi periodi di ripresa sia con il metodo dei transetti. I transetti sono stati virtuali, cioè misurati sulle immagini stesse perché, come già detto, non era possibile programmare una campagna di rilievi diretti.

Le immagini relative ai rilievi degli anni 1954, 1977, 2000, 2006, 2009 sono state importate nel GIS ed è stata estratta da ognuna la linea di costa.

Come immagine di riferimento è stata scelta, a motivo della sua migliore qualità, quella relativa al rilievo del 2008. Su questa immagine sono state riportate tutte le linee di costa precedentemente estratte per permettere un immediato confronto visivo.

Esaminando nel loro insieme i risultati delle elaborazioni precedenti, possiamo fare alcune considerazioni che, se pur non esaustive per la spiegazione di un fenomeno così complesso, possono fornire utili indicazioni e permettere di trarre alcune conclusioni.

Lu Bagnu

Sia dall'analisi comparata dei voli ortorettificati e georiferiti che da quella visiva di quelli “grezzi”, risulta una variazione piuttosto ciclica e che presenta un picco positivo nel 1977 e uno negativo in corrispondenza del 2000. Attualmente, come risulta anche dall'immagine ricavata da Google Earth del 2012, si presenta una situazione intermedia.

L'andamento totale porta a supporre un andamento di “breve termine”, come definito nei capitoli precedenti, caratterizzato da periodi di perdite e periodi di recupero. A causa dell'intervallo temporale tra i rilievi decisamente irregolare, non è possibile definire la frequenza e lunghezza di tali periodi.

L'analisi della correlazione tra situazione fisica (immagini, figure da 3.5 a 3.11) e statistica dei dati meteo-marini (figure da 3.12B a 3.15B) non presenta caratteristiche marcate che possano spiegare questo ciclo. Infatti le condizioni meteo-marine sono praticamente costanti nel tempo, con moto ondoso dominante, sia come intensità che direzione, proveniente da nord-ovest e vento dominante, come direzione di provenienza, da quasi Sud ma, come intensità, da ovest ed est. Rimane quindi piuttosto incerta la determinazione dell'influenza delle variabili meteorologiche sul regime delle correnti vicino alla costa, alle quali potrebbe essere attribuito il ciclo di erosione/recupero. Si potrebbe supporre che questi cicli siano decisamente brevi ma, come già detto, solo un regolare e frequente campionamento potrebbe avvalorare o smentire questa ipotesi.

Porto Conte

Le variazioni in questa area (di cui si è presa come riferimento la spiaggia di Mugoni) sono minori di quelle, già non estese, riscontrate sulla precedente località. Ciò era abbastanza prevedibile, da un punto di vista fisico, vista la sua localizzazione in fondo ad un golfo piuttosto chiuso (figure da 3.16 a 3.22), e viene spiegata anche dall'analisi

meteo-marina (figure da 3.12A a 3.15A) che la vede soggetta a venti e onde provenienti da sud di intensità e forza non rilevanti.

La Pelosa

Sono evidenti delle variazioni che più che una diminuzione/aumento della superficie mostrano uno spostamento della parte emersa. Si deve considerare che è presente una notevole parte sommersa da un sottile strato d'acqua, che incide fortemente sulla determinazione della linea di riva (figure 3.23 e 3.24).

5.6 Considerazioni finali

Ricordiamo quanto già detto a proposito della significatività spaziale delle informazioni meteo-marine le quali, essendo dedotte da dati rilevati in punti decisamente lontani, pur fornendo indicazioni a larga scala sono inadeguate a fornire un valido e attendibile supporto a studi di dettaglio.

Le condizioni di ripresa delle immagini a disposizione sono sufficientemente omogenee per quanto riguarda la stagione ma non per quanto riguarda ora e condizione del mare; la prima porta ad avere una diversa incidenza della luce solare e quindi a una riflessione che a volte impedisce totalmente la visione della linea di costa, la seconda determina una notevole incertezza nella determinazione della linea di costa dovuta alla risacca.

Si devono sicuramente considerare gli effetti della marcata antropizzazione, facilmente rilevabile dal confronto dei due periodi 1954-1977 e 1995-2008, non tanto direttamente influenti sulla costa, dove strutture morfologiche presenti nel 1954 sono facilmente riconoscibili praticamente invariate nelle immagini recenti, quanto per gli effetti indiretti, in primo luogo la forte variazione della idrologia vicino alla costa. Basti pensare che il porto di Castelsardo ha completamente inglobato lo sbocco dell'esistente fiume, ovviamente modificando totalmente la distribuzione degli apporti sedimentari.

Si può comunque dire che, per quanto riguarda le aree di studio, sul periodo esaminato di quasi settanta anni non sembra evidenziarsi un marcato fenomeno di erosione/accrescimento di lunga permanenza, ma solo episodi di breve periodo.

In generale i fenomeni di erosione sicuramente esistono in quanto rientranti nella naturale dinamica del sistema Terra, e come tali devono essere accettati. Essi sono diventati un aspetto problematico dal dopoguerra in poi in quanto lo sviluppo delle attività economiche, in primo luogo turistiche, legate a questo particolare ambiente ha portato all'attenzione sia degli amministratori che dei fruitori i loro effetti. La maniera nella quale la dinamica litoranea viene considerata è funzione dei problemi che si generano nell'uso che viene fatto della costa: è nella gestione che viene avvertito il problema variazione, che diventa sinonimo di erosione in quanto raramente un accrescimento viene visto come negativo.

È quindi ormai inevitabile, anche se non di rado si potrebbe intraprendere una lunga discussione sulla giustezza di ciò, che si debbano intraprendere delle azioni mirate ad una conservazione (ma spesso sarebbe più giusto dire mantenimento dello stato attuale) dell'ambiente costiero ma, come si è cercato di illustrare nei primi capitoli, tenendo ben presente che esse devono rientrare in una logica di gestione integrata rispettosa di tutti gli aspetti ambientali, socio-economici e giuridici del territorio.

POSTFAZIONE

A chiusura del volume vogliamo accennare a un programma internazionale di Tutela delle coste del Mediterraneo, nel quale rientra anche il tratto di costa analizzata nelle pagine precedenti.

Nel 1989 è stato istituito il *Coastal Area Management Programme (CAMP)*¹ a cui partecipano le Parti Contraenti la Convenzione di Barcellona del 1976, finalizzato alla Protezione dell'Ambiente Marino e della Regione Costiera del Mediterraneo. I programmi CAMP sono coordinati dal PAP/RAC (*Priority Actions Programme / Regional Activity Centre*) del MAP (*Mediterranean Action Plan*) dell'UNEP (*United Nations Environment Programme*).

Il CAMP è orientato alla definizione di progetti per la gestione costiera, sviluppati per aree pilota situate nel Mediterraneo. Esso ha come obiettivo principale quello di elaborare e realizzare strategie, azioni e procedure per uno sviluppo sostenibile delle aree costiere e, a tal fine, individuare e applicare metodologie e strumenti *ad hoc* per la gestione delle suddette zone su aree campione particolarmente significative, ma trasferibili anche in altre aree del Mediterraneo.

L'Italia, già parte contraente della Convenzione di Barcellona, ha sottoscritto il Protocollo sulla Gestione integrata della zona costiera (Gizc, vedi Capitolo Secondo), adottato nell'ambito della Conferenza diplomatica plenipotenziaria tenutasi a Madrid nei giorni 20 e 21 gennaio 2008. Tale Protocollo rappresenta il principale riferimento del Programma CAMP.

Nell'articolazione nazionale del Programma *CAMP Italia*², il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare svolge attività prevalentemente di indirizzo e di coordinamento al fine di fissare standard di tutela uniformi sull'intero territorio nazionale. In questi termini il Ministero ha provveduto all'individuazione di un campione di Regioni costiere sulla base della valutazione degli aspetti naturalistici, delle pressioni di origine antropica e naturale e degli strumenti di *governance* in atto. Le aree selezionate per il Programma *CAMP Italia* ricadono nel territorio delle Regioni: Liguria, Emilia-Romagna, Toscana, Lazio e Sardegna.

Il Programma, della durata complessiva di cinque anni, ha avuto inizio con la firma dell'accordo fra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e UNEP-MAP, il 27 marzo 2014, e si pone due obiettivi prioritari: la definizione di una strategia di gestione integrata per le aree selezionate e la realizzazione di azioni innovative.

Le aree pilota della Regione Sardegna

Per quanto riguarda la Sardegna le aree pilota individuate sono indicate in rosso nella figura a pagina 68:

¹ Fonte: *Coastal Area Management Programme – CAMP*,
in http://www.pap-thecoastcentre.org/about.php?blob_id=22&lang=en

² Fonte: *Inception Report CAMP Italy Project*,
in http://www.pap-thecoastcentre.org/pdfs/camp_italy_inception_report.pdf

- *Area CAMP Nord*, il tratto costiero compreso tra Capo Galera (Alghero) e Capo li Canneddi (a est di Valledoria), incluse l'Isola Piana e l'Isola dell'Asinara;
- *Area CAMP Ovest*, il tratto costiero tra Torre Pittinuri e Portixeddu e isole prospicienti.

Si può facilmente notare che nell'*Area CAMP Nord* rientra tutta la zona costiera presa in considerazione in questo lavoro (vedi figure a pagina 68 e 69); limitatamente a detta zona, il Programma CAMP è indicato nella seguente tabella.

Litorale	Progetto	Attività
Alghero	Riqualificazione ambientale delle dune sabbiose e delle spiagge	<ul style="list-style-type: none"> • Gestione della Posidonia Oceanica spiaggiata (raccolta stagionale / stoccaggio / separazione). • Ripristino del cordone dunale, materializzazione del retrospiaggia. • Attività di informazione e di sensibilizzazione finalizzata a un uso consapevole dei siti, mediante pannelli con didascalie e con indicazioni di sentieri e aree <i>pic-nic</i>.
Sorso	Salvaguardia e ripristino della linea di costa sabbiosa del litorale comunale	<ul style="list-style-type: none"> • Aree di sosta dotate di arredi funzionali così da favorire l'uso dei mezzi pubblici. • Ingressi alla spiaggia e servizi primari per l'uso di questa. • Frangivento per il ripristino del sistema dunale e misure di ingegneria ambientale finalizzate alla reintroduzione di specie psammofile pioniere e alla rimozione di specie esotiche. • Pannelli per l'interpretazione consapevole dell'ambiente.
Castelsardo	Gestione integrata delle risorse della pesca	<ul style="list-style-type: none"> • Realizzazione di una zona di ripopolamento sperimentale per l'astice europeo (<i>Homarus gammarus</i>).
Parco Nazionale dell'Asinara	Valutazione della capacità di carico antropico ³	<ul style="list-style-type: none"> • Analisi della gestione del flusso turistico e delle risorse naturali. • Analisi del presente scenario turistico in riferimento agli attuali indicatori di sostenibilità e alle relative soglie. • Definizione di scenari alternativi per quanto riguarda lo sviluppo turistico del territorio (ad esempio al 2050). • Analisi comparativa di scenari alternativi. • Determinazione di un possibile scenario di turismo sostenibile e della capacità di carico relativa.

Poiché la Sardegna, come molte zone costiere del Mediterraneo occidentale, è a rischio di sommersione ed erosione dovuto all'incremento del livello del mare e all'aumento in frequenza e intensità degli eventi meteorologici estremi, fra le altre attività del Programma CAMP è prevista la realizzazione di:

- un Sistema Informativo Regionale Ambientale (SIRA) della Sardegna;
- una mappa di vulnerabilità delle coste legata all'innalzamento del livello del mare con indicazione delle conseguenti misure da adottare.

Il Curatore

³ Benincasa F., Carboni D., De Vincenzi M. (2012) – *L'impatto della frequentazione antropica sulle coste: dalla fotografia ai modelli matematici* in Atti del IV Simposio Internazionale "Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo" Livorno 12-13-14 giugno 2012 Editore CNR-IBIMET, pp. 3-22

FIGURE



Province della Sardegna:

Sassari (SS),
Olbia-Tempio (OT),
Nuoro (NU),
Oristano (OR),
Ogliastra (OG),
Cagliari (CA),
Medio Campidano (VS),
Carbonia-Iglesias (CI).

Capitolo Primo

Capitolo Secondo

Capitolo Terzo

da pag. 69 a pag. 82

da pag. 83 a pag. 87

da pag. 88 a pag. 110



In rosso le aree pilota sarde per il progetto CAMP (*Coastal Area Management Programme*) Italia. Fonte: *Inception Report CAMP Italy Project*, in http://www.pap-thecoastcentre.org/pdfs/camp_italy_inception_report.pdf.



Figura 1.1 – La Provincia di Sassari (realizzazione grafica di Gianni Fasano).

Golfo dell'Asinara.

Torri 1) Frigiano, 2) Abbacurrente, 3) Porto Torres, 4) Saline, 5) Pelosa, 6) Capo Falcone, 7) Isola Piana, 8) Trabuccato, 9) Cala d'Oliva, 10) Cala d'Arena.

Monumenti a) Santa Filitica, b) Tonnara Pedras de Fogu, c) Marritza, d) Marinella, e) Villa Romana di Fiume Santo.

Insenatura di Porto Conte.

Torri 1) Lazzaretto, 2) Punta Giglio, 3) Porto Conte, 4) Tramariglio, 5) Buru, 6) Pegna.

Monumenti a) Palmavera, b) Sant'Imbenia, c) Grotta di Nettuno, d) Grotta Verde.



Figura 1.2 – Castelsardo e il suo porto. La foto mostra l'uso della piccola insenatura, a fini portuali, chiusa per mezzo di un molo che segue sinuosamente il profilo costiero. Foto D. Carboni.



Figura 1.3 – Al centro si osservano le rovine del complesso di Santa Filitica, oggi aggredito dalla erosione del mare, situate in prossimità del promontorio di Punta Tramontana. Foto S. Ginesu.

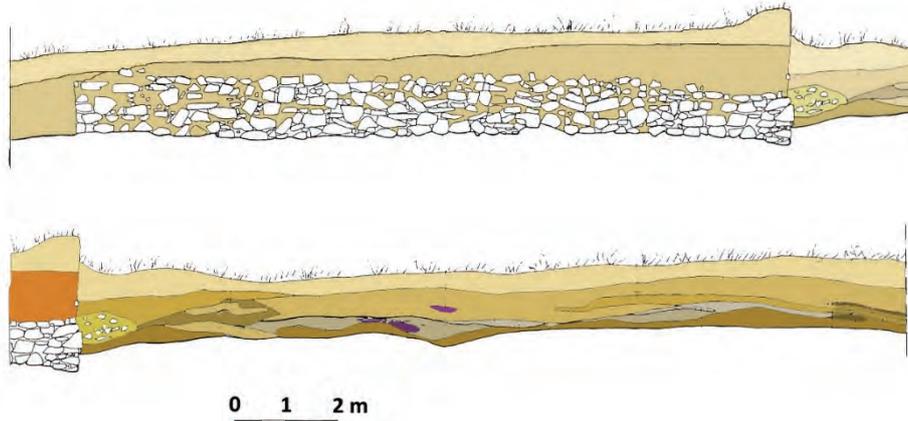


Figura 1.4 – Sezione dei depositi eolici e di spiaggia responsabili della scomparsa dell'edificio della lavorazione del tonno in località La Tonnara. Sul disegno è rappresentata la struttura emersa con l'arretramento della linea di costa (da Rovina et. al., 2001, parzialmente modificata).



Figura 1.5 – Settore costiero settentrionale, Marritza. Il rapido arretramento della linea di costa, in circa 10 anni (1995-2005), è documentato dal manufatto sulla destra. Foto S. Ginesu.





Figura 1.6 – Sulla porzione finale a ovest della spiaggia di Platamona è situata la torre costiera di Abbacurrente, evidenziata nell'immagine, oggi particolarmente soggetta alla dinamica del moto ondoso. Foto S. Ginesu (parzialmente modificata).



Figura 1.7 – Lo scavo archeologico di Marinella in prossimità della foce del Rio Mannu di Porto Torres, eseguito alla fine degli anni '70, ha messo in luce i depositi di spiaggia appartenenti, probabilmente, alla linea di riva tirreniana. Foto S. Ginesu.



Figura 1.8 – Foce del rio di Fiume Santo, in prossimità degli impianti della termo centrale. Oramai inghiottite dal mare appaiono le strutture murarie della villa romana di Fiume Santo in una foto del 1988. Foto S. Ginesu.



Figura 1.9 – Stagno delle Saline lungo la costa presso Stintino. Questo litorale è stato sede di imponenti prelievi di sabbie silicee ghiaiose lungo il cordone emerso e sommerso. Il perimetro interno richiama il profilo della costa tirreniana. Foto D. Carboni.

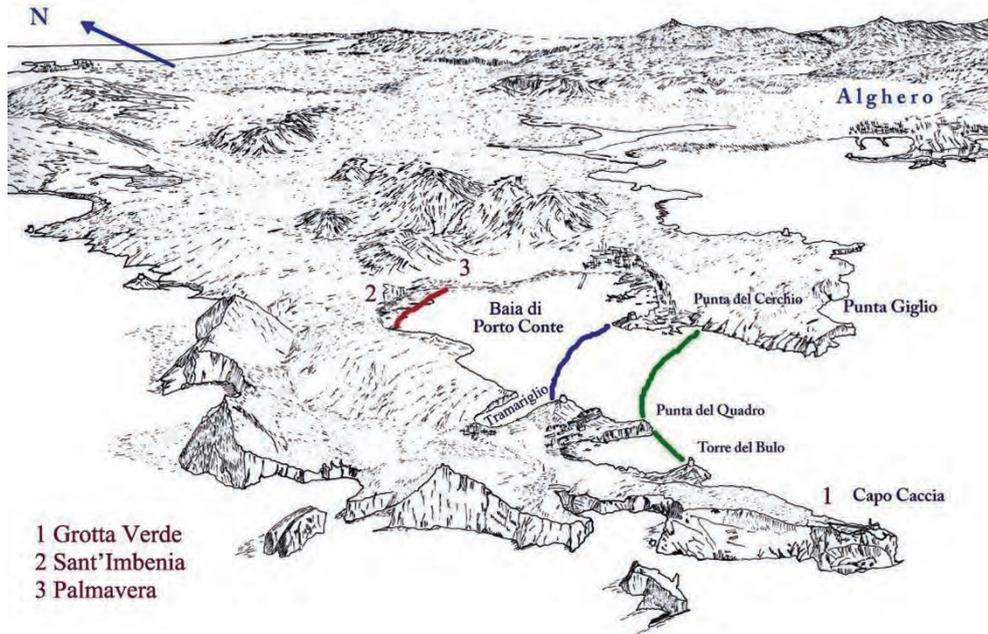


Figura 1.10 – Schema dell'insenatura di Porto Conte. La linea verde indica la costa neolitica, la linea blu quella nuragica e la rossa quella romana. Fonte: Carboni D., Ginesu S., 2006.



Figura 1.11 – Il villaggio nuragico di Palmavera. Foto di D. Carboni.



Figura 1.12 – Resti della villa romana di Sant’Imbenia, costa nord-occidentale, distrutta e parzialmente sommersa, dal mare. Foto D. Carboni.



Figura 1.13 – Il nuraghe di Sant’Imbenia con il suo villaggio. Foto D. Carboni.



Figura 1.14 – I primi dei 656 gradini che consentono di scendere a livello del mare per accedere alla Grotta di Nettuno (Capo Caccia, Alghero). Foto di G. Fasano.



Figura 1.15 – Capo Caccia (Alghero); adiacente alla strada, lungo la falesia, un camminamento (in marrone) conduce dall'accesso alla scala per la Grotta di Nettuno ● alla scala di ingresso alla Grotta Verde ● (elaborazione di G. Fasano su immagine di Google Earth del 3/6/2015).



Figura 1.16 – Falesia del lato est di Capo Caccia in cui è chiaramente visibile l'ingresso della Grotta Verde. Foto di G. Fasano.



Figura 1.17 – Scala che, per i primi 50 metri circa, consente un più agevole ingresso alla Grotta Verde. Foto di G. Fasano.

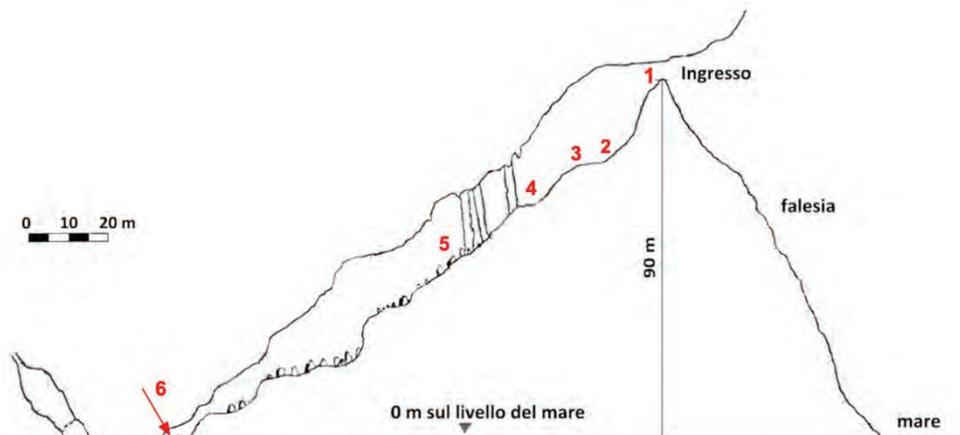


Figura 1.18A – Grotta Verde o di Sant’Elmo, sezione longitudinale: l’ingresso immette in una ampia cavità aerea (1) che, con un ripido cunicolo (2), porta, a livello del mare. Lungo il cunicolo si incontra un pianoro con “l’Altare di Sant’Elmo” (3) e delle colonne calcaree (4). Il percorso scende ripido su una frana (5) al laghetto dei Graffiti (6), nel quale ci si può immergere per raggiungere la parte sommersa della Grotta (7), (da Guillot, 1997). In figura 18B la parte sommersa è maggiormente dettagliata.

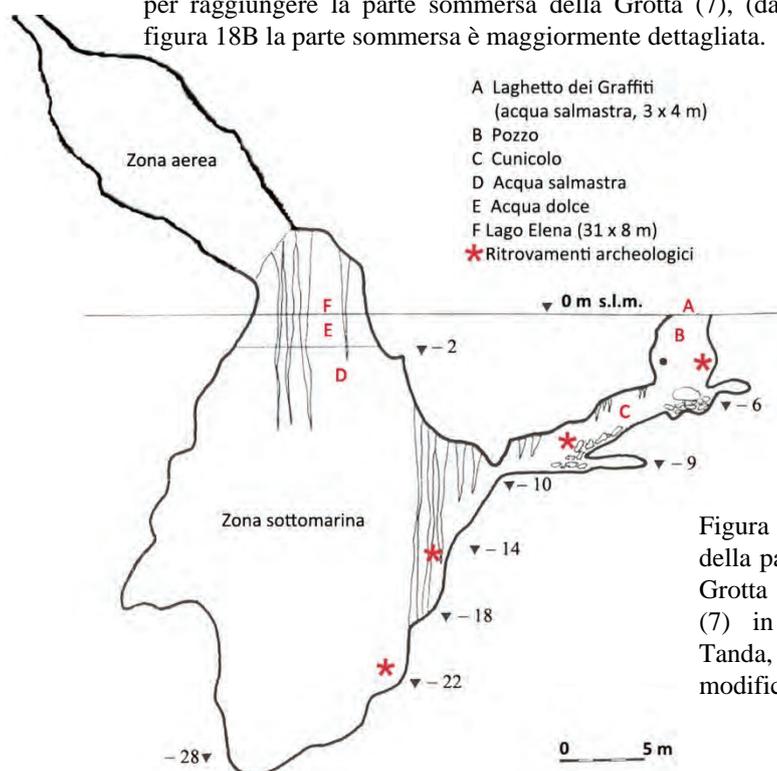


Figura 1.18B – Particolare della parte sommersa della Grotta Verde, punti (6) e (7) in figura 18A. (da Tanda, 1999, parzialmente modificata da G. Fasano).

Nelle fotografie seguenti sono mostrati i punti topici indicati in questa figura.



Ingresso della grotta visto dall'interno, punto (1) in figura 1.18A. Foto di G. Fasano



A circa metà discesa fra i punti (1) e (2) della figura 1.18A. Foto G. Fasano



Pianoro con altare, rispettivamente punti (2) e (3) in figura 1.18A. Foto di G. Fasano



Al centro: particolare dell'altare, punto (3) in figura 1.18A. Foto di G. Fasano



Zona delle colonne, a circa 80 metri dall'ingresso, strutture alte dai 15 ai 20 metri ricoperte da organismi vegetali che conferiscono loro la colorazione verde, da cui il nome alla grotta. Punto (4) in figura 1.18A. Foto di G. Fasano



Dopo le colonne, punto (5) in figura 1.18A, il camminamento prosegue, scendendo ripido su un corpo di frana, verso il livello del mare. Foto di G. Fasano



Per un biennio si sono monitorati:

- temperatura dell'aria
- umidità dell'aria
- tasso di anidride carbonica

in tre punti della grotta:

- all'ingresso, punto (1) in figura 18A
- nei pressi dell'Altare, punto (3) in figura 18A
- nella zona delle colonne, punto (4) in figura 18A.

Nella figura a lato, il sistema di misura nel punto (4).

Foto di G. Fasano.

A livello del mare, la cavità aerea termina al Laghetto dei Graffiti, punto (6) in figura 1.18A. In primo piano, nella foto, si nota uno scalino pianeggiante coperto da pochi centimetri di acqua e quindi un pozzo che scende verticalmente fino alla profondità di 9 metri.
Foto di G. Fasano.





Figura¹ 2.1 – Cagliari: la spiaggia del Poetto tra il 1893 e il 1973. Sullo sfondo la Sella del Diavolo, vedi figura 2.3. Da https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cagliari_-_Tram_al_Poetto.jpg (Immagine di pubblico dominio poiché il Copyright è scaduto; consultato il 21/05/2015).



Figura 2.2 – Cagliari: il Poetto; alle sue spalle le saline del Parco del Molentargius, che una striscia di vegetazione separa dall'omonimo stagno.

Da: Riccardo Mostallino Murgia, Cagliari Guida della città, Zonza Editori

http://www.comune.cagliari.it/portale/it/pagina_informativa_2.page;jsessionid=4DEBD6BE319C5B0945FDBE5FF1001DA1?contentId=SCH13069 (consultato il 21/05/2015)

¹ *Le figure 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 e 2.5 sono state scelte dal Curatore ed è suo il commento relativo.*



Figura 2.3 – Parco del Molentargius: spiaggia del Poetto e zone umide retrostanti (anno 2013 da Google Earth consultato il 21/5/2015). Elaborazione di Gianni Fasano.

- 1 Idrovora per l'alimentazione delle Saline e relativa presa d'acqua in mare;
- 2 Stagno Sa perda bianca;
- 3, 4, 5, 6, Quartieri di Cagliari sud: La Palma, del Sole, San Bartolomeo, Sant'Elia;
- 7 Sbocco al mare del Canale di Terramaini; canale artificiale per la regimazione del livello delle acque dello stagno del Molentargius;
- 8, 9, 10, Stagno del Molentargius: Bellarosa Maggiore, Bellarosa Minore, Ecosistema filtro;
- 11 Ippodromo;
- 12 Questo punto è un particolare ingrandito nell'immagine seguente per evidenziare la strada che scorre adiacente alla spiaggia.



Figura 2.4 – Poetto (particolare indicato con 12 nella figura 2.3): due strade corrono parallele alla spiaggia fino a Quartu, una addirittura lambisce l'arenile, sottraendogli sabbia nelle giornate di vento (anno 2013 da Google Earth consultato il 21/5/2015).

Vogliamo accennare al fatto che le normative nelle quali i termini scientifici vengono utilizzati in senso lato, invece che nel loro più stretto significato tecnico, lasciano spazi interpretativi che consentono di affrontare i problemi ma non di risolverli. Nello specifico ci riferiamo alle locuzioni ambiente marino, ambiente costiero, zona costiera, o più sinteticamente litorale, che sono indifferentemente utilizzate dal legislatore senza offrire alcuna definizione. Così nel d.lgs. n.112/1998 l'art.73 parla di litorale quando conferisce alla Regione Sardegna l'attuazione di tutti gli interventi necessari per la realizzazione del programma di salvaguardia di questo e delle zone umide nell'area metropolitana di Cagliari di cui alla legge n.67/1988.

È pur vero che la costa cagliaritana è fuori della zona di studio di questo lavoro, ma gli eventi che in essa si sono svolti sono paradigmatici per molte altre aree costiere

della Sardegna, anche comprese nella zona della provincia di Sassari (spiaggia della Pelosa a Stintino, spiaggia delle Bombarde ad Alghero, ecc.).

Nei primi decenni del ventesimo secolo i cagliaritani iniziarono ad apprezzare le bianche dune del Poetto e quindi si videro sorgere i primi stabilimenti balneari, i chioschetti per i rinfreschi e, durante il ventennio fascista, una colonia estiva direttamente costruita sulla spiaggia. In seguito, in riva al mare, sorsero anche piccole costruzioni coloratissime, utilizzate come abitazioni nei giorni di festa.

Nel 1986 per motivi di natura igienico-sanitaria tutte queste costruzioni, più o meno abusive, furono rimosse.

Alla fine degli anni Ottanta si prese anche coscienza del continuo depauperamento dell'arenile dal quale, con la ricostruzione della città, dagli anni Cinquanta in poi furono fatti massicci prelievi di sabbia.

Uno studio della fine degli anni Novanta confermò il trend dell'erosione, identificando quali cause del degrado la presenza della strada litoranea, l'incremento dell'azione ondosa, a causa della scomparsa della Posidonia oceanica, e la costruzione di stabilimenti balneari, di casotti e di villette.

Per rimediare allo scempio, nel 2002, si è tentato un ripascimento della spiaggia. Con delle draghe è stata prelevata la sabbia a qualche centinaio di metri dalla riva, ma il risultato è stato sconvolgente: la sabbia finissima e bianca di una volta è stata sostituita da un miscuglio assolutamente diverso per colore e granulometria, contenente non solo sabbia ma anche frammenti di conchiglie, concrezioni marine e altri componenti alieni.

Nel 2012, per la prima volta dopo l'operazione di ripascimento viene evidenziato, almeno in certi punti, il recupero di alcuni metri di spiaggia, tuttavia, nel 2013, la forza erosiva delle correnti, sommata alla cattiva gestione e ai mancati studi sui processi erosivi, ha riportato la situazione a prima del 2002.

Come detto in precedenza anche in provincia di Sassari si è assistito, nel tempo, ad alterazioni delle spiagge e, tra le più famose, vogliamo citare la spiaggia della Pelosa a Stintino, all'estremo ovest del Golfo dell'Asinara (vedi figura 3.1).

La spiaggia bianchissima ha un'acqua che dai toni celesti, laddove lambisce la sabbia, passa a tutte le tonalità dell'azzurro e del blu, con l'abbassarsi del fondale. Questa spiaggia, per effetto delle innumerevoli costruzioni realizzate nel tempo, si è progressivamente ridotta, come mostrano le ortofoto aeree, del 1977 e del 2010, affiancate nella pagina seguente (figura 2.5).

In coerenza con le necessità che si sono nel tempo evidenziate in termini di conservazione e tutela della costa, di gestione integrata della fascia costiera, di piano urbanistico comunale, di prevenzione del rischio idrogeologico e di recupero dei dissesti esistenti, fin dal 2005 il Comune di Stintino ha intrapreso, inizialmente con le proprie forze e poi supportato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, un percorso conoscitivo dello stato dell'ambiente che ha portato a primi interventi di salvaguardia del proprio litorale.

Così nel 2006 ha iniziato la protezione delle dune realizzando sull'arenile delle recinzioni frangivento, per ridurre le perdite di sabbia e favorire la crescita di piante, e dei camminamenti sopraelevati, in legno, per non calpestare la sabbia. Qualche risultato nella crescita delle piante si è avuto ma il risultato sulla "rigenerazione" della spiaggia è assai più modesto di quanto le "ordinanze" avessero lasciato supporre.



Figura 2.5 – La Pelosa (Stintino): a sinistra ortofoto 2010; a destra ortofoto 1977
(da <http://www.sardegnaportale.it/webgis2/sardegnafotoaeree/>, consultato il 26/05/2015).



Figura 3.1 – Costa della Provincia di Sassari sulla quale sono stati individuati i tre siti oggetto di studio: Baia di Porto Conte, con zona di riferimento la spiaggia di Mugoni (Boa della Rete Ondametrica di Alghero), Lu Bagnu (Stazione Mareografica di Porto Torres); La Pelosa (Stintino, con un numero limitato di dati). Realizzazione grafica di Gianni Fasano.

Figura 3.2 – Boa di Alghero: direzione media di provenienza del moto ondoso (misurata rispetto al nord) nel periodo 01/01/1996 - 31/12/2011. Da ISPRA Servizio Mareografico www.idromare.it.

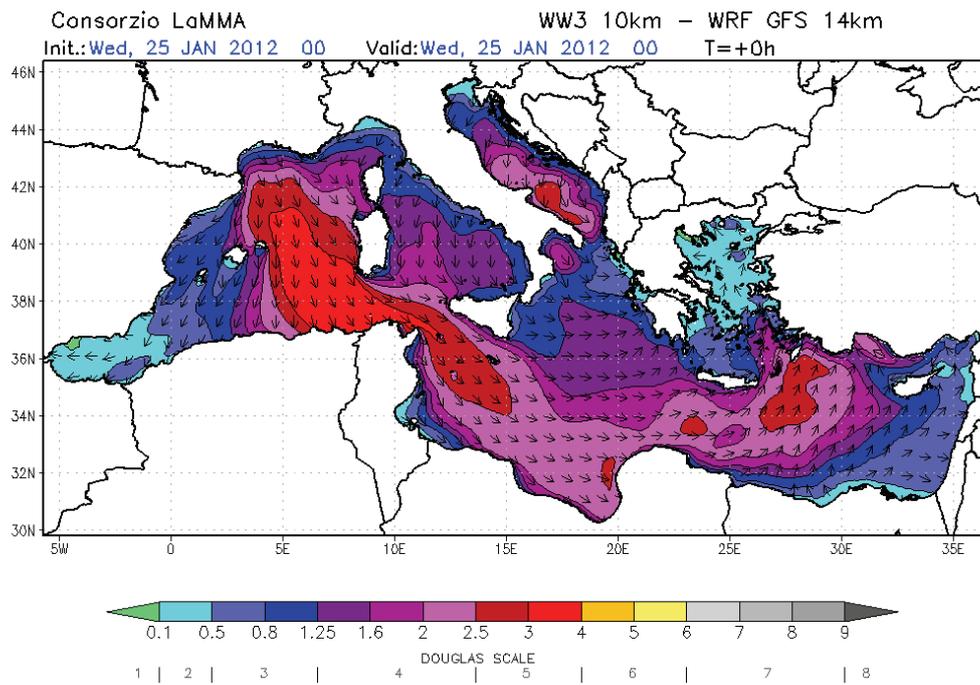
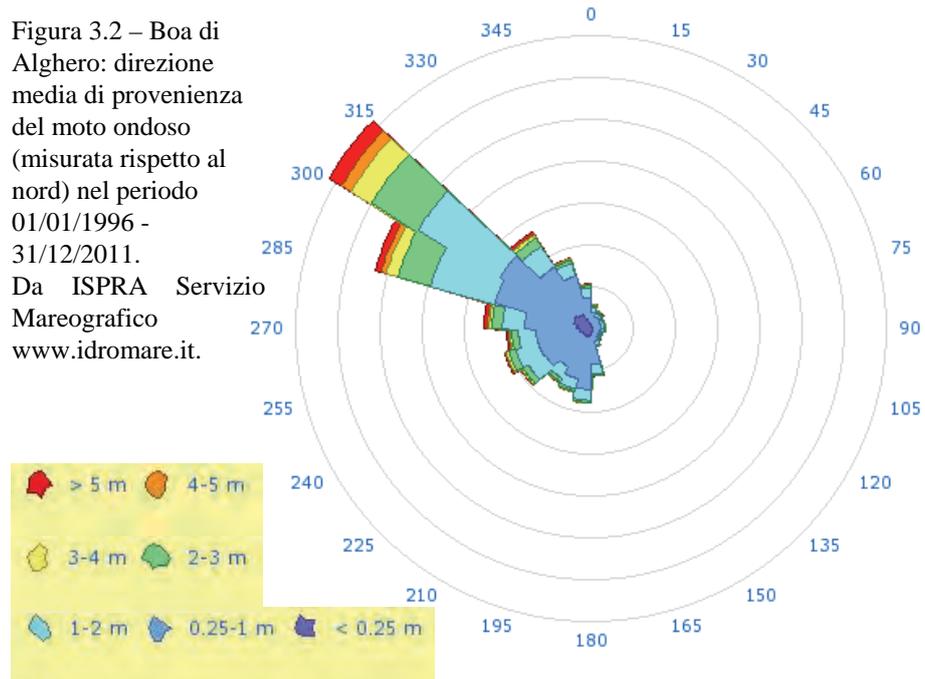


Figura 3.3 – Altezza significativa delle onde, in metri, e direzione media di propagazione.

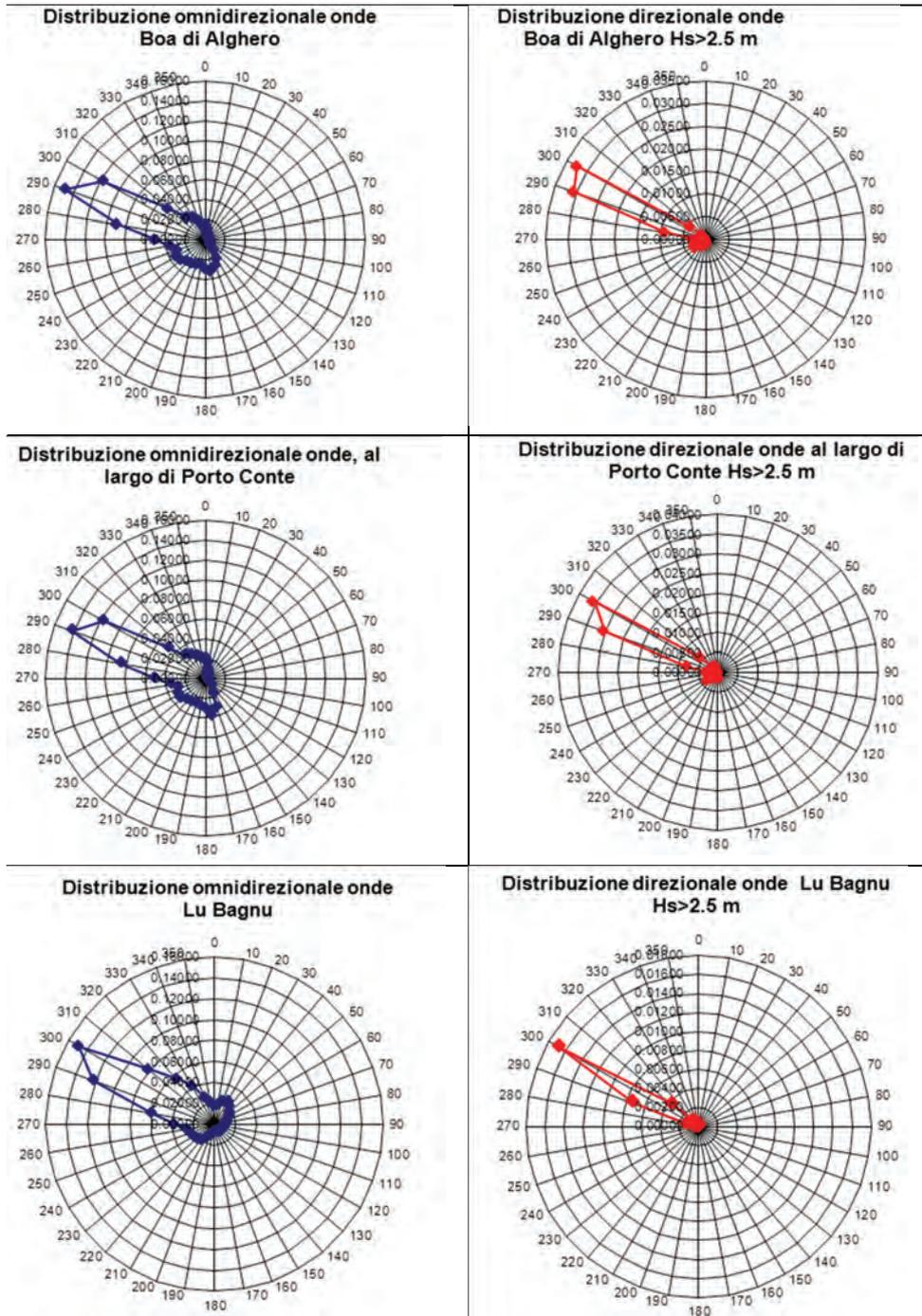


Figura 3.4 – Anni 2006-2012: calcolo delle distribuzioni direzionali delle onde alla boa di Alghero e a largo di Porto Conte e di Lu Bagnu.

Figura 3.5 – Lu Bagnu: situazione al 2012. Da Google Earth.



Figura 3.6 – Lu Bagnu: a sinistra mosaico di immagini satellitari IKONOS 2005; a destra volo costa 2001, strisciata 108, fotogramma 3938
Da <http://www.sardegnaoportale.it>



Figura 3.7 – Lu Bagnu: a ortofoto 2006; a destra volo costa 2001, strisciata 108, fotogramma 3938
Da <http://www.sardegnaeoportale.it>

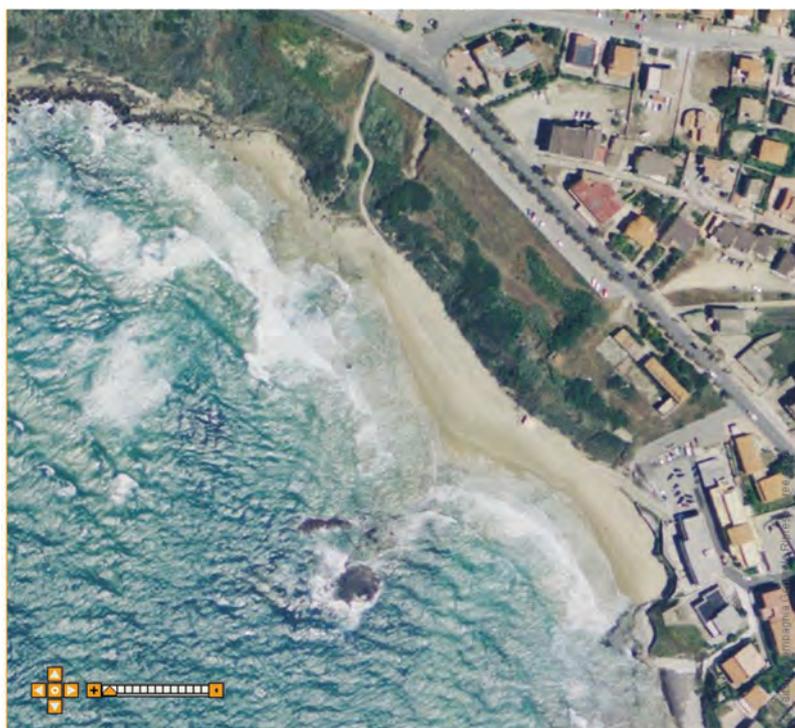


Figura 3.8 – Lu Bagnu: a sinistra ortofoto 2008; a destra ortofoto 1954.
Da <http://www.sardegnaeoportale.it>



Figura 3.9 – Lu Bagnu: a sinistra ortofoto 2006; a destra ortofoto 2008.
Da <http://www.sardegnaoportale.it>

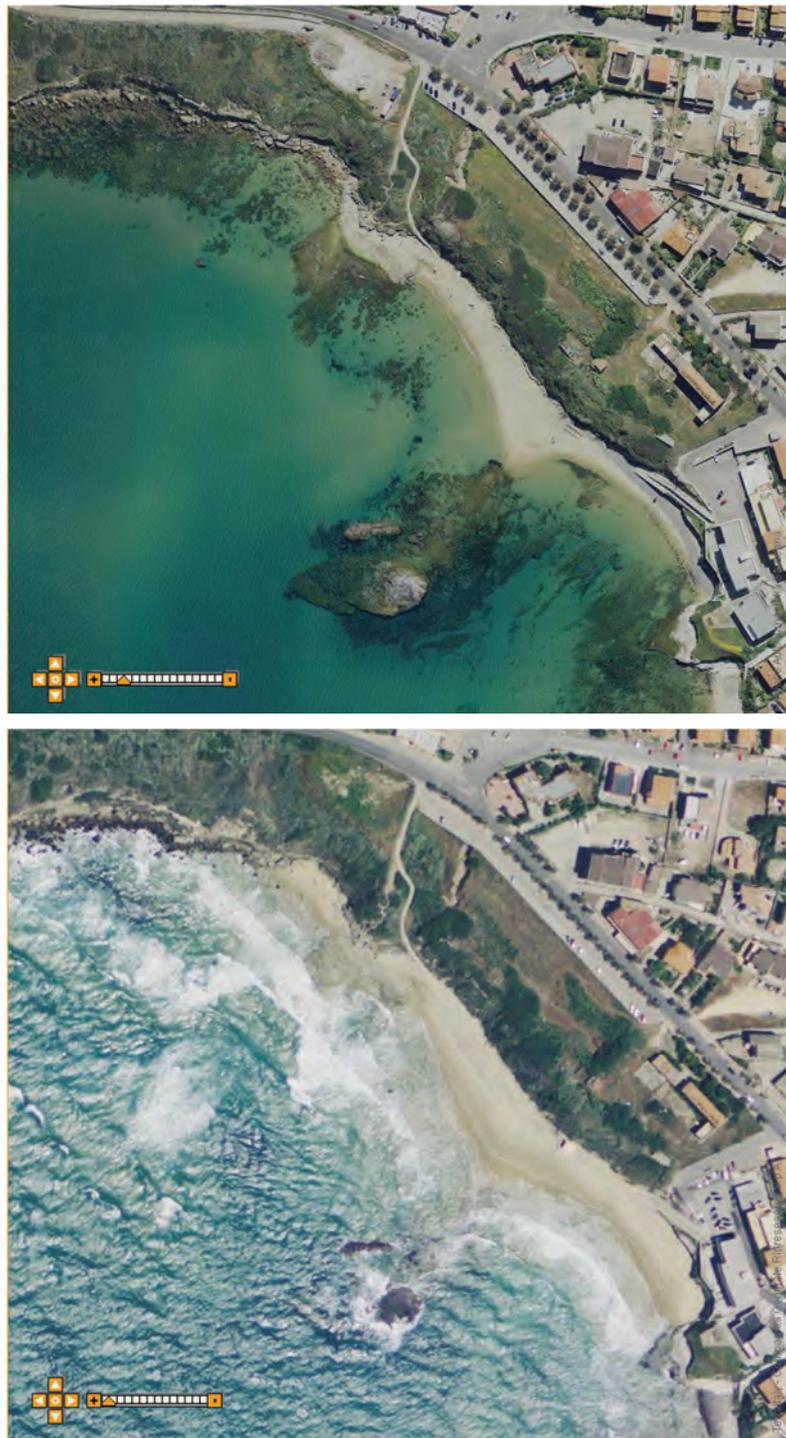


Figura 3.10 – Lu Bagnu: a sinistra ortofoto 2008; a destra ortofoto 2003.
Da <http://www.sardegnaoportale.it>



Figura 3.11 – Lu Bagnu ortofoto 2008; posizionamento della linea di costa nel: 1954 (in rosso) , 1977 (in giallo), 2000 (in marrone), 2006 (in verde), 2009 (in viola).

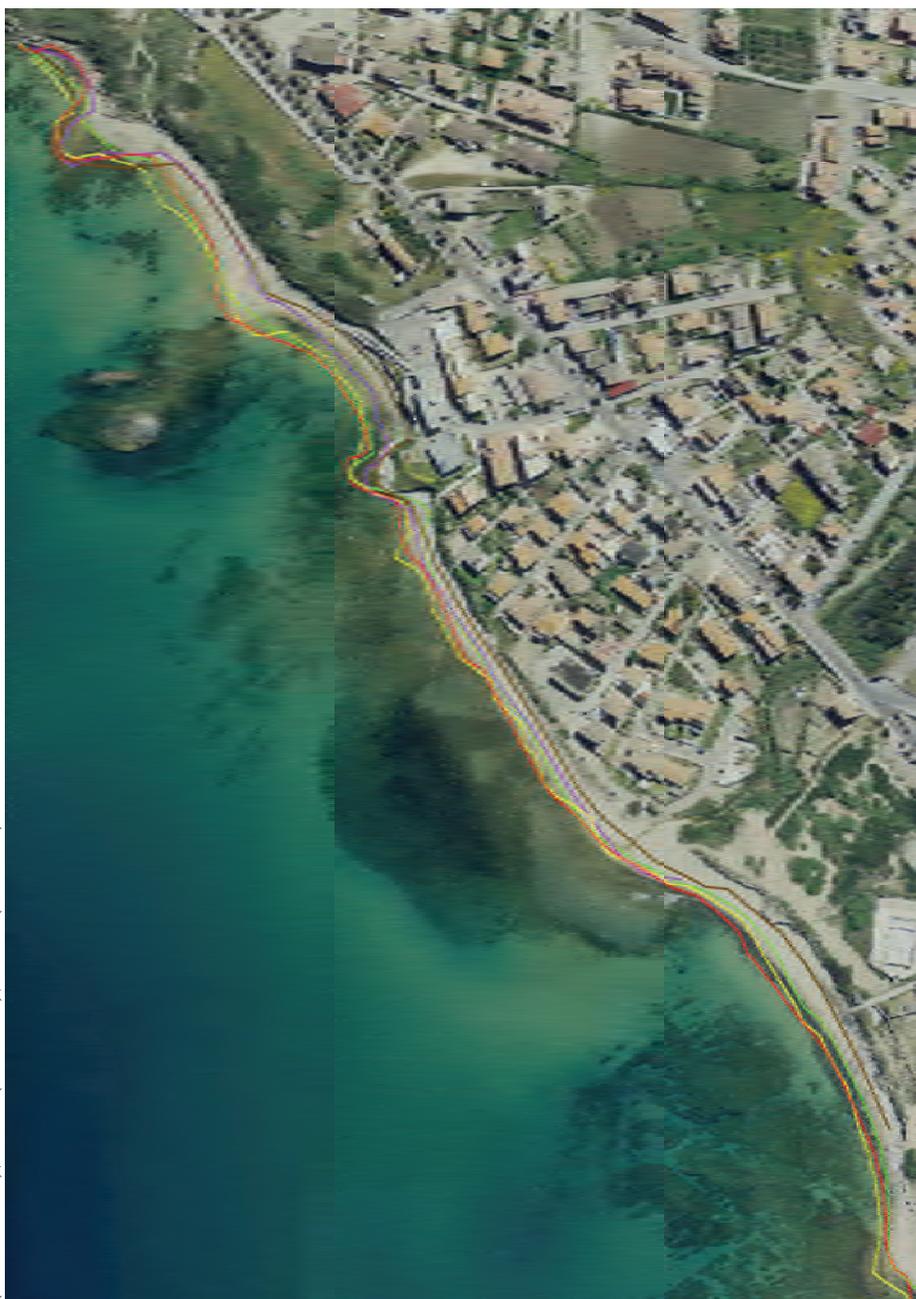


Figura 3.12 – Dati meteorologici misurati nel periodo 01/01/1990 – 31/12/2007:

- a) Boa ondometrica di Alghero: direzione media di provenienza del moto ondoso (misurata rispetto al nord).
 - b) Stazione mareografica di Porto Torres: direzione di provenienza del vento (misurata rispetto al nord).
- Da www.idromare.com

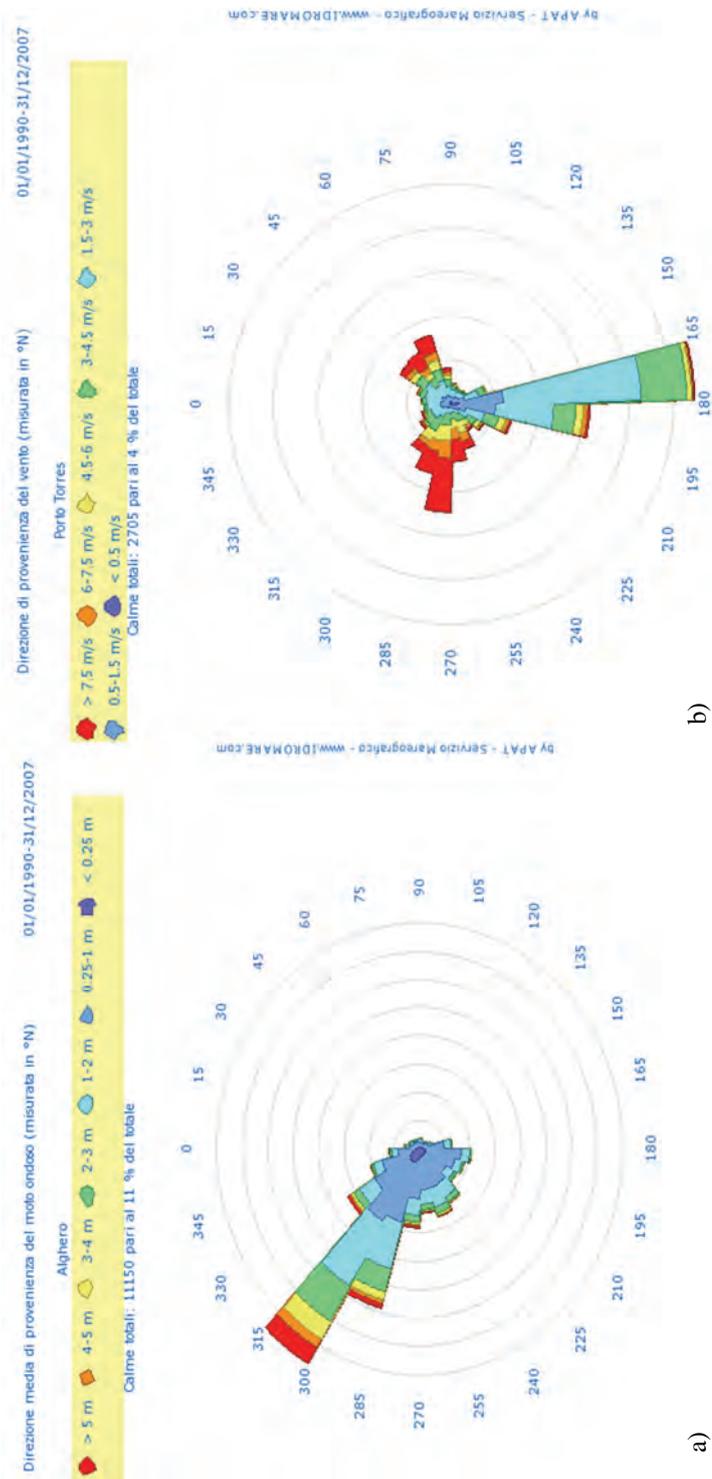


Figura 3.13 – Dati meteorologici relativi ai 6 mesi precedenti il volo 2001 (23/09/2000 – 23/03/2001):

a) Boa ondometrica di Alghero: direzione media di provenienza del moto ondoso (misurata rispetto al nord).

b) Stazione mareografica di Porto Torres: direzione di provenienza del vento (misurata rispetto al nord).

Da www.idromare.com

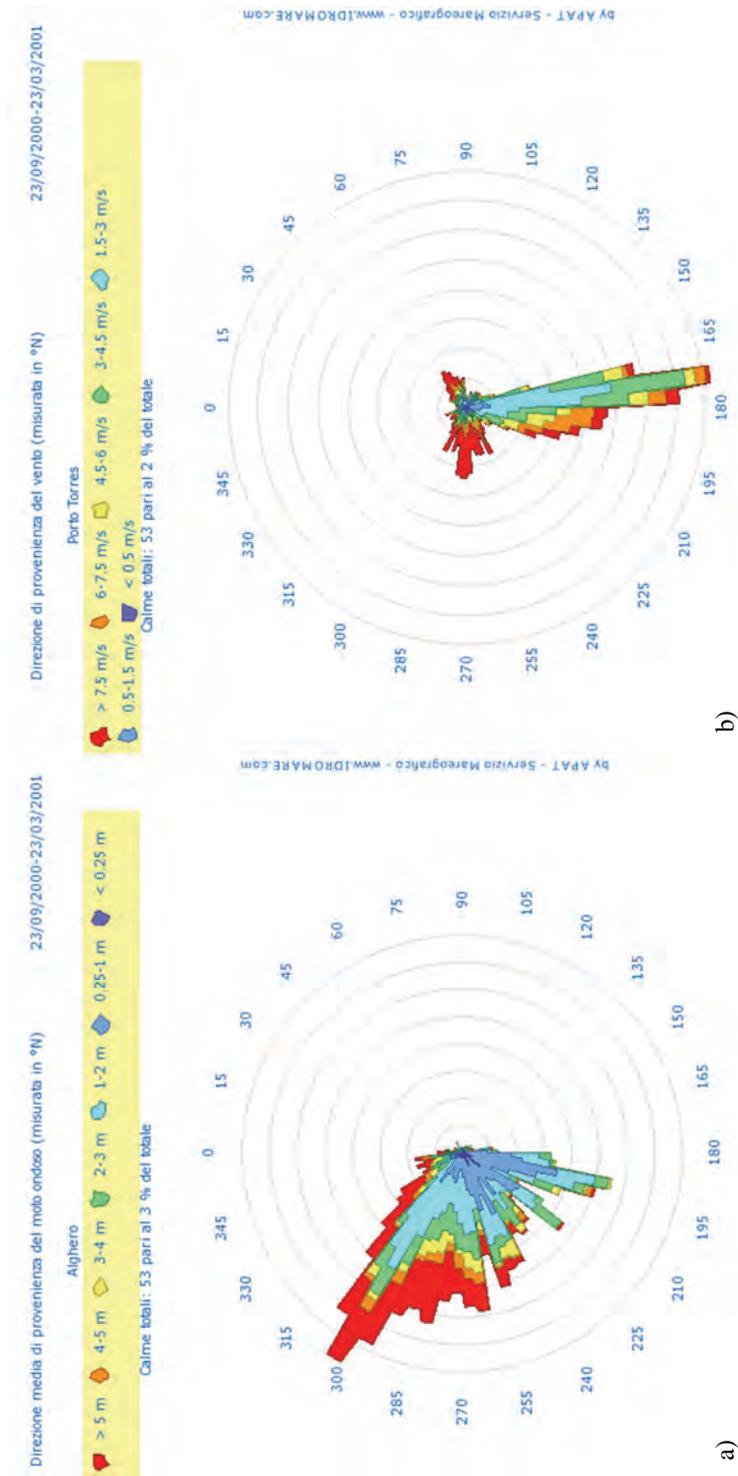


Figura 3.14 – Dati meteorologici relativi al mese precedente il volo 2001 (23/02/2001 – 23/03/2001):

a) Boa ondometrica di Alghero: direzione media di provenienza del moto ondoso (misurata rispetto al nord).

b) Stazione mareografica di Porto Torres: direzione di provenienza del vento (misurata rispetto al nord).

Da www.idromare.com

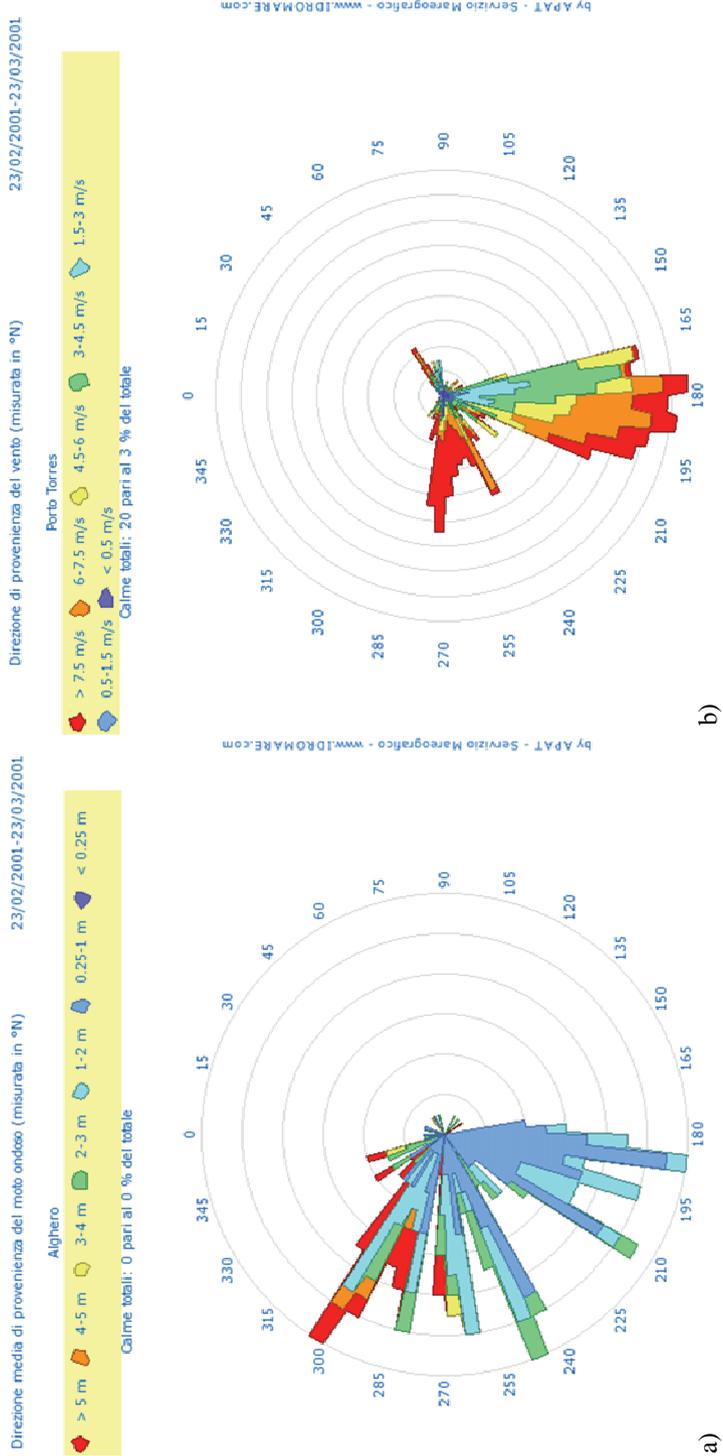


Figura 3.15 – Dati meteorologici relativi alla settimana precedente il volo 2001 (16/03/2001 – 23/03/2001):
 a) Boa ondometrica di Alghero: direzione media di provenienza del moto ondoso (misurata rispetto al nord).
 b) Stazione mareografica di Porto Torres: direzione di provenienza del vento (misurata rispetto al nord).
 Da www.idromare.com

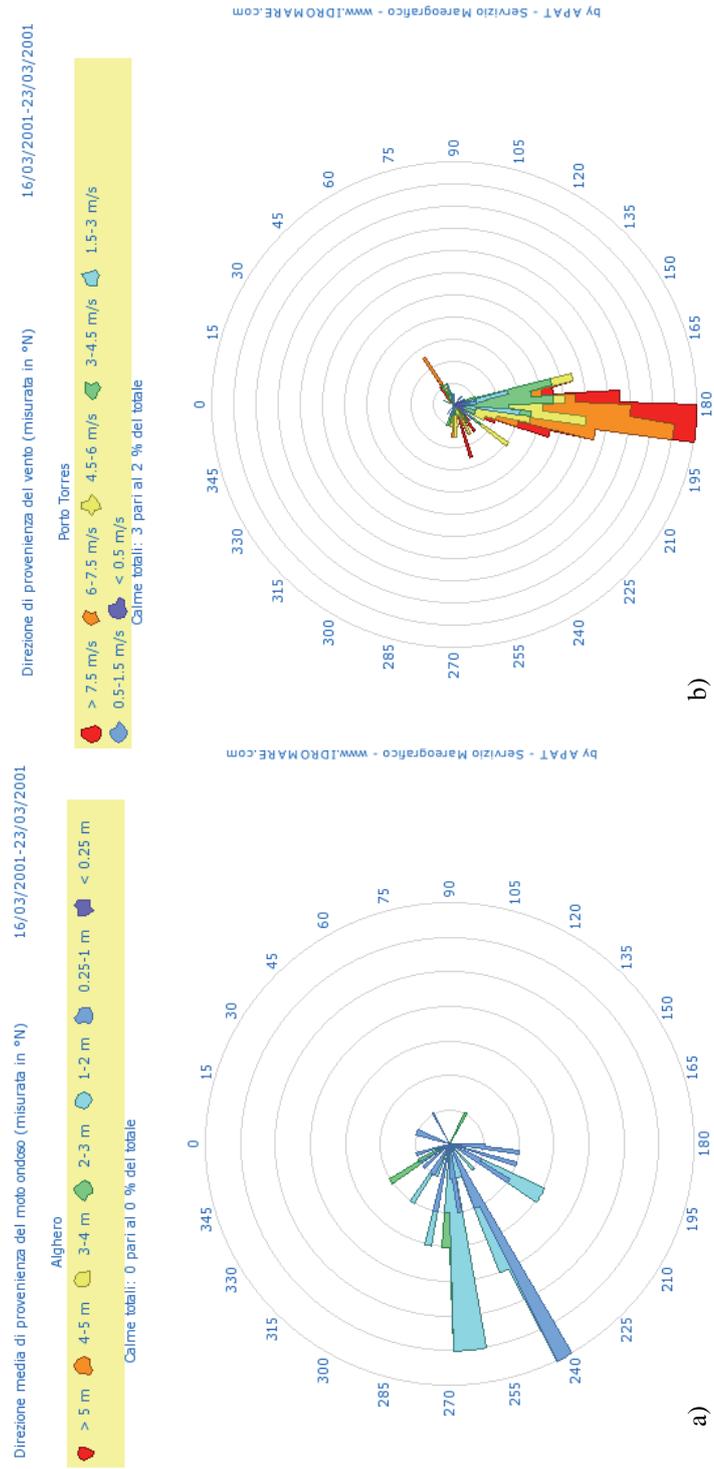


Figura 3.16 – Porto Conte, zona di riferimento la spiaggia di Mugoni:
situazione al 2010.

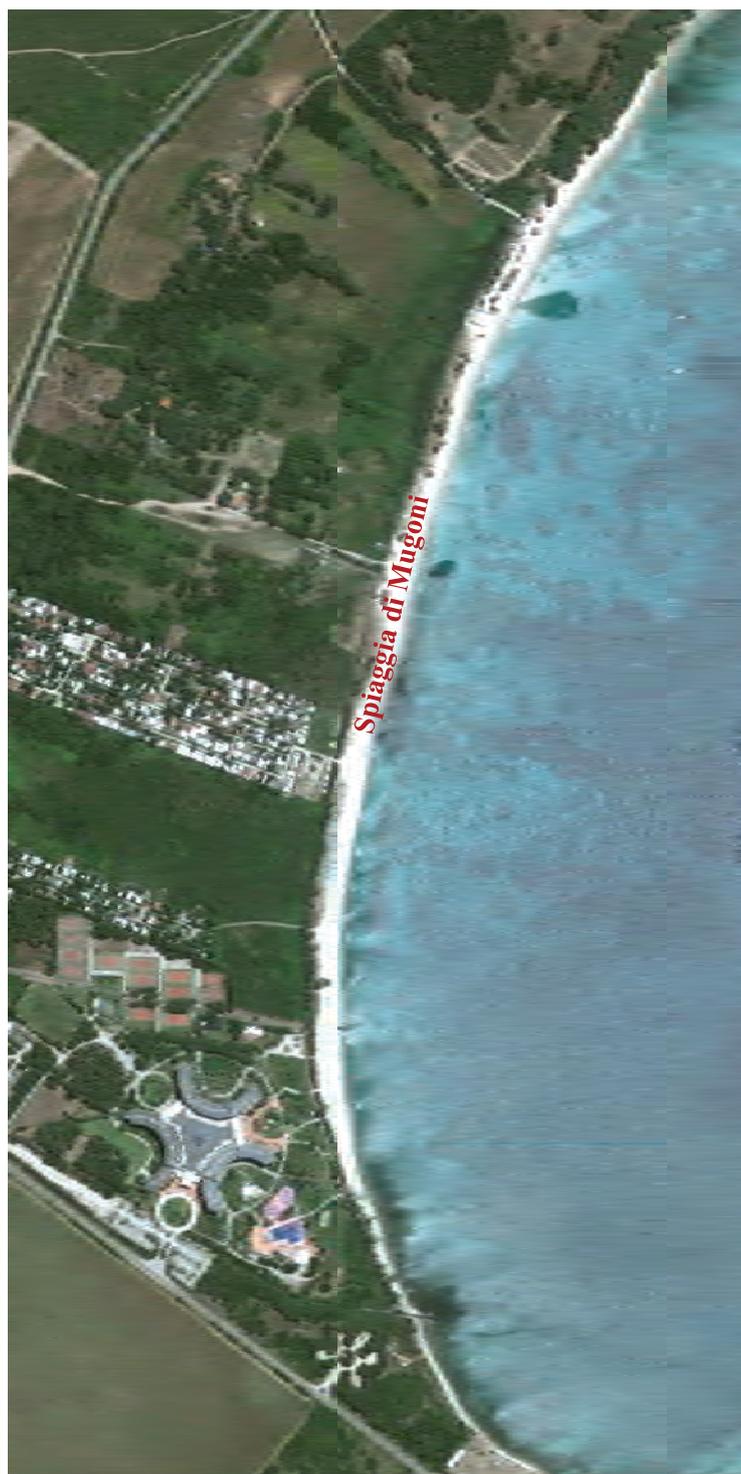


Figura 3.17 – Porto Conte: situazione al 2014.
Da Google Earth, consultato l'8/6/2015.



Figura 3.18 – Porto Conte: ortofoto 1954.
Il punto indicato, con coordinate espresse nel sistema di riferimento Gauss-Boaga, è rappresentativo della linea di battaglia del volo costa 1995. Da <http://www.sardegnaoportale.it>

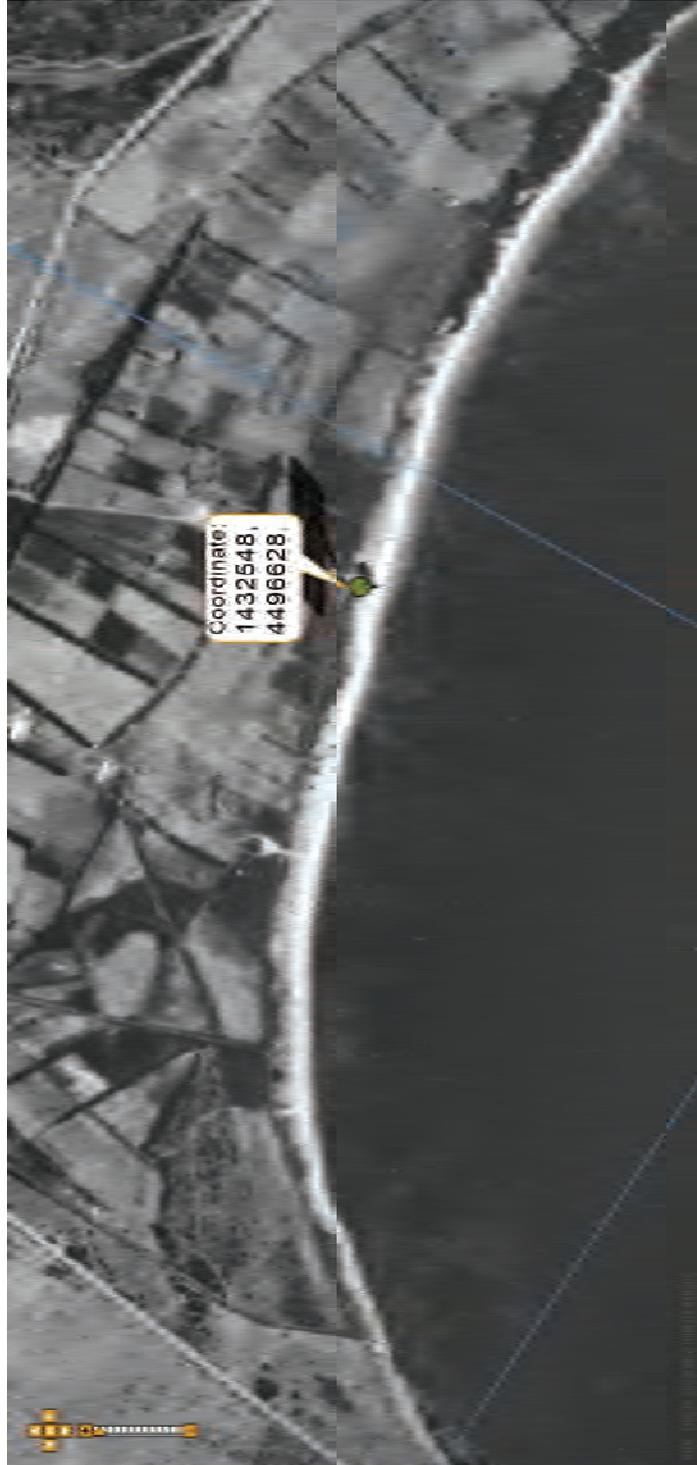


Figura 3.19 – Porto Conte: ortofoto 1977.
Il punto indicato, con coordinate espresse nel sistema di riferimento Gauss-Boaga, è rappresentativo della linea di battaglia del volo costa 1995. Da <http://www.sardegneoportale.it>



Figura 3.20 – Porto Conte: ortofoto 2006.
Il punto indicato, con coordinate espresse nel sistema di riferimento Gauss-Boaga, è rappresentativo della linea di battaglia del volo costa 1995. Da <http://www.sardegnaoportale.it>



Figura 3.21 – Porto Conte: a sinistra ortofoto 2008; a destra ortofoto 1954.
Da <http://www.sardegneoportale.it>

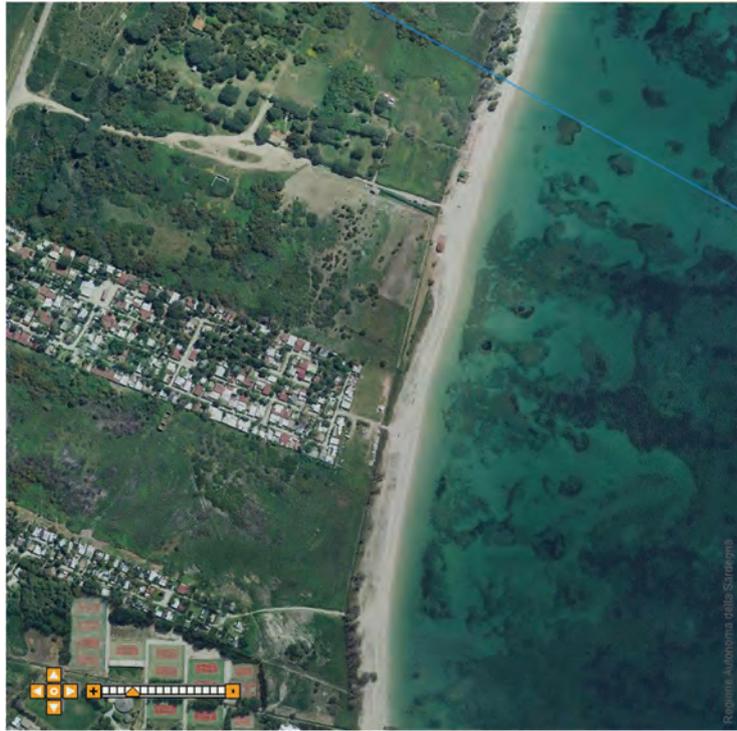


Figura 3.22 – Porto Conte ortofoto 2008; posizionamento della linea di costa nel: 1954 (in rosso), 1977 (in giallo), 2000 (in marrone), 2006-2009 (in nero).

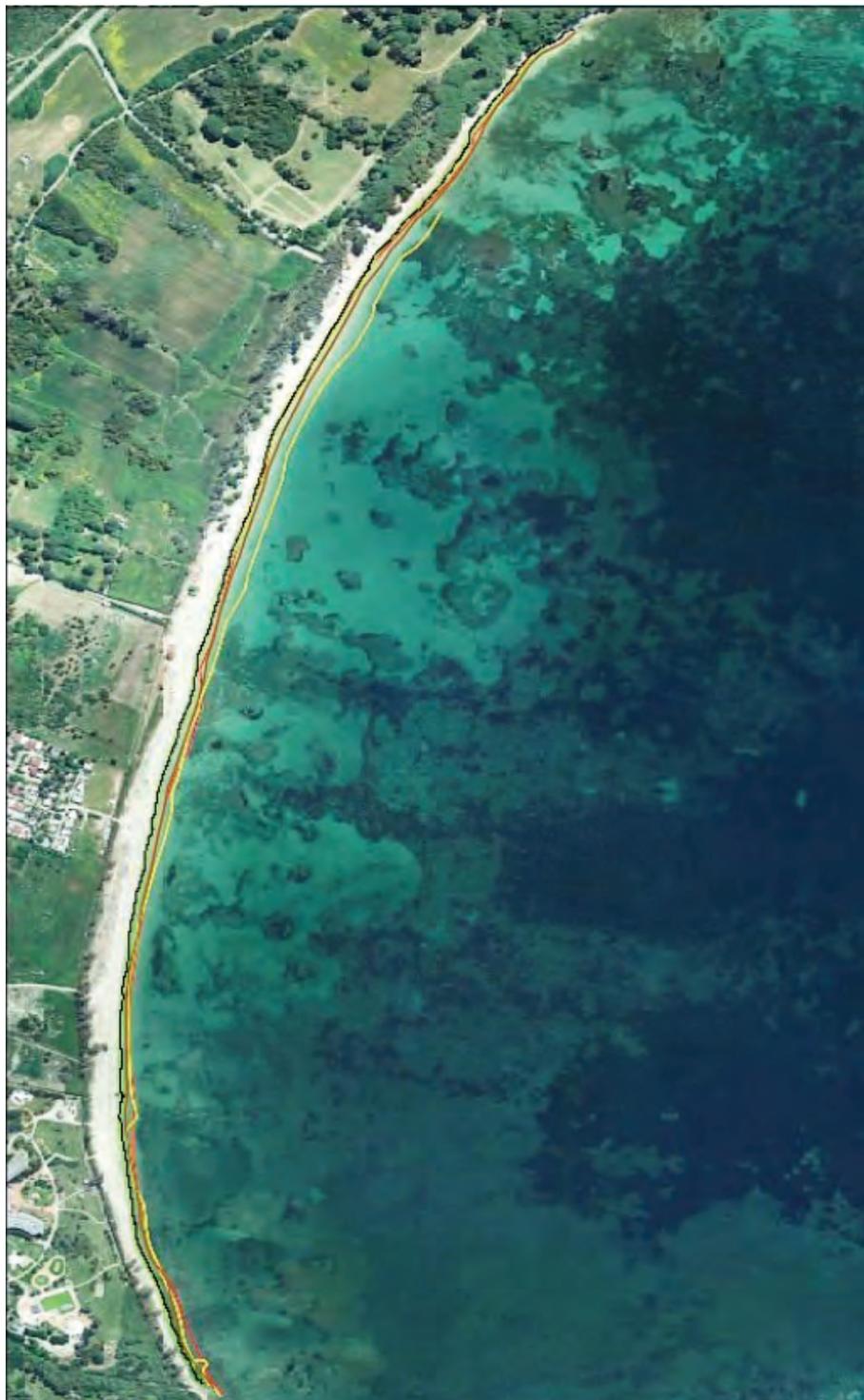


Figura 3.23 – La spiaggia della Pelosa (Stintino): situazione al 2014. Da Google Earth.



Figura 3.24 – La spiaggia della Pelosa (Stintino) a sinistra ortofoto 2006; a destra ortofoto 1954. Da <http://www.sardegneoportale.it>



INDICE DEGLI AUTORI

- F. Benincasa pagina VII e pagina 65
CNR - Istituto di Biometeorologia (IBIMET), Sede di Sassari;
Traversa La Crucca 3, 07100 Li Punti Sassari;
tel. 079/2841504; e-mail: f.benincasa@ibimet.cnr.it
- C. Conese pagina 47
CNR - Istituto di Biometeorologia (IBIMET),
Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI);
tel. 055/5226025; e-mail: c.conese@ibimet.cnr.it
- D. Carboni pagina 3
Dipartimento Scienze Umanistiche e Sociali, Università degli Studi
di Sassari, via Roma 151, 07100 Sassari;
tel. 079/229634; e-mail: carbonid@uniss.it
- M. De Vincenzi pagina 3
CNR - Istituto di Biometeorologia (IBIMET),
Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI);
tel. 055/5226552; e-mail: m.devincenzi@ibimet.cnr.it
- G. Fasano pagina 3
CNR - Istituto di Biometeorologia (IBIMET),
Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI);
tel. 055/5226551; e-mail: g.fasano@ibimet.cnr.it
- I. Lolli pagina 39
Dipartimento di Giurisprudenza, Università di Pisa,
Piazza dei Cavalieri 2, 56122 Pisa;
tel. 050/2218800; e-mail: ilaria.lolli@unipi.it
- A. Materassi pagina 3
CNR - Istituto di Biometeorologia (IBIMET),
Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI);
tel. 055/5226555; e-mail: a.materassi@ibimet.cnr.it

Collana tecnico-scientifica IBIMET

A cura di F. Benincasa

CNR-IBIMET Sede di Sassari

Traversa la Crucca 3, Località Baldinca, 07100 Li Punti, Sassari
tel. 079 2841504/8, fax 079 2841599; e-mail F.Benincasa@ibimet.cnr.it

Volumi già pubblicati *

1. La stima dell'evapotraspirazione delle colture: applicazioni e limiti.
2. Tecniche di monitoraggio di alcuni aspetti dell'interazione radiazione-colture.
3. La previsione: elemento di base per una corretta gestione dei fitofarmaci.
4. Geometria frattale e reti neurali nell'analisi dei sistemi naturali.
5. La modellistica in viticoltura: applicazioni.
6. Monitoraggio di un sistema a macchia mediterranea: misure ecofisiologiche e micrometeorologiche.
7. I sali nel terreno.
8. Sensori e strumenti elettronici per la meteorologia.
9. La tecnologia GIS nel monitoraggio ambientale.
10. Metodi elettrici per le misure *in situ* del contenuto idrico del terreno.
11. Gli indici biometeorologici nella valutazione dello stato di benessere dell'uomo.
12. Dai parametri meteorologici ai modelli per lo sviluppo e la crescita delle colture: acquisizione e validazione dei dati meteorologici.
- 12 / II Dai parametri meteorologici ai modelli per lo sviluppo e la crescita delle colture: la modellistica delle colture agricole.
13. L'acqua sulla terra.
14. Il telerilevamento per il monitoraggio ambientale.
15. Un confronto fra due regioni attraverso la stratificazione umana: la Sardegna centro-orientale e la Campania felix.
Parte Prima: la Sardegna centro-orientale
- 15 / II Un confronto fra due regioni attraverso la stratificazione umana: la Sardegna centro-orientale e la Campania felix.
Parte Seconda: la Campania felix

* Dieto richiesta scritta i volumi possono essere ottenuti via ftp o via e-mail in formato pdf.

Finito di stampare nel dicembre 2015
presso GLF S.A.S. di Ciancio Marilena Alessandra & C.
via Timpone di Scifariello, Zona P.I.P. II Traversa, Castrovillari (CS)

C N R

Istituto di Biometeorologia (IBIMET)

Direzione via Caproni 8 50145 Firenze
Tel. 055/3033701 - 3033711 Fax 055/308910

Redazione c/o CNR-IBIMET Sede di Sassari
Traversa La Crucca 3, Località Baldinca 07100 Li Punti Sassari
Tel. 079/2841504-8 Fax 079/2841599 E-mail F.Benincasa@ibimet.cnr.it

ISBN: 978-88-95597-25-6