

# Salvaguardia, Conservazione e Sicurezza del Patrimonio Culturale

NUOVE METODOLOGIE E TECNOLOGIE OPERATIVE

a cura di  
FABRIZIO T. GIZZI e NICOLA MASINI

Volume pubblicato dall'Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito del Progetto "PRO CULT" – *Advanced methodological approaches and technologies for Protection and Security of Cultural Heritage* del Programma Operativo FESR Basilicata 2007-2013

*Responsabile scientifico* : dott. Ing. Nicola Masini

*Co-Responsabile scientifico*: dott. Geol. Fabrizio Terenzio Gizzi

*Progettazione grafica, editing ed impaginazione*:

Maria Rosaria Potenza e Manuela Scavone

*In copertina*:

*Venusium* – Sala degli Stemmi dell'Episcopo di Matera

*Parole Chiave*:

Diagnostica, Monitoraggio, Conservazione, Tecnologie ICT, Rischi e Patrimonio Culturale, *Smart participation*

Gizzi, Fabrizio Terenzio; Masini, Nicola

*Salvaguardia, Conservazione e Sicurezza del Patrimonio Culturale.*

*Nuove metodologie e tecnologie operative*

Zaccara Editore, Lagonegro (PZ)

pp. 384

ISBN 978-88-995-2000-7

---

I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento, parziale e totale, con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm e le copie fotostatiche) sono riservati per tutti i Paesi .

Fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, comma 4 della legge 22 aprile 1941, n. 633 ovvero dell'accordo stipulato tra SIAE, AIE, SNS e SNA, CONFARTIGIANATO, CASA, CLAAI, CONFCOMMERCIO, CONFESERCENTI il 18 dicembre 2000.

Associazione Italiana per i Diritti di Riproduzione delle Opere dell'ingegno (AIDRO)

Via delle Erbe, 2 – 20121 Milano – tel e fax 02-809506; e-mail: [aidro@iol.it](mailto:aidro@iol.it)

## Indice

<b>F.T. Gizzi – N. Masini</b>	9
<i>Introduzione</i>	
<b>R. Pozzo</b>	15
<i>Prefazione</i>	
<b>D. Malfitana</b>	19
<i>Prefazione</i>	
<b>A. Bernardo</b>	23
<i>Prefazione</i>	
<b>I Diagnostica, monitoraggio e conservazione</b>	
<b>M. Sileo, F.T. Gizzi, N. Masini</b>	
<i>Monitoraggio microclimatico: passato, presente e prospettive future</i>	27
<b>M. Sileo, F.T. Gizzi, N. Masini, M. Biscione, M.P. Boccia</b>	
<i>Approcci low-cost al monitoraggio microclimatico di ambienti confinati: il caso della Cripta di S. Francesco in Irsina (Matera)</i>	53
<b>B. Giuzio, N. Masini, M. Scavone, M. Álvarez de Buergo, E. Vasanelli</b>	
<i>Metodologie ultrasoniche per la diagnostica del Patrimonio Culturale: sperimentazioni in laboratorio</i>	95
<b>D. Liberatore, N. Masini, L. Sorrentino, V. Racina, L. Frezza, M. Sileo</b>	
<i>Una prova penetrometrica statica per lo studio di malte storiche: primi risultati applicativi e future prospettive di impiego</i>	123

**M. Sileo, M. Biscione, M. Danese, F.T. Gizzi, M. Álvarez de Buergo**  
*Lo stato di conservazione dei Sassi di Matera: correlazione tra il degrado e le condizioni ambientali attraverso tecniche di analisi spaziale* 147

## **II Salvaguardia e Partecipazione: stato dell'arte e nuovi contributi di PRO\_CULT**

**B. Murgante, G. Borruso**  
*"Smart Cities" – solo una buzzword o un miglioramento reale della qualità della vita* 169

**F.T. Gizzi, N. Masini, B. Murgante, N. Saulino, M. Biscione, M. Danese, M. Sileo, C. Zotta, M.R. Potenza**  
*SaveHer: un'applicazione (App) per contribuire attivamente alla salvaguardia del Patrimonio Culturale* 201

**M. Biscione, M. Danese, N. Masini**  
*Ubiquitous Computing e Patrimonio Culturale: dalla fruizione alla salvaguardia* 215

**M. Biscione, M. Danese, N. Masini**  
*Un approccio operativo e a basso costo alla protezione del Patrimonio artistico: il sistema zbSens* 225

## **III Rischi dei Beni Culturali**

**M. Danese, F.T. Gizzi, C. Zotta**  
*Dalle basi di dati agli Open Data: risorse on-line nell'ambito dei rischi geologici* 243

<b>M. Danese, F.T. Gizzi, C. Zotta, M.R. Potenza</b> <i>ALDASS: l'Atlante dei Danni Sismici Storici a scala urbana (XIX-XX secolo) dell'Italia meridionale</i>	267
<b>C. Zotta, F.T. Gizzi, M.R. Potenza</b> <i>Il terremoto del 16 dicembre 1857 in Basilicata: analisi del danno nei centri urbani</i>	285
<b>F.T. Gizzi, D. Liberatore, N. Masini, M. Bruno, M.R. Potenza, M. Scavone, M. Sileo, L. Sorrentino, C. Zotta, T. Pagnoni</b> <i>Patrimonio storico-architettonico e salvaguardia: analisi delle caratteristiche costruttive e dinamiche dei campanili delle Chiese in Basilicata</i>	299
<b>M. Danese, M. Biscione, N. Masini</b> <i>Archeologia preventiva: il ruolo delle analisi spaziali e del remote sensing nei modelli predittivi</i>	325
<b>M. Danese, M. Biscione, N. Masini</b> <i>Modelli predittivi per un'archeologia preventiva operativa: note metodologiche e applicazioni</i>	341
<b>C. A. Sabia</b> <i>Il paesaggio rurale tra tutela e vocazione</i>	359

## Afferenze degli Autori

**Monica Álvarez de Buergo**, Grupo de Petrología aplicada a la Conservación del Patrimonio, Laboratorio de Petrofísica, Instituto de Geociencias (CSIC-UCM) – Madrid  
*e-mail*: alvarezm@geo.ucm.es

**Marilisa Biscione**, Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali (IBAM-CNR) – Potenza  
*e-mail*: m.biscione@ibam.cnr.it

**Maria Pia Boccia**, Tecnologa per la Conservazione e il Restauro  
*e-mail*: mapimt@live.it

**Giuseppe Borruso**, Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali, Matematiche e Statistiche "Bruno de Finetti" (DEAMS) – Trieste  
*e-mail*: giuseppe.borruso@deams.units.it

**Marta Bruno**, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Università La Sapienza - Roma  
*e-mail*: marta.bruno88@gmail.com

**Maria Danese**, Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali (IBAM-CNR) – Potenza  
*e-mail*: m.danese@ibam.cnr.it

**Luca Frezza**, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Università La Sapienza - Roma  
*e-mail*: lucafrezza86@virgilio.it

**Fabrizio Terenzio Gizzi**, Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali (IBAM-CNR) – Potenza  
*e-mail*: f.gizzi@ibam.cnr.it

**Beatrice Giuzio**, Ingegnere Edile Architetto  
*e-mail*: beatricegiuzio@hotmail.it

**Domenico Liberatore**, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Università La Sapienza - Roma  
*e-mail*: domenico.liberatore@uniroma1.it

**Nicola Masini**, Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali (IBAM-CNR) – Potenza  
*e-mail*: n.masini@ibam.cnr.it

**Beniamino Murgante**, Università della Basilicata, Scuola di Ingegneria – Potenza  
*e-mail*: beniamino.murgante@unibas.it

**Tommaso Pagnoni**, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Università La Sapienza - Roma  
*e-mail*: tpagnoni@tin.it

**Maria Rosaria Potenza**, Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali (IBAM-CNR) – Potenza  
*e-mail*: m.potenza@ibam.cnr.it

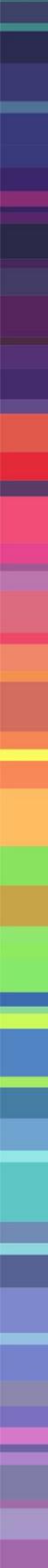
**Vito Racina**, MonitorING s.r.l. – Potenza  
*e-mail*: vitosch@tiscali.it

**Nello Saulino**, Informatico  
*e-mail*: nello.saulino@gmail.com

**Canio Alfieri Sabia**, Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali (IBAM-CNR) – Potenza  
*e-mail*: c.sabia@ibam.cnr.it

**Manuela Scavone**, Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali (IBAM-CNR) – Potenza  
*e-mail*: m.scavone@ibam.cnr.it

**Maria Sileo**, Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali (IBAM-CNR) – Potenza  
*e-mail*: m.sileo@ibam.cnr.it



**Luigi Sorrentino**, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Università La Sapienza - Roma  
*e-mail*: [luigi.sorrentino@uniroma1.it](mailto:luigi.sorrentino@uniroma1.it)

**Emilia Vasanelli**, Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali (IBAM-CNR) – Lecce  
*e-mail*: [e.vasanelli@ibam.cnr.it](mailto:e.vasanelli@ibam.cnr.it)

**Cinzia Zotta**, Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali (IBAM-CNR) – Potenza  
*e-mail*: [c.zotta@ibam.cnr.it](mailto:c.zotta@ibam.cnr.it)

## Introduzione

La Salvaguardia, la Conservazione e la Sicurezza degli esiti dell'ingegno umano aventi "valore di testimonianza di civiltà del passato" sono gli obiettivi imprescindibili per garantire la difesa dell'Identità Culturale di una nazione, di una regione, di una comunità. A tal fine non si può prescindere dalla conoscenza del contesto territoriale, ambientale, urbano ed umano, analizzati nelle loro reciproche dinamiche spaziali e temporali e nei loro effetti in termini di rischio.

Il rischio, considerato come intensità, è funzione del valore dei singoli manufatti; della vulnerabilità, ovvero della propensione del bene a subire danni o, in altre termini, della sua perdita o riduzione di efficienza e di integrità per effetto di azioni esterne; della pericolosità, che è definita come la probabilità di occorrenza di un evento dannoso di una fissata magnitudo, in un dato intervallo di tempo ed in una data area.

L'analisi e valutazione dei rischi, sia naturali (es.: sismico, idrogeologico, vulcanico, ambientale) sia antropici (es.: scavo clandestino, urbanizzazione), ai quali è soggetto il Patrimonio archeologico e monumentale è un obiettivo prioritario e statutario di diversi organismi internazionali come l'ICCROM (*International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property*), l'UNESCO, l'ICOMOS (*International Council on Monuments and Sites*) ed il WHC (*World Heritage Centre*).

Gli orientamenti internazionali prevalenti suggeriscono che una vera azione di contrasto ai rischi deve necessariamente includere il dispiegarsi di una fase di *prevenzione* e di una strategia di *post-disaster management*, con il supporto di affidabili e avanzate tecnologie.

In conformità a queste premesse e in sintonia con gli obiettivi della Strategia di Lisbona è stato sviluppato metodologicamente il Progetto PRO\_CULT dell'IBAM-CNR, i cui esiti scientifici sono riassunti in questo Volume.

Il progetto PRO\_CULT, acronimo di "**advanced methodological approaches and technologies for PROtection and security of CULTural Heritage**", è stato sviluppato in collaborazione con il CSIC-IGEO di Madrid e l'Università di Poznan, e finanziato dalla Regione Basilicata nell'ambito del programma FESR 2007-2014.

L'idea fondante del Progetto è stata quella di costruire un approccio multi-scala, multi-obiettivo e multi-rischio, con l'intento di sviluppare protocolli, tecnologie e procedure operative per la prevenzione dei rischi connessi al Patrimonio Culturale, per il monitoraggio di condizioni di criticità e pericolo presenti nelle fasi di emergenza post-disastro, per la diagnostica partecipativa, *smart* e *low-cost* finalizzata all'accertamento e monitoraggio delle patologie di degrado (Figura 1).

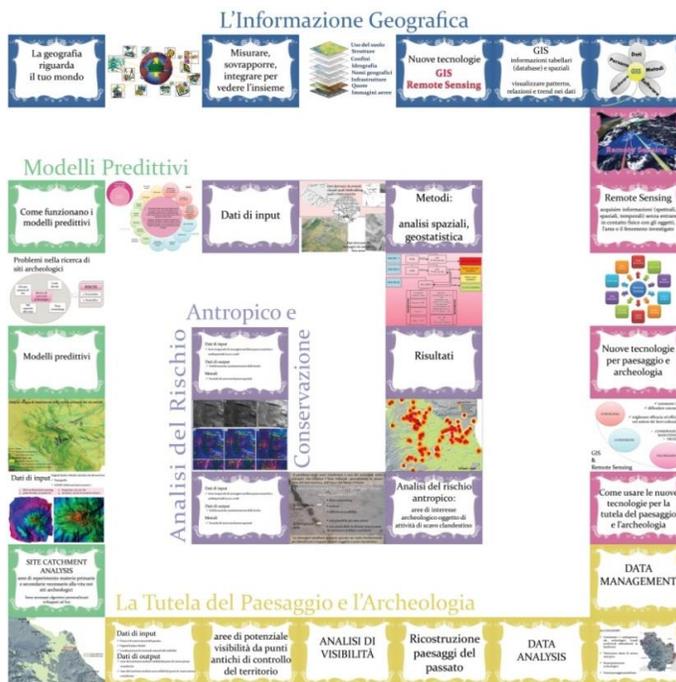


Figura 1. Schema sinottico del percorso metodologico e delle attività svolte nella cornice del Progetto PRO\_CULT

Attraverso la filosofia del progetto PRO\_CULT si è inteso, quindi, costruire intorno all'innovazione per la sicurezza e conservazione del Patrimonio Culturale un'economia della conoscenza mediante lo sviluppo di tecnologie ICT e procedure operative per diversi obiettivi, quali:

1. il monitoraggio delle condizioni di criticità e pericolo presenti nelle fasi di emergenza post-disastro, con particolare riferimento ai beni artistici mobili;
2. l'analisi e la valutazione dei rischi antropici connessi al Patrimonio archeologico;
3. la valutazione del rischio sismico relativo al Patrimonio costruito di interesse storico;
4. il monitoraggio intelligente del degrado materico di beni monumentali e la messa a punto di strategie di intervento conservativo e di salvaguardia su scala urbana;
5. la *smart participation* per la salvaguardia del Patrimonio Culturale.

Il primo obiettivo è stato volto a sviluppare strumenti tecnologici ICT per **contrastare situazioni di criticità** post-calamità.

È noto, infatti, che non di rado i Beni Culturali sono più a rischio per gli esiti secondari causati da una calamità che dall'effetto all'evento stesso.

In tale obiettivo rientra a pieno titolo, quindi, la tracciabilità dei beni artistici mobili ubicati in situazioni di pericolo in conseguenza del verificarsi di un evento catastrofico, come ad esempio un terremoto.

La tracciabilità è stata realizzata attraverso la messa a punto di micro-sensoristica *low-cost* e lo sviluppo di applicativi che consentono il controllo in tempo reale dei beni attraverso *software* sviluppati per ambienti *web*.

Il secondo obiettivo ha riguardato la valutazione dei danni di natura **antropica** recati al patrimonio **archeologico** e al **paesaggio** peri-urbano attraverso l'informazione geografica, lo sviluppo di modelli di predizione archeologica e di procedure basate sull'*imaging* di dati satellitari, al fine di consentire l'identificazione di aree d'interesse archeologico, oggetto di attività di scavo clandestino o danneggiate da altre attività antropiche, quali l'urbanizzazione, l'agricoltura meccanizzata e l'attività industriale.

Il terzo obiettivo è stato quello di definire **strategie di prevenzione del rischio sismico nei centri storici** sulla base dell'analisi della distribuzione territoriale dei danni prodotti da forti terremoti del passato.

Il risultato di tale attività si è concretizzata nella realizzazione dell'*AtLante dei Danni Sismici Storici* a scala urbana (XIX-XX secolo) dell'Italia meridionale (ALDASS) che potrà essere un supporto ai tradizionali studi di microzonazione sismica.

Le informazioni macrosismico-storiche sono state anche utilizzate per supportare le valutazioni sperimentali e numeriche delle condizioni di rischio locale di alcune particolari tipologie di Beni Culturali quali le torri campanarie delle chiese.

Il quarto punto del progetto ha avuto come focus la realizzazione e validazione di un **sistema di valutazione del degrado** materico del Patrimonio storico-architettonico secondo tecniche di diagnostica in situ e avanzate tecnologie ICT di trasmissione dati per il monitoraggio di parametri ambientali.

Nel quadro della diagnostica, PRO\_CULT si inserisce in continuità metodologica con altri precedenti progetti. In particolare, una nuova versione della prova penetrometrica per la misura della resistenza di malte di murature storiche, sviluppata nell'ambito del progetto *AITECH*, è stata qui testata e validata su un campione statisticamente rilevante delle culture costruttive pertinenti alle regioni Basilicata e Puglia.

Inoltre, in collaborazione con il CSIC-IGEO di Madrid, coerentemente con l'esigenza di ottimizzare e migliorare procedure e protocolli, è stata sviluppata un'attività di laboratorio che si riferisce a indagini ultrasoniche su materiali lapidei, tesa a comprendere e valutare l'influenza di parametri di acquisizione sui risultati delle prove.

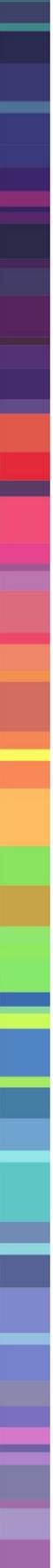
Infine, nella quinta linea di attività si è voluto esplorare il potenziale di nuovi approcci alla salvaguardia e fruizione del patrimonio culturale basati sul concetto di *smart city*, con applicazioni che spaziano dalla partecipazione attiva dei cittadini all'utilizzo di tecniche di *ubiquitous computing*.

Il Volume è diviso in tre sezioni, per un totale di sedici capitoli che coprono diverse aree della conoscenza, scienza e gestione del Patrimonio culturale:

- 1) **Diagnostica e monitoraggio per la conservazione**
- 2) **Salvaguardia e *Smart Participation***
- 3) **Rischi e Patrimonio Culturale**

Dei sedici capitoli, quattro sono dedicati all'analisi dello stato dell'arte riguardante i temi e discipline sulle quali la Comunità scientifica si intrattiene con vivaci dibattiti interdisciplinari, quali il monitoraggio microclimatico, la sicurezza e la tracciabilità delle opere d'arte, le *smart city* e il GIS e telerilevamento per l'archeologia.

Gli altri dodici capitoli costituiscono una selezione di alcune delle principali attività e ricerche sviluppate nell'ambito di PRO\_CULT, da cui emerge una panoramica di tecnologie e approcci *smart* per le diverse applicazioni nei BB.CC che offrono numerosi spunti di riflessione sul loro reale potenziale e valore aggiunto e su come vadano impiegati in maniera efficace dal punto di vista operativo, della correttezza metodologica e della sostenibilità economica.



Dalla lettura integrata del *corpus* scientifico costituente il Volume, il Lettore potrà rilevare più agevolmente il filo conduttore e gli avanzamenti metodologici e di contenuto che lo svolgimento della complessa attività progettuale ha consentito individuando, nello stesso tempo, spunti per future attività di ricerca e potenziali applicazioni che, specie nel campo delle ICT, sono in continuo costante e impetuoso divenire.

*I Curatori del Volume*

*Fabrizio T. Gizzi*

*Nicola Masini*

## Prefazione

Con grande piacere ho accolto l'invito dei colleghi Fabrizio Terenzio Gizzi e Nicola Masini di presentare questo loro volume dedicato alla diagnostica dei beni culturali in relazione alla loro esposizione a pericoli dovuti a cause naturali o umane. Per il CNR è strategico far da capofila per le ricerche di frontiera nel campo delle scienze applicate allo studio del Passato e sono certo che i progetti avviati dal gruppo di ricercatori di Tito Scalo dell'Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali-CNR porteranno frutti nella competizione sempre più accesa per i finanziamenti nazionali ed europei.

Gli enti pubblici di ricerca furono costituiti attorno alla prima guerra mondiale per ragioni assai diverse dalle università, che risalgono al medioevo, e dalle accademie, nate nell'età moderna<sup>1</sup>. Si è in generale d'accordo che fattore determinante fu l'attacco con i gas asfissianti lanciato dai tedeschi a Ypres il 22 aprile 1915, un evento che portò all'attenzione del mondo lo stato di avanzamento della ricerca scientifica in Germania, che con la Kaiser-Wilhelm Gesellschaft (poi Max-Planck Gesellschaft, fondata nel 1911 con primo presidente lo storico delle religioni Adolf Gustav von Harnack) aveva creato il primo modello efficace di ricerca extrauniversitaria ed extraaccademica<sup>2</sup>. Istituito il 18 novembre 1923, il CNR fu il primo ente in Italia a promuovere la ricerca scientifica e tecnologica.

La sua storia ha coinciso con un'impresa nata sul terreno dei rapporti internazionali e cresciuta all'intersezione di scienza, tecnologia e politica. I rapporti internazionali sono noti: l'Italia fu tra i soci fondatori sia della International Association of Academies (1899), destinata a diventare quella che oggi è la Interacademy Partnership, sia dello International Research Council (1919), che nel 1931 prenderà il nome di International Council of Scientific Unions. Altrettanto noto è che il padre del CNR fu senza ombra di dubbio Vito Volterra,

che per dar corpo allo spirito di progresso che vedeva nel paese aveva dato vita alla Società Italiana per il Progresso delle Scienze (1907)<sup>3</sup>.

L'internazionalismo della ricerca anteguerra subì un brusco rallentamento a causa della prima guerra mondiale e Ypres, appunto, fu la data della svolta. Fu sempre Volterra, che valendosi della sua temporanea ma formale posizione di militare (fu tenente e poi capitano del Genio per quasi tutta la durata del conflitto), si adoprò per l'istituzione dell'Ufficio Invenzioni e Ricerche del Ministero della Guerra (1917).

Un ufficio dedicato a "speciali servizi di ricerche di Chimica, Fisica, Mineralogia e Ingegneria" che aprì la strada al CNR<sup>4</sup>, pensato nell'immediato dopoguerra per "organizzare e promuovere ricerche a scopo scientifico industriale e per la difesa nazionale, secondo il piano proposto dalle conferenze interalleate per la organizzazione scientifica tenute a Londra e a Parigi dal 26 al 29 novembre 1918"<sup>5</sup>, con i ministeri militari che conservavano sì la precedenza, ma perdevano la preminenza, poiché il ruolo guida era preso dal ministero della pubblica istruzione<sup>6</sup>.

Fin qui fatti noti, ripresi con giustificata enfasi nel 2013, in occasione del novantesimo anniversario dell'ente.

Meno noto è che il Regio Decreto 8 novembre 1923 n. 2895 con il quale Vittorio Emanuele III (con Benito Mussolini capo del governo e Giovanni Gentile ministro della pubblica istruzione) istituiva il CNR istituiva anche l'Unione Accademica Nazionale, esistente tuttora.

Non a caso, i due enti morali CNR e l'UAN trovarono subito casa presso l'Accademia Nazionale dei Lincei<sup>7</sup>.

Il risultato fu che fino alla riforma dell'ente elaborata da Riccardo Orestano e approvata dal Parlamento della Repubblica con la legge del 2 marzo 1963, n. 283, il CNR non si occupò affatto di scienze umane e sociali, bensì di

- a) le scienze matematiche, di osservazione e di misura;
- b) la meccanica e l'ingegneria;
- c) la fisica e le sue applicazioni;
- d) la chimica e le sue applicazioni;
- e) l'aerodinamica e le sue applicazioni;

- f) la mineralogia, la geologia e l'arte mineraria;
- g) le scienze biologiche e le loro applicazioni, soprattutto all'agricoltura e alla zootecnia;
- h) le applicazioni interessanti la difesa nazionale<sup>8</sup>.

Le scienze umane e sociali il re e la Repubblica le lasciarono alle università, alle accademie e all'Istituto Storico Italiano (1933)<sup>9</sup>.

Con la riforma del 1963, il CNR ha reso possibile una notevole evoluzione del contesto scientifico delle scienze umane e sociali, che ha messo capo a importanti scoperte tecnologiche, un esempio per tutti sono le biblioteche digitali – che al CNR sono attive dal 1964 – e ad altrettanto importanti applicazioni industriali, si pensi ad esempio all'evoluzione delle tecniche di restauro degli artefatti con la quale il CNR permise al paese di reagire con efficacia ai disastri provocati al patrimonio culturale dall'alluvione di Firenze del 1966. Importa sottolineare che al centro di queste ricerche è stato sempre l'oggetto sociale, materiale o immateriale, ma sempre posto da una persona, cosa che richiede oggi un ripensamento rispetto agli sviluppi della tecnologia. Non si tratta di verificare se le macchine funzionino, si tratta di vedere invece le domande che l'essere umano pone nel suo cammino sulla via *humanitatis*.

Proprio la Tecnologia, intesa nella sua accezione contemporanea con declinazione digitale, è una delle principali chiavi di lettura e filo conduttore del presente Volume. L'analisi integrata e correlata dei contributi scientifici evidenzia la necessità, infatti, di un uso *smart* delle nuove tecnologie finalizzate alla Salvaguardia, Conservazione e Sicurezza dell'immenso Patrimonio Culturale, sia mobile sia immobile. Lo sviluppo di tecnologie *low-cost* consentirà di moltiplicare le azioni di controllo e monitoraggio dei siti di interesse storico-culturale per poter intraprendere corrette ed adeguate azioni di salvaguardia, garantendo così la posterità del Bene. È auspicabile, quindi, che le importanti ricerche e i prototipi sviluppati nel contesto delle attività del Progetto PRO\_CULT a cui il Volume fa riferimento, trovino adeguata

sponda e continuità di contenuti e metodologica in successive iniziative scientifiche consentendo, in tal modo, di poter cogliere tutte le sfide ed opportunità che le nuove tecnologie offrono.

Riccardo Pozzo

*Dipartimento Scienze Umane e Sociali,  
Patrimonio Culturale  
del Consiglio Nazionale delle Ricerche*

## Note

<sup>1</sup> Indispensabile il doppio volume di Raffaella Simili e Giovanni Paoloni, *Per una storia del Consiglio Nazionale delle Ricerche*, Bari, 2001.

<sup>2</sup> Tomassini L., *Le origini*. In: *Per una storia del Consiglio Nazionale delle Ricerche*, cit., p. 9.

<sup>3</sup> Simili R., *Prefazione*. In Lucio Bianco, *La ricerca e il belpaese. La storia del Cnr raccontata da un protagonista*, a cura di Puerro Grieco, Roma, 2014, p. XIV.

<sup>4</sup> Promemoria n. 5746 del 19 febbraio 1918 in Biblioteca dell'Accademia Nazionale dei Lincei e Corsiniana, CV 6.2, citato in Tomassini, *Le origini* cit., pp. 9, 61.

<sup>5</sup> "Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia", 1919, 40. 17 febbraio 1919, citata in Tomassini, *Le origini* cit., pp. 31, 67.

<sup>6</sup> Tomassini, *Le origini* cit., p. 33.

<sup>7</sup> "Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia", 1924, 13, 16 gennaio 1924, facsimile in Gennaro Ferrara e Raffaella Simili, *Consiglio Nazionale delle Ricerche. L'impresa scientifica (1923-2013)*, CNR, Roma, 2013, p. 33; Tomassini, *Le origini*, cit., p. 45.

<sup>8</sup> Biblioteca dell'Accademia Nazionale dei Lincei e Corsiniana, CV VI, I, Schema E, articolo 2, citato in Tomassini, *Le origini* cit., pp. 34, 121.

<sup>9</sup> Istituto Storico Italiano per il Medioevo, *Unità d'Italia e Istituto storico italiano. Quando la politica era anche tensione culturale* (Lori Sanfilippo I., a cura di), Roma 2011; Massimo Miglio, *Istituto storico italiano. 130 anni di storie*, (Delle Donne F. e Francesconi G., a cura di), Quaderni Snsn, vol. 5, ISIME, Roma, 2013.

## Prefazione

*"La capacità di mobilitare in maniera integrata, risorse interne (saperi, saper fare, atteggiamenti) ed esterne, per far fronte in modo efficace a situazioni spesso inedite e certamente non di routine. L'esercizio del pensiero critico, l'attitudine alla risoluzione dei problemi, la creatività e la disponibilità positiva nei confronti dell'innovazione, la capacità di comunicare in modo efficace, l'apertura alla collaborazione e al lavoro di gruppo costituiscono un nuovo "pacchetto" di competenze, che possiamo definire le competenze del XXI secolo"*

Ignazio Visco. *Investire in conoscenza. Crescita economica e competenze per il XXI secolo*, Bologna 2009.

Un volume come questo che ci aggiungiamo a presentare rappresenta sempre un'occasione importante di comunicazione di ciò che si fa in un Istituto di ricerca del Consiglio Nazionale delle Ricerche: al di là del tema trattato, esso serve per trasmettere a fruitori diversi, cioè ad un pubblico di specialisti e non, dunque, alla società tutta, messaggi, sensazioni, rievocazioni, momenti di rivisitazione o rilettura di un tema o fenomeno del mondo antico, moderno o contemporaneo. Con una soddisfazione in più, direi: basta scorrere l'indice, ci si accorge che oltre l'ottanta per cento dei contributi presentati, è opera di giovani ricercatori, di giovani forze, di giovani eccellenze lucane che da lungo tempo ormai frequentano laboratori e ricercatori del nostro Istituto conseguendo risultati importanti che danno prestigio a loro ma anche a noi tutti.

Un'iniziativa come questa non è mai frutto di un'azione del singolo, bensì è il risultato di una strategia operativa

complessa, di un'azione corale cui sono chiamati attori diversi.

In primo luogo, la struttura scientifica, quindi i responsabili scientifici del progetto, Nicola Masini e Fabrizio Gizzi, che hanno seguito con dedizione, professionalità ed entusiasmo le giovani forze; poi l'apparato regionale che ha saputo ben indirizzare le risorse investendo sul capitale umano.

Quel capitale umano che, come suggerisce Ignazio Visco nel suo bel volume citato in epigrafe, è fatto di una miscela di componenti: quei componenti che ritroviamo tutti in questo volume e che per questo fa assumere alla raccolta di saggi un forte significato sociale in quanto diventa uno strumento di rilevante importanza per la diffusione della ricerca scientifica nella società contemporanea.

Oggi, più che nel passato, chi opera nel settore degli studi in cui saperi umanistici e saperi tecnologici dialogano fortemente, sa bene che il problema principale non è solo ciò che si trasmette, ma anche come e con quali mezzi lo si fa. L'obiettivo di questa raccolta di saggi, infatti, è certo quello di raccontare e spiegare i risultati raggiunti dai giovani ricercatori nel corso delle loro ricerche.

Chi opera nel settore della ricerca scientifica oggi sa bene, però, quanto rilevanti siano le difficoltà di programmare azioni strategiche di diffusione di tali risultati soprattutto in assenza di risorse finanziarie certe.

La crisi globale che interessa il nostro Paese e l'Europa intera ci prospetta periodi di forte rallentamento, spesso bloccando sul nascere iniziative scientifiche, di ricerca, di comunicazione dei saperi che in questo modo risultano centellinate sul lungo periodo piuttosto che pianificate in tempi ravvicinati e con una cadenza regolare.

Ecco perché il ruolo delle Regioni diventa davvero strategico per iniziative come queste.

La programmazione del sistema della ricerca scientifica e tecnologica oggi ci chiarisce che non è più possibile agire da soli ed in totale isolamento; specie se si guarda ad orizzonti prossimi cui tutti – Università, Enti di Ricerca, Regioni, Enti

pubblici – saranno chiamati a misurare la propria *performance* nella definizione di visioni integrate delle *policies* e degli obiettivi nelle singole azioni di intervento.

I programmi di ricerca di matrice europea ribaltati sulle nostre regioni meridionali (che poi sono quelle dove opera l'IBAM) prevedono investimenti complessivi di svariati milioni di euro e fissano precise strategie operative per la ricerca, lo sviluppo e l'innovazione in cui tutti gli attori saranno chiamati a mettersi insieme per programmare azioni di sistema nel vasto panorama internazionale della ricerca e della conoscenza.

L'obiettivo è allora chiaro: lavorare insieme, in una logica di "squadra" in cui le diverse competenze, gli entusiasmi, le vivacità, gli interessi scientifici e non, pianifichino "masse critiche" coerenti, per favorire modelli progettuali concretamente realizzabili ed offrire, in tal modo, valore aggiunto al territorio nel quale si opera.

Tutto ciò, anche in presenza di una forte limitazione di risorse. Dunque, coordinamento e sinergie tra attori come chiaro motore di sviluppo.

Oggi se questo volume vede la luce, lo si deve – e molto – al ruolo forte che la Regione Basilicata ha avuto nel saper oculatamente investire. Ma lo si deve anche – consentitemelo di dire – alla capacità di noi gestori di ricerca di aver saputo mettere a disposizione della comunità le nostre competenze e i nostri entusiasmi provando a passare il testimone alle giovani generazioni qui presenti in gran numero.

Quando questo accade, allora, forse possiamo dire davvero di aver centrato il bersaglio.

Questa iniziativa promossa dalla sede di Potenza dell'IBAM si inserisce perfettamente nella logica sopra accennata. Un plauso va, in particolare, a Nicola Masini e Fabrizio Gizzi che con le loro competenze e le loro esperienze internazionali hanno dato un impulso fondamentale assicurando la riuscita del progetto di ricerca.



L'IBAM è una struttura di ricerca che ha sempre operato in forte sinergia con quasi tutte le Istituzioni regionali. Quello della divulgazione è sicuramente un aspetto non trascurabile anche per un Istituto di ricerca che si dedica espressamente alla ricerca scientifica e tecnologica, senza mai trascurare di saldare rapporti sempre più efficaci con le diverse componenti che operano nel medesimo territorio. La politica di visione strategica futura che l'IBAM va attuando consapevolmente e vigorosamente verso il rafforzamento delle azioni di sviluppo corale. I giovani – come quelli lucani qui protagonisti – che frequentano ricercatori e laboratori dell'IBAM svolgono, spesso, da noi buona parte delle loro ricerche, delle loro tesi di laurea o di dottorato. I risultati ottenuti ci dicono che lungo questa strada di sinergica cooperazione bisogna assolutamente proseguire perché iniziative come questa possano ripetersi negli anni.

Se saremo in grado di operare in squadra – come è stato nel caso del bel volume qui presentato – sarà possibile giungere, in tempi rapidi, ad altri numerosi importanti traguardi.

*Daniele Malfitana*

*Direttore IBAM - Istituto per i Beni  
Archeologici e Monumentali - CNR*

## Prefazione

Il progetto PRO\_CULT è uno dei migliori esempi dei risultati ottenuti dalla Regione Basilicata con una strategia innovativa ed efficace di attuazione degli obiettivi del PO FESR Basilicata 2007 -2013.

Il programma prevede il sostegno ad azioni di cooperazione transnazionale per progetti di innovazione tecnologica e scambio di esperienze con Regioni Europee accomunate alla Basilicata da vincoli strutturali e/o da strategie di sviluppo.

Questa strategia è stata attuata con la selezione di numerosi progetti in due successive fasi: nel 2010 e, da ultimo, nel 2015.

In questa strategia, il programma ha trovato ottimi partner nelle istituzioni di ricerca attive in Basilicata, tra le quali l'Istituto IBAM del CNR, che ha proposto di attuare il progetto PRO\_CULT sui temi delle innovazioni sostenibili per la salvaguardia, la sicurezza e la conservazione dei beni storici e culturali. Per l'attuazione di questo progetto l'IBAM ha stabilito un partenariato di progetto con istituzioni gemelle quali il CSIC-IGEO di Madrid e l'Università di Poznan.

Il partenariato ha permesso di promuovere un uso sinergico di conoscenze, competenze, esperienze nel campo della gestione dei Beni Culturali, in linea con i risultati attesi del Programma Operativo.

L'ampiezza della strategia adottata dalla Regione è dimostrata dalla numerosa varietà di reti attivate, che coinvolge, oltre alla maggior parte degli istituti di ricerca presenti in regione, un gran numero di enti e istituzioni di altri venti Stati Membri, dall'estremo Nord Europeo, con un ente finlandese che ha partecipato ad un progetto sulla osservazione dell'atmosfera promosso dall'IMAA CNR, ad enti attivi nei paesi mediterranei, come l'istituto francese che ha partecipato ad un progetto sui materiali innovativi per i mezzi e le infrastrutture di trasporto, attuato da un laboratorio dell'ENEA di Rotondella (MT).

Ai progetti finanziati è stato richiesto di sviluppare innovazioni utili a produrre un immediato impatto sul sistema economico ed amministrativo della Basilicata, e di

promuovere l'apertura del sistema regionale allo scenario europeo, in coerenza con la strategia del PO FESR 2007-2013. Il progetto PRO\_CULT è un buon esempio di come una strategia chiara ed un partenariato efficace possano produrre risultati tangibili.

I contributi di questo volume descrivono numerose innovazioni di cui i soggetti pubblici e privati responsabili della gestione delle risorse culturali della Regione potranno avvalersi. Le innovazioni sono state prodotte con una attenzione particolare alla sostenibilità tecnica e finanziaria, necessaria in presenza di un patrimonio, che, seppur ricco ed attrattivo, si distribuisce in piccole realtà di un ampio territorio, ciascuna delle quali deve essere sviluppata facendo base su piccoli flussi di turismo tematico e di nicchia.

Diversi contributi individuano il requisito "low cost" come intrinsecamente essenziale per l'innovazione testata e proposta, con un uso virtuoso delle tecnologie offerte dagli avanzamenti di discipline settoriali, quali l'informatica, le comunicazioni, le tecnologie spaziali di osservazione della terra.

Un altro importante gruppo di contributi offre mezzi e metodi per la prevenzione e mitigazione dei rischi da eventi naturali, geologici, sismici, alluvionali, anch'esse. in linea con la strategia di sviluppo adottata dalla Regione Basilicata.

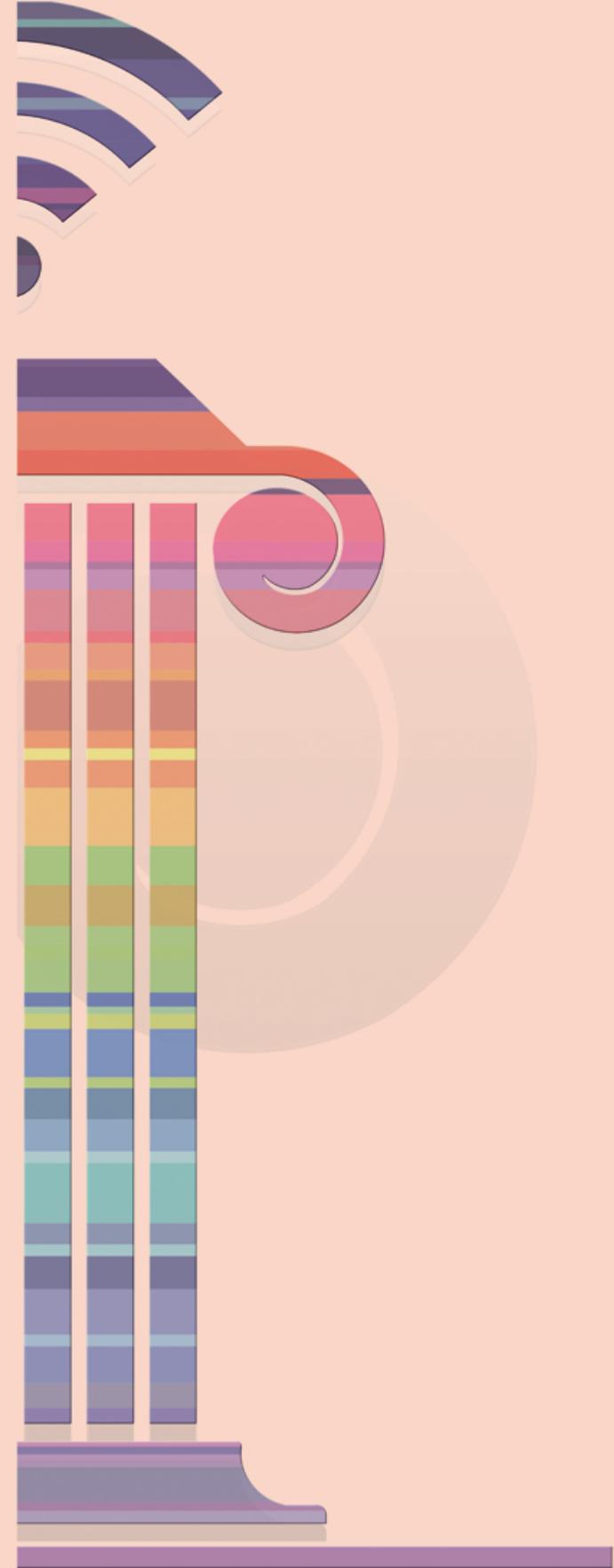
Il progetto PRO\_CULT si incanala in un percorso tematico coerente con le azioni della programmazione comunitaria 2014-2020, la quale mette al centro delle strategie regionali la specializzazione intelligente, attraverso un uso "smart" di quelle risorse che fanno la specificità e unicità di un sistema territoriale, aperto all'Europa e sostenuto da un continuo processo di innovazione.

*Antonio Bernardo*

*Autorità di Gestione dei Programmi Operativi  
FESR Basilicata 2007-2013 e 2014-2020*

A stylized classical column is positioned on the right side of the page. The column is composed of vertical stripes in various colors including purple, blue, green, yellow, and orange. At the top of the column is a decorative capital with a scroll. In the upper right corner, there is a Wi-Fi symbol composed of three curved lines in shades of blue and purple. The background is a solid light orange color.

Diagnostica, monitoraggio e  
conservazione



## Monitoraggio microclimatico: passato, presente e prospettive future

*Maria Sileo, Fabrizio Terenzio Gizzi, Nicola Masini*

### Riassunto

Il monitoraggio microclimatico è uno strumento applicato da più di quarant'anni per determinare l'impatto dei fattori ambientali, naturali e artificiali, che agiscono congiuntamente sul Patrimonio Culturale. Questo lavoro vuole fornire una sintetica review sul monitoraggio microclimatico utilizzato come strumento per la conoscenza e conservazione del Patrimonio Culturale. Vengono illustrate le tecnologie adottate per monitorare i parametri fisici coinvolti nei processi di deterioramento dei materiali costituenti i beni Culturali mobili ed immobili, Inoltre si fa riferimento alle principali tecniche di analisi e monitoraggio di ambienti indoor e outdoor secondo le normative vigenti, applicate dal passato fino ad oggi su numerosi monumenti ed edifici storici, dall'iniziale applicazione fino allo sviluppo di nuovi sensori e tecniche di analisi.

### 1 - Introduzione

Il monitoraggio microclimatico è uno degli strumenti principali per la valutazione e diagnosi del degrado materico e, conseguentemente, per la conoscenza e conservazione del Patrimonio Culturale. Esso deriva, in particolare, da uno sviluppo tecnico-conoscitivo maturato in aree scientifiche differenti ascrivibili soprattutto alle scienze naturali, fisica dell'atmosfera e meteorologia (Camuffo, 2014).

La necessità di monitorare i parametri ambientali è nata negli anni Settanta principalmente dalla stringente esigenza di tutelare i beni mobili preservati in ambito museale (Thompson, 1978). In seguito, il monitoraggio di ambienti confinati è stato esteso sia al Patrimonio architettonico costruito sia alle architetture "in negativo" (Camuffo, 1998).

Da un punto di vista applicativo il monitoraggio microclimatico rappresenta oggi un'imprescindibile pratica preventiva poiché consente di valutare e prevedere le interazioni tra oggetto, nella sua accezione materica, e ambiente.

Tra i primi ricercatori ad occuparsi di monitoraggio ambientale correlato alla tutela e salvaguardia dei beni artistici mobili museali ricordiamo Thompson (1978, 1986), il quale redasse le teorie museologiche della conservazione preventiva, che rappresentano una prima trattazione sistematica ancora oggi scientificamente valida per chi valuta, in particolare, il rapporto tra conservazione e microclima, con specifico riguardo alle condizioni microclimatiche di conservazione in ambiente confinato.

Dagli anni Ottanta sono state avviate diverse attività di ricerca in Italia incentrate sullo studio del microclima in rapporto alla conservazione dei Beni culturali, sia attraverso studi di monitoraggio *indoor* di musei, chiese ed edifici storici ospitanti opere d'arte, sia in ambienti *outdoor* accoglienti monumenti di elevata valenza architettonica (Camuffo, 1983 e 1998).

Un contributo scientifico rilevante è rappresentato dalla monografia di Camuffo (1998) che offre un apporto conoscitivo fondamentale per una corretta formulazione e pianificazione delle azioni dedicate alla conservazione dei Beni culturali. L'opera è dedicata, in particolare, ai restauratori e specialisti in chimica, architettura, ingegneria, geologia e biologia operanti nel settore della conservazione.

Nel secondo volume di recente pubblicazione (Camuffo, 2014) l'Autore aggiorna e amplia i contenuti scientifici e tecnologici e inserisce i nuovi orientamenti verso la standardizzazione imposta dal Comitato Europeo di Normalizzazione (CEN) per la conservazione del Patrimonio Culturale.

Partendo da questo breve quadro conoscitivo sinottico circa il monitoraggio microclimatico, in questo lavoro si discuteranno le principali cause del degrado, dei relativi parametri di controllo che è possibile monitorare considerando e rivisitando i principali studi condotti negli ultimi anni sulla tematica.

Successivo aspetto che sarà affrontato è quello riguardante le future prospettive di sviluppo tecnologico della sensoristica da utilizzare nel campo della conservazione dei Beni culturali.

A tal proposito saranno illustrati gli esiti di uno studio pilota condotto dall'IBAM-CNR nell'ambito del Progetto PRO\_CULT, all'interno della tematica "*Tecniche innovative per il monitoraggio del degrado materico del patrimonio architettonico e monumentale*".

## **2 - Le cause del degrado ed il monitoraggio microclimatico**

Le cause del degrado dei Beni culturali sono strettamente correlate all'ambiente nel quale l'oggetto di valenza storico-artistica-architettonica è ubicato.

L'interazione ambiente-materia determina il raggiungimento, nel tempo, di uno stato di equilibrio che il più delle volte è sfavorevole ad una corretta conservazione.

Da un punto di vista storico, l'acceleramento dei processi di degrado si è avuto con la Rivoluzione industriale per l'aggiunta di nuove cause di origine antropica che hanno condotto ad un sostanziale peggioramento della qualità dell'aria e dell'ambiente specie dopo gli anni Sessanta del secolo scorso. Il deterioramento della qualità dell'aria, determinata dalle intense emissioni gassose derivanti da attività antropiche di differente origine, ha provocato l'introduzione nell'ambiente di numerose componenti pericolose per la conservazione del Patrimonio Culturale, con particolare riguardo a quei beni che sono direttamente esposti all'azione degli agenti atmosferici.

Dal punto di vista del degrado materico, i gas inquinanti più pericolosi immessi in atmosfera sono l'SO<sub>x</sub> e l'NO<sub>x</sub>. Tali inquinanti danno luogo, in particolari condizioni, alla formazione di acidi aggressivi (solforico e nitrico) per i materiali lapidei sia naturali sia artificiali a composizione carbonatica come il marmo, le pietre calcaree e gli intonaci. Alle polveri aero-disperse si è aggiunta, inoltre, la presenza di polveri sottili (aerosol) carboniose che rappresenta la causa del progressivo annerimento delle superfici direttamente esposte all'azione degli agenti esogeni. Tali particelle, insieme ai sali solubili (ad es. gesso e nitrati), possono dare origine, in determinate condizioni, alla formazione di croste nere, molto diffuse su numerosi monumenti anche ben noti come

la colonna Traiana oppure l'Altare della Patria a Roma (Camuffo, 1993 e 1994).

Fattori di tipo *fisico, chimico e biologico* governano, quindi, l'interazione tra i materiali e l'ambiente, producendo molteplici effetti di degrado materico come alterazioni morfologiche (perdita di materia, deformazione, fessurazione), fisico-meccaniche (diminuzione delle caratteristiche di coesione e adesione ed elasticità), chimico-fisiche (variazione della porosità, ecc.) e delle proprietà ottiche (colore, lucentezza).

*Tra i fattori di natura fisica* si annoverano le azioni meccaniche di disgregazione e frammentazione dovute, ad esempio, alla cristallizzazione di sali o ai cicli di gelo-disgelo in presenza di acqua nei materiali, alla dilatazione-contrazione per variazione della temperatura o per irraggiamento, all'azione del vento che in presenza di particolato in sospensione causa abrasione delle superfici lapidee.

Per gli ambienti interni i meccanismi di tipo fisico sono riconducibili direttamente alle caratteristiche della struttura muraria del bene che può favorire variazioni di temperatura e di umidità, costituendo talora un grave rischio per i beni che s'intende preservare. Le variazioni termo-igrometriche, infatti, determinano dilatazioni e contrazioni ma anche fenomeni di evaporazione, condensazione e migrazione di acqua e sali. Tra i fattori di controllo fisico del degrado, il fenomeno della condensa è particolarmente temuto poiché l'umidità che si forma in tali circostanze sulle superfici fredde è in grado di veicolare in soluzione sali e gas, rendendo più veloce l'interazione di questi con i materiali costitutivi delle opere d'arte.

Altri fattori fisici che determinano problemi di degrado sui Beni culturali posti in ambienti esterni o *outdoor*, sono la pioggia battente, l'insolazione, le soluzioni saline e il vento, ma decisivi soprattutto per l'analisi di ambienti *indoor* sono la temperatura e l'umidità dell'aria, parametri fondamentali quando è necessario monitorare particolari ambienti come musei o edifici storici, contenitori di opere d'arte.

Tra gli agenti fisici, le variazioni di temperatura ed umidità possono determinare *stress* degradativi significativi in quasi tutti i materiali, soprattutto quando le fluttuazioni delle condizioni ambientali al contorno avvengono in tempi estremamente rapidi.

La temperatura è un fattore importante per la conservazione dei Beni Culturali poiché regola fenomeni di tipo meccanico come la dilatazione-contrazione, chimico-mineralogici come la solfatazione o la formazione di croste nere e patine biologiche che condizionano la disgregazione fisica e decomposizione o trasformazione chimica del substrato da parte degli organismi viventi. Ad esempio, molto pericolosi sono i cambiamenti ciclici di temperatura come quelli che occorrono giornalmente per fenomeni di gelo/disgelo o quando un oggetto è sottoposto ad esposizione diretta ai raggi solari in condizioni *outdoor* (Camuffo *et al.*, 1984). Per tali ragioni le variazioni di temperatura sia giornaliere sia stagionali sono determinanti per lo stato di conservazione dei materiali dei Beni Culturali.

L'effetto termico sul degrado dei materiali è da considerare, peraltro, congiuntamente ai vari effetti causati dalla presenza di umidità ed acqua il cui stato fisico dipende in modo inversamente proporzionale dalla temperatura. Anche la mobilitazione dell'acqua per evaporazione, la migrazione di sali all'interno dei materiali e la formazione di efflorescenze sono condizionate dalle variazioni di temperatura.

*Riguardo i fattori chimici*, i principali fattori come il clima, l'acqua, la temperatura e a volte la presenza di sali, inquinanti e biodeteriogeni possono determinare modificazioni della composizione chimico-mineralogica del materiale a causa della formazione di processi di idratazione, idrolisi, dissoluzione, carbonatazione, ossidazione, solfatazione ecc. Gli effetti di tali processi producono forme di degrado come la polverizzazione, la disgregazione, la variazione cromatica, la formazione di croste nere e la corrosione.

*Per quanto attiene i fattori di matrice biologica*, essi sono associati all'azione di biodeteriogeni come licheni, funghi, alghe, batteri, vegetazione, ecc. La presenza di biodeteriogeni può determinare, a sua volta, alterazioni di tipo chimico e/o fisico-meccanico che possono intensificarsi o evolversi in concomitanza dei cambiamenti stagionali e/o in funzione delle attività antropiche (es. pressione turistica, inquinamento atmosferico, riscaldamento/raffreddamento forzato di ambienti confinati, ecc.). Anche in questo caso, la temperatura è un parametro chiave insieme all'umidità e all'illuminazione, nel determinare l'*habitat* e

il controllo del metabolismo dei biodeteriogeni. A temperature inferiori a 0°C, infatti, i microorganismi non riescono a sopravvivere, sopra il punto di congelamento e fino a 20°C, i processi metabolici aumentano al crescere della temperatura. L'intervallo di temperatura dai 20 ai 30-35°C favorisce in modo particolare l'attività microbiologica, ma con valori superiori a 40°C lo sviluppo di biodeteriogeni diventa meno rilevante (Caneva, 1997; Sedlbauer, 2002; Sedlbauer *et al.*, 2011). La luce, inoltre, è un fattore limitante soprattutto per ambienti confinati per lo sviluppo di alcuni biodeteriogeni poiché, ad esempio, per gli organismi fotosintetizzanti come alghe licheni o piante, sono richieste condizioni d'illuminazione piuttosto elevate e persistenti nel tempo (Caneva, 1997).

Lo sviluppo dell'attività biologica è favorito, infatti, non tanto dal raggiungimento delle condizioni ambientali ottimali, ma dalla loro continuità nel tempo.

Per comprendere e valutare l'impatto di tutti i fattori ambientali, naturali e artificiali che agiscono congiuntamente sul Patrimonio Culturale è necessario ed opportuno, quindi, misurare i valori e le variazioni nel tempo dei diversi parametri coinvolti, cioè procedere a quello che è tradizionalmente noto come *monitoraggio*.

Il monitoraggio presuppone l'adozione di una varietà di sistemi tecnologici che permettano di acquisire i parametri ritenuti utili ad individuare le cause del degrado.

La scelta di eseguire un monitoraggio deve basarsi su una necessaria analisi a priori circa le patologie dell'oggetto da indagare, ma anche di quelle che sono le condizioni al contorno del bene in modo da valutarne opportunamente l'interazione con l'ambiente.

Le tecniche di monitoraggio disponibili differiscono in funzione del tipo di bene, dell'oggetto d'indagine, del luogo in cui il bene è conservato (o esposto) e del tipo di danno rispetto al quale si intendono valutare le cause agenti. In base a quelle che sono le finalità del monitoraggio si possono effettuare, quindi, monitoraggi strutturali, ambientali o di conservazione.

Nel caso, ad esempio, delle situazioni di degrado strutturale è possibile valutare l'evolversi nel tempo di un processo di

deterioramento attraverso la valutazione dei processi di *fracturing*, ecc.

Più diffuso è il monitoraggio ambientale *indoor* finalizzato alla conservazione del Patrimonio museale ed il monitoraggio climatico *outdoor* di monumenti posti in aree fortemente inquinate. Meno diffuso, ma di estrema utilità, è il monitoraggio finalizzato alla conservazione o valutazione della durabilità dei trattamenti di restauro.

### 3 - Il monitoraggio microclimatico applicato ai Beni Culturali in condizioni *indoor* ed *outdoor*

Il monitoraggio ambientale è ad oggi applicato in condizioni *outdoor*, soprattutto per il controllo degli inquinanti e per il monitoraggio microclimatico di contesti museali e per la conservazione di beni conservati *indoor* presso edifici storici, chiese, ecc..

Le condizioni climatiche ideali di conservazione di un bene vanno rapportate al tipo di materiale costitutivo dell'oggetto, all'ambiente in cui è esposto (condizioni *indoor* o *outdoor*) ed al tipo di degrado a cui è potenzialmente soggetto. Ogni tipo di manufatto, in relazione alla sua costituzione materica richiede, quindi, condizioni climatiche di conservazione che possono oscillare entro un determinato e specifico *range*.

Pertanto, per una corretta conservazione dei beni in ambito museale e soprattutto in ambito architettonico, è necessario monitorare parametri climatici quali temperatura, umidità, velocità del vento, radiazione solare, presenza di inquinanti, individuando situazioni di rischio e stabilendo delle soglie di attenzione e allarme al di sotto delle quali le condizioni per la conservazione siano ottimali.

Per gli ambienti *outdoor* non è possibile agire per abbassare le soglie di rischio, mentre negli ambienti *indoor* i parametri climatici possono essere controllati tramite sistemi di gestione della climatizzazione e del riscaldamento.

Nei musei, infatti, i sistemi di condizionamento dell'aria mantengono le condizioni climatiche nei *range* di sicurezza. Il problema delle soglie di allarme si pone invece in maniera

maggiore per il Patrimonio che si ritrova conservato in chiese ed edifici storici dove, a causa degli elevati costi non esistono impianti di climatizzazione e sistemi di monitoraggio per il controllo del microclima. La sensoristica di allarme per il rischio climatico in questi ambienti dovrebbe essere molto più diffusamente utilizzata, resa accessibile e progettata con differenti costi *standard* per salvaguardare le diverse tipologie di beni da conservare.

Studi circa l'identificazione degli *standard* concernenti la corretta conservazione del Patrimonio Culturale sono stati oggetto di molteplici lavori scientifici relativi almeno agli ultimi due decenni. In particolare, è stata data molta importanza all'ambiente museale ed alle diverse tipologie, in termini materici, dei beni mobili conservati e delle condizioni di rischio che determinano il degrado dei differenti materiali (Camuffo *et al.*, 1999; Camuffo *et al.*, 2000; Camuffo *et al.*, 2001; Camuffo *et al.*, 2002; Brimblecombe *et al.*, 1999; Baoying *et al.*, 2010).

#### 4 - Normative di riferimento

Da un punto di vista normativo sono disponibili sia a livello nazionale sia a scala regionale numerosi documenti che regolano le procedure di monitoraggio microclimatico per la conservazione del Patrimonio Culturale. Per la conservazione nei musei è importante, infatti, valutare ed individuare nel dettaglio le dinamiche ambientali, le tipologie di materiali da conservare e i loro potenziali processi di degrado, i parametri da misurare e la strumentazione più adeguata.

Le fonti normative in vigore a livello nazionale sono riconducibili prevalentemente al Decreto Ministeriale 10 maggio 2001 che stabilisce gli *standard* e gli obiettivi di qualità dei musei, biblioteche ed archivi.

In Italia sono attualmente in vigore diverse norme UNI che regolamentano le condizioni climatiche di conservazione dei Beni culturali. Molte di queste norme stanno guadagnando anche una diffusione in ambito europeo (norme UNI-EN). Tra le importanti norme ad oggi in vigore ricordiamo:

- **UNI 10586:1997** - *Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti.*
- **UNI 10829:1999** - *Beni di interesse storico e artistico - Condizioni ambientali di conservazione - Misurazione ed analisi.*
- **UNI EN 15757:2010** - *Conservazione dei Beni culturali - Specifiche concernenti la temperatura e l'umidità relativa per limitare i danni meccanici causati dal clima ai materiali organici igroscopici.*
- **UNI EN 15758:2010** - *Conservazione dei Beni culturali - Procedure e strumenti per misurare la temperatura dell'aria e quella della superficie degli oggetti.*  
**UNI EN 16242:2013** - *Conservazione dei Beni culturali - Procedure e strumenti per misurare l'umidità dell'aria e gli scambi di vapore tra l'aria e i Beni culturali.*

In Tabella 1 sono riportati i valori consigliati per la conservazione di alcune tipologie di beni artistici in condizioni di clima stabile in conformità alle norme UNI prima elencate. Ovviamente le condizioni di comfort per gli utenti di edifici museali o edifici storici spesso contrastano con le esigenze di conservazione, per i quali è importante la stabilità delle condizioni ambientali. I valori ottimali a tale fine, identificati dopo numerosi *test* di laboratorio, sono quelli *raccomandati* al fine di garantire che gli oggetti da tutelare si trovino in condizioni lontane da soglie pericolose.

Per lo studio microclimatico aspetti fondamentali e significativi da considerare sono i cicli termici stagionali e diurni, l'assorbimento e/o emissione di vapore acqueo da parte delle pareti, la condensazione sulle pareti del vapore acqueo, l'identificazione delle zone in cui tali fenomeni si verificano più frequentemente, l'identificazione di eventuale stratificazione dell'atmosfera interna (ventilazione convettiva naturale, miscelazione dell'aria, traiettoria e/o stagnazione dell'aria esterna ed interna; trasporto degli inquinanti; tempo di permanenza dell'atmosfera interna) (Sedlbauer, 2002; Sedlbauer *et al.*, 2011).

A scala regionale tre sono le unità amministrative che hanno legiferato sulla materia. In Lombardia il D.G.R. 20 dicembre 2002 n.7/11643 ha stabilito il riconoscimento dei musei finalizzato ad

innalzare il livello della qualità dei servizi degli istituti museali lombardi, sulla base del raggiungimento dei requisiti minimi, tra i quali sono presenti quelli legati al monitoraggio ambientale delle sale espositive.

Materiali costituenti	Variabili						
	Temperatura dell'aria (°C)	Max Escursione termica giornaliera (°C)	UR dell'aria (%)	Max Escursione giornaliera dell'UR dell'aria (%)	Massimo valore di illuminazione (lux)	Max. quantità di radiazione ultravioletta (microV/lm) (Potenza/Lumen)	Massima dose annuale di Luce (Mlx h/anno)
Carta, stampe ecc.	18/22	1,5	18/22	6	50	75	0.2
Tessuti	19/24	1,5	30/50	6	50	75	0.2
Dipinti su tela, tempere ecc.	19/24	1,5	40/55	6	150	75	0.5
Mosaici, pietre, rocce, minerali, fossili.	15/25		20/60	10			
Pitture murali, affreschi, sinopie (staccate)	10/24		55/65				
Pitture murali a secco (staccate)	10/24	1,5	45/50		150	75	0.5

Tabella 1. Valori consigliati per la conservazione dei beni artistici in condizioni di clima stabile (Norme UNI, vedi testo)

In Emilia Romagna il D.G.R. n.309 del 3 marzo 2003 affida all'Istituto per i Beni Artistici, Culturali e Naturali della Regione Emilia-Romagna la verifica del rispetto e della progressiva applicazione degli standard microclimatici di conservazione.

Per quanto concerne la regione Toscana, la Delibera del Consiglio Regionale del 26 maggio 2004 n. 60 ha previsto una ricognizione dello stato dei musei sulla base del D.M. 2001. Inoltre, in data 11 novembre 2005 è stato sottoscritto un protocollo d'intesa MIBAC-Regione Toscana per promuovere presso l'intero sistema museale toscano un percorso di autovalutazione in riferimento ai criteri e agli *standard* dell'atto di indirizzo di funzionamento e sviluppo dei musei (D.M. 2001).

## 5 - Il monitoraggio microclimatico ieri e oggi

Una grande varietà di casi di studio si desume dalla letteratura sul monitoraggio microclimatico applicato alla salvaguardia e conservazione del Patrimonio Culturale, sia in condizioni *indoor* sia *outdoor*.

Numerosi sono i contributi scientifici relativi alla salvaguardia del Patrimonio Culturale mobile ubicato in grandi "contenitori" come musei, palazzi ed archivi (Brimblecombe *et al.*, 1999; Camuffo *et al.*, 1999; Camuffo *et al.*, 2000; Camuffo *et al.*, 2001; Camuffo *et al.*, 2002; Corgnati *et al.*, 2010; Gysels *et al.*, 2004; Baoying *et al.*, 2010).

Meno consistente è, invece, la letteratura scientifica relativa al monitoraggio microclimatico di strutture architettoniche che ospitano affreschi, graffiti, bassorilievi, ecc (Bernardi *et al.*, 2000; Cardinale *et al.*, 2002; Garcìa *et al.*, 2010).

Il monitoraggio applicato ad ambienti semi-confinati come cortili, logge e chiostri è poco diffuso. Si segnalano alcune esperienze nel campo del monitoraggio sia dei parametri ambientali sia degli inquinanti aerodispersi, come nel caso del "Cortile di Michelozzo" a Firenze (Nava *et al.*, 2010) o del Cimitero monumentale di Pisa (Mandrioli *et al.*, 2008).

Il monitoraggio applicato a monumenti *outdoor* è, invece, molto diffuso. In particolare in Italia molti studi sono stati esperiti sia per valutare l'impatto dei parametri ambientali sia per studiare l'influenza di fattori come la radiazione solare, la presenza di inquinanti, l'insorgenza di croste nere. Tra i casi di studio più noti ricordiamo "Il Cavallo di bronzo" di piazza San Marco a Venezia (Camuffo, 1980 e 1981; Camuffo *et al.*, 1985), la Torre di Pisa

(Camuffo *et al.*, 1999), il Battistero di Firenze (Ghedini *et al.*, 2011) e l'Ara Pacis in Roma (Camuffo *et al.*, 1996).

I parametri microclimatici sono monitorati attualmente tramite le indicazioni riportate nelle norme di unificazione nazionale ed europea (UNI e UNI-EN) entrate in vigore in un arco cronologico compreso tra la fine degli anni Novanta fino ad anni più recenti.

Prima di tali norme, ed in particolare negli anni Ottanta, la strumentazione disponibile consentiva un monitoraggio di tipo diretto, cioè gli strumenti di rilevamento di temperatura ed umidità erano utilizzati in maniera differenziale, spostandoli da ciascun punto di campionamento a quello successivo, in modo da evitare errori di intercalibrazione e le misure erano successivamente ripetute nel tempo, rispettando le iniziali posizioni di acquisizione. Tale metodo non consentiva una caratterizzazione dell'ambiente ma solamente una valutazione dei parametri al momento del rilevamento.

Successivamente, con lo sviluppo di sistemi di monitoraggio indiretto, si è proceduto all'acquisizione dei dati tramite *data logger*, alla temporizzazione dei rilevamenti su sensori fissi lasciati in loco ad acquisire, ed alla trasmissione in remoto dei dati senza l'utilizzo di cablatura.

Con tali evoluzioni tecnologiche oggi è possibile disporre di una continuità temporale dei rilevamenti e pertanto il monitoraggio è diventato uno strumento diagnostico in grado di consentire l'analisi dell'evoluzione dei parametri ambientali e di fare previsioni a breve e lungo termine circa le situazioni di rischio.

Il continuo interesse verso la conservazione dei Beni culturali, infatti, ha consentito negli ultimi trent'anni uno sviluppo tecnologico specie in termini di sensoristica, per la rilevazione dei parametri fisici.

I valori di temperatura superficiale sulle pareti erano inizialmente misurati attraverso strumentazione di termovisione IR (Bernardi e Camuffo, 1995) e successivamente attraverso termistori a contatto.

La temperatura e l'umidità relativa di ambienti interni ed esterni erano pertanto misurate, in un primo momento, con speciali radiosonde ad alta risoluzione per la bassa atmosfera. Dagli anni 1999-2001 si è passati all'utilizzo di psicrometri elettronici ad alta

precisione (Camuffo *et al.*, 1999; Camuffo *et al.*, 2000; Bernardi *et al.*, 2000; Camuffo *et al.*, 2001). A partire dagli anni Novanta l'evoluzione della sensoristica è stata accompagnata da un notevole sviluppo dei sistemi di raccolta dati. Come visto precedentemente, infatti, in un primo momento il monitoraggio era possibile solamente attraverso misure dirette, che andavano ripetute nel tempo e che necessitavano della presenza di un operatore.

Il metodo fu originariamente concepito per la valutazione delle condizioni degli ambienti interni (Camuffo, 1983) per studiare le aree a rischio, identificando le cause e gli effetti del degrado. Il metodo diretto è stato applicato in molte circostanze sia in condizioni di ambiente confinato sia in ambiente esterno (Camuffo e Schenal, 1982; Bernardi *et al.*, 1985; Bernardi e Camuffo, 1995a, 1995b; Camuffo, 1986, 1991, 1994; Camuffo e Bernardi 1988, 1991a, 1991b, 1993, 1995a, 1995b, 1996, 1997).

In seguito allo sviluppo dei primi *data logger*, numerosi studi sono stati compiuti (Bernardi e Camuffo, 1995; Camuffo e Bernardi, 1997; Camuffo *et al.*, 1999; Bernardi *et al.*, 2000; Colston *et al.*, 2001; Camuffo *et al.*, 2000; Camuffo *et al.*, 2001; Camuffo *et al.*, 2002; Cardinale e Ruggiero, 2002; Camuffo *et al.*, 2002; Gysels *et al.*, 2004; Sawdy & Price, 2004; Liu *et al.*, 2010; Nava *et al.*, 2010; Becherini *et al.*, 2010; Corgnati & Filippi, 2010; Zarzo *et al.*, 2011; Ponziani *et al.*, 2012).

Tali studi sono stati sviluppati utilizzando sensoristica classica abbinata a *data logger* con i quali è stato possibile programmare il numero di misure giornaliere ed immagazzinare grandi volumi di dati.

Questa configurazione permette di immagazzinare i dati per un arco temporale che dipende dallo *step* di acquisizione e dal numero di sensori collegati al singolo *data logger*. Necessariamente, quindi, i dati rilevati dovevano essere periodicamente scaricati da parte di un operatore, e in seguito elaborati. Tale procedura consentiva, pertanto, di passare dal sistema di monitoraggio diretto ad un sistema semi indiretto, in cui la strumentazione era posizionata in maniera fissa durante il monitoraggio e i dati si acquisivano tramite *data logger*.

L'evoluzione riguardante l'ultimo decennio, sia in termini tecnologici sia procedurali, consente oggi che le singole

misurazioni siano trasmesse "in diretta" ad una stazione di gestione e controllo dei dati, tramite un collegamento sensori - *data logger* in remoto (Camuffo *et al.*, 2004) o tramite *data logger* automatici collegati con un sistema di trasmissione dei dati GSM (Bernardi *et al.*, 2006).

Tale avanzamento tecnologico ha consentito che la trasmissione dei dati avvenga in tempo reale via rete mobile. Vantaggio di questa procedura risiede anche nel fatto che la visione *real-time* dei dati e la gestione in remoto consente di verificare il corretto funzionamento di tutti i dispositivi (sensori) e di modificare la temporizzazione del rilevamento se necessario, limitando o eliminando la perdita di dati (Bernardi *et al.*, 2006).

Gli ultimi sviluppi tecnologici riguardano i nuovi sensori senza fili, cioè in grado di rilevare i parametri e di trasmetterli in tempo reale tramite segnale *wireless* ad una stazione posta ad alcuni metri di distanza (Angelini *et al.*, 2010), senza l'utilizzo di *data logger*.

La tendenza per i futuri sistemi di monitoraggio ambientale è sicuramente orientata verso la miniaturizzazione della sensoristica e lo sviluppo di nuovi sistemi di trasmissione e gestione dei dati.

La scelta delle diverse tecnologie da utilizzare per il monitoraggio dei Beni culturali non è così scontata ad oggi in quanto si deve tener conto non solo delle caratteristiche minime dei sensori ma, ovviamente, anche dei costi. Pertanto l'innovazione tecnologica non sempre è preferita quando implica elevati costi di acquisto e manutenzione, perciò ad oggi il monitoraggio microclimatico non è molto diffuso ma è applicato principalmente in grandi contesti museali e non alla piccola scala su monumenti di minore interesse.

Per ovviare a ciò e rendere applicabile il monitoraggio ambientale ad un numero sempre maggiore di casi e con costi accessibili, all'interno del Progetto PRO\_CULT è stato sviluppato un sistema di monitoraggio *low cost* costituito da sensoristica di media risoluzione collegata a piattaforme hardware open source (sistema Arduino) facilmente utilizzabile e riconfigurabile.

Tali tecnologie, ad oggi, sono state sperimentate per il monitoraggio microclimatico degli Affreschi della Cripta di San Francesco d'Assisi ad Irsina (MT), ed i risultati riportati nel

presente volume (si veda *Approcci low-cost al monitoraggio microclimatico di ambienti confinati: il caso della Cripta di S. Francesco in Irsina (Matera), infra*).

## **6 - Il monitoraggio microclimatico di ambienti indoor: parametri e strumenti da utilizzare**

I parametri fondamentali che è necessario monitorare quando si intende analizzare il microclima di aree interne ed esterne sono la temperatura, l'umidità relativa, l'illuminazione, la velocità dell'aria (interna) o del vento (in esterno), la quantità di pioggia e la presenza di inquinanti (per l'esterno).

Generalmente in ambienti confinati si verifica una stratificazione naturale dell'aria che è perturbata dall'azione di sistemi di condizionamento o dalla presenza o movimento delle persone presenti.

Per mantenere nel tempo lo stesso equilibrio è auspicabile che l'edificio abbia pareti spesse, come nella maggior parte degli edifici storici, così da permettere una elevata inerzia termica, condizione tipica per la stratificazione termica.

Le pareti molto spesse sono efficaci infatti nel ridurre i cicli di temperatura giornalieri e anche, in misura minore, il ciclo di variazione stagionale, in modo che il microclima interno tende naturalmente a diventare omogeneo, scarsamente dipendente dalle fluttuazioni giornaliere e dalle condizioni meteorologiche.

Per quanto riguarda la sensoristica da utilizzarsi per misurare i parametri temperatura ed umidità, la loro scelta è un compito molto delicato in quanto le superfici da analizzare sono pregiate, vulnerabili e sempre esposte al rischio di danneggiamento quando sono manipolate.

Anche se i sensori possono essere gli stessi che sono utilizzati in altri settori come ad esempio in meteorologia, agricoltura, industria, ecc., l'utilizzo e le caratteristiche di performance sono differenti. Esistono diverse norme specifiche per la conservazione dei Beni culturali come ad esempio le UNI EN 15758: 2010 e UNI EN16242:2013 che regolamentano le procedure ed i metodi di misura della temperatura e dell'umidità dell'aria. In tali norme

sono riportate le tipologie di sensori utilizzabili per le misure e le caratteristiche minime che tali sensori devono soddisfare.

In particolare, per la misurazione della temperatura (UNI EN 15758: 2010), è possibile adottare tre tipologie di sensori:

- *sensori a contatto*, posti in contatto fisico con l'oggetto rilevato;
- *sensori a sfioramento* posizionati in prossimità della superficie, ma senza alcun contatto fisico con esso;
- *sensori di temperatura remoti* o a *infrarossi*, con lo strumento situato a distanza di sicurezza dalla superficie.

Ovviamente è preferibile evitare o limitare il contatto diretto con le opere d'arte, ma ciò non sempre è possibile.

Nel primo caso le misurazioni vengono eseguite solitamente a contatto diretto con la pietra, vetro, metalli o su legno oppure ad esempio su superfici ripristinate vicine agli affreschi, in quanto il contatto con l'oggetto seppur ottenuto utilizzando adesivi o colle rimuovibili, può produrre danni irreversibili agli oggetti.

Gli altri metodi meno invasivi sono basati sulla misurazione dell'emissione termica IR dei corpi e sono condizionati dalla emissività della superficie del materiale in esame. Sensori a sfioramento costituiscono una valida alternativa ai sensori a contatto, salvo nel caso di metalli lucidati.

Sebbene i sensori a sfioramento rilevino la radiazione totale (cioè radiazione diretta e diffusa) emessa da una superficie e sono quindi indipendenti dal valore effettivo della specifica emissività della superficie, la superficie deve avere un'emissività relativamente alta (es:  $\epsilon > 0.7$ ), altrimenti le letture assumono un'elevata incertezza, rendendo necessari i sensori a contatto. Meno problematico, invece, è l'utilizzo di sensori a sfioramento per oggetti sottili o materiali a bassa capacità termica.

L'adozione di sensori di temperatura remoti come ad esempio la termocamera ad infrarossi è la tecnica più difficile poiché richiede strumenti molto costosi e le misure sono influenzate sia dall'emissività della superficie sia dall'emissività riflessa da altri oggetti. Tale configurazione ha il grande vantaggio di poter effettuare misure in aree non raggiungibili, come ad esempio un soffitto, senza aver bisogno di ponteggi, ma allo stesso tempo la superficie da indagare deve possedere adeguati valori di emissività

(ad esempio non è possibile per i metalli lucidati) e deve essere opaca alle lunghezze d'onda specifiche della radiazione termica monitorata dallo strumento.

Solitamente per la misura della temperatura i termometri più utilizzati sono a resistenza elettrica (Pt100) sia per le determinazioni della temperatura dell'aria sia delle superfici (Camuffo *et al.*, 2000; Camuffo *et al.*, 2002; Camuffo *et al.*, 2006; Bernardi *et al.*, 2006; Nava *et al.*, 2010). Meno diffusi sono i termometri a termocoppia (Saafi *et al.*, 2005).

Per ogni tipologia di strumento di misurazione della temperatura, dell'aria e delle superfici, esistono delle specifiche quali l'intervallo di misurazione, l'incertezza, la ripetibilità, la risoluzione, il tempo di risposta e la stabilità nel tempo dei sensori, che devono essere rispettate come requisiti minimi per poter essere considerati conformi alla norma. Tali specifiche sono inserite all'interno della norma UNI EN 15758:2010 a cui si rimanda per ulteriori approfondimenti.

Per quanto concerne le procedure e gli strumenti per la misurazione dell'umidità dell'aria e degli scambi di vapor d'acqua tra l'aria e i Beni culturali si deve far riferimento alla norma UNI EN 16242:2013. Seguendo le indicazioni fornite dalla Norma è possibile esprimere l'umidità dell'aria ai fini della diagnosi ambientale per i Beni culturali come umidità relativa, rapporto di mescolanza o titolo dell'aria umida (MR), umidità assoluta e temperatura di rugiada (DP).

L'umidità relativa è un parametro importante in quanto è correlata a molti processi di degrado che insieme ai cambiamenti di temperatura influiscono sulla corretta conservazione dei Beni culturali. La temperatura del punto di rugiada, chiamato comunemente *Dew Point* (DP) è la temperatura alla quale una particella d'aria umida deve essere raffreddata ad una determinata pressione atmosferica e costante contenuto di vapore acqueo in modo che si verifichi la saturazione.

Esso può essere alternativamente definita come la temperatura alla quale la pressione effettiva del vapore contenuto in una particella d'aria è uguale alla pressione di saturazione, a pressione atmosferica costante e Rapporto di mescolanza costante (*Mixing Ratio*) dato dal rapporto tra la massa di vapore acqueo e la massa di aria secca (UNI EN 16242:2013). Le formule empiriche per il

calcolo del *Dew Point* e del rapporto di mescolanza sono riportate nella norma UNI EN 16242:2013 a cui si rimanda per successivi approfondimenti.

I fenomeni di condensazione dell'acqua, molto temuti soprattutto per la conservazione degli affreschi, si formano quando una superficie si raffredda fino a raggiungere il DP: il vapore ambientale comincia a condensare sull'affresco formando piccole goccioline o un film sottile d'acqua. Il fenomeno della condensa superficiale tipicamente contraddistingue il periodo primaverile delle regioni del Mediterraneo, quando l'aria diventa mite e ricca di umidità (cioè con un elevato DP) e soprattutto quando spira il caldo e umido vento di scirocco.

L'interazione tra l'aria avente queste caratteristiche e gli ambienti confinati freddi può generare fenomeni di copiosa condensa. Gli edifici storici, infatti, hanno pareti spesse con elevata capacità ed inerzia termica pertanto la temperatura interna tende a conservare la "memoria" della precedente stagione fredda. Il contrasto tra l'elevato DP dell'aria e la bassa temperatura delle pareti spesse che rimangono sotto il DP può provocare, quindi, rilevanti condensazioni superficiali. Se la superficie è porosa la tensione superficiale può favorire la formazione di condensa nei micropori, anche a temperature superiori del DP (Camuffo, 1998 e 2014).

Per questo motivo in primavera le spesse pareti di edifici non riscaldati possono essere umide. Tale fenomeno può essere quindi contrastato o limitato agendo o sull'aumento della temperatura delle superfici, ad esempio con radiazioni IR o mediante riscaldamento diretto, o riducendo il contenuto di umidità dell'aria. Alcuni risultati positivi possono essere raggiunti anche trattando le superfici con sostanze idrorepellenti che aumentano l'angolo di contatto delle gocce d'acqua e impediscono l'assorbimento di condensa su tali superfici.

Analizzando, quindi, la temperatura di superficie si può valutare se le condizioni di sito sono favorevoli all'evaporazione o alla formazione di condensa. La presenza, tuttavia, di sali solubili nei materiali costituenti le murature abbassano l'andamento dell'umidità RH poiché sottraggono umidità all'aria, di conseguenza la temperatura dell'aria e la temperatura del DP s'innalzano (in base alla formula), mentre in presenza di micropori

la condensa può verificarsi al loro interno in condizioni normali anche in ambienti relativamente asciutti (Camuffo, 2014). Nei corpi porosi, le molecole d'acqua in contatto con il materiale sono adsorbite e fortemente legati con la superficie interna a causa della presenza di forze polo-dipolo; il legame è così forte che l'acqua è considerata allo stato solido. In pori con raggio inferiore a 0,1 mm tale effetto fisico domina; in pori con raggio maggiore di 1 mm e contaminati da sali solubili, l'effetto fisico-chimico che determina la pressione di equilibrio delle soluzioni può anche causare la condensazione con basso contenuto di umidità (Camuffo, 2014). Pertanto, cicli di condensazione-evaporazione causano la migrazione capillare dei sali disciolti e la cristallizzazione formando efflorescenze e/o sub-efflorescenze in superficie con conseguenti diverse patologie di degrado.

I primi strumenti per la misura dell'umidità dell'aria furono gli igrometri a capello di bassa risoluzione poiché prevedevano errori dell'ordine del 5-10%. Dagli anni Settanta, tali strumenti sono stati sostituiti da altri basati su principi di funzionamento differenti. Tra questi ricordiamo:

1. igrometro per punto di rugiada a specchio raffreddato;
2. psicrometro elettronico;
3. igrometro elettronico con sensore capacitivo;
4. igrometro elettronico con sensore resistivo.

Per il monitoraggio in continuo i più utilizzati sono : 1) gli igrometri con sensore capacitivo e/o resistivo, raccomandati per l'affidabilità dei risultati a lungo termine ed estremamente facili da utilizzare sia in condizioni ambientali estreme che in condizioni di normale utilizzo per interni (Camuffo *et al.*, 2000; Bernardi *et al.*, 2006; Becherini *et al.*, 2010; Camuffo *et al.*, 2010; Nava *et al.*, 2010); 2) psicometri elettronici (Camuffo *et al.*, 1996; Camuffo *et al.*, 2000; Camuffo *et al.*, 2002; Gysel *et al.*, 2004; Liu *et al.*, 2010) composti da due sensori di temperatura a "bulbo asciutto" e a "bulbo umido" in grado di fornire una misura accurata rispetto ai sensori di umidità, ma questi necessitano di tarature periodiche e accortezze relative al mantenimento del serbatoio d'acqua e alla schermatura dei sensori e che li rendono poco utilizzati per il monitoraggio a lungo termine.

Per ogni tipologia di strumento di misurazione dell'umidità dell'aria è necessario tarare periodicamente i sensori secondo le specifiche raccomandazioni che riportano anche i requisiti minimi di conformità quali l'intervallo di misurazione, l'incertezza, la ripetibilità, la risoluzione, la costante di tempo dello strumento in aria calda e la stabilità nel tempo dei sensori (UNI EN 16242:2013).

## 7 - Conclusioni

Il monitoraggio microclimatico è uno strumento applicato da più di quarant'anni per determinare l'impatto dei fattori ambientali, naturali e artificiali, che agiscono congiuntamente sul Patrimonio Culturale.

Negli ultimi decenni si è assistito a uno sviluppo del monitoraggio microclimatico grazie all'uso di nuove tecnologie *hardware* e *software* per la raccolta e l'elaborazione dei dati e soprattutto grazie alla regolamentazione dal punto di vista normativo sia a livello nazionale sia europeo, con la stesura delle procedure UNI e UNI EN per la conservazione del Patrimonio Culturale.

Ad oggi i numerosi studi effettuati sia in condizioni *indoor* sia *outdoor* hanno consentito di fornire indicazioni utili per la corretta conservazione del Patrimonio Culturale. Nonostante ciò il monitoraggio resta ancora una prassi ed una metodologia poco diffusa soprattutto a causa dei costi elevati sia di installazione della strumentazione sia di gestione degli impianti stessi.

È evidente che lo stato di conservazione dei manufatti è controllato da fattori ambientali, ma la valutazione dei parametri in gioco dipende dalla tipologia di bene che si vuole conservare e monitorare, dal contesto in cui esso si trova e dalla costituzione materica dello stesso. Pertanto c'è bisogno anche di figure professionali capaci di valutare gli stati di rischio a cui il bene può essere sottoposto, i parametri da monitorare e scegliere i sistemi adatti caso per caso.

Inoltre, la complessità della conservazione del Patrimonio Culturale implica il coinvolgimento di tutte le professionalità e competenze interessate, dalle Soprintendenze, ai restauratori ecc., che oltre a definire le corrette strategie di conservazione devono

anche considerare gli aspetti micro-climatici degli ambienti in cui sono conservati i beni.

La realizzazione di un ambiente "idoneo" alla conservazione, non è sicuramente un problema di soluzione immediata, ciò nonostante occorre fornire agli operatori del settore protocolli operativi semplici e strumenti idonei in grado di monitorare le variabili in gioco.

Per ridurre gli ostacoli che impediscono la diffusione a grande scala del monitoraggio microclimatico, le prospettive per il futuro impongono la diffusione di sistemi a basso costo e *user-friendly*, opportunamente realizzati con *hardware* e *software open source* che possano essere adattati a diversi contesti di monitoraggio. Con il Progetto PRO\_CULT, all'interno della tematica "*Tecniche innovative per il monitoraggio del degrado materico del patrimonio architettonico e monumentale*" è stato avviato un percorso di conoscenza e ricerca sviluppato proprio in questa direzione e con l'auspicio che in futuro si possano realizzare e brevettare sistemi di facile gestione e soprattutto dai costi contenuti.

## Bibliografia

Angelini E., Grassini S., Corbellini S., Parvis M., Plantanida M., *A multidisciplinary approach for the conservation of a building of the seventeenth century*. Applied Physics 100 (2010), 763-769, DOI 10.1007/s00339-010-5654-8.

Becherini F., Bernardi A., Frassoldati E., *Microclimate inside a semi-confined environment: Valuation of suitability for the conservation of heritage materials*. Journal of Cultural Heritage 11 (2010), 471-476.

Bernardi A., Camuffo D., Del Monte M., Sabbioni C., *Microclimate and weathering of an historical building: the Ducal Palace in Urbino*. Science Total Environment 46 (1985), 243-260.

Bernardi A., Camuffo D., *Uffizi gallery in Florence: a comparison between two different air conditioning systems*. Science and Technology for Cultural Heritage 4 (2) (1995a), 11-22.

Bernardi A., Camuffo D., *Microclimate in the Chiericati palace municipal museum, Vicenza*. Museum Management and Curatorship 14 (1995b), 5-18.

Bernardi A., Becherini F., Bassato G., Bellio M., *Condensation on ancient stained glass windows and efficiency of protective glazing systems: two French case studies, Sainte-Chapelle (Paris) and Saint-Urbain Basilica (Troyes)*. Journal of Cultural Heritage 7 (2006) 71-78.

Bernardi A., Todorov V., Hiristova J., *Microclimatic analysis in St. Stephan's church, Nessebar, Bulgaria after interventions for the conservation of frescoes*. Journal of Cultural Heritage 1 (2000), 281-286.

Brimblecombe P., Blades N., Camuffo D., Sturaro G., Valentino A., Gysels K., Van Grieten R., Busse H.J., Kim O., Ulrych U. and Wieser M., *The Indoor Environment of a Modern Museum Building, the Sainsbury Centre for Visual Arts, Norwich. UK*. Indoor Air. 9 (1999), 146-164.

Camuffo D., *Hot-Horse Anemometry*. Atmospheric Environment, 15 (1981).

Camuffo D., *Escursioni termiche dei cavalli di S.Marco nel periodo estivo*. Inquinamento, 7/8 (1980), 57-61.

Camuffo D., *Deterioration processes of historical buildings*. In: Schneider, T. (Ed.), *Acidification and Its Policy Implications*. Elsevier, Amsterdam, (1986), 189-221.

Camuffo D., *Environment and microclimate*. In: Baer, N., Sabbioni, C., Sors, A. (Eds.), *Science Technology and European Cultural Heritage*. Butterworth, Oxford, (1991), 37-50.

Camuffo D. and Bernardi, A., *Microclimatic Factors affecting the Trajan Column*. The Science of the Total Environment, 128 (1993), 227-255

Camuffo D., *Effects of air pollution on historic buildings and monuments. Scientific basis for conservation: case studies in the deterioration of stone monuments in Italy*. European Cultural Heritage Newsletter on Research 8 (1) (1994), 7-15.

Camuffo D., *Microclimate for Cultural Heritage. Developments in Atmospheric Science*, Elsevier, Amsterdam, 1998.

Camuffo D., *Microclimate for Cultural Heritage: Conservation, Restoration, and Maintenance of Indoor and Outdoor Monuments*. Elsevier, 2014.

Camuffo D., Bernardi A., *The microclimate of Leonardo's "Last Supper"*, joint edition European Cultural Heritage Newsletter on Research, and Bollettino Geofisico, special issue, 14 (3) (1991a). 1-123.

Camuffo D., Bernardi A., *Indoor and outdoor microclimate: the Trajan Column and Sistine Chapel*. In: Baer, N., Sabbioni, C., Sors, A. (Eds.), *Science Technology and European Cultural Heritage*. Butterworth, Oxford, (1991b), 295-305.

Camuffo D., Bernardi A., *Microclimatic factors affecting the Trajan Column*. Science Total Environment 128 (1993), 227-255.

Camuffo D., Bernardi A., *The microclimate of the Sistine Chapel*, joint edition European Cultural Heritage Newsletter on Research, 9, 7—32 and Bollettino Geofisico, 18 (2) (1995a), 7-32.

Camuffo D., Bernardi A., *Study of the microclimate of the giant hall of the Da Carrara's Royal Palace, Padova*. Studies in Conservation 40(1995b), 237-249.

Camuffo D., Bernardi A., *Deposition of urban pollution on the Ara Pacis, Rome*. Science Total Environment 189/190 (1996), 235-245.

Camuffo D., Bernardi A., *Controlling the microclimate and the particulate matter inside the historic anatomie theatre, Padova*. Museum Management and Curatorship 15 (1997), 285-298.

Camuffo D., Vincenzi S., *Computing the Energy Balance of a Statue of Bronze: the San Marco's Horses as a Case Study*. The Science of the Total Environment, 44 (1985), 147-158.

Camuffo D., Vincenzi S., Pilan L., *A first-order analysis of the heat wave in the soil*. Water, Air and Soil Pollution 23 (1984), 441-454.

Camuffo D., Bernardi A., *Microclimate and interactions between atmosphere and the Orvieto Cathedral*. Science Total Environment 64 (1988), 1-10.

Camuffo D., Sturaro G., Valentino A., *Urban Climatology Applied to the Deterioration of the Pisa Leaning Tower, Italy*. Theoretical and Applied Climatology 63 (1999), 223-231.

Camuffo D., Van Grieken R., Busse, H-J., Sturaro G., Valentino A., Bernardi A., Blades N., Shooter D., Gysels K., Deutsch F., Wieser M., Kim O., Ulrych U., *Environmental monitoring in four European museums*. Atmospheric Environment 35 Supplement No. 1 (2001), S127-S140.

Camuffo D., Bernardi A., Sturaro G., Valentino A., *The microclimate inside the Pollaiuolo and Botticelli rooms in the Uffizi Gallery, Florence*. Journal of Cultural Heritage 3 (2002) 155-161.

Camuffo D., Sturaro G. and Valentino A., *Urban Climatology Applied to the Deterioration of the Pisa Leaning Tower, Italy*, Theoretical and Applied Climatology, 63 (1999), 223-231.

Camuffo D., Sturaro G., Valentino A., *Showcases: a really effective mean for protecting artworks?* Thermochemica Acta 365 (2000) 65-77.

Camuffo D., Pagan E., Rissanen S., Bratasz t., Koztowski R., Camuffo M., Della Valle A., *An advanced church heating system favourable to artworks: a contribution to European standardisation*. Journal of Cultural Heritage 11 (2010), 205-219. <http://dx.doi.org/10.1016/j.culturher.2009.02.008>.

Camuffo D., Schenal, P., *Microclima all'interno della Cappella degli Scrovegni scambi termodinamici tra gli affreschi e l'ambiente*. In: Ministero dei Beni Culturali ed Ambientali "Giotto a Padova", Special issue of Bollettino d'Arte. Poligrafico dello Stato, Rome, (1982), 107-209.

Caneva G., *Aspetti biologici nel degrado dei materiali lapidei*. In "Castra ipsa possunt et debent reparari", Indagini Conoscitive e Metodologiche di Restauro delle Strutture Castellane Normanno-Sveve. Atti del Convegno Internazionale di Studio promosso dall'Istituto internazionale di Studi Federiciani, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Castello di Lagopesole, 16-19 ottobre 1997, tomo II (1997), 497-512.

Cardinale N., Ruggiero F., *A case study on the environmental measures techniques for the conservation in the vernacular settlements in Southern Italy*. Building and Environment 37 (2002), 405-414.

Colston B.J., Watt D.S., Munro H.L., *Environmentally-induced stone decay: the cumulative effects of crystallization-hydration cycles on a Lincolnshire oolite limestone*. Journal of Cultural Heritage 4 (2001), 297-307.

Corgnati S.P., Filippi M., *Assessment of thermo-hygrometric quality in museums: Method and in-field application to the "Duccio di Buoninsegna" exhibition at Santa Maria della Scala (Siena, Italy)*. Journal of Cultural Heritage 11 (2010) 345-349.

DGR n.309 del 3 Marzo 2003 - Regione Emilia Romagna. Bollettino ufficiale della Regione Emilia-Romagna" n. 56 del 17 aprile 2003.

D.M. 10 maggio 2001, *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei* (Art. 150, comma 6, del D.Les. n. 112 del 1998) G.U. (19 ottobre 2001), n. 244, S.O. 19 pp.

D.M. 11 novembre 2005, *Protocollo di intesa tra la direzione regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici della Toscana e La Regione Toscana*. (2005) 4pp.

Ghedini N., Ozga I., Bonazza A., Dilillo M., Cachier H., Sabbioni C., *Atmospheric aerosol monitoring as a strategy for the preventive conservation of urban monumental heritage: The Florence Baptistery*. Atmospheric Environment 45 (2011), 5979-5987.

Gysels K., Delalieux F., Deutsch F., Van Grieken R., Camuffo D., Bernardi A., Sturaro G., Busse H.J., Wieser M., *Indoor environment and conservation in the Royal Museum of Fine Arts, Antwerp, Belgium*. Journal of Cultural Heritage 5 (2004), 221-230.

Garcia-Diego F.J., Zarzo M., *Microclimate monitoring by multivariate statistical control: The renaissance frescoes of the Cathedral of Valencia (Spain)*. Journal of Cultural Heritage 1 (2010), 339-344.

Liu B., Chen X., Fang D., Perrone A., Pispas S., Vainoa N.A., *Environmental monitoring by thin film nanocomposite sensors for cultural heritage preservation*. Journal of Alloys and Compounds 504S (2010), S405-S409.

Mandrioli P., Sabbioni C., Bonazza A., De Nuntiis P., Guaraldi C., Ozga I., Pili F., *Indagini sulle condizioni ambientali del Camposanto di*

*Pisa: analisi microclimatiche*. Atti in " Il Camposanto di Pisa: un progetto di restauro integrato, Pisa, 6 -8 Marzo (2008), 59-64.

Nava S., Becherini F., Bernardi A., Bonazza A., Chiari M., García-Orellana I., Lucarelli F., Ludwig N., Migliori A., Sabbioni C., Udisti R., Valli G., Vecchi R., *An integrated approach to assess air pollution threats to cultural heritage in a semi-confined environment: The case study of Michelozzo's Courtyard in Florence (Italy)*. *Science of the Total Environment* 408 (2010), 1403-1413.

Ponziani D., Ferrero E., Appolonia L., Migliorini S., *Effects of temperature and humidity excursions and wind exposure on the arch of Augustus in Aosta*. *Journal of Cultural Heritage* 13 (2012), 462-468.

Saafi M., Romine P., *Preliminary evaluation of MEMS devices for early age concrete property monitoring*. *Cement and Concrete Research* 35 (2005), 2158-2164.

Sawdy A. & Price C., *Salt damage at Cleeve Abbey, England*. Part I: a comparison of theoretical predictions and practical observations. *Journal of Cultural Heritage* 6 (2004), 125-135.

Sedlbauer K., *Prediction of mould growth by hygrothermal calculation*. *Journal of Building Physics* 25 (2002), 321-336.

Sedlbauer K., Hofbauer W., Krueger N., Mayer F., Breuer K., *Material specific isopleth-systems as valuable tools for the assessment of the durability of building materials against mould infestation the "isopleth-traffic light"*. In: *Proceedings of the XII DBMC, International Conference on Durability of Building Materials and Components*. Porto, Portugal (2011), 8.

Thomson G., *The museum environment*. London: Butterworth-Heinemann. First edition, (1978).

Thompson G., *The Museum Environment*, 2nd Edition. (Butterworth-Heinemann Series in Conservation and Museology), Routledge, London, (1986).

UNI 10586, *Documentazione. Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti*, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano, (1997).

UNI 10829, *Beni di interesse storico e artistico - Condizioni ambientali di conservazione - Misurazione ed analisi*, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano, (1999).

UNI EN 15757, *Conservazione dei Beni Culturali - Specifiche concernenti la temperatura e l'umidità relativa per limitare i danni meccanici causati dal clima ai materiali organici igroscopici*, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano, (2010).

UNI EN 15758, *Conservazione dei Beni Culturali - Procedure e strumenti per misurare la temperatura dell'aria e quella della superficie degli oggetti*, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano, (2010).

UNI EN 16242, Conservazione dei beni culturali - Procedure e strumenti per misurare l'umidità dell'aria e gli scambi di vapore tra l'aria e i beni culturali, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano, (2013).

Zarzo M., Fernández-Navajas A., García-Diego F.J., Long-Term Monitoring of Fresco Paintings in the Cathedral of Valencia (Spain) through Humidity and Temperature Sensors in Various Locations for Preventive Conservation. *Sensors*. 11 (2011) 8685–8710.

## Approcci *low-cost* al monitoraggio microclimatico di ambienti confinati: il caso della Cripta di S. Francesco in Irsina (Matera)

*Maria Sileo, Fabrizio Terenzio Gizzi, Nicola Masini,  
Marilisa Biscione, Maria Pia Boccia*

### Riassunto

Il monitoraggio ambientale è uno dei principali strumenti di valutazione e diagnosi utilizzato per appropriate strategie finalizzate alla salvaguardia del Patrimonio Culturale.

Il sistema di monitoraggio è solo apparentemente uno strumento di facile utilizzo e gestione, in realtà esso nasconde diversi inconvenienti tra cui, ad esempio, i costi elevati di acquisto e manutenzione oltre ai costi legati alla gestione ed elaborazione dei dati. Ciò implica che l'adozione di tecnologie per il monitoraggio del Patrimonio Culturale è usualmente limitata allo studio di particolari monumenti o siti di peculiare interesse. Per accrescere l'utilizzo e la diffusione delle tecnologie per il monitoraggio microclimatico, all'interno del progetto PRO\_CULT è stata avviata un'attività di ricerca che ha come finalità la sperimentazione di tecnologie *low cost* applicate ai Beni Culturali. È stato effettuato, quindi, un confronto tra sistemi di monitoraggio a basso costo e tecnologie commerciali consolidate, utilizzando da un lato il sistema di Arduino, una piattaforma di prototipazione elettronica basata su *hardware open-source* e flessibilità del *software*, e dall'altro un prodotto commerciale standard.

L'obiettivo finale è di ridurre significativamente i costi di acquisto e gestione e favorire, quindi, l'applicabilità su larga scala dei sistemi di monitoraggio.

Per tale finalità, in questo lavoro è discussa l'analisi microclimatica comparata di due sistemi di monitoraggio in relazione ai problemi di degrado interessanti gli affreschi della Cripta di San Francesco d'Assisi a Irsina (Matera). L'articolo considera anche il confronto esteso ad un terzo sistema di acquisizione dati progettato e realizzato dal gruppo di ricerca del CNR-IBAM.

## 1 – Introduzione

Il monitoraggio ambientale è impiegato nel campo dei Beni Culturali in base alle diverse finalità di conservazione. In primo luogo, esso è considerato in vista della protezione di opere d'arte all'interno di grandi spazi come musei, palazzi e gli archivi (Camuffo *et al.*, 2001, 2002; Gysels *et al.*, 2004). In secondo luogo, è utilizzato per il controllo di ambienti che ospitano opere d'arte come affreschi, graffiti, ecc (Bernardi *et al.*, 2000, Becherini *et al.*, 2010, Garcia *et al.*, 2010).

Ogni tipo di opera d'arte richiede particolari condizioni climatiche di conservazione che dipendono essenzialmente dalla tipologia e caratteristiche fisiche del Bene Culturale.

Negli edifici o grotte ospitanti affreschi, ad esempio, alcune forme di decadimento molto frequenti come quelle indotte dalla presenza di sali solubili e agenti microbiologici sono strettamente associate alle condizioni climatiche interne. Pertanto, in musei ed edifici i parametri di temperatura ed umidità devono essere monitorati costantemente al fine di riconoscere le condizioni di rischio e stabilire soglie di allarme (Varas *et al.*, 2014).

A questo scopo nell'ambito del progetto PRO\_CULT, è stato realizzato il monitoraggio microclimatico nella Chiesa di San Francesco di Assisi ad Irsina, in provincia di Matera.

Il progetto prevede il controllo strumentale dei parametri ambientali principali (temperatura ambientale e delle superfici affrescate, umidità ambientale) attraverso sensori collegati ad un sistema di acquisizione locale (*data logger*) gestibile totalmente in remoto attraverso il segnale di telefonia mobile e la piattaforma *web*. È stato quindi definito un sistema di monitoraggio in continuo, che ha consentito la visualizzazione dei parametri in modalità *real-time* e l'elaborazione in continuo dei dati.

Oggi si sta sviluppando grande attenzione per le piattaforme *hardware low cost*, ma tali applicazioni per essere veramente di utilità nel campo del monitoraggio ambientale finalizzato alla conservazione devono trovare validazione attraverso il confronto con i sistemi tradizionali e tecnicamente consolidati esistenti in commercio.

Da tale comparazione può scaturire la possibilità di ridurre i costi di acquisto e, quindi, stimolare l'utilizzo dei sistemi di controllo

su larga scala. Il monitoraggio della Cripta di Irsina è stato eseguito, pertanto, contemporaneamente con due sistemi, quello commerciale (CS) e quello *low cost* (LC), cercando di valutare differenze ed analogie tra le due configurazioni *hardware* e *software*.

All'interno della Cripta di San Francesco è stato quindi installato un sistema commerciale fornito dalla *Techno-el*, ed un ulteriore sistema di monitoraggio a basso costo composto da tecnologie Arduino, una piattaforma di prototipazione elettronica *open-source* basata su *hardware* e *software* flessibili e di semplice utilizzo.

Questo secondo sistema, realizzato in collaborazione con la società Purpletech (<http://www.purpletechbv.com/>), è in grado di acquisire e gestire i dati ambientali tramite piattaforma "Arduino" collegata a sensori termo-igrometrici non di non elevata precisione, ma che presentano costi più accessibili rispetto ai tradizionali sistemi commerciali.

Il sistema Arduino è collegato in rete con un software *open-source* per la gestione dei dati in tempo reale.

Il sistema commerciale, composto da sensori con caratteristiche tecniche conformi alle normative vigenti, è stato fornito come indicato precedentemente dalla *Tecno-el*, azienda leader nel settore del monitoraggio ambientale che vanta ampia esperienza nel settore (Camuffo *et al.*, 2001, 2002; Bernardi *et al.*, 2000, Becherini *et al.*, 2010) e che attualmente cura la realizzazione e la gestione di numerosi sistemi di monitoraggio allestiti su importanti monumenti di Roma, Firenze e Lecce.

Il confronto di tali sistemi CS e LC è stato effettuato per la durata di circa un anno solare (Settembre 2013-Agosto 2014).

In tale arco cronologico si è aggiunta l'installazione, per un breve intervallo di tempo, del sistema di tracciabilità *zbSens*, munito di sensori ambientali.

Pertanto, è stato realizzato un confronto sulle tre differenti tecnologie (si veda *Un approccio operativo e a basso costo alla protezione del Patrimonio artistico: il sistema ZbSens, infra*). Il monitoraggio tramite il sistema LC è proseguito poi per altri sei mesi, fino a Febbraio 2015.

## 2 - La Cripta di San Francesco d'Assisi, Irsina (Matera): aspetti storici

La Chiesa di San Francesco d'Assisi fu fondata nei primi anni del 1100 (Mazzara, 1926), mentre la facciata attuale risale ai primi anni del 1700, come anche gli stucchi interni della chiesa.

La Cripta di San Francesco, che si trova sotto l'abside, originariamente faceva parte della zona basale di una torre quadrangolare di un castello normanno. La Cripta è sita nella parte absidale della chiesa, in particolare nella zona sottostante l'altare maggiore, ed ha una struttura portante in muratura con volta a botte ed è quasi interamente affrescata sia sulle pareti sia sulla volta stessa. Sulla parete orientale sono presenti due nicchie cieche, mentre sulla parete opposta una nicchia lascia adito alla scala di accesso dalla quale si accede all'attuale stanza-museo, anticamente adibita ad ossario.

La Cripta è illuminata da due finestre rettangolari, aventi accentuate strombature interne, disposte sui muri esposti a nord e a sud. Gli elementi architettonici presenti quali le arcate, la volta a botte e le monofore strombate, inquadrano la sua costruzione nel XIII secolo, ad eccezione della porta di accesso che si apre nella nicchia della parete occidentale e del frammento d'arco gotico rinvenuto nell'absidiola della seconda nicchia della parete occidentale, elementi questi, che risalgono al XIV secolo, epoca in cui fu affrescata la cappella.

Nata come oratorio francescano, nel Trecento fu scelta come cappella gentilizia dai Del Balzo che ebbero ad Irsina un ruolo fondamentale nella promozione di importanti imprese artistiche tra cui l'ideazione del ciclo pittorico, voluto da Margherita e da sua figlia Antonia, ritratte tra i personaggi raffigurati.

Nel XIX sec. la Cripta fu adibita ad ossario ed in tale occasione fu abbandonata e distrutta la vecchia scala e per accedervi fu aperta una breccia nel muro settentrionale della torre, distruggendo l'affresco e sopprimendo la finestra corrispondente, mentre quella meridionale subì un allargamento con notevoli danni per le limitrofe pitture. Entrambe le finestre sono state ora restituite al loro primitivo aspetto.

La scala originaria, ripristinata nella prima metà del Novecento con accesso dalla navata della chiesa soprastante, ha inizio dalla

porticina ogivale trecentesca che si apre nella nicchia sulla parete occidentale.

La Cripta fu riscoperta nel 1901 dallo storico locale Michele Janora e accuratamente descritta dalla contessa Margherita Nugent nel suo volume *Affreschi del '300 nella Cripta di San Francesco*, edito a Bergamo nel 1933 (Nugent, 1933).

Gli affreschi furono realizzati tra il 1370 e il 1373 e ad oggi sono attribuiti a maestranze della scuola senese (Mazzara, 1926, Nugent, 1933). L'analisi delle fonti documentarie e bibliografiche ha permesso di analizzare lo stato di conservazione ed i principali interventi di restauro che la Cripta ha subito dal 1926. Come si può evincere dal quadro sinottico in Tabella 1, durante il secolo scorso gli affreschi sono stati restaurati più volte, anche se i problemi di decadimento non sono mai stati adeguatamente risolti all'origine.

Prima dell'installazione dei sistemi di monitoraggio l'analisi dello stato dei luoghi (Febbraio 2013) ha posto in evidenza come la diffusione di forme di degrado sia tale da compromettere la conservazione a lungo termine della maggior parte degli affreschi. Pertanto, lo scopo del monitoraggio microclimatico è stato quello di individuare le cause della presenza di materiali biologici, sali, condensa o infiltrazioni di acqua, e di proporre una soluzione a lungo termine per una corretta conservazione delle opere d'arte.

### **2.1 Gli affreschi nella Cripta: analisi e datazione**

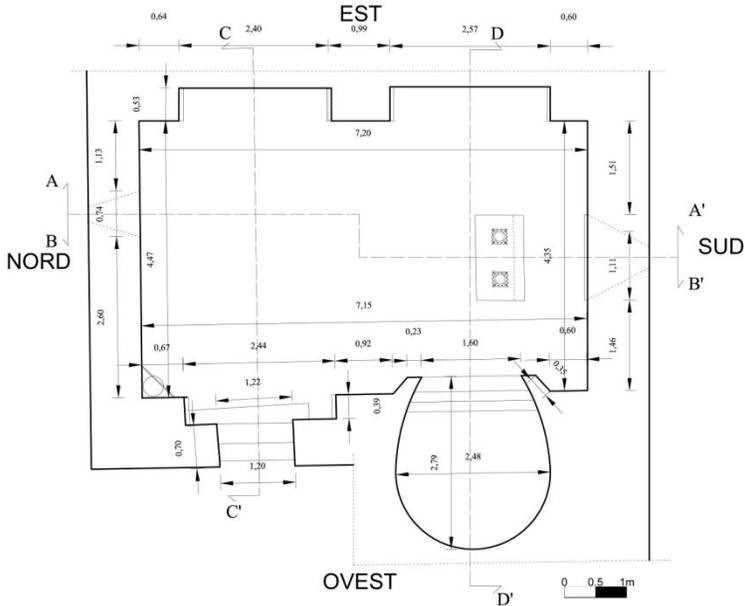
Lo studio storico-architettonico è stato condotto attraverso la consultazione di documenti preservati presso gli archivi della Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici della Basilicata e attraverso un rilievo architettonico che hanno consentito di redigere tavole tematiche dal punto di vista geometrico, architettonico e del degrado (Figura 1).

Dall'analisi documentaria emerge che molteplici sono gli influssi che agiscono sulle pitture montepelosane (Nugent, 1933), dalla scuola fiorentina alla senese e alla pisana, dalla napoletana a quella romana che, armonicamente fuse e mirabilmente amalgamate con le reminiscenze oltremontane e irlandesi presenti nella volta, rappresentano un saggio di tutte le correnti

pittoriche nazionali e internazionali che interessano la Napoli del XIV secolo.

<b><i>Periodo</i></b>	<b><i>Osservazioni - interventi</i></b>
<b>1926</b>	Affreschi ricoperti da fitto velo bianco (cristallizzazioni saline) presenza di insetti, intonaco con problemi di distacco, presenza di umidità, polvere e incuria (Mazzara, 1926)
<b>1927</b>	Restauro ad opera di Tullio Brizi, consolidamento degli intonaci e del colore, pulitura (Di Mase, 2004)
<b>1969-72</b>	Consolidamento strutturale alla volta e alle strutture esterne della Cripta (Di Mase, 2004)
<b>1971</b>	Presenza di insetti sugli affreschi (Di Mase 2004)
<b>1977</b>	Deterioramento a causa dell'umidità e rigonfiature dell'intonaco (Tataranno, 1995)
<b>1978-79</b>	Intervento di restauro, fissaggio degli intonaci pericolanti e della pellicola pittorica, indagini climatologiche dell'ambiente, saggi di pulitura e sezioni stratigrafiche, analisi sul contenuto di acqua superficiale e in profondità della natura dei sali (Di Mase, 2004)
<b>Post 1980 1981</b>	Danni lievi, nella zona adiacente la Cripta, le murature furono consolidate a mezzo di iniezioni di resine epossidiche al fine di evitare efflorescenze saline dannose per gli affreschi. Consolidamento degli intonaci tramite iniezioni di collante a freddo, fissaggio della pellicola pittorica e asportazione dei sali dalle superfici e pulitura estesa all'intera superficie dipinta, stuccatura delle lacune ed integrazioni pittoriche (Di Mase, 2004)
<b>1995</b>	Presenza di umidità e condensa nella Cripta, situazione statico-fessurativa preoccupante (Tataranno, 1995)
<b>1996</b>	Intervento di restauro, protezione delle facciate affrescate con alchilalcolosi silani idrofobizzati a penetrazione osmotica Consolidamento degli intonaci, risarcitura di lesioni, pulitura delle superfici pittoriche, fissaggio del colore, asportazione di più strati di sali carbonati. Lavori sospesi nell'aprile 1997 per interventi strutturali. (Di Mase, 2004)
<b>2004</b>	Fessurazioni e lesioni delle pareti, rischio che le pellicola pittorica si gonfino e cadano. (Di Mase, 2004)

**Tabella 1. Informazioni storiche sui problemi e gli interventi di restauro della Cripta di San Francesco desunte attraverso lo studio della documentazione reperita presso la Soprintendenza Belle Arti e Paesaggio della Basilicata**



**Figura 1. La Cripta di San Francesco d'Assisi in Irsina - Pianta quotata, Rilievo metrico**

La Cripta di San Francesco è ora completamente affrescata sia sulle pareti sia sulla volta.

Partendo dalla parete affrescata est, meno compromessa e più integra delle altre (Figura 2 - Parete est), i dipinti raffigurano l'immagine mite e dolente di San Francesco d'Assisi. Egli regge nella mano sinistra una croce e nella destra un libro chiuso da cerniere metalliche; indossa un saio grigiastro da cui spunta, in basso, una sottoveste bianca che all'epoca era indossata dai diaconi.

L'affresco adiacente mostra la scena della Presentazione di Gesù al Tempio, racchiusa in un'ampia nicchia cieca. Al centro di questa composizione, perfettamente simmetrica, rinveniamo il Tempio di Gerusalemme, rappresentato sotto forma di edicola con archi, pilastri, guglie e pinnacoli. Sotto l'edicola, Simeone è ritratto nell'atto di consegnare il piccolo Gesù purificato alla

Madonna che, a sinistra della composizione, è seguita da San Giuseppe e da un'altra figura femminile. Alla destra della raffigurazione, la profetessa Anna regge con la sinistra il cartiglio della profezia, parzialmente avvolto, mentre con la destra addita con fare solenne il cielo. Dietro di lei due sacerdoti barbuti chiacchierano animatamente. La composizione è racchiusa in una cornice decorata a motivi geometrici cosmateschi (Nugent, 1933).



**Figura 2. La Cripta di San Francesco d'Assisi in Irsina - Parete Est - Rilievo architettonico e immagine orto rettificata**

La Presentazione al Tempio può definirsi giottesca, per il rimando continuo al Maestro e alla sua arte. L'architettura dell'edicola scenograficamente funzionale ai personaggi, l'eloquenza e la spiritualità di questi ultimi, la disposizione simmetrica delle due parti in un crescendo centrale piramidale sono un evidente richiamo al grande pittore trecentesco. Si osservano anche elementi che richiamano fortemente l'arte senese di Duccio di Buoninsegna, come i panneggi a pieghe aguzze dei

vecchi sacerdoti conversanti alla destra del dipinto, le increspature delle labbra e il corrugare dei sopraccigli, i capelli e le barbe arricciati (Nugent, 1933).

A seguire, sul pilastro successivo al lunettone con la Presentazione al Tempio, si staglia, su un fondale scuro, la Crocifissione. La croce lignea è semplice, lineare, Cristo vi pende reclinando il capo sul petto e ricadendo con le braccia e con il busto in avanti. La tragicità della scena è visibile sul volto sofferente e nei due angeli, raffigurati in rapida discesa sul costato del Cristo. Ai piedi del Crocifisso siedono la Madonna e la Maddalena. Il tutto è racchiuso in una cornice a spina di pesce.

Quest'affresco è quello che più di tutti risente del carattere ibrido e provinciale, dato dalla fusione tra influssi senesi, giotteschi e pisani con sicuri richiami oltremontani, e dal travaso dal linearismo bizantino a quello gotico. Se il rilassamento e la muscolosità del corpo del Cristo lo qualificano come tipo nordico, lo scheletro lineare di sapore duecentesco e la bellezza stilizzata del volto, con le sopracciglia aggrottate e la bocca deformata, nonostante l'ondularsi tutto gotico della figura, richiamano lo stile nervoso ed energetico di Giunta Pisano.

Segue il lunettone in posizione sud est in cui è raffigurata l'Incoronazione della Vergine. Il fulcro della composizione è dato dalle figure di Cristo e della Madonna, sedute in primo piano su uno scranno e incorniciate da nove angeli festanti. Il Cristo, sul cui capo è posata una colomba nimbata simboleggiante lo Spirito Santo, è avvolto in un'ampia veste bianca ed è raffigurato nell'atto di posare una corona d'oro sul capo della Madonna vestita con un manto blu. Ai piedi della Vergine e del Cristo due angeli inginocchiati offrono due cesti di rose bianche, mentre tutto intorno alla scena sette angeli ricciuti e musicanti suonano il piffero, il liuto, la siringa pastorale, il violino e le *tibiae geminae*.

Nell'affresco con l'Incoronazione della Vergine un altro senese è chiamato in causa: Simone Martini. Certamente la Maestà dipinta da Simone, nel 1315, dovettero avere in mente i frescanti irsinesi quando dipinsero l'Incoronazione. Qui la figura goticamente più riuscita è sicuramente la Madonna, avvolta nelle linee ondulate dell'ampio mantello, mentre gli angeli genuflessi ai piedi della Vergine e del Cristo altro non sono che un pallido riflesso di quelli presenti nella Maestà di Simone.

L'intradosso dell'arco della nicchia a sinistra è affrescato con motivi ornamentali spiraliformi, mentre sul secondo trovano posto al centro il simbolico agnello e ai due lati due ritratti femminili.

Si tratta, probabilmente, di Margherita e Antonia Del Balzo, rispettivamente duchessa di Taranto e futura regina di Trinacria, madre e figlia, probabili committenti degli affreschi.

La decorazione della parete orientale termina con la raffigurazione di Santa Chiara. La nobile fanciulla di Assisi sembra in atto di camminare e reca nella destra la pisside con gli unguenti, ricoperta da un lungo velo bianco.

Questa figura ci riporta anch'essa a Simone Martini con l'abito elegante dalle pieghe aguzze di stampo duccesco.

Secondo la Nugent una certa grazia nell'atteggiamento della santa richiama Maria Maddalena dipinta da Simone nella chiesa inferiore di S. Francesco d'Assisi, pur non avendo di questa l'ovale delicato e raffinato.

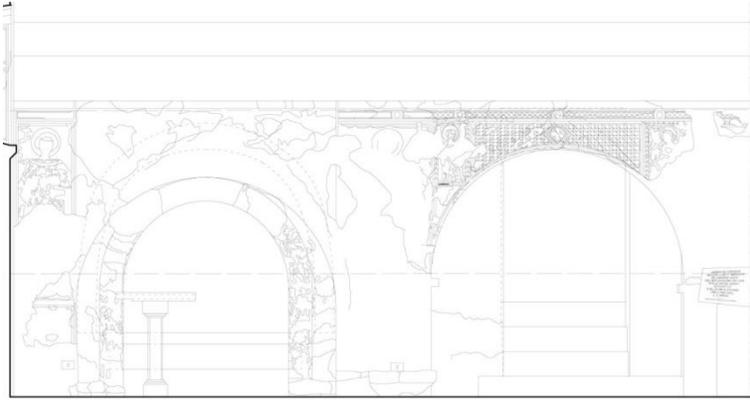
Sulla medesima parete, sopra gli archi delle nicchie, tra il ricco fogliame, sono ritratti i busti di quattro Dottori della Chiesa chiusi in cornici gotiche trilobate. Incominciando da sinistra si ha: Sant'Ambrogio, San Girolamo, San Gregorio Magno e Sant'Agostino.

Passando alla parete meridionale s'incontra l'immagine del Pontefice Urbano V, seduto frontalmente su un ricco trono che regge con la sinistra un vassoio contenente le teste dei Santi Pietro e Paolo. Il volto è totalmente illeggibile. In alto a sinistra campeggia il Volto di Gesù impresso sul velo della Veronica e a destra uno stemma gentilizio non identificabile.

Accanto al Pontefice, in basso sotto la finestra, si svolge l'Ultima Cena. Purtroppo, a causa della pressoché totale cancellazione dell'affresco, oltre al Cristo, contrassegnato dall'aureola, sono visibili solo alcuni apostoli, tra cui Giovanni che piange sul grembo di Gesù e Giuda inginocchiato, di spalle all'osservatore. Sullo sfondo della composizione sono presenti archetti ogivali e architetture gotiche.



Figura 3. La Cripta di San Francesco d'Assisi in Irsina - Parete Sud - Rilievo architettonico e immagine orto rettificata



**Figura 4.** La Cripta di San Francesco d'Assisi in Irsina - Parete Ovest - Rilievo architettonico e immagine orto rettificata

Nella parte superiore della parete meridionale, al disopra della finestra, trova posto un grande riquadro con l'Annunciazione, divisa in due da una banda verticale.

Del dipinto rimane, purtroppo, soltanto il lato sinistro, con un'edicola occupata dall'Arcangelo Gabriele genuflesso e benedicente, di fronte al quale doveva campeggiare l'Annunziata.

L'arte del Lorenzetti, assieme a quella di Simone e di Giotto, è riconoscibile nello splendido Angelo Annunciante, dal volto duro e dal collo taurino (Figura 3).

Passando alla parete occidentale si incontra, sul primo pilastro, la figura di Santa Elisabetta d'Ungheria, di cui è visibile, purtroppo, soltanto la parte superiore del corpo (Figura 4).

Di stampo seneseggiante, la santa ricorda per l'impostazione frontale della figura scultorea, oltre Duccio di Buoninsegna e Simone Martini, anche Ambrogio Lorenzetti.

Le due nicchie presenti su questa parete lasciano adito alla scala di accesso ed ad una Cripta ad arcosolio di schema quasi ovale e di destinazione sepolcrale.

Gli affreschi superstiti, ma comunque in pessime condizioni di conservazione (Santa Caterina e Sant'Antonio da Padova) si dispongono sulla superficie muraria soprastante la nicchia destra. Santa Caterina dall'Alessandria richiama la scuola napoletana di Pietro Cavallini, infatti, a detta della Nugent, riproduce pressoché fedelmente l'immagine di San Tommaso, affrescata dal Maestro nella chiesa di S. Maria Donnaregina a Napoli. Sant'Antonio da Padova ci riporta, come altri affreschi nella Cripta, a Simone Martini.

Circa due terzi degli affreschi della parete settentrionale sono andati distrutti a causa del varco di accesso praticato nel muro, in seguito richiuso e colorato con tinta neutra (Figura 5).

Vi rimangono soltanto due figurazioni riconoscibili, in alto, al disopra della finestra, il Transito della Madonna e in basso a destra, chiusa in un riquadro di architettura gotica, l'immagine di San Ludovico da Tolosa benedicente, con pastorale nella mano sinistra e corona posata a terra dall'altro lato.

Quest'ultima immagine ricorda l'omonimo santo raffigurato da Simone Martini nella predella del Polittico al Museo Civico di Pisa, soprattutto per la raffigurazione del pastorale terminante in un riccio a forma di testina di drago.



Figura 5. La Cripta di San Francesco d'Assisi in Irsina - Parete Nord - Rilievo architettonico e immagine orto rettificata

Nel Transito la Vergine, al centro della composizione in abito blu scuro, è distesa su un catafalco, mentre due angeli e i dodici apostoli, sei a sinistra, rovinati e illeggibili, e sei a destra le porgono l'ultimo saluto con smorfie di dolore sui loro visi. In basso è raffigurata la scena dell'Angelo che taglia le mani al demonio che, sotto le mentite spoglie di una donna, tenta di rapire l'anima della Vergine morente; in alto, perpendicolare alla Vergine, il Redentore, con indosso un drappeggiato pannello bianco, è pronto ad accogliere l'anima di Maria.

In questa raffigurazione, a detta della Nugent, l'arte del Cavallini è fortemente filtrata dalla romanità di cui sono pervase le figure e dalla drammaticità della scena, ancora frammista a qualche reminiscenza bizantina. Per la studiosa, cavalliniani sono i tipi degli apostoli presenti nel Transito, ma anche gli angeli e le figure presenti in tutto il ciclo: le Sante irsiniane Elisabetta e Maria Maddalena ricordano da vicino la Santa Caterina nello Sposalizio a S. Maria Donnaregina e il coro di angeli dell'Incoronazione richiama i paffuti putti suonatori di tromba degli affreschi cavalliniani di S. Cecilia in Trastevere e di S. Maria Donnaregina a Napoli.

Lungo ciascuna delle pareti maggiori della cappella, dove la volta a botte inizia ad incurvarsi, corre una cornice di dodici medaglioni intrecciati all'infinito, simbolo questo dell'eternità, in cui sono raffigurati da una parte i Patriarchi e i Profeti Maggiori (parete orientale, Figura 6), dall'altra i Profeti Minori (parete occidentale, Figura 7), che simboleggiano l'Antico Testamento.



Figura 6. Parete Est - Patriarchi e Profeti maggiori



Figura 7. Parete Ovest - Profeti minori

Ai quattro angoli, invece, racchiusi in cornici circolari lobate all'interno, vi sono i simboli dei quattro Evangelisti, che rappresentano il Nuovo Testamento. Alla destra di Dio Padre è S. Matteo, a sinistra c'è S. Marco, figurato in forma di leone alato. In

basso, a destra del Creatore, è il tondo con l'aquila nimbata simboleggiante S. Giovanni, che regge negli artigli un cartiglio recante le parole del Vangelo. L'ultimo tondo racchiude il simbolo di S. Luca, il bue alato.

Nel centro della volta a botte sovrasta la figura di Dio Padre, circondato da tanti cerchi concentrici multicolore, rappresentanti l'universo, sorretti da quattro angeli. Due, inginocchiati di profilo indossano una candida veste decorata con piccole doppie crocette nere, mentre gli altri due, inginocchiati frontalmente, con le ali spiegate e con le braccia flesse a sostenere dall'alto e dal basso l'immagine di Cristo, sono impreziositi da una veste scarlatta ricoperta da un ampio mantello drappeggiato (Figura 8).

L'impronta cavalliniana è presente nell'immagine di Dio Padre che risente, secondo la Nugent, di ben altri influssi che quelli nostrani fin qui illustrati: la raffigurazione del volto gigantesco e appiattito, l'intreccio ornamentale che lo lega ai simboli animaleschi degli Evangelisti e il suo essere rappresentato quale essere supremo, monumentale, al di sopra degli uomini, chiamano in causa, secondo la studiosa, la miniatura celto-irlandese che, con le sue figurazioni lineari e geometriche, si pone come l'antesignana del gotico irlandese, su cui si innesta il goticismo degli affreschi montepelosani.

Alla luce di queste considerazioni gli affreschi montepelosani vanno attribuiti in parte a frescanti di diretta ascendenza toscana, in parte ad artisti meridionali che hanno avuto rapporti, oltre che con modelli di scuola toscana, con altri di scuola romana e, soprattutto, con esemplari d'arte internazionale, della seconda metà del XIV secolo.

La datazione degli stessi non può che collocarsi tra il 1370 e il 1373. Il primo termine di questo arco temporale è giustificato dalla raffigurazione del Pontefice Urbano V - morto il 19 dicembre del 1370- con l'aureola di Santo, il secondo, invece, dalla rappresentazione in veste di nobile giovinetta "priva di corona" della committente Antonia Del Balzo, che diventerà regina nel 1373 appunto, sposando il re di Trinacria, Federico III.

Un elemento indiscutibilmente romanico è la una bassa banchina in muratura che correva lungo le pareti libere della Cripta, mentre sulla parete orientale, davanti al nicchione in cui è raffigurata l'Incoronazione della Vergine si elevava a formare una

specie di tronetto a due posti con davanti una breve piattaforma rettangolare per sostenere un inginocchiatoio (Nugent, 1933).

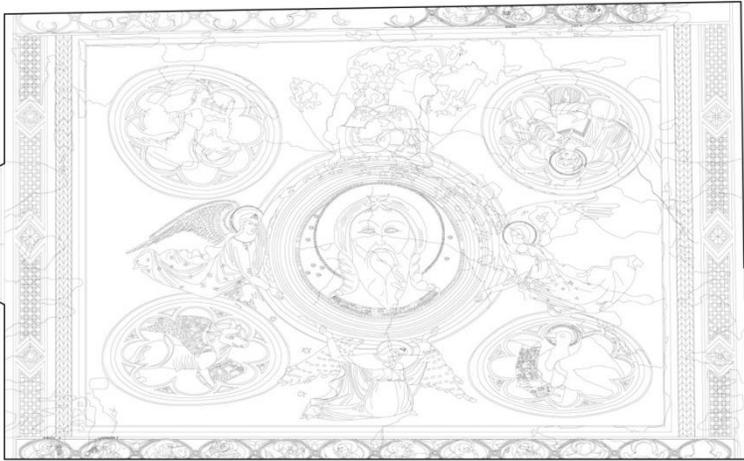


Figura 8. La Cripta di San Francesco d'Assisi in Irsina - La Volta - Rilievo architettonico e immagine orto rettificata

### 3 – Analisi del degrado e stato di conservazione

Allo stato attuale (Febbraio 2013), i problemi che riguardano gli affreschi possono essere raggruppati in tre categorie, distinguibili per la presenza di:

1. *materiali biologici* che si estendono localmente come patina scura sulle pareti degli affreschi a vari livelli sugli archi e lunette sulla parete est e discontinuo sulle pareti sud e nord;

2. *sali*, sottoforma di veli superficiali cristallini o aventi un aspetto polverulento con colore biancastro sulla maggior parte degli affreschi;

3. *fratture* sull'intonaco, sulle pareti ed in diversi punti che sembrano aver provocato il distacco dell'intonaco dal substrato murario.

I principali fattori di degrado della Cripta di San Francesco sono dovuti a diverse cause sia antropiche, che hanno trasformato, modificato e asportato vari elementi della Cripta, sia naturali con azione protratta nel tempo.

La valutazione puntuale dello stato di conservazione della cappella ipogea è stata realizzata mediante esame visivo, seguito da una documentazione fotografica, allo scopo di evidenziare i fenomeni di degrado presenti sui dipinti parietali.

Per indicare in dettaglio i differenti tipi di degrado è stata adottata la Normativa UNI 11182 (2006). Considerando tale classificazione, sono identificabili le seguenti forme di degrado (Figure 9-13):

- *Alterazione cromatica*, sullo sfondo blu della volta e sulle raffigurazioni delle ali degli Angeli che sorreggono da sinistra e dall'alto l'Eterno Padre, sullo sfondo della parete nord, in alto tra le rappresentazioni degli Apostoli e il Redentore.

- *Efflorescenze*, presenti su gran parte dei dipinti parietali. In particolare, sulla parete occidentale sopra gli archi delle due nicchie; sulla parete settentrionale, nella parte destra della raffigurazione del Transito della Madonna e nel riquadro ritraente San Ludovico da Tolosa; sulla parete meridionale e quella orientale nella loro quasi totalità ad eccezione delle immagini del Pontefice Urbano V, di San Francesco e Santa Chiara; sulla volta, in corrispondenza dell'Angelo disposto ad ovest, sulla riproduzione del volto di San Matteo e lungo le cornici decorate a

motivi geometrici cosmateschi collocate a nord e a sud. Tale degrado è inoltre presente in maniera ridotta su una parte dell'immagine del leone alato e nell'angolo nord-ovest tra la raffigurazione di San Matteo e quelle dei profeti e su alcuni medaglioni ritraenti questi ultimi.

- *Fratturazioni*, diffuse soprattutto lungo tutta la parete sud, prolungandosi nella struttura di copertura con una lesione che segue l'andamento della generatrice geometrica della volta, inoltre sulla porta d'ingresso gli affreschi mostrano numerose e marcate lesioni, particolarmente evidenti lungo l'architrave della parte puntellata e nel pilastro ad esso adiacente, nella nicchia ovest dove è ubicato il presepe e nella volta dove larghe lesioni hanno determinato distacchi e caduta dell'intonaco in diversi punti. Altre lesioni di notevole entità sono visibili sulla parete di fronte all'ingresso lungo il pilastro centrale, partendo dalla quota del pavimento e raggiungendo il centro della volta, nei due sottarchi delle due nicchie cieche della parete est.

Sulla parete posta a destra dell'ingresso sono presenti lesioni diffuse sulle raffigurazioni di Urbano V e dell'Ultima Cena, tra le quali alcune risarcite in un precedente restauro; sulla parete nord sono evidenti fessurazioni dalla quota del pavimento sino alla finestra, risalendo a sinistra verso la raffigurazione dell'Assunzione di Maria.

- *Lacune*, presenti lungo tutte le pareti della Cripta, soprattutto nelle parti basse e risarcite con malta a tinta neutra; la parete nord è interessata per due terzi da questo degrado e la restante porzione, cioè la porzione destra dell'immagine del Transito della Vergine e di San Ludovico da Tolosa evidenzia numerosi distacchi; sulla parete sud gli affreschi sono per metà non più esistenti, ad eccezione delle raffigurazioni dell'Arcangelo Gabriele e del Pontefice Urbano V, il cui volto però non è più morfologicamente leggibile.

La parete ovest è anch'essa interessata da lacune, ad eccezione della superficie muraria soprastante la nicchia di destra. Inoltre, nella porzione iniziale della volta a botte otto dei dodici medaglioni presenti sono completamente degradati. La perdita della pellicola pittorica è visibile anche sui due Angeli che sorreggono il Cristo, circondato da cerchi concentrici, anch'essi in parte deteriorati.



Figura 9. La Cripta di San Francesco d'Assisi in Irsina - Parete Nord - Mappatura del degrado su immagine orto rettificata

- *Macchie*, presenti in prossimità dei chiodi infissi sulle pareti affrescate, più precisamente due in corrispondenza della raffigurazione delle mani di San Ludovico da Tolosa ed una posta più a sinistra, verso la cornice del riquadro e tra il ricco fogliame sulla parete orientale, l'arco della nicchia sinistra e la cornice gotica che incornicia l'immagine di San Gregorio Magno. Tali manifestazioni cromatiche sono dovute a formazione di ossido di ferro idrato in ambiente umido e ossidante.



Figura 10. La Cripta di San Francesco d'Assisi in Irsina - Parete Sud - Mappatura del degrado su immagine orto rettificata

- *Mancanze* di elementi tridimensionali sono presenti sul fondo della nicchia che da adito alla porta di accesso, tra il primo gradino e il pilastro centrale, e sull'arcosolio dell'adiacente nicchia sepolcrale.

- *Scagliature* sono riscontrabili sulla parete est in corrispondenza della raffigurazione di Santa Chiara, più precisamente tra la pisside e il volto della santa e sulla cornice a

spiga di pesce più in basso e sulla parete sud alla sinistra della finestra e nella parte destra delle raffigurazione dell'Ultima Cena.



Figura 11. La Cripta di San Francesco d'Assisi in Irsina - Parete Ovest - Mappatura del degrado su immagine ortorettificata

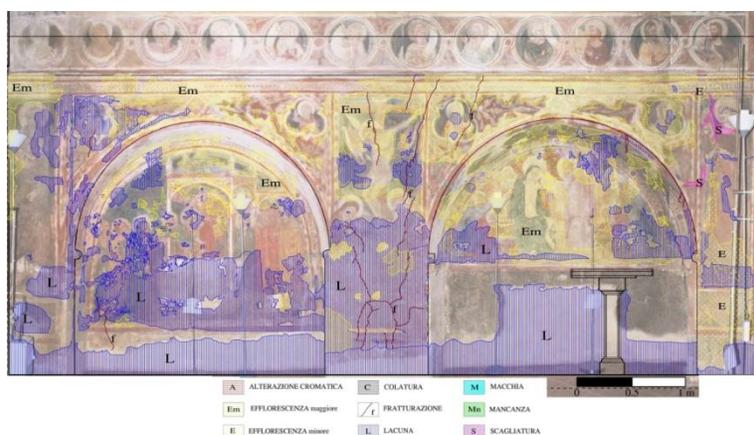


Figura 12. La Cripta di San Francesco d'Assisi in Irsina - Parete Est - Mappatura del degrado su immagine ortorettificata

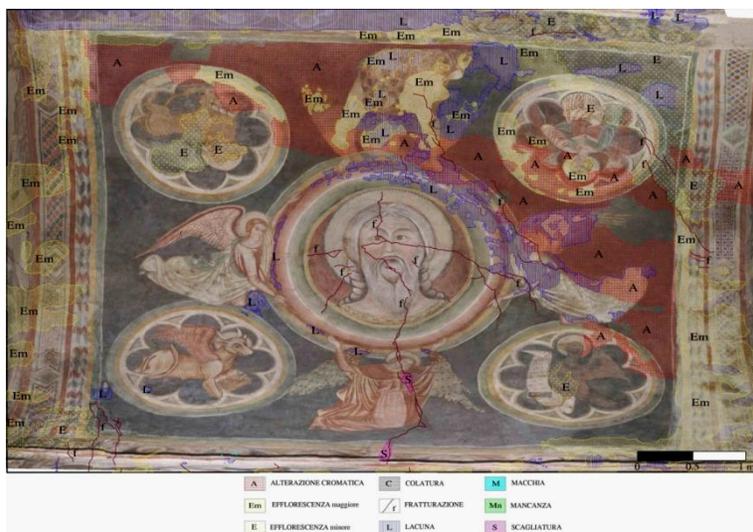


Figura 13. La Cripta di San Francesco d'Assisi in Irsina - Parete della Volta - Mappatura del degrado su immagine ortorettificata

#### 4 - Il sistema di monitoraggio: l'apparato sperimentale e la metodologia

Il monitoraggio termo-igrometrico ha avuto inizio il 5 settembre 2013 con l'installazione del sistema commerciale. Il rilievo è poi proseguito per un anno solare.

Nel mese di novembre 2013 è stato installato anche il sistema a basso costo, in modo da avere un *dataset* di dati su cui operare un confronto con il sistema CS. Tali sistemi hanno consentito l'acquisizione dei dati simultaneamente sino al 31 agosto 2014; nei mesi successivi la validazione del sistema *low cost* ha previsto un ulteriore periodo di acquisizione fino a Febbraio 2015.

Le caratteristiche strumentali dei sensori CS e LC sono riassunti nella Tabella 2.

I parametri termo-igrometrici sono stati quindi misurati, per successivi confronti, in sette posizioni diverse della Cripta mediante sensori sia CS sia LC.

	Parametri	Range di misura	Precisione	Ripetibilità	Tempo di acquisizione	Tempo di trasmissione e dati
CS	T °C	-40/+60 °C	+/-0.1 °C	+/-0.1 °C	5 min.	12 ore
LC	T °C	-55/+125 °C	+/-0.3 °C (-10/+30°C)	+/-0.3 °C	5 min.	In tempo reale
CS	RH %	0/100%	+/-0.8% (10-80%)	>0.5%	5 min.	12 ore
LC	RH %	0/100%	+/-2% (40/80%)	+/- 1%	5 min.	In tempo reale

**Tabella 2. Confronto tra le caratteristiche strumentali dei sensori dei sistemi CS e LC**

Il rilevamento della temperatura dell'aria e dell'umidità è stato eseguito in due punti, uno all'esterno dell'edificio sul lato nord (G, Figura 14) e l'altro al centro della Cripta ad un'altezza di circa 2,5 metri (A, Figura 14). Le altre cinque posizioni di misura riguardano la parete sud a due differenti altezze, 1,5 (B, Figura 14) e 2,5 metri (C, Figura 14) in corrispondenza delle superfici affrescate interessate dalla presenza di materiali biologici e fessure, altri sono stati localizzati sulla parete est all'interno delle due lunette, SE (D, Figura 14) e NE (E, Figura 14) dove i sali, materiali biologici e fessure sono frequenti. Infine, l'ultimo sensore è stato ubicato in corrispondenza della parete nord (F, Figura 14), ad un'altezza di circa 2,5 metri, in cui sono presenti materiali biologici, sali e fessure.

I dati delle condizioni termoigrometriche esterne e di precipitazione per il periodo di monitoraggio sono stati resi disponibili dall'Alsia (Agenzia Lucana di Sviluppo e di Innovazione in Agricoltura - Regione Basilicata, e provengono dalla stazione meteo di S. Maria D'Irsi (MT), ubicata a circa 7 chilometri dal centro urbano di Irsina. In aggiunta a tali dati, dalla fine di Maggio 2014, all'esterno della Cripta sono stati installati altri sensori ed in particolare un termo-igrometro, un anemometro per di rilevazione della velocità e orientazione del

vento ed un pluviometro per la rilevazione della quantità di pioggia. Tutti questi sensori sono stati interfacciati al sistema di monitoraggio LC.

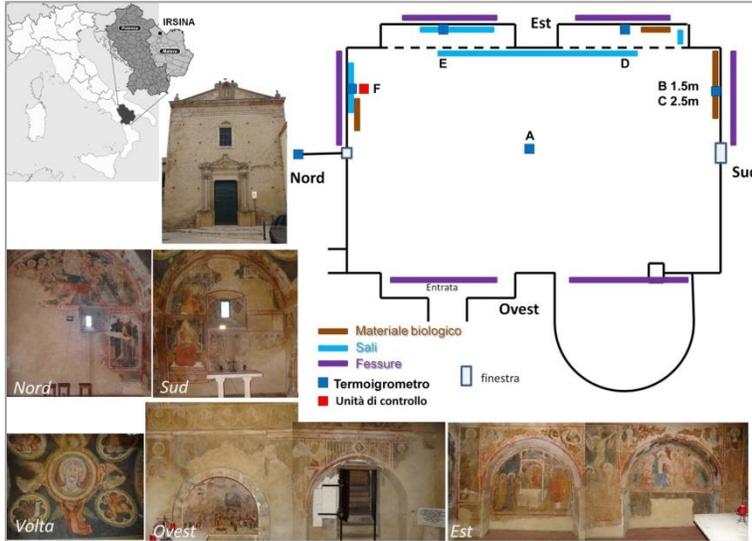


Figura 14. Gli affreschi della Cripta di San Francesco D'Assisi (Irsina) e la localizzazione schematica dei sensori relativi ai due sistemi di monitoraggio, CS e LC

#### 4.1 Confronto tra il sistema commerciale e quello a basso costo

##### 4.1.1 Affidabilità dei due sistemi di monitoraggio

Il confronto tra sistemi CS ed LC è stato effettuato valutando l'affidabilità *hardware* e *software*, il sistema di acquisizione e di trasmissione, la sicurezza dei dati, nonché la loro affidabilità.

Per quanto attiene l'aspetto *hardware*, entrambi i sistemi utilizzano *datalogger Wi-Fi* con differenze nel tipo di alimentazione e di consumo.

Il sistema CS utilizza 4 batterie alcaline stilo da 1,5 V (LR6, alcalina) che sono state sostituite ogni 2 mesi (1 mese in inverno). La ridotta durata delle batterie ha richiesto la realizzazione di un sistema di alimentazione più potente costituito da 4 torce da 1,5 V (LR20, alcalina) per sopperire alle continue sostituzioni rese necessarie nel periodo invernale. I *datalogger* del sistema LC sono invece alimentati con batterie al litio LiFePO<sub>4</sub> a lunga durata che hanno consentito un campionamento per oltre 5 mesi consecutivi, anche in condizioni ambientali non ideali.

Per quanto riguarda la trasmissione di dati, per il sistema CS i dati memorizzati dai *datalogger* sono stati inviati alla piattaforma web ogni 12 ore. La strategia d'invio dei dati due volte al giorno è stata adottata per preservare la durata delle batterie dei *datalogger*. Nel caso di mancanza di segnale UMTS-GSM, i dati erano memorizzati localmente nel sistema ed inviati durante la successiva connessione, con un *range* di sicurezza per l'acquisizione che mediamente ha consentito di immagazzinare dati anche per più di 20 giorni consecutivi. Al contrario del sistema CS, in quelli LC i dati raccolti sono stati trasmessi in tempo reale al sistema di acquisizione centrale senza immagazzinamento in locale.

Tale strategia presenta il vantaggio di una visualizzazione immediata dei parametri misurati anche se l'indisponibilità temporanea del segnale di telefonia UMTS può determinare una perdita di dati a causa della mancanza di memoria aggiuntiva (configurazione *hardware* necessaria per ridurre i costi, nei *datalogger*). Dall'esame dei dati nel periodo di monitoraggio emerge, tuttavia, che la mancanza di dati è un problema che si è manifestato in entrambi i sistemi. Per il sistema CS altro problema riscontrato è stato quello delle disconnessioni che hanno interessato due dei *datalogger* in diverse occasioni a causa della mancanza del segnale *Wi-Fi*, generando così differenti periodi di non-campionamento. D'altra parte il sistema LC, pur essendo influenzato dalle fluttuazioni del segnale UMTS, mostra una perdita solo occasionale di dati.

Per quanto riguarda l'affidabilità dei dati, i sistemi LC e CS mostrano dati di temperatura e umidità abbastanza simili per il periodo in esame, ci sono piccole variazioni dovute al differente

posizionamento dei sensori sulle pareti ed alla non sovrapponibile sensibilità strumentale tra i due sistemi.

#### 4.1.2 Risultati confronto dei dati termo-igrometrici CS e LC

Il monitoraggio microclimatico è iniziato nel mese di settembre 2013, con l'installazione del sistema CS. L'impianto LC è stato installato, invece, nel mese di novembre 2013. Ne deriva, quindi, che la comparazione tra i due sistemi è stata possibile per il periodo novembre 2013-agosto 2014.

Il monitoraggio ha coinvolto sei aree della Cripta in cui sono stati installati sensori per il rilevamento dei parametri dell'aria e delle superfici. In particolare, la temperatura e l'umidità dell'aria sono state rilevate nella posizione A, al centro della Cripta a circa 2 metri di altezza dal pavimento; nelle posizioni B, C, D, E e F sono stati installati termo-igrometri sulle superfici delle pareti affrescate (Figura 14). I dati campionati *indoor* sono stati correlati con quelli della stazione meteo ubicata a Santa Maria d'Irsi. Di seguito sono riportati i risultati di queste correlazioni.

La temperatura dell'aria all'interno della Cripta (posizione A, Figura 14), mostra un andamento in accordo con la temperatura dell'aria esterna, nell'intero periodo di monitoraggio.

Come atteso, tuttavia, l'ampiezza dei cicli termici giornalieri dell'aria interna è inferiore a quella esterna a causa dell'inerzia termica esercitata dalle pareti della Cripta.

Questo fattore è anche responsabile dello sfasamento temporale tra i valori di temperature più alte e più basse registrati all'interno e all'esterno della Cripta (Figura 15) (Martínez-Garrido *et al.*, 2013).

I dati di temperatura dei sistemi CS ed LC sono completamente sovrapponibili, piccole differenze si registrano nell'ordine di +/- 0,5° C. Il livello di temperatura media dell'aria all'interno della Cripta è generalmente superiore a quello esterno. Durante la notte, infatti, la temperatura dell'aria all'interno non diminuisce come all'esterno, a causa dell'inerzia delle pareti in pietra, quindi nonostante la piccola dimensione della Cripta, si osserva un accumulo graduale di energia e tale comportamento determina un livello termico all'interno della Cripta superiore rispetto a quello esterno.

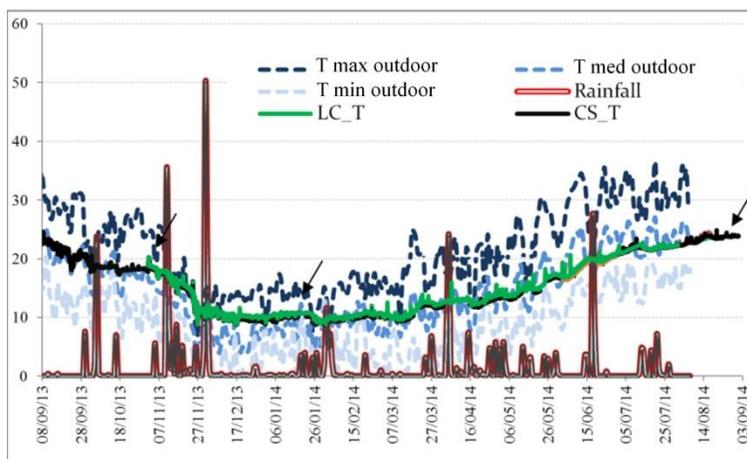


Figura 15. T min/med/max (temperatura esterna in °C), CS\_T e LC\_T (temperatura dell'aria al centro della Cripta in °C), Rainfall (mm). La prima freccia a sinistra indica l'inizio del periodo di monitoraggio attraverso il sistema LC; la seconda freccia indica la chiusura della finestra all'interno della Cripta e l'ultima freccia la fine del monitoraggio comparativo con l'apertura della finestra - Periodo di chiusura della finestra (17/01/2014-01/10/2014)

L'Umidità relativa (RH) all'interno della Cripta è molto variabile (Figura 16). In tutto il periodo esaminato assume valori compresi tra 38% e 88% (CS) (fino al 92% con il sistema LC), con escursioni giornaliere del 20%, generando così rilevanti *stress* sulle superfici affrescate. Tale variabilità è causata dalla fluttuazione dell'umidità relativa esterna (RH *outside*) ed inoltre dipende direttamente dalla quantità di precipitazioni ed è inversamente proporzionale alle oscillazioni di temperatura (Figura 16).

Per valutare i condizionamenti causati dalle variazioni di aereazione, durante il periodo di monitoraggio si è provveduto a chiudere la finestra posta nord a partire dalla fine di gennaio 2014. Tale circostanza sembra aver determinato una stabilizzazione dei valori di umidità a lungo termine, mentre variazioni percentuali seppur di minore entità si sono verificate in corrispondenza di eventi di pioggia considerevoli (maggiori di 20 mm) e tale dato indicherebbe che l'umidità elevata all'interno della Cripta

potrebbe essere causata da problemi di infiltrazione proveniente dall'esterno.

Tale ipotesi è supportata dalla constatazione che nel periodo antecedente alla chiusura della finestra l'andamento dell'umidità interna alla Cripta ha sostanzialmente seguito il *pattern* degli eventi pluviometrici e pur chiudendo la finestra nei mesi successivi a gennaio 2014 considerevoli aumenti si sono verificati solamente in corrispondenza di eventi di pioggia intensi o persistenti nel tempo.

Valutando i parametri termo-igrometrici dell'aria misurati in posizione centrale (A) nella Cripta si possono identificare lievi differenze tra i risultati ottenuti con i due sistemi di monitoraggio. Variazioni sistematiche della quantità di umidità relativa misurata si notano tra i sensori CS e LC, infatti generalmente LC\_RH assume valori sempre superiori di circa il 5% a partire da dicembre 2013 sino alla fine del monitoraggio annuale (agosto 2014) (Figura 17).

Per quanto concerne lo scambio interno/esterno dell'umidità relativa si nota che l'UR interna è direttamente influenzata dagli eventi di precipitazione; i valori di RH sono, infatti, direttamente correlati alle precipitazioni e inversamente relazionati alle temperature (Figura 17).

Questo comportamento è tipico di un ambiente aperto, dove i principali processi di scambio termico e di umidità sono regolati dalle condizioni esterne.

Il rapporto di miscelazione (*mixing ratio*) (CS\_MR e la curva LC\_MR in Figura 18, tra le misure al centro sala e vicino alle pareti (un esempio è riportato in Figura 18 (dati dalla parete Nord, TN) mostra valori relativamente elevati nel mese di novembre 2013, mentre i valori sono più bassi nel periodo successivo, fino a febbraio 2014.

Nei mesi successivi il valore del *mixing ratio* è notevolmente aumentato a causa dell'aumento di umidità nell'aria fino a raggiungere valori massimi ad Agosto 2014. Tali andamenti sono evidenti dai dati rilevati in ambedue i sistemi, con differenze costanti nei valori probabilmente dovute alla non coincidenza dei punti di misura e/o alla sensibilità dei due sensori di umidità.

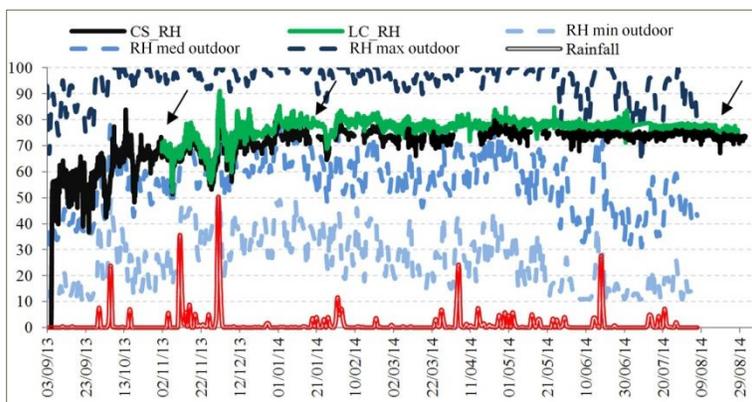


Figura 16. Umidità relativa dell'aria misurata al centro della Cripta (Posizione A, Figura 14) e comparata con quella esterna. RH min/med/max esterna (%); CS\_RH e LC\_RH (%); Rainfall (mm) (significato delle frecce come in Figura 15)

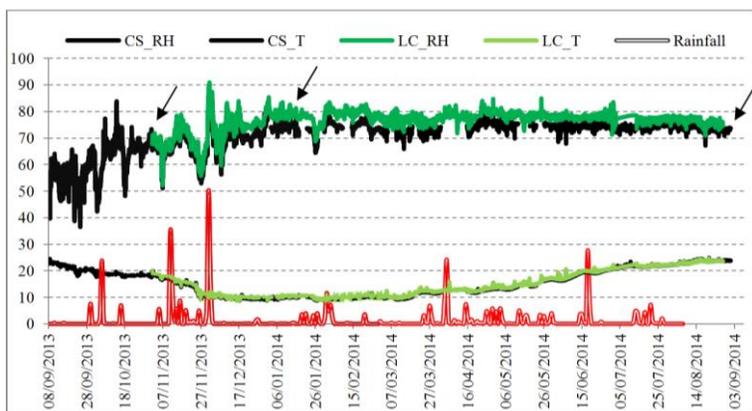


Figura 17. Condizioni termo-igrometriche al centro della Cripta per i sistemi CS ed LC (Posizione A in Figura 14; CS\_RH and LC\_RH (%); CS\_T and LC\_T (°C); Rainfall (mm))

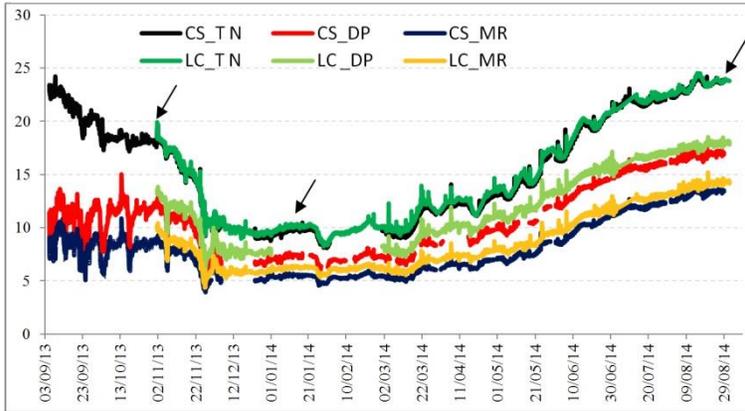


Figura 18. CS\_T N e LC\_TN rappresentano le temperature superficiali della parete nord (°C); CS\_DP e LC\_DP sono le curve teoriche del punto di rugiada (°C); CS\_MR e LC\_MR sono le curve dell'andamento della *mixing ratio*

Per identificare la comparsa di eventuale condensa sulla superficie dell'affresco sono state calcolate le curve teoriche della temperatura di rugiada (DP), e tale calcolo è stato effettuato per tutti i punti di misura superficiali, adottando la formula consigliata dalla norma UNI EN 16242 (2013). Un esempio è fornito dai risultati dei dati della parete nord, mostrati in Figura 18. Da tali curve è emerso che durante il periodo di monitoraggio non si sono verificati eventi di condensa poiché le pareti presentavano una temperatura sempre di  $2^{\circ}\text{C}$  al di sopra della curva teorica del punto di rugiada. Nonostante ciò, in occasione degli ingressi nella Cripta da parte di turisti si osserva un aumento della quantità di umidità più rapido rispetto alle variazioni di temperatura e tale fenomeno conduce le curve del *dew point* ad avvicinarsi pericolosamente alle curve di temperatura. La prosecuzione del monitoraggio col solo sistema LC ha effettivamente messo in luce, come si discuterà più innanzi, fenomeni di condensa, avvalorando di fatto quanto riferito verbalmente dai gestori della Cripta che sostengono di aver più volte notato la formazione di veli d'acqua sulle superfici dell'affresco.

Una considerazione va fatta sulla natura porosa degli intonaci e sulla presenza in superficie di velature di sali. La natura porosa superficiale può favorire, infatti, la formazione di condensa nei

micropori, anche a temperature superiori del DP (Camuffo 2014); inoltre la presenza di sali solubili nei materiali costituenti le pareti potrebbero aver determinato un abbassamento dei valori di umidità registrati dai sensori posti in superficie e aver provocato quindi un innalzamento della temperatura del DP. Ne consegue che la condensa può verificarsi all'interno dei micropori in condizioni normali in ambienti relativamente asciutti (Camuffo 2014) senza averne un riscontro strumentale diretto.

#### **4.2 Monitoraggio microclimatico: prosecuzione con il solo sistema LC**

Il monitoraggio microclimatico iniziato nel mese di settembre 2013, con l'installazione del sistema CS e nel mese di novembre 2013 con il sistema *low cost* LC è proseguito fino a agosto 2014 con la comparazione dei due sistemi, mentre a partire dal mese di settembre 2014 e fino a febbraio 2015 i dati acquisiti sono relativi esclusivamente al sistema LC.

Il sistema LC ha continuato ad acquisire i dati nelle sei aree della Cripta in cui sono stati posizionati i sensori, ed inoltre a partire da settembre 2014 è stato possibile anche acquisire i dati climatici esterni con la postazione localizzata al di fuori della parete nord, in corrispondenza della finestra della Cripta.

I dati campionati *indoor* sono stati correlati con quelli della stazione meteo ubicata sulla parete nord all'esterno della Cripta. Di seguito sono riportati i risultati dei parametri monitorati *indoor* e *outdoor* (Figura 19).

Dal grafico di Figura 19 delle temperature esterne e interne alla Cripta si evince che la temperatura dell'aria interna ha un andamento in accordo con la temperatura dell'aria esterna nell'intero periodo di monitoraggio.

Come anche mostrato nel precedente periodo di monitoraggio (settembre 2013-agosto 2014) l'ampiezza dei cicli termici giornalieri dell'aria interna è inferiore a quella esterna a causa dell'inerzia termica esercitata dalle pareti della Cripta.

Questo fattore è anche responsabile dello sfasamento temporale tra i valori di temperature più alte e più basse registrati all'interno e all'esterno della Cripta; inoltre tale sfasamento ha una breve durata a causa dell'apertura della finestra posta in posizione nord.

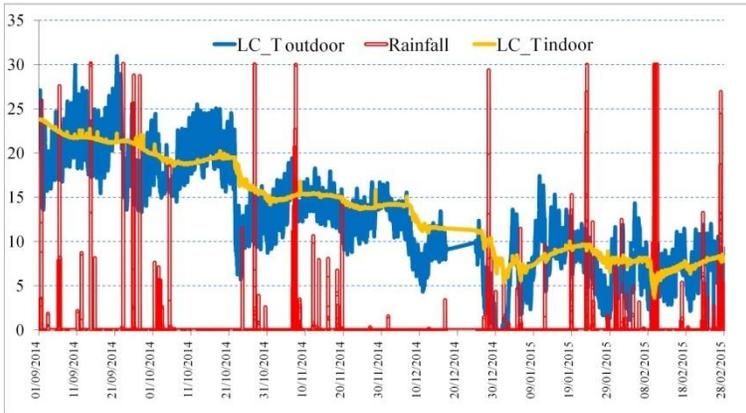


Figura 19. LC\_T esterno (temperatura esterna in °C), LC\_T interno (temperatura dell'aria al centro della Cripta in °C), Rainfall (mm)

Durante i periodi molto freddi (inizio febbraio 2015) la temperatura interna per alcuni giorni è stata considerevolmente bassa ( $<5^{\circ}\text{C}$ ) e tale situazione pone in serio rischio il Patrimonio artistico presente all'interno della Cripta. Nei periodi coincidenti con abbondante caduta di pioggia e basse temperature esterne si è verificata, inoltre, un abbassamento considerevole della temperatura interna. Tali fenomeni sono evidenti soprattutto nei mesi più freddi di gennaio e febbraio 2015.

L'Umidità relativa (LC\_UR, Figura 20) all'interno della Cripta mostra valori mediamente intorno al 77% ed un andamento regolare da settembre 2015 fino a metà ottobre 2015.

A partire da quest'ultimo periodo si ha un abbassamento considerevole della temperatura esterna che insieme alla più frequente saturazione dell'aria esterna ha determinato inizialmente un abbassamento dei valori di umidità e successivamente un andamento irregolare che si è protratto fino a febbraio 2015.

In quest'ultimo periodo i picchi di aumento dell'umidità sono correlati con gli eventi di pioggia. Nonostante l'andamento irregolare, la quantità media dell'umidità è rimasta su livelli al di sopra della soglia di sicurezza (65%) e pertanto durante tutto il

periodo esaminato è possibile che si generino elevati *stress* sulle superfici affrescate.

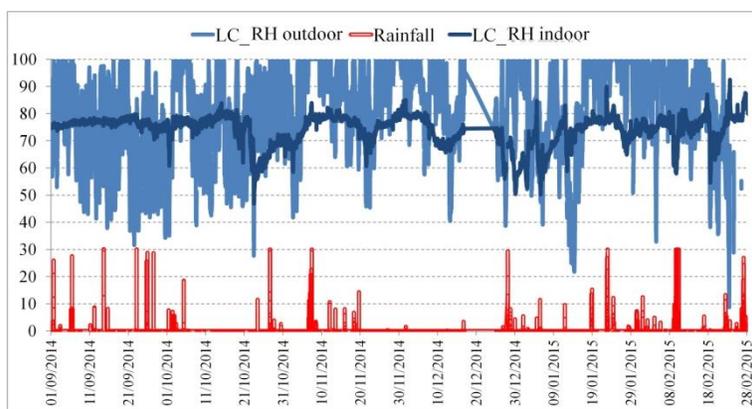


Figura 20. LC\_RH esterno (umidità relativa esterna in %), LC\_RH interno (umidità relativa dell'aria al centro della Cripta in %), Rainfall (mm di pioggia)

Per quanto concerne lo scambio interno/esterno dell'umidità relativa, si nota che l'UR interna è sempre direttamente influenzata dagli eventi di precipitazione: la curva di umidità interna è, infatti, direttamente correlata agli eventi di precipitazione e inversamente all'andamento della temperatura interna (Figura 21).

Il rapporto di miscelazione (*mixing ratio*) (curva LC\_MR in Figura 22) tra le misure al centro sala e vicino alla parete nord mostra valori relativamente elevati nel mese di settembre 2015 ed un andamento in diminuzione nei mesi successivi, fino a febbraio 2015.

Per identificare l'eventuale comparsa di condensa, analogamente a quanto fatto per il periodo di osservazione congiunta LC e CS, sono state calcolate le curve teoriche della temperatura di rugiada (DP).

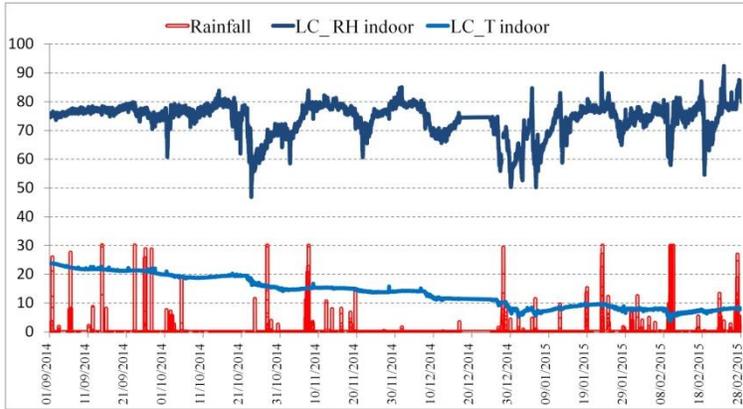


Figura 21. Condizioni termo-igrometriche al centro della Cripta (LC\_T in °C, LC\_RH in %, Rainfall, mm)

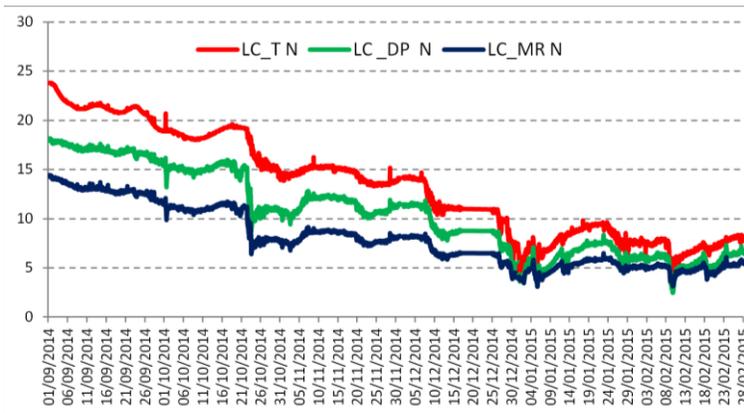


Figura 22. LC\_TN rappresenta la curva delle temperature superficiali della parete nord (°C); LC\_DP N la curva teorica del punto di rugiada (°C); LC\_MR N è la curva della mixing ratio

Dai risultati della parete nord (Figura 22), emerge che nonostante il contenuto di acqua totale si abbassi notevolmente nel periodo invernale, in determinati periodi la temperatura superficiale "LC\_T N" raggiunge un livello tale da toccare la curva

teorica del *dew point* "LC\_DP N" soprattutto nel periodo più freddo che ha caratterizzato la fine del mese di dicembre 2014-inizio gennaio 2015 e la fine di gennaio e la prima decade del mese di febbraio 2015. In tali periodi, la temperatura superficiale è tale da determinare condensa sulla parete, fenomeno non verificato nel ciclo precedente di monitoraggio che ha visto la comparazione dei due sistemi LC e CS. È solamente in quest'ultimo periodo analizzato che le sfavorevoli condizioni termoigrometriche esterne ed interne hanno determinato le condizioni predisponenti alla formazione di condensa sulle pareti affrescate.

In conclusione il monitoraggio effettuato nell'ultimo semestre ha dimostrato la validità dei sistemi *low cost* per il monitoraggio dei parametri ambientali e pertanto tale sistema potrebbe essere applicato in altri siti per validare ulteriormente la sua affidabilità.

#### 4.3 Confronto e affidabilità tra i sistemi CS, LC e *zbSens*

Nell'ambito del progetto Procult è stato parallelamente ideato e realizzato il prototipo *zbSens*, un sistema *low cost* pensato e progettato per la tracciabilità dei beni artistici mobili. Tale sistema oltre ad essere dotato di sensori per la localizzazione geografica, include anche dispositivi per il rilevamento dei parametri ambientali. (si veda *Un approccio operativo e a basso costo alla protezione del Patrimonio artistico: il sistema ZbSens, infra*).

Considerando il carattere prototipale del sistema si è reso necessario una validazione dei sensori per il monitoraggio ambientale<sup>1</sup>. Si è optato, quindi, per la comparazione, sempre nella Cripta di S. Francesco d'Assisi in Irsina, tra l'acquisizione dei dati termo-igrometrici di *zbSens* con quelli dei sistemi LC e CS. Le dimensioni alquanto ridotte dei sensori *zbSens*, insieme ai costi contenuti di realizzazione, rendono il sistema da un lato poco invasivo e quindi adatto all'inserimento in ambienti interamente affrescati, dall'altro evidenziano la loro utilità nei casi di analisi preliminare e speditiva del contesto ambientale.

I risultati di seguito riportati sono stati elaborati sulla base dei dati di temperatura (T) ed umidità relativa (RH) trasmessi dai tre sistemi di monitoraggio installati nella Cripta. L'intervallo di tempo considerato è compreso dalle ore 12:00 (ora italiana) del 26 settembre alle ore 9:10 (17:00 per i sensori *zbSens*) del 1 ottobre

2014. La localizzazione dei 5 datalogger *zbSens* è riportata in Figura 23.

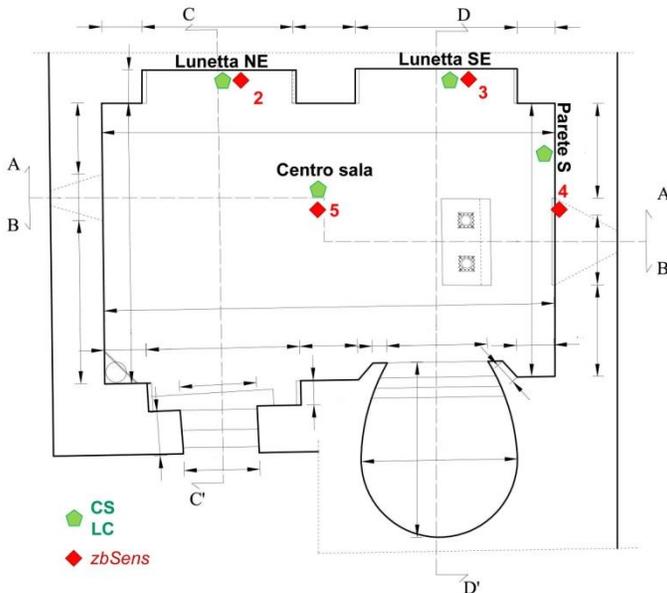


Figura 23. Localizzazione dei sensori CS, LC e *zbSens*

Nella tabella 3 sono riportati i valori medi registrati nel periodo di riferimento. Da essa si osserva una pressoché completa sovrapposizione dei valori riguardanti la temperatura, invece, per quanto riguarda l'umidità relativa misurata, si osservano differenze trascurabili tra i sensori dei tre sistemi.

Per quanto riguarda i valori istantanei di temperatura, pur rilevando andamenti omogenei, i dati mostrano lievissime differenze ( $-0.26$  °C per CS-LC;  $-0.19$  per CS-*zbSens*;  $0.07$  LC-*zbSens*) tra il sistema commerciale ed i due sistemi *low cost* (Figure 24, 25). In merito all'umidità relativa - generalmente LC\_RH assume valori sempre superiori di una quantità fissa mediamente intorno al 3.0% rispetto a CS;

- i sensori *zbSens*\_RH registrano valori sistematicamente maggiori di una quantità fissa non inferiore mediamente allo 0.6% rispetto al sistema LC;

- i sensori *zbSens\_RH* registrano valori sistematicamente maggiori di una quantità fissa non inferiore mediamente al 3.7 % rispetto al sistema CS.

Parete Sud			Parete Nordest		
	T media (°C)	RH media (%)		T media (°C)	RH media (%)
CS_S 2.5	20.22	72.81	CS_NE	19.88	72.19
LC_S 1.5	20.37	76.65	LC_NE	20.20	75.05
zbSens 4	20.35	77.87	zbSens 2	19.99	76.09
CS- LC	-0.15	-3.85	CS- LC	-0.32	-2.86
CS-zbSens	-0.12	-5.07	CS- zbSens	-0.11	-3.90
LC-zbSens	0.03	-1.22	LC- zbSens	0.21	-1.04

Parete Sudest			Centro sala		
	T media (°C)	RH media (%)		T media (°C)	RH media (%)
CS_SE	19.90	71.80	CS_CS	20.15	73.21
LC_SE	20.24	75.23	LC_CS	20.39	75.13
zbSens 3	20.28	75.97	zbSens 5	20.32	74.73
CS- LC	-0.34	-3.44	CS- LC	-0.24	-1.92
CS-zbSens	-0.38	-4.18	CS- zbSens	-0.17	-1.53
LC-zbSens	-0.04	-0.74	LC- zbSens	0.07	0.39

Tabella 3. Risultati delle rilevazioni di temperatura e umidità (media), e differenze tra le tre tecnologie adottate

Le lievi variazioni tra i sistemi CS, LC e *zbSens* sono probabilmente da attribuire alla diversa calibrazione di partenza ed alla non perfetta coincidenza del posizionamento dei sensori di questi tre sistemi (posti a contatto con la superficie affrescata in punti differenti della stessa porzione di affresco).

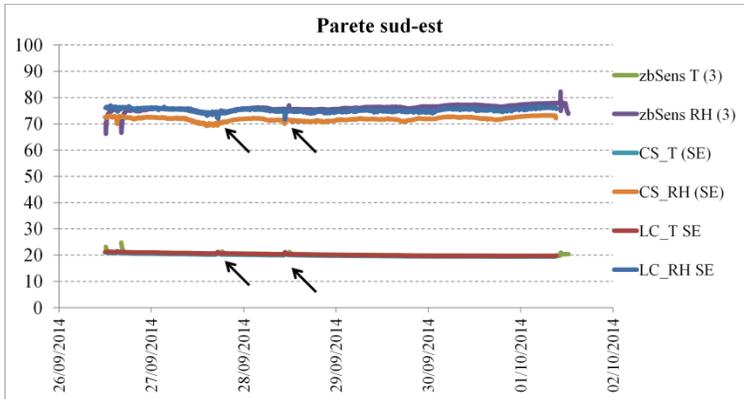


Figura 24. Curve termoigrometriche di confronto tra CS, LC e *zbSens* - Parete sud-est (per la localizzazione dei sensori vedasi Figura 23, i picchi positivi di temperatura e negativi di umidità indicati sul grafico dalle frecce sono da attribuire alla presenza di turisti all'interno della Cripta

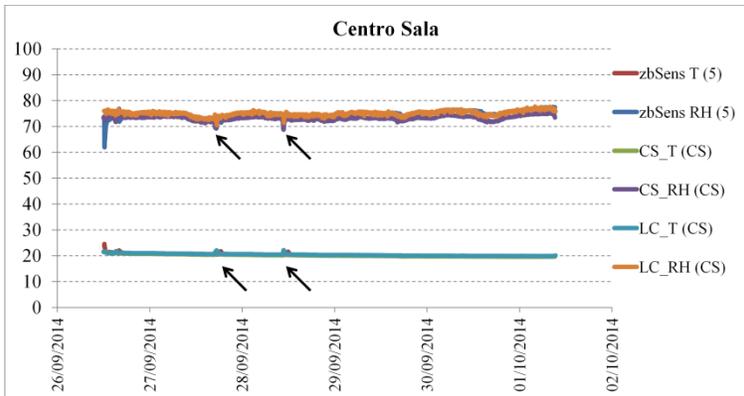


Figura 25. Curve termoigrometriche di confronto tra CS, LC e *zbSens* - Centro Sala. I picchi positivi di temperatura e negativi di umidità indicati sul grafico dalle frecce sono da attribuire alla presenza di turisti all'interno della Cripta

A prova di ciò, tale differenza è minima se si osservano i dati di umidità relativa dell'aria al centro sala (dove i sensori non sono posizionati a contatto di alcuna superficie). Tali risultati, pur se ristretti temporalmente, sembrano confermare, quindi, la validità dei sensori *low cost zbSens* anche per il monitoraggio dei parametri ambientali.

## 5 - Conclusioni e prospettive

Dopo quasi due decenni dall'ultimo intervento di restauro, le condizioni di conservazione degli affreschi della Cripta di San Francesco d'Assisi in Irsina destano una certa preoccupazione.

La situazione attuale è caratterizzata da numerose e marcate lesioni diffuse sia nelle strutture murarie verticali sia nelle strutture ad arco che compromettono parzialmente la staticità della Cripta. Le efflorescenze determinate dal fenomeno della deliquescenza/ricristallizzazione dei sali solubili veicolati dall'umidità, probabilmente derivante da infiltrazione, sono così diffuse nella maggior parte delle pareti che è necessaria una pulitura/asportazione della velatura salina. Inoltre, alcune porzioni d'intonaco sono distaccate soprattutto nelle pareti nord e sud a causa della presenza di fratture e tale situazione suggerisce la necessità di un intervento di consolidamento.

Durante il rilievo effettuato esternamente all'edificio della chiesa, nella zona dell'antica torre normanna che coincide con la Cripta, è stata rilevata l'assenza di canalette di scolo delle acque superficiali al tetto della struttura. Inoltre, la muratura dal lato esterno della Cripta è caratterizzata dalla presenza di due riseghe orizzontali posizionate a due altezze intermedie e su cui l'acqua piovana tende a ristagnare, infiltrandosi all'interno. Tali evidenze rafforzano l'ipotesi che la causa dell'eccessiva umidità delle murature e dell'ambiente interno della Cripta sia direttamente collegata agli eventi di pioggia, in accordo con le osservazioni e le deduzioni derivanti dal monitoraggio.

Il controllo strumentale nella Cripta ha fornito la base informativa necessaria a valutare le relazioni causa-effetto tra *pattern* ambientali e di degrado. Dai risultati ottenuti nei diciotto mesi di monitoraggio si evince che i parametri termoigrometrici hanno assunto valori variabili spesso esterni al *range* consigliato dalle norme per una buona conservazione degli affreschi ( $10^{\circ}\text{C} < T < 24^{\circ}\text{C}$ ;  $45\% < UR < 50\%$ ). Il monitoraggio ha anche evidenziato come si siano verificati diversi eventi di condensa sulle superfici affrescate. Una soluzione per rallentare il degrado può essere, quindi, quella di installare un sistema di climatizzazione (riscaldamento/umidificazione) e controllo dei parametri

ambientali all'interno della Cripta che mantenga le condizioni ambientali interne nel *range* di sicurezza.

Da un punto di vista dell'approccio metodologico seguito, la comparazione preliminare dei dati rilevati dai tre differenti sistemi sembra non evidenziare sostanziali differenze tra i sistemi LC e CS, facendo emergere la potenzialità dei sistemi a basso costo per il monitoraggio estensivo dei Beni Culturali.

Tali prime conclusioni dovranno essere confermate, tuttavia, da monitoraggi a lungo termine in differenti contesti antropico-ambientali. A tal riguardo, nell'ambito delle attività di prosecuzione del Progetto PRO\_CULT, è in corso il monitoraggio microclimatico nella Chiesa di S. Maria degli Angeli a Calvello. Il prototipo sviluppato dall'IBAM sarà validato in maniera comparata con un sistema di misura dei parametri termigrometrici all'interno delle murature messo a punto dal CSIC-IGEO di Madrid, partner di PRO\_CULT. In futuro si prevede di continuare lo sviluppo di tali tecnologie per renderle sempre più economiche e facili da gestire, oltre che interfacciabili con sistemi di misura outdoor, a terra e/o su piattaforma satellitare, con l'obiettivo di creare sistemi a rete per il monitoraggio di manufatti storici e beni culturali di una città.

## Note

<sup>1</sup> Le caratteristiche dei sensori *zbSens* sono di seguito riportate: Temperatura: sensibilità 0.04°C; intervallo di misura da -40°C a 85°C; accuratezza: 0.3°C. Umidità: sensibilità 0.2 %; intervallo di misura da 0% a 100%; accuratezza +/- 2%.

## Bibliografia

Becherini F., Bernardi A., Frassoldati E., *Microclimate inside a semi-confined environment: Valuation of suitability for the conservation of heritage materials*, Journal of Cultural Heritage 11 (2010), 471-476.

Bernardi A., Todorov V., Hristova J., *Microclimatic analysis in St. Stephan's church, Nessebar, Bulgaria after interventions for the conservation of frescoes*, Journal of Cultural Heritage 1 (2000), 281-286.

Camuffo D., *Microclimate for Cultural Heritage: Conservation, Restoration, and Maintenance of Indoor and Outdoor Monuments*, Elsevier (2014), 560 pp.

Camuffo D., Van Grieken R., Busse H-J., Sturaro G., Valentino A. Bernardi A., Blades N., Shooter D., Gysels K., Deutsch F., Wieser M., Kim O., Ulrych U., *Environmental monitoring in four European museums*, Atmospheric Environment 35 Supplement No. 1 (2001), S127-S140.

Camuffo D., Bernardi A., Sturaro G., Valentino A., *The microclimate inside the Pollaiuolo and Botticelli rooms in the Uffizi Gallery. Florence*, Journal of Cultural Heritage 3 (2002) 155-161

Nugent M., *Affreschi del '300 nella Cripta di San Francesco, Bergamo (1933)*.

Di Mase B., *Irsina (MT) - Chiesa di San Francesco D'Assisi - affreschi della Cripta*, Servizio documentazione, Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici della Basilicata, (2004).

Garcia-Diego F.J., Zarzo M., *Microclimate monitoring by multivariate statistical control: The renaissance frescoes of the Cathedral of Valencia (Spain)*, Journal of Cultural Heritage 1 (2010), 339-344.

Gysels K., Delalieux F., Deutsch F., Van Grieken R., Camuffo D., Bernardi A., Sturaro G., Busse H.J., Wieser M., *Indoor environment and conservation in the Royal Museum of Fine Arts, Antwerp, Belgium*, Journal of Cultural Heritage 5 (2004), 221-230.

Martínez-Garrido M.I., Aparicio S., Fort R. Anaya JJ., Izquierdo M.A.G., *Effect on solar radiation and humidity on the inner core of walls in historic building*, Construction and Building Materials 51 (2014) 383-394.

Mazzara M.S., *Le pitture Quattrocentesche e Francescane di Irsina in Lucani*, Soprintendenza per le antichità e l'arte del Bruzio e della Lucania\_ Reggio di Calabria\_ Salvatore Marino Mazzara, (1926) 11pp.

Nugent M., *Affreschi del Trecento nella Cripta di S. Francesco ad Irsina*, Istituto Italiano d'Arti Grafiche, (1933), 79 pp.

Tataranno A., *Relazione "Cripta di S. Francesco - Irsina. Servizio documentazione*, Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici della Basilicata (1995).

UNI 1182, *Beni culturali, Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni*, (2006).

UNI EN 16242. *Conservazione dei beni culturali - Procedure e strumenti per misurare l'umidità dell'aria e gli scambi di vapore tra l'aria e i beni culturali*, (2013):

Varas-Muriel M.J., Martínez-Garrido M.I., Fort R., *Monitoring the thermal-hygrometric conditions induced by traditional heating systems in a historic Spanish church (12th-16th C)*, Energy and Building Journal 75, (2014), 119-132.

## Metodologie ultrasoniche per la diagnostica del Patrimonio Culturale: sperimentazioni in laboratorio

*Beatrice Giuzio, Nicola Masini, Manuela Scavone,  
Monica Álvarez de Buergo, Emilia Vasanelli*

### Riassunto

Le Prove ultrasoniche rappresentano uno degli strumenti di valutazione e di diagnosi del degrado utili per la conoscenza e conservazione dei Beni Culturali. Le metodologie ultrasoniche sono oggi applicate ai Beni Culturali grazie al loro sviluppo dapprima in ambito bellico e medico, fino ad arrivare poi nei cantieri e nei laboratori. Sotto la spinta di elevati interessi tecnico-economici, in particolare nel campo aeronautico, navale e delle prospezioni minerarie profonde, le metodologie di indagine diagnostica basate sull'impiego di onde elastiche di vibrazione, per l'analisi, verifica e studio, di materiali particolarmente trasparenti alle vibrazioni, quali i metalli e i tessuti organici, hanno avuto un rapidissimo sviluppo. Lo stesso non si può dire per i materiali meno trasparenti alle onde di vibrazione, quali ad esempio calcestruzzi, malte, pietre, legni e murature, (caratterizzati essenzialmente da una notevole intrinseca disomogeneità interna) il cui sviluppo è stato più tardo e decisamente più lento negli avanzamenti rispetto a quanto avvenuto per i mezzi trasparenti. La causa di ciò non può imputarsi ad una minore esigenza immediata da parte di possibili fruitori, quanto alle maggiori difficoltà e le grosse problematiche, sia teoriche che tecnologiche, create proprio dalle disomogeneità intrinseche del materiale poco propenso a farsi attraversare dall'onda. Il settore della diagnostica ultrasonica, applicata ai materiali lapidei, è ancora in fase di costruzione, dunque, e con questo lavoro di sperimentazione in laboratorio, intervenendo sulle diverse variabili che caratterizzano le prove, ci si propone di fornire un tassello in più per la comprensione delle potenzialità di questa metodologia.

## 1 – Introduzione

Nel corso dei secoli si è costatata una profonda evoluzione del concetto di definizione e conservazione di un bene culturale: si è passati dall'idea di doverne preservare la funzione originaria, a quella di dover tutelare il suo ruolo di testimonianza di una civiltà. Il restauro si è trasformato, così, da semplice intervento di ripristino funzionale, in restauro conservativo, volto a preservare, oltre all'integrità del manufatto, anche il suo contenuto storico-artistico di memoria collettiva (Mercuri *et al.*, 2010). Si configura, dunque, un rapporto dialettico fra le diverse istanze, che si risolve, di volta in volta, attraverso un processo di valutazione storico-critica in cui conoscenze storiche e competenze tecnico-scientifiche, in definitiva, non sono considerate variabili indipendenti ma un *unicum* di competenze, in continuo dialogo tra loro, appannaggio dell'azione restaurativa.

Un bene culturale viene, così, inquadrato grazie ad una conoscenza storica e valoriale e ad una conoscenza materica, che considera le tipologie costruttive, i materiali costitutivi, ma anche la sua integrità e le proprietà chimico fisiche; per questo, a supporto degli studi storico-artistici, si affiancano indagini scientifiche che combinati forniscono dati preziosi per la collocazione territoriale e temporale della manifattura di un bene artistico e archeologico, contribuendo alla cognizione delle sue vicende storiche. La volontà di questo tipo di inquadramento informativo si definisce attraverso indagini diagnostiche che consentono una valutazione dello stato di conservazione del manufatto e un'analisi dei processi di deterioramento dei materiali costituenti.

La diagnostica, infatti, "se un tempo veniva chiamata a risolvere problemi specifici da cui dipendono le strategie di intervento conservativo e di salvaguardia, oggi è sempre più uno strumento portatore di conoscenza acquisita con metodo scientifico per supportare, per dirla con Brandi, quel momento metodologico del riconoscimento dell'opera d'arte nella sua consistenza fisica e nella duplice polarità estetica e storica" (Masini *et al.*, 2010). "La diagnostica analizza le modifiche della struttura e dei materiali costitutivi dell'oggetto prodotte dal degrado, ne identifica le cause e individua le soluzioni più idonee

per arrestare o contenere gli effetti dei processi di deterioramento" (Colombi *et al.*, 2002). Analizzando il degrado del bene, la diagnostica può fornire informazioni sulla natura e sulla composizione dei materiali utilizzati, indicazioni sulla tecnica di esecuzione, sui precedenti interventi di restauro e sui possibili mutamenti nella destinazione d'uso, ma si può proporre anche come strumento per una scienza della conservazione che sia in grado di rispondere alle sfide future che la tutela e la gestione del Patrimonio Culturale pongono in virtù dei rischi di natura ambientale, antropica e dei problemi derivanti da una concezione del bene culturale, molto spesso sacrificata alla causa dello sviluppo dell'economia e del turismo.

## 2 - Le metodologie ultrasoniche

I metodi di indagine diagnostica possono essere raggruppati sulla base delle loro finalità conoscitive o più semplicemente in base alla loro risoluzione operativa. Quest'ultima è fondamentale in quanto la scelta delle metodologie di prova e delle procedure da eseguire *in situ* dipendono dal tipo e dall'attendibilità dei risultati che si vogliono ottenere ma, visti i vincoli a cui è soggetto il bene culturale, soprattutto dalla capacità di risultare poco invasivi.

Il carattere non invasivo di una tecnica corrisponde alla sua capacità di non interferire o alterare i processi di scambio generalmente attivi nel sistema manufatto-ambiente (Mercuri *et al.*, 2010). In relazione, quindi, al grado di invasività della metodologia, si hanno le **tecniche distruttive** che, come indicato dal termine, hanno carattere irreversibile; queste utilizzano il campione nel suo insieme e danno precise informazioni sulla sua composizione globale, sono perciò insostituibili e servono a completamento delle più estese indagini eseguite con **tecniche non distruttive** che hanno invece carattere reversibile. Nessun tipo di indagine non invasiva è capace, per il momento, di fornire le informazioni che si possono acquisire attraverso gli esami condotti su un campione prelevato da un'opera, soprattutto riguardo agli strati interni del manufatto. Le indagini non invasive, dunque, restano meno informative delle altre, però hanno il vantaggio di mettere a

disposizione informazioni a carattere panoramico, distribuite sull'oggetto, ben relazionabili con le strutture del manufatto che direttamente si osservano: una patina, una corrosione, una macchia, ecc. è comprensibile, quindi, che le due tipologie di indagine non siano alternative ma integrative. E ciò spiega il permanere di entrambe nella pratica operativa (Matteini, 2008). Nella strategia dei piani di indagine è preferibile dare la precedenza ai metodi non invasivi, che forniscono un inquadramento generale sulle diversità materiche di un'opera o di una sua parte e indirizzano sui punti di prelievo dei campioni (laddove necessari), facendo poi seguire le indagini micro-distruttive che circostanziano e definiscono quanto messo in evidenza dalle prime (Matteini, 2008).

È tra le indagini non invasive che si annoverano le **prove soniche e ultrasoniche**. Queste prevedono l'analisi delle caratteristiche di propagazione delle onde elastiche all'interno dei solidi murari e si basano sulla misura di tempo e velocità di propagazione di un impulso meccanico tra l'elemento trasmettitore e quello ricevente. Tale velocità dipende dall'elasticità e dalla resistenza del materiale: quando il mezzo in esame presenta discontinuità, la velocità di propagazione delle onde diminuisce, sicché le prove forniscono direttamente informazioni sullo stato di danneggiamento del materiale. La frequenza convenzionalmente utilizzata per discriminare onde soniche da onde ultrasoniche è fissata in 20 kHz: le prime si servono di onde al di sotto di questa soglia, le seconde di quelle al di sopra.

Con queste metodologie, attraverso la rilevazione, più o meno minuziosa e dettagliata, dei processi e relativi parametri connessi alla propagazione, come (Cianfrone, 1992):

- fenomeni di riflessione, di rifrazione, di onde stazionarie indotte, ecc.
  - tempi di transito lungo determinate traiettorie, opportunamente scelte o identificate
  - determinazione dell'attenuazione dell'energia di vibrazione per determinati fenomeni e percorrenze, ecc.
- ed unitamente alla conoscenza delle leggi fisiche che presiedono tali processi, si può indagare su:
- il grado di omogeneità

- la resistenza del materiale
- la valutazione delle proprietà dei materiali nel tempo (eventuali mutamenti)
- la presenza di discontinuità, vuoti, fessure o altre imperfezioni
- la valutazione dell'entità della discontinuità
- la localizzazione di zone alterate prima che le modificazioni della materia siano visibili ad occhio nudo
- il valore del modulo elastico dinamico del materiale.

Il cosiddetto campo di impiego degli **ultrasuoni** è adatto per indagare mezzi intrinsecamente omogenei e di dimensioni non eccessive: il fatto che il mezzo da analizzare sia intrinsecamente omogeneo permette all'onda di vibrazione di propagarsi senza apprezzabili processi di diffusione per la riflessione, rifrazione, cambiamento di tipo d'onda, ecc. se non dovuti ad una eventuale locale disomogeneità (un'intrusione di materiale eterogeneo, una cricca, o una qualsiasi altra discontinuità) la cui rilevazione costituisce proprio l'obiettivo principale dell'analisi.

Le indagini ultrasoniche, per la morfologia dello strumento, fatto di trasduttori piccoli, sono di tipo puntuale e si prestano per lo più ad analisi effettuate in laboratorio, dove le traiettorie indagate sono limitate e non si sceglie di analizzare situazioni caratterizzate da forti dispersioni (provini troppo grandi ed eterogenei), e richiedono verifiche estese ed esaustive, attraverso valutazioni fatte per analogie. Nel caso, infatti, di materiale da indagare particolarmente eterogeneo o di distanze rilevanti è preferibile orientare la scelta della metodologia d'indagine verso onde elastiche a elevata energia e bassa frequenza.

Le onde elastiche vengono create artificialmente tramite apposite sorgenti e, tramite un ricevitore e un oscilloscopio che registra i segnali, viene misurato il Tempo di Volo, inteso come il tempo necessario al segnale ultrasonico per attraversare il materiale in esame. La sollecitazione che investe un punto del corpo, fino a quel momento in equilibrio, provoca una deformazione, funzione delle proprie caratteristiche elastiche e del tipo di sollecitazione. La deformazione si propaga nei punti circostanti sotto forma di onde la cui velocità dipende sempre dalle caratteristiche elastiche del mezzo. A seguito di un impulso quando transita l'onda, rispetto alla direzione di propagazione, si

hanno essenzialmente diversi tipi di onda: le Onde Longitudinali, chiamate anche Onde Prime (Onde P), per cui le particelle del mezzo, oscillano nella stessa direzione di propagazione dell'onda e le onde Trasversali, dette anche onde seconde (Onde S) o onde di Taglio, perché sono onde più lente e al loro passaggio le particelle del mezzo oscillano in direzione ortogonale a quella di propagazione. Con la lettura del tempo di volo, grazie alla distanza, è possibile calcolare la velocità ed il rapporto tra velocità e frequenza ci farà definire la lunghezza d'onda. Tanto maggiore sarà la frequenza, tanto minore sarà la lunghezza d'onda e l'indagine sarà più definita e minuziosa ma meno appropriata per l'indagine di grandi spessori e, viceversa, si riterrà appropriata una frequenza minore per indagare ampi spessori.

Per la sensibilità dell'indagine, dunque, si configura essenziale l'opportuna scelta della frequenza, ma bisogna tener conto del percorso dell'onda, relativo alla modalità di trasmissione possibile, e dei fenomeni di *scattering* perché quando un'onda di vibrazione, viaggiante in un mezzo, incide sull'interfaccia di un altro mezzo avente differenti proprietà, una parte dell'energia d'onda è deviata verso altre direzioni. Questo è dovuto alla presenza di vuoti, fessure e aggregati visti come disturbi alla propagazione. L'intensità dello *scattering*, è particolarmente elevata se la lunghezza dell'onda di propagazione è uguale o minore dell'elemento di disturbo, avendo come risultato una rapida attenuazione. L'intensità di trasmissione sarà tanto elevata tanto maggiore è l'incidenza tra la sonda ed il materiale da esaminare, tanto minore sarà la variazione delle impedenze acustiche fra i due mezzi e tanto più è omogeneo il materiale da indagare. Le attenuazioni sono invece dovute alle eterogeneità, al degrado e alla fessurazione del materiale. Per analizzare questi aspetti fondamentali sono state svolte alcune prove sulla modalità di trasmissione, sull'uso del materiale accoppiante e sull'influenza del carico sulla velocità ultrasonica.

### 3 - Prima prova. Relazione tra metodo diretto e indiretto

La velocità delle onde di propagazione può essere misurata per riflessione o trasparenza a seconda delle modalità con cui si

effettuano le rilevazioni. La modalità di trasmissione dell'impulso ultrasonico, secondo il posizionamento relativo delle sonde sulle facce dell'elemento strutturale, può essere:

***Diretta o di propagazione per trasparenza:*** quando le sonde, trasmittente e ricevente, sono applicate su due facce opposte dell'elemento strutturale. L'allineamento delle sonde e la direzione ortogonale di queste rispetto alla superficie implicano una propagazione massima d'energia ed una buona attendibilità e precisione dei risultati.

***Semi-diretta:*** quando le sonde sono posizionate su facce adiacenti, in punti posti su allineamenti perpendicolari tra loro. Questo tipo di indagine è meno precisa della precedente in quanto solo una parte dell'energia emessa dalla sonda emittente è diretta a quella ricevente.

***Indiretta o di propagazione superficiale:*** quando le sonde, trasmittente e ricevente, sono applicate sulla stessa faccia dell'elemento strutturale. Il metodo indiretto è ritenuto il meno sensibile e preciso, perché caratterizzato da fenomeni di *scattering* lungo il percorso, e vi si ricorre solo nel caso in cui non siano accessibili le altre superfici dell'elemento strutturale. La velocità dell'impulso di solito è influenzata dallo strato superficiale del materiale, che può presentare caratteristiche diverse dagli strati profondi. Per tale motivo si rende necessario effettuare una serie di misure con una sonda fissa e facendo variare la posizione dell'altra lungo distanze successive uguali lungo una direzione prestabilita. I tempi di trasmissione misurati permetteranno di stabilire una velocità media dell'impulso al fine di ricavare, dai risultati ottenuti, la curva interpolante.

In genere, è in laboratorio che si può avere accesso a tutte le facce di un provino ed effettuare una misurazione per trasparenza, mentre *in situ*, l'accesso alle superfici opposte può non essere prontamente disponibile e bisogna ricorrere ad una misurazione di tipo indiretto.

Essendo, dunque, la trasmissione diretta la misura più precisa e quella indiretta la più utilizzabile, si è tentato di individuare, attraverso un'indagine, la correlazione tra i due risultati.

L'esame, condotto nei laboratori IBAM-CNR di Lecce, è consistito nel rilevamento del tempo di volo in alcuni punti razionalmente scelti su elementi di muratura in pietra leccese,

attraverso l'utilizzo di sonde di diversa frequenza: 27 KHz, 50 KHz e 120 KHz. Lo strumento di misura utilizzato è della ditta Starmans<sup>1</sup> e l'esecuzione delle prove è stata condotta in accordo con la norma UNI EN 14579:2005<sup>2</sup>. Prima dell'utilizzo, lo strumento è stato tarato mediante la misurazione del tempo di transito  $T_f$  impiegato dalle onde elastiche per percorrere, lungo l'altezza, il cilindro o il prisma metallico di taratura fornito a corredo dello strumento.

Le prime misurazioni sono state condotte in due giornate aventi condizioni di umidità relativa e temperature differenti. Durante la prima giornata si sono effettuate le misure con le frequenze di 27 e 50 KHz, mentre durante la seconda giornata si sono effettuate le misure a 50 e 120 KHz. I parametri utilizzati per la calibrazione dello strumento alle varie frequenze di misura sono sintetizzati nella Tabella 1. Dal momento che la frequenza di 50 KHz è stata impiegata in entrambe le giornate di prova, sono stati riportati i parametri delle due calibrazioni effettuate, una per ogni giorno di misura.

Strumento	Frequenza	Zero	Gain	Gate
Starmans	27 KHz	11.955	80 dB	10%
Starmans	50 KHz	10.725 - 10.425	63 dB - 80 dB	10%
Starmans	120 KHz	4.27	63 dB	10%

Tabella 1. Tipologia di strumenti utilizzati e relativa taratura

Gli elementi in muratura analizzati sono costituiti da blocchi in pietra leccese, di dimensioni 25×50×9.75 cm, assemblati con malta in comenti da 1 cm: i due muretti sono identici nella composizione e nelle dimensioni. Prima di effettuare le misure sono stati numerati i conci da esaminare, come rappresentato in Figura 1.

In corrispondenza dei punti di misura (rappresentati in rosso in Figura 1) sono state posizionate le sonde: quella emittente da cui parte un fascio ultrasonoro che, una volta attraversato il materiale, arriva alla sonda ricevente la quale trasforma la pressione acustica in un segnale elettrico che ferma un contatore di tempo innescato dalla sonda emittente al momento della generazione del fascio.

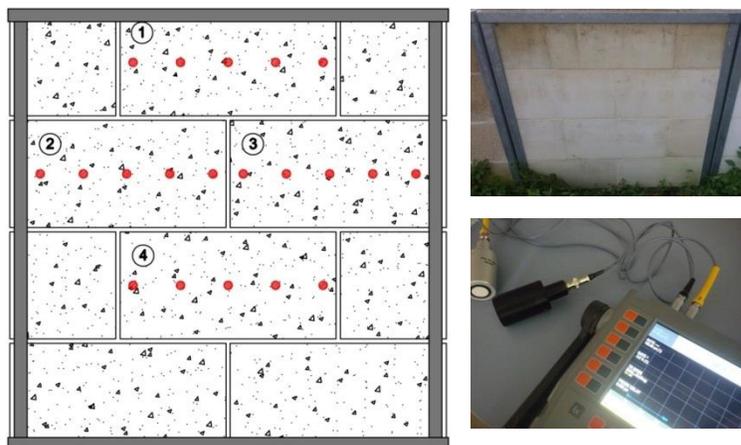


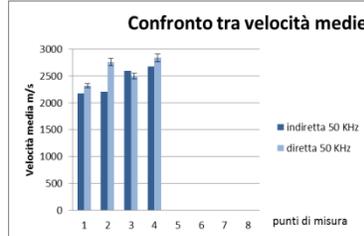
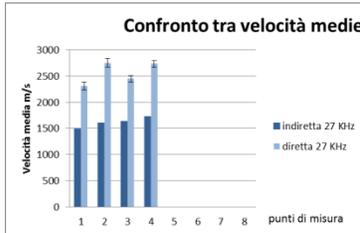
Figura 1. Blocchi in pietra leccese. Numerazione dei blocchi analizzati: 1,2,3,4 per il primo muretto M<sub>1</sub>; 5,6,7,8 per il secondo muretto M<sub>2</sub>, con il medesimo criterio

L'impulso ultrasonico è stato trasmesso, con le diverse sonde, secondo la modalità diretta (o di propagazione per trasparenza) posizionando le sonde trasmittente e ricevente, a mezza altezza del blocco (12.5 cm), su due facce opposte dell'elemento strutturale, prestando attenzione al corretto allineamento delle sonde. In maniera analoga, successivamente, si è proceduto alla misurazione indiretta, eseguendo le misurazioni su un solo lato del blocco, ad una distanza ripetuta di 10 cm, partendo da 3 cm dal bordo, per i blocchi più esterni, e di cada 11 cm, partendo da una distanza di 3 cm dal perimetro del blocco, per quelli più interni.

Per effettuare le misurazioni è stato posto uno strato di materiale accoppiante per ogni singola misurazione. È stato scelto il gel dato in dotazione con lo strumento.

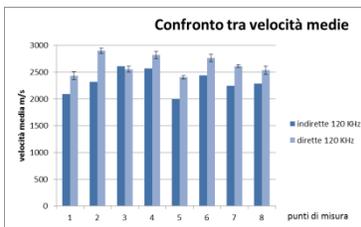
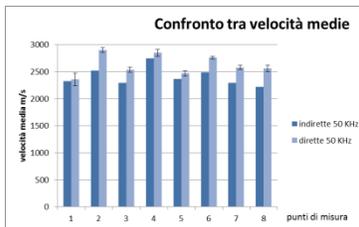
In un primo momento sono state condotte le analisi sul campione M<sub>1</sub> per comparare i risultati ottenuti in maniera diretta e indiretta con sonde da 27 KHz e 50 KHz, da cui emerge come sia più opportuna la scelta di una frequenza alta. A seguito di questa considerazione, viene abbandonata la sonda da 27 KHz per lasciar spazio a quella da 120 KHz.

Si riporta di seguito il confronto tra velocità medie:



$$\Delta 27 \text{ KHz} = 36\%$$

$$\Delta 50 \text{ KHz} = 11\%$$



$$\Delta 50 \text{ KHz} = 12\%$$

$$\Delta 120 \text{ KHz} = 11\%$$

I valori delle relative velocità sono stati messi a confronto ottenendo un  $\Delta$  che rappresenta la differenza tra le due metodologie d'indagine. Attraverso questi valori si evince che la modalità di misurazione (diretta o indiretta) non ha influenzato significativamente i valori delle velocità misurati, nel caso delle frequenze da 50 e 120 KHz. Maggiori differenze tra le due tipologie di misura si sono riscontrate alla frequenza di 27 KHz, dove è possibile notare una forte incongruenza tra le due misurazioni.

Questa è chiaramente dovuta alla scelta di una frequenza, e quindi di una lunghezza d'onda, inadeguata allo scopo. Per una data velocità, all'aumentare della frequenza, si ha una diminuzione della lunghezza d'onda, un aumento della risoluzione ma anche un'attenuazione del segnale. Quindi, è importante ai fini della corretta riuscita della prova, scegliere una

frequenza valutando contemporaneamente l'esigenza di risoluzione e l'attenuazione del segnale, in base allo spessore murario; solo così l'indagine è mirata e attendibile, e solo così i valori delle due modalità di misurazione possono essere comparabili per far desumere, effettivamente, laddove incongruenti, una difformità strutturale nel campione analizzato.

In definitiva, la misura diretta si rivela particolarmente utile per la rilevazione di lesioni interne, perché consente di analizzare il materiale per tutta la sua profondità, mentre, la misura indiretta è più influenzata dalla pelle superficiale del materiale, perché le analisi interessano, appunto, solo gli strati più superficiali. Insomma, quello che cambia tra le due misure è legato alle differenze tra le condizioni del materiale in superficie e quelle di *bulk* (contributo massivo). Da questa considerazione appare chiaro come tra le due misurazioni non può esserci completa aderenza e che a questa possiamo attribuire le possibili differenze nei risultati.

#### 4 - Seconda prova. L'importanza del materiale accoppiante

Un'altra prova, eseguita nei laboratori del CSIC di Madrid, ha avuto l'obiettivo di determinare l'effetto delle diverse sostanze sulle misurazioni delle velocità ultrasoniche. Quando si misura questa velocità è molto importante assicurare, dunque, un contatto completo dei sensori alla superficie del materiale da indagare. Assicurare un contatto efficace è possibile grazie all'utilizzo di una sostanza di accoppiamento (generalmente si parla di "*Couplant*" o "*Coupling agents*"). L'agente accoppiante viene utilizzato principalmente per rimuovere eventuale aria dall'interfaccia che si forma a causa della microstruttura delle superfici a contatto ed evita che l'onda ultrasonica possa essere completamente riflessa a causa della presenza di aria immediatamente a contatto con il trasduttore. Introducendo un materiale accoppiante con un'impedenza acustica adeguata e imprimendo una sufficiente pressione che ne aumenti il contatto, si aumenta il flusso di energia elastica irradiata nel mezzo e, quindi, la trasduzione risulta più efficace.

Sono diversi gli agenti di accoppiamento che possono utilizzarsi a questo scopo ma è da tener presente che la scelta di

quello da utilizzare influisce significativamente sulle misure della velocità di propagazione e di conseguenza sui test ultrasonici (Wesolowski, 2012.).

L'obiettivo di questa prova è, dunque, quello di determinare l'effetto delle diverse sostanze sulle misurazioni delle velocità ultrasoniche.

Per fare questo si è scelto di rapportare su due diversi mezzi da indagare sei differenti materiali accoppianti:

- I provini da analizzare sono stati scelti tra le pietre da costruzione: la Dolomia, dal tessuto più compatto ed omogeneo, ed il Granito, più grossolano ed eterogeneo.
- Essendo l'impedenza acustica direttamente proporzionale al valore di densità del materiale sono state scelte sostanze diverse dal punto di vista della consistenza e della composizione. Sono stati utilizzati il Panametrics, un sottilissimo foglio di materiale plastico in dotazione con lo strumento, il più comune gel per ultrasuoni, poi, lo stesso gel confinato da parafilm, puntando ad un utilizzo a secco per evitare macchie, la plastilina, la glicerina ed infine il miele.

In particolare i materiali scelti per la prova hanno le seguenti peculiarità:

La **Dolomia** è una roccia dalla composizione dolomitico-calcarea, composta principalmente da dolomite (carbonato di magnesio e calcio) e quantità variabili di calcite (carbonato di calcio). La sua struttura è massiccia, cristallina, saccaroide, compatta, con comportamento meccanico omogeneo e proprietà fisiche isotrope. La resistenza alla compressione semplice si aggira tra 1.000 e 1.800 Kg/cm<sup>2</sup> e per questo si inquadra tra le rocce resistenti e molto resistenti.

Il **Granito** è una roccia ignea intrusiva felsica, con grana che va da media a grossolana e occasionalmente può presentare megacrystalli. In linea di massima, si può descrivere come una roccia eterogenea e dura, in cui possono osservarsi ad occhio nudo grani di quarzo, feldspato e mica, e la cui resistenza a compressione semplice si attesta intorno a 1600 - 2400 kg/cm<sup>2</sup>, inquadrandosi tra le rocce molto resistenti. Nella realtà, però, le sue caratteristiche dipendono dalla grandezza dei cristalli, dalla composizione mineralogica e dalla porosità. In questo caso,

infatti, il granito utilizzato, come si vedrà anche dai risultati, non potrà annoverarsi tra le pietre resistenti.

La Dolomia è stata estratta dalla cava *Redueña* (zona a nord della comunità autonoma di Madrid). Questo materiale, affiorante in cave abbandonate situate a 50 Km a nord della città di Madrid, è stato ampiamente studiato (Alvarez de Buergo *et al.*, 2013) ed i dati di velocità ultrasonica, per trasmissione diretta, presenti in letteratura, si attestano intorno ai  $2750 \pm 315$  m/s, coerentemente con i dati presentati nel seguente lavoro.

Il Granito proviene da un blocco di granito abbandonato del *Puente Retamar*<sup>3</sup>, un ponte del XVIII secolo, costruito nel regno di Carlo III, situato nella zona nord-ovest della comunità autonoma di Madrid. Si tratta di un leuco granito porfirico<sup>4</sup> a grana grossa, che emerge circa 5 Km a monte del *rio Guadarrama*. È un tipo di granito con abbondante contenuto di feldspato e biotite. Il colore dorato è dovuto alla naturale alterazione chimica che affetta i feldspati e le biotiti (ossidazione). Per questo si configura come un granito facilmente alterabile e dal modulo di Young minore rispetto agli altri graniti e alla dolomia stessa.

Per ogni materiale sono stati realizzati quattro diversi campioni di  $20 \times 6 \times 8$  cm circa. Ogni provino, tagliato ed essiccato<sup>5</sup>, è stato accuratamente pulito e numerato. Si è proceduto poi alla catalogazione: scelto un sistema di riferimento x-y-z, sono state misurate, utilizzando un calibro, tutte le facce, con tre misure per ogni lato al fine di effettuarne una media, e sono stati fotografati i provini dalle diverse angolazioni (Figura 2).

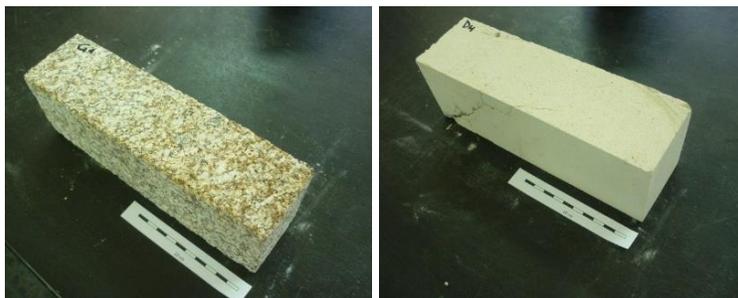


Figura 2. Provini di Dolomia e Granito utilizzati per le prove

Al fine di ottenere un quadro esaustivo delle caratteristiche di ogni singolo provino e far emergere le diverse caratteristiche del materiale, sono state effettuate anche prove cromatiche e di rugosità attraverso uno spettrofotometro portatile<sup>6</sup> e un rugosimetro 3D con ottica di superficie<sup>7</sup>.

Gli accoppianti hanno un ruolo fondamentale nell'ottimizzare il controllo ultrasonoro.

In prima istanza si possono esporre le qualità che deve possedere un buon mezzo accoppiatore.

Questo deve:

- Inumidire opportunamente le superfici del trasduttore e del pezzo da testare;
- Escludere qualunque bolla d'aria dal percorso del raggio sonoro;
- Riempire tutte le irregolarità presenti nella superficie del pezzo per creare una regione d'ingresso regolare;
- Consentire il libero movimento della sonda;
- Essere facile da applicare e da rimuovere e non essere tossico.

Inoltre, tenendo presente che queste tecniche devono essere applicate nell'ambito dei Beni Culturali, oltre all'attenzione sull'efficienza e sulla facilità d'uso, bisogna non tralasciare gli effetti estetici sgradevoli che si possono rilasciare durante l'applicazione.

In particolare, le caratteristiche dei materiali accoppianti sono di seguito specificati (Figura 3).

Il **Panametrics**: è un sottile foglio rosa dalla consistenza plastico-gommosa fornito, dalla casa produttrice Panametrics, come materiale accoppiante da testare.

La **Plastilina**: è un materiale plastico modellabile la cui composizione è basata su olio, argilla e cera. Si sfruttano la plasmabilità sul supporto e la morbidezza del materiale che, sebbene solido, appare un buon elemento d'unione.

Il **Gel**: è un materiale colloidale solido elastico, costituito da un liquido disperso e inglobato nella fase solida. Il liquido abita nella struttura costituita dal solido, che a sua volta sfrutta la tensione superficiale del liquido per non collassare. Il gel è il materiale più utilizzato con gli ultrasuoni in quanto, per la sua particolare struttura, favorisce il movimento della sonda,

facilitando il lavoro dell'operatore. Inoltre, non è tossico, è inodore e di facile rimozione; non macchia, non unge, non ionizza, non si ossida nel tempo e non contiene principi attivi che possano danneggiare in alcun modo il trasduttore della sonda. Fa guadagnare dB più d'ogni altro accoppiante, offrendo alta impedenza acustica per un'ottimale trasmissione del suono unito ad un minimo rumore di fondo.

Il **Gel con parafilm**: il gel però è un materiale liquido e per questo motivo si è tentato di confinarlo in una pellicola di parafilm per ottenere una posa a secco. Il parafilm è una pellicola di cera paraffinica che, per la sua elasticità e impermeabilità, è utile per sigillare i contenitori nei laboratori. Questa però è molto sottile e la pressione esercitata per l'adesione tra la sonda ultrasonica e la superficie ha impedito la buona riuscita dell'operazione a secco, facendone uscire il gel. Il risultato è stato un lavoro poco agevole in termini di operatività.

La **Glicerina**: è una sostanza dalla consistenza liquida piuttosto densa, viscosa e dolciastra costituita dal 95% da glicerolo. Ricavato industrialmente come sottoprodotto della lavorazione del sapone, trova largo impiego nella produzione farmaceutica e cosmetica. La glicerina, come il gel e le altre sostanze liquide utilizzate, costituisce un'interfaccia acquosa tra la superficie e la sonda permettendo alle onde del segnale emesso di passare senza impedimenti e intensifica la trasmissione del segnale grazie a buoni valori di impedenza acustica ( $Z_{\text{solido}} > Z_{\text{liquido}}$ ).

Il **Miele**: è prodotto a partire dal nettare e dalla melata delle api ed ha una consistenza liquida che si solidifica attraverso un processo di cristallizzazione. La sua consistenza cremosa gli conferisce le caratteristiche migliori che possano richiedersi ad un materiale d'unione.

Il miele garantisce il miglior accoppiamento a superfici "difficili" grazie ad una maggiore penetrazione e ampiezza del segnale: durante le prove è, infatti, emerso che con l'uso del miele come materiale accoppiante si riuscivano a visualizzare onde precise, chiare, nitide e veloci. La sua composizione zuccherina, però rende le operazioni poco agevoli per l'operatore, invasive per la superficie del provino e del trasduttore che risultano poi difficili da pulire.



Figura 3. Materiali accoppianti: Panametrics, Plastilina, Parafilm (+ gel), Gel per ultrasuoni, Glicerina, Miele

I provini, tagliati, essiccati, puliti e fotografati, sono stati catalogati in provini di Dolomia, indicati con D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub>, e provini di Granito, successivamente denominati G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub>, G<sub>4</sub>. Le misure effettuate su ciascun campione hanno fornito i risultati riportati in Tabella 2.

Campione	Riferimento	I	II	III	Media (m)	Media (mm)
D <sub>1</sub>	x	217	217	216	0,2167	216,6667
	y	65,65	65,8	64,5	0,0653	65,3167
	z	74,47	75,02	75,04	0,0748	74,8433
D <sub>2</sub>	x	215	216,5	217	0,2162	216,1667
	y	62,16	60,67	58,87	0,0606	60,5667
	z	77,55	78,08	78,37	0,0780	78,0000
D <sub>3</sub>	x	200	201	201	0,2007	200,6667
	y	54,98	54,69	55,35	0,0550	55,0067
	z	82,64	80,58	77,92	0,0804	80,3800
D <sub>4</sub>	x	218	218	217,9	0,2180	217,9667
	y	64,8	65,64	66,75	0,0657	65,7300
	z	75,5	75,56	75,48	0,0755	75,5133
G <sub>1</sub>	x	233	233,5	234	0,2335	233,5000
	y	63,6	63,14	62,73	0,0632	63,1567
	z	75	75,06	75,18	0,0751	75,0800
G <sub>2</sub>	x	227	226	225,5	0,2262	226,1667
	y	66,55	66,34	66,3	0,0664	66,3967
	z	75,21	75,41	75,65	0,0754	75,4233
G <sub>3</sub>	x	236	236	236	0,2360	236,0000
	y	62,22	61,73	61,2	0,0617	61,7167
	z	74,97	75,08	75,16	0,0751	75,0700
G <sub>4</sub>	x	223	223	223	0,2230	223,0000
	y	65,67	66,07	65,88	0,0659	65,8733
	z	75,13	75,23	75,37	0,0752	75,2433

Tabella 2. Tipologia di strumenti utilizzati e relativa taratura

Per ogni provino sono state condotte indagini ultrasoniche per trasparenza, dirette lungo la direzione trasversale e longitudinale, e per riflessione o indirette, prima prive di ogni materiale accoppiante, ottenendo valori di onda P e S, e poi con le sei sostanze scelte, ottenendo valori di onda P. Per effettuare le analisi dirette lungo l'asse trasversale si è scelto di individuare otto punti di misura sulla faccia grande e, seguendo l'asse longitudinale, tre punti sulla faccia piccola di ogni provino.

Le sonde utilizzate per questo tipo di misurazioni sono da 500 KHz di frequenza; laddove, però, queste sonde non hanno consentito una lettura agevole, come nel caso delle misure ultrasoniche in direzione longitudinale per il granito, si è scelto di optare per una frequenza minore, da 54 KHz.

I trasduttori, collocati sulle facce opposte del provino, sono stati, poi, cambiati di verso. Le analisi indirette, invece, sono state eseguite, su una stessa faccia, quella grande, a distanza di 5 cm, 10 cm, 15 cm e 20 cm. La frequenza utilizzata per questo tipo di misura è stata da 1 MHz ed ha interessato solo i provini di dolomia, in quanto il granito, per la sua struttura fortemente eterogenea, non ha consentito la lettura dei valori con alcun tipo di frequenza.

Lo strumento utilizzato per le rilevazioni si compone di un Pulser Receiver Panametrics Ntd 5058 Pr e un oscilloscopio Tds 3012b Tektronics. La norma cui si è fatto riferimento, in questo caso, è la UNE EN 14579: 2005<sup>8</sup>.

In sostanza, come mostrato in Figura 4, per la Dolomia si sono osservate sempre onde nitide e risultati attendibili per ogni misurazione. Sebbene all'aumentare della distanza tra i trasduttori la lettura diventi sempre più complicata.

Per il granito si sono osservate sempre onde disturbate ed i risultati sono poco attendibili come dimostrato dagli alti valori di deviazione standard calcolati.

I valori più alti e nitidi di velocità si leggono grazie all'uso di sostanze più liquide nei campioni di Dolomia e di sostanze d'accoppiamento a secco, come il Panametrics, e quelle che sono in grado di riempire le occlusioni superficiali del provino, come la plastilina ed il miele, nel caso del Granito (Figura 5).

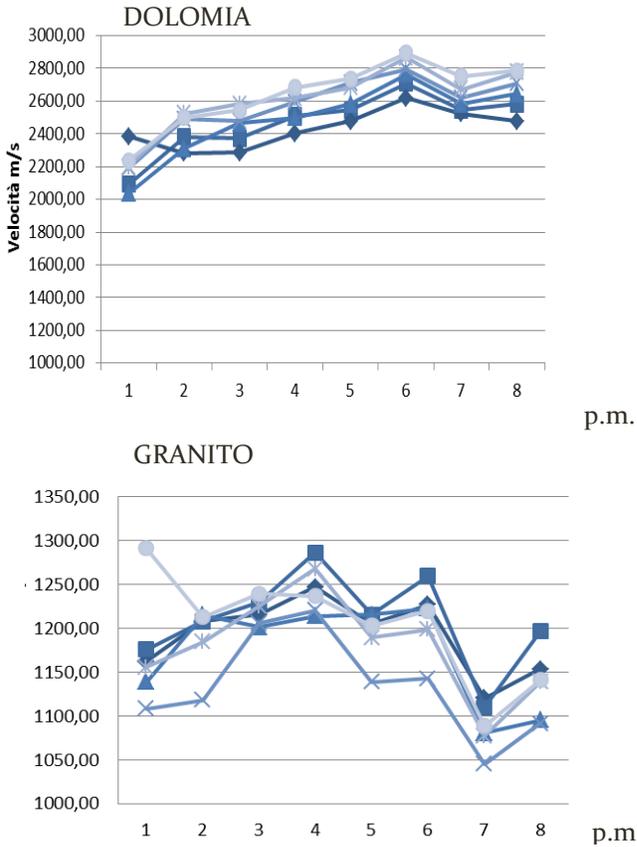


Figura 4. Metodo Diretto - Andamento della velocità di trasmissione dell'onda in ogni punto di misura nella Dolomia (a) e nel Granito (b)

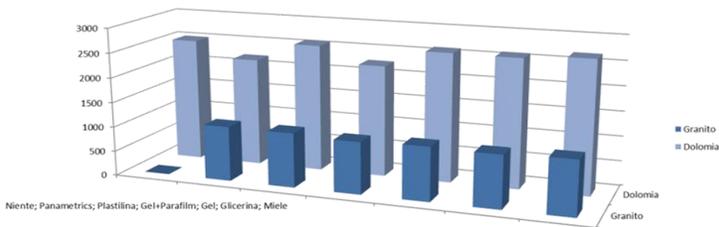


Figura 5. Andamento della velocità media al variare del materiale accoppiante in Dolomia e Granito

Possiamo affermare che l'utilizzo del *coupling* incide sulla velocità ultrasonica: migliora la propagazione dell'onda ma altera la superficie dei provini.

Un'operazione chiarificatrice sarebbe quella di misurare questa alterazione: questo sarebbe possibile misurando colore e rugosità, prima e dopo l'utilizzo del materiale accoppiante e stabilire se questo cambiamento non sia accettabile. Tenendo presente che queste tecniche devono essere applicate nell'ambito dei Beni Culturali, bisogna scegliere il giusto materiale accoppiante tenendo conto dell'efficienza della facilità d'uso senza tralasciare gli effetti estetici sgradevoli che si possono rilasciare durante l'applicazione.

## 5 - Terza prova. La prova sotto carico

Al fine di estendere le indagini a carattere ultrasonico in sito e per avere un quadro complessivo delle peculiarità della metodologia, si è analizzata l'influenza della frequenza di misura e dell'applicazione del carico sulla velocità degli ultrasuoni: le misure sono state effettuate su campioni in pietra leccese della varietà Dura prelevati nella stessa giornata (30 Aprile 2014) presso una cava di Zollino (LE) della ditta Bianco Cave. Le prove sono state condotte su cubi di lato 24 cm. I cubi sono stati ricavati da due blocchi di cava (successivamente indicati con Blocco 2 e Blocco 3), in seguito al taglio dei campioni, gli stessi sono stati tenuti in laboratorio a temperatura controllata per un periodo superiore ad un mese (ritiro campioni Maggio prove Luglio-Settembre) per poi essere numerati e catalogati rispetto ad un sistema di riferimento x-y-z.

Sono state misurate le lunghezze dagli spigoli del campione e sono stati tracciati i punti su cui effettuare le misure ad ultrasuoni, ovvero due per ogni faccia.

Nella presente sperimentazione, per quanto concerne la misurazione ultrasonica, si è fatto riferimento alla norma UNI EN 12504-4: 2005<sup>9</sup> e alla modalità diretta della prova.

Le misure sono state condotte lungo la direzione x e z, perpendicolarmente all'applicazione del carico lungo y. Sono state effettuate due misure per ogni direzione (x<sub>1</sub> e x<sub>2</sub>; z<sub>1</sub> e z<sub>2</sub>) alle tre frequenze di cui sopra, 1 MHz, 120 KHz e 55 KHz; la prova

sperimentale è stata condotta aumentando il carico (conforme NTC 2008) per diversi *step* fino ad arrivare a rottura: per ogni *step* si è registrato il tempo di volo corrispondente ai vari punti di misura e lo stato fessurativo del campione.

Per l'applicazione del carico di compressione si è utilizzato un attuatore idraulico a controllo manuale montato su un telaio di contrasto, progettato per resistere fino ad un carico di 200 ton.

È stata utilizzata una cella di carico collegata ad una centralina elettronica di acquisizione dati per monitorare il valore del carico applicato (Figura 6).

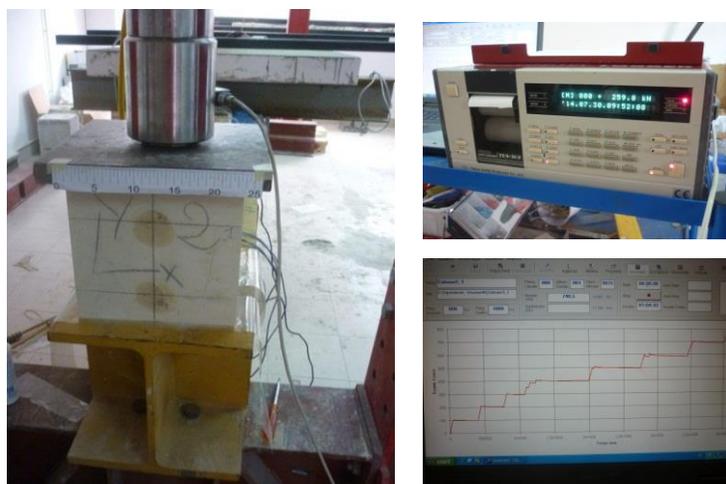


Figura 6. a) Macchina per la compressione. L'attrezzatura di prova utilizzata per l'applicazione del carico è del Laboratorio Scienza e Tecnica delle costruzioni dell'Università del Salento; b) Macchina di Lettura del carico applicato; c) Diagramma carico-tempo

La misurazione ultrasonica è stata eseguita con Epoch 4 Plus<sup>10</sup> che utilizza sonde di frequenza 1 MHz, mentre al secondo, Starmans, sono state collegate due coppie di sonde di frequenza rispettivamente di 120 Hz e 55 Hz.

Per entrambi gli strumenti (Figura 7) è stata eseguita la taratura utilizzando due diversi materiali di riferimento (in Tabella 3 riferimento grande e riferimento piccolo) forniti dal

produttore degli strumenti; i valori considerati sono riportati di seguito:

Strumento	Zero	Gain	Gate	Letture Rif. Grande	Letture Rif. Piccolo
Epoch4 plus	0	80.2	21%	75.74	51.78
Starmans (120Hz)	4.315	65	10%	75.68	51.80
Starmans (55 Hz)	10.81	65	10%	75.70	51.80

Tabella 3. Parametri di taratura degli strumenti utilizzati

Inoltre, per far aderire meglio le sonde alla superficie della pietra si è ricorso all'utilizzo dell'apposito gel per ultrasuoni.



Figura 7. Strumenti: a) Rilevatore Ultrasonico Starmans; b) Rilevatore Ultrasonico Epoch4 Plus

La prova è stata condotta aumentando gradualmente il carico, prima di giungere a rottura: sono stati misurati, a vari step di carico, i valori di tempo di volo ed è stato rilevato lo stato fessurativo del materiale.

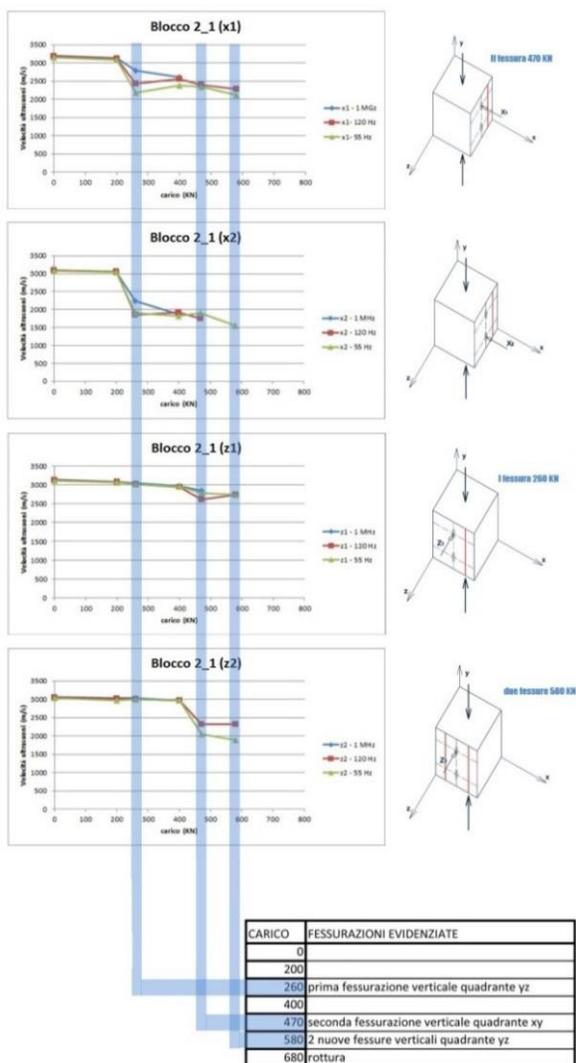


Figura 8. Blocco 2\_1 – Andamento della velocità ultrasonica in funzione del carico applicato con evidenziazione dei momenti di apertura delle fessure e di rottura del provino

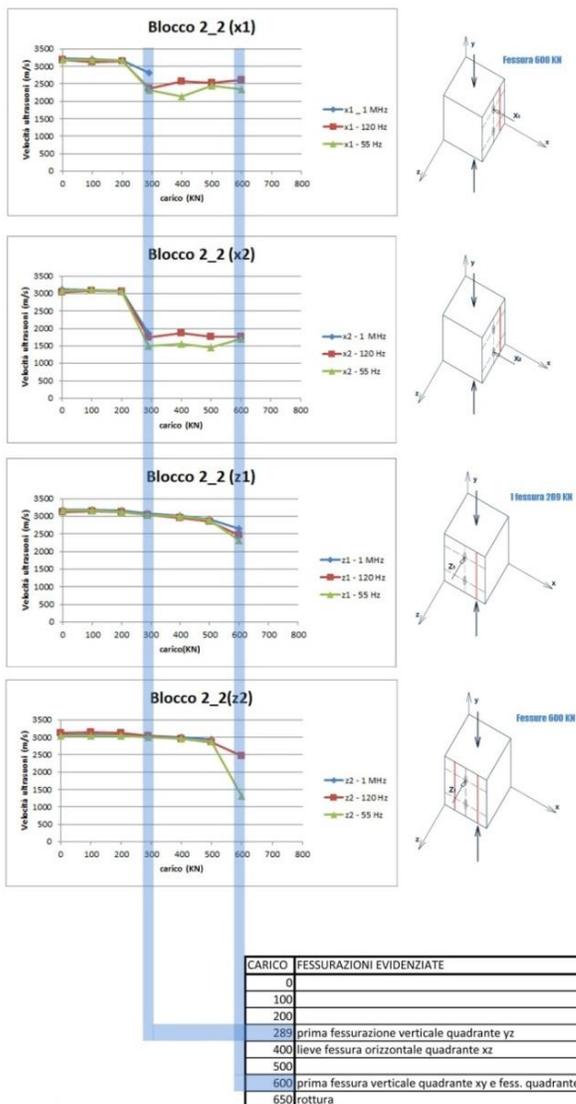


Figura 9. Blocco 2\_2 Andamento della velocità ultrasonica in funzione del carico applicato con evidenziazione dei momenti di apertura delle fessure e di rottura del provino

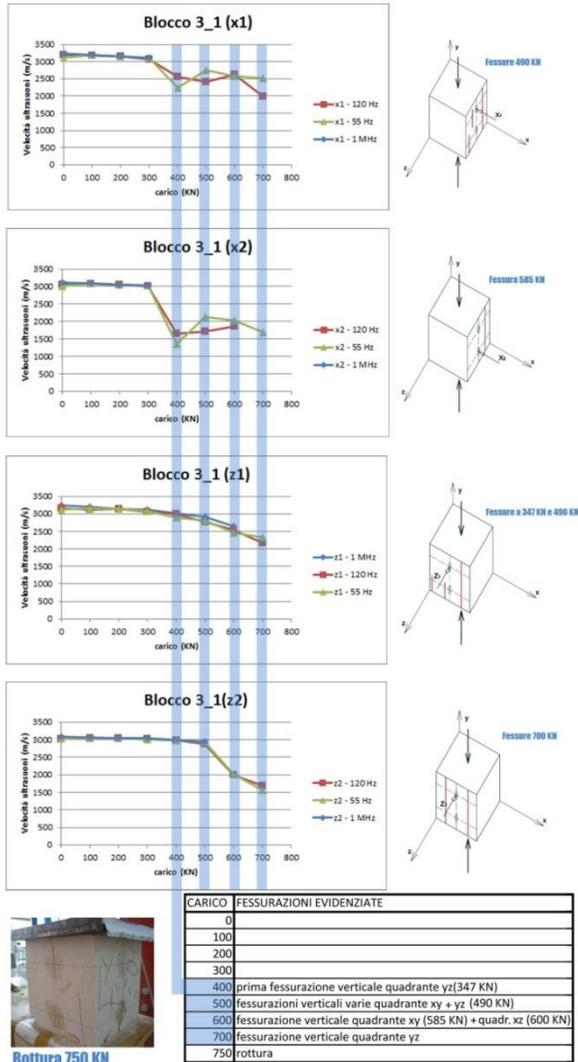


Figura 10. Blocco 3\_1 Andamento della velocità ultrasonica in funzione del carico applicato con evidenziazione dei momenti di apertura delle fessure e di rottura del provino

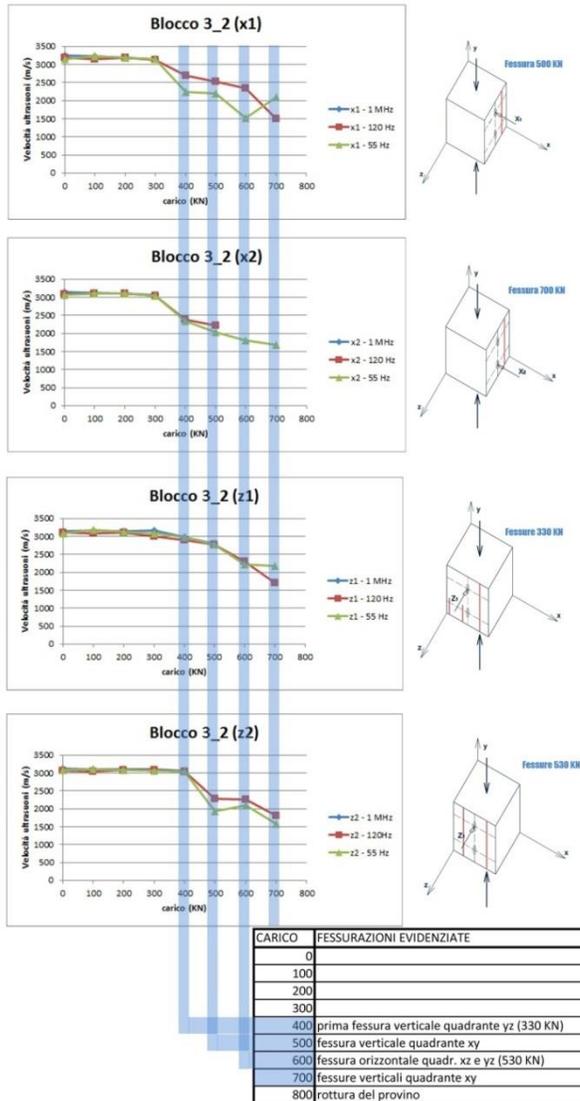


Figura 11. Blocco 3\_2 Andamento della velocità ultrasonica in funzione del carico applicato con evidenziazione dei momenti di apertura delle fessure e di rottura del provino

Come rappresentato nelle Figure 8, 9, 10, 11, si nota che la velocità degli ultrasuoni resta pressoché costante con il carico applicato e si osserva solo una lieve riduzione che non supera il 5%. Riduzioni apprezzabili di velocità si osservano solo nel momento in cui avviene la fessurazione. Prima della fessurazione le diverse frequenze danno velocità di molto simili, non si discostano più del 12%. Nel momento in cui avviene la fessurazione, le diverse frequenze hanno diverse riduzioni di velocità che sono legate alla dimensione del difetto rapportata alle diverse lunghezze d'onda. La frequenza da 1 MHz da un segnale di tipo on/off, mentre, con le altre frequenze non si ha una completa attenuazione dell'onda che continua a raggiungere il ricevitore registrando riduzioni di velocità anche fino al 60%.

## 6 - Conclusioni

Attraverso le prove effettuate si può desumere quanto segue.

La sensibilità dell'indagine dipende dalla frequenza di vibrazione scelta. È a questa che è strettamente legata l'attenuazione lungo il percorso e la lunghezza dell'onda: l'intensità della diffusione è particolarmente elevata se la lunghezza dell'onda di propagazione è uguale o minore dell'elemento di disturbo, avendo come risultato una rapida attenuazione. Dunque, in base alle dimensioni dall'oggetto da indagare, si sceglie la frequenza più opportuna per reperire informazioni chiare ed attendibili. Tanto più è elevato lo spessore da attraversare tanto più risulterà migliore una frequenza bassa.

Operare su un materiale omogeneo e dalle dimensioni non eccessive si confà di più all'uso di frequenze ultrasoniche, che quindi permettono l'elaborazione di dati affidabili, rispetto a materiali eterogenei e molto grandi per cui sarebbe più opportuna un'indagine con frequenze soniche.

La misurazione di tipo diretto fornirà informazioni concernenti la composizione massiva e la misurazione indiretta circa quella più superficiale dell'elemento. La possibilità di effettuare l'una o l'altra misura dipenderà dalla morfologia del campione e quindi dalla possibilità di indagarne le sue facce. Tanto più la scelta della frequenza sarà calzante, tanto più la

modalità di misurazione (diretta o indiretta) non influenzerà significativamente i valori delle velocità misurati che risultano così rapportabili.

È fondamentale operare su superfici quanto più planari, lisce e pulite, imprimendo la giusta pressione di contatto tra sonda e campione, ed è necessario servirsi di idonee sostanze accoppianti per limitare quanto più possibile la variazione di impedenza acustica  $\Delta Z$ . Quella del materiale accoppiante da adoperare è una scelta ponderata che deve tener conto del fatto che ogni sostanza avrà un effetto diverso sulla velocità ultrasonica e sull'integrità estetica delle superfici. Emergerà come tanto maggiore sarà la densità della sostanza scelta, tanto più sarà nitida e chiara la trasmissione dell'onda. Questo criterio però non può essere l'unico da adoperare per una corretta scelta, in quanto un materiale molto performante può, come visto con il miele, essere scomodo da usare o alterare la superficie trattata. Un indice di variazione estetica può fornirsi correlando anche misure di colore e rugosità posteriori ad ogni rilevazione ultrasonica, così da fornire i dati necessari per arrivare a scegliere come materiale accoppiante uno che sia il giusto compromesso tra efficienza e adoperabilità. Questo punto si annovera senz'altro tra i possibili sviluppi futuri dell'analisi condotta.

La presenza di carico influisce sul rilievo della velocità ultrasonica. Questa subisce una lieve incrinatura sotto carico costante e delle riduzioni notevoli quando al crescere del carico si presentano le prime fessurazioni; e così, mentre in un primo momento, i valori di velocità riportati dalle varie frequenze non si discostano di molto, poi, a fessurazione avvenuta, si ha una riduzione percentuale diversa a seconda delle frequenze utilizzate, legata alle dimensioni del difetto rapportato alle differenti lunghezze d'onda.

## Note

<sup>1</sup> Rilevatore Ultrasonico Starmans – Ultrasonic Flaw Detector

<sup>2</sup> UNI EN 14579:2005 - Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione della velocità di propagazione del suono

3 Il Puente Retamar fa parte della 'rutas geomonumentales confeccionadas por el Grupo de Petrología aplicada a la Conservación del Patrimonio, del Instituto de Geociencias IGEO - CSIC - UCM'.

4 I leuco graniti sono rocce della famiglia del granito, di struttura analoga a quella del granito normale, ma più poveri della media in componenti femici o basici, cioè rivenienti da magmi o rocce con contenuto in quarzo minore del 40%.

5 Stufa ulm 400 - ulm 500 Memmert (Laboratorio di Petrofisica CSIC - IGEO - UCM Madrid). Seguendo la norma EN 14 579/2004 si è effettuata un'essiccazione a massa costante a  $70^{\circ} \pm 5^{\circ}$ .

6 Spettrofotometro KONICA MINOLTA Chroma meter 700d

7 Rugosimetro ottico TRACEIT Innowep

8 UNE EN 14579: 2005 - Métodos de ensayo para piedra natural: determinación de la velocidad de propagación del sonido

9 UNI EN 12504-4: 2005 - Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici.

10 Rilevatore Ultrasonico Epoch4 Plus - Ultrasonic Flaw Detector.

## Bibliografia

Cianfrone F., *Indagini microsismiche ed ultrasoniche*, SICEC, Padova, 1992.

Colombi R., Guida G., Caneva C., Moioli P., Paoletti D., Spagnolo G.S.,

Fort R., Alvarez de Buergo M., Perez-Monserrat EM., Gomez-Heras M., Varas-Muriel MJ., Freire DM, *Evolution in the use of natural building stone in Madrid, Spain. In: The Stone Cycle and Conservation of Monuments*. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 2013, (46: p.421-428).

Masini N., D'Andria F., Malfitana D., Scardozzi G., *Il dialogo dei saperi - Tomo II*, Edizioni scientifiche italiane, Napoli, 2010, (p.554).

Matteini M., *Tecnologie per i Beni Culturali*, Progetto Tecnoprimi, Jona, Milano, 2008 (p.19).

Mercuri F., Scudieri F., *Scienza e diagnostica dei Beni Culturali*, XXI secolo, L'universo fisico, Roma, ITA (pp. 615,624).

Micheli M., *Restauro e conservazione. Le tecniche diagnostiche*. Il mondo dell'archeologia, 2002.

Wesolowski A., *The use of biological materials as coupling agents in acoustic analyses of materials*, Acta Agrophysica, 2012.

## Una prova penetrometrica statica per lo studio di malte storiche: primi risultati applicativi e future prospettive di impiego

*Domenico Liberatore, Nicola Masini, Luigi Sorrentino,  
Vito Racina, Luca Frezza, Maria Sileo*

### Riassunto

È stata messa a punto una nuova versione della prova penetrometrica per malte di murature storiche, basata sul principio della penetrazione "statica". La prova fornisce il carico applicato alla punta in funzione della profondità di penetrazione. Il penetrometro è stato testato su pareti in muratura caratterizzate da malta degradata e con scarsa coesione. I risultati vengono correlati con quelli di una prova, messa a punto in precedenti studi, di penetrazione dinamica a percussione.

### 1 - Introduzione

La risposta delle costruzioni in muratura è notevolmente influenzata dalla qualità della malta, come provato, tra l'altro, dai recenti eventi sismici in Emilia (Sorrentino *et al.*, 2014 a,b). A questo proposito, la prova penetrometrica, grazie alla sua moderata distruttività, è in grado di fornire informazioni utili per la valutazione delle caratteristiche di resistenza della malta.

I primi test penetrometrici sono stati inizialmente sviluppati in ambito geotecnico negli anni '30 e successivamente standardizzati da Mohr (1940). La procedura consiste nell'inserire una punta metallica nel terreno e misurare la corrispondente resistenza alla penetrazione. I penetrometri possono essere sia di natura statica, sia dinamica. Il test di penetrazione statica, noto come *Cone Penetration Test* (CPT), consiste nell'inserire una punta conica nel terreno a velocità controllata, di solito 20 mm/s (ASTM, 2005). Il test di

penetrazione dinamica, o *Standard Penetration Test* (SPT), utilizza un tubo campionatore, con diametro esterno 50 mm, diametro interno 35 mm e lunghezza 650 mm circa (BS, 1990; ASTM, 1999). Sulla storia e le applicazioni dell'SPT vedere Rogers (2004).

Nell'ambito dell'ingegneria strutturale, uno dei test più comuni per la determinazione *in situ* della resistenza a compressione del calcestruzzo è la pistola *Windsor*. Essa è costituita da una sonda metallica che penetra ad alta velocità nel calcestruzzo per effetto di una carica esplosiva calibrata. La profondità di penetrazione è generalmente inferiore a 10 mm. Il risultato della misura è il valore medio di penetrazione su 3 colpi. Data la resistenza alla penetrazione e la durezza Mohs dell'aggregato, il test stima la resistenza a compressione del calcestruzzo attraverso relazioni empiriche (ASTM, 2003; BS 1992).

Un test penetrometrico specificamente studiato per malte di murature è il PNT-G, che misura l'energia necessaria per effettuare un foro con un trapano normalizzato (Gucci & Barsotti, 1995; Gucci & Sassu, 2002). Studi sperimentali mostrano che l'energia di penetrazione è correlata alla resistenza a compressione, per malte di sabbia con resistenza inferiore o uguale a 4 MPa. La profondità di penetrazione raggiunta da questo test è di circa 5 mm.

Un altro test finalizzato alla stima della resistenza a compressione della malta è basato sulla misurazione dell'incremento di penetrazione di una sonda in acciaio prodotto da un singolo colpo di martello (Felicetti & Gattesco, 1998).

Una prova penetrometrica simile, ma mirata a valutare il coefficiente di attrito di malte storiche degradate e con scarsa coesione, si basa sull'infissione di una punta metallica con colpi multipli (Liberatore *et al.*, 2001; Liberatore *et al.*, 2004). La penetrazione della punta raggiunge 40-50 mm. La grandezza misurata è il numero medio di colpi richiesto per far avanzare la punta di 1 mm. Questa prova supera gli inconvenienti di molti dei penetrometri precedenti, quali ad esempio l'alta energia del penetrometro Windsor, inadatto per malte degradate e/o a bassa coesione, e la profondità di penetrazione superficiale del PNT-G, che consente di ottenere informazioni solamente per una

profondità limitata. Attraverso relazioni empiriche, il test fornisce il coefficiente di attrito della malta, dato lo spessore del giunto e la sollecitazione di compressione lungo la direzione verticale. Questa prova ha permesso di raccogliere un database sperimentale su un centinaio di edifici storici.

A partire dall'esperienza con l'utilizzo del suddetto penetrometro è maturata l'idea e la concezione di un nuovo strumento per test penetrometrici di natura statica.

Rispetto al precedente dispositivo di tipo dinamico, in questo caso la punta è infissa a velocità costante nella malta, misurando il carico in funzione della profondità di penetrazione (Liberatore *et al.*, 2014).

In questo articolo viene descritto l'apparato di prova e vengono mostrati i primi risultati di applicazioni *in situ*. Le misure ottenute vengono comparate con i risultati ottenuti tramite il penetrometro dinamico.

## 2 - Il penetrometro statico

Il principio del penetrometro è basato sull'avanzamento di una punta metallica nella malta a velocità controllata, e sull'acquisizione in continuo del carico applicato. Il risultato del test consiste in un diagramma che riporta il carico in funzione della profondità di penetrazione. Quest'ultima può raggiungere 70 mm, in modo da superare lo strato superficiale, solitamente piuttosto degradato a causa dell'esposizione agli agenti atmosferici. L'apparato di prova consiste nel penetrometro vero e proprio, in una centralina e in una piastra di fissaggio del penetrometro alla parete.

Il penetrometro è composto da: punta, tamburo, cilindro, vite senza fine, motoriduttore, motore passo-passo, cella di carico, encoder e cavo di collegamento (Figura 1a). La punta è realizzata in acciaio, ha diametro 3 mm ed estremità conica con angolo 27,5°. La punta è alloggiata nel tamburo, che scorre all'interno del cilindro. Il tamburo è azionato, tramite la vite senza fine, dal motoriduttore, che a sua volta è azionato dal motore passo-passo. La testata garantisce il corretto allineamento della punta e permette di fissare il penetrometro alla piastra, a sua volta

ancorata alla parete. Il carico è misurato da una cella di carico a bottone situata tra l'estremità della vite senza fine e il tamburo.

Lo spostamento della punta viene misurato dall'encoder. Durante il test, il penetrometro è collegato alla centralina tramite il cavo di collegamento.

La centralina è composta da: computer, batteria e presa multifunzione (Figura 1b). La centralina, dotata di *touch screen*, consente di specificare le impostazioni del test (velocità, passo di acquisizione, spostamenti iniziale e finale, carico massimo), acquisisce i dati durante la prova (spostamento e carico applicato), riporta la punta nella posizione iniziale alla fine della prova, registra i dati su un'unità rimovibile USB e, infine, permette di azionare manualmente la punta, sia ad alta che a bassa velocità, entrambe configurabili. Durante il test, la centralina visualizza in tempo reale lo spostamento della punta e il carico applicato. Le batterie, caricate attraverso un apposito cavo collegato alla presa multifunzione, consentono di eseguire il test senza ricorrere all'alimentazione in corrente alternata.

La piastra di fissaggio in acciaio (Figura 1c) viene ancorata alla muratura tramite viti a espansione. Il penetrometro può essere bullonato alla piastra in cinque diverse posizioni, in modo da eseguire altrettante penetrazioni su un singolo giunto. Alla fine del test, il penetrometro viene staccato dalla piastra, che a sua volta viene rimossa dalla muratura, insieme con le viti ad espansione che possono essere riutilizzate.

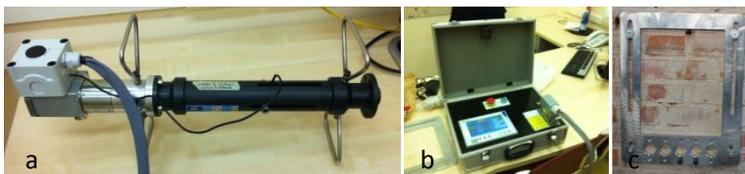


Figura 1. Il Penetrometro (a), la centralina (b) e la piastra di fissaggio (c)

### 3 - Indagini sperimentali

La prova penetrometrica *in situ* è influenzata da diversi fattori di dispersione, a scale differenti, quali:

- l'eterogeneità dei materiali e delle tecniche costruttive;

- il diverso grado di degrado della muratura;
- le diverse tensioni di compressione a cui è soggetta la muratura.

Oltre a questi fattori, che possono essere classificati come "globali", ci sono fattori "locali" all'interno di ogni parete, che dipendono dal comportamento alla "microscala", come ad es. il meccanismo di trasferimento degli sforzi tra gli elementi attraverso i giunti di malta e il grado di confinamento della malta. Infine, è presente una dispersione tra i risultati delle diverse prove su un singolo giunto di malta.

Le grandezze che entrano nel test sono:

$u$  = spostamento della punta;

$F$  = forza applicata;

$F_m$  = forza media applicata;

$u_1$  = spostamento corrispondente al contatto tra la punta e la malta;

$u_2$  = spostamento al termine della prova.

Lo spostamento della punta all'interno del giunto di malta è dato da  $\Delta u = u_2 - u_1$ .

Il lavoro  $W$  relativo allo spostamento della punta da  $u_1$  a  $u_2$  è dato da :

$$W = \int_{u_1}^{u_2} F(u) du = F_m \Delta u \quad (1)$$

L'indagine sperimentale è stata eseguita su cinque manufatti del Sud Italia: un edificio residenziale ad Avigliano (PZ), la chiesa della Madonna del Carmine a Pomarico (MT), la chiesa di San Biagio a Calimera (LE), la chiesa di Santa Maria delle Grazie e il cenobio di San Pietro a Cellaria, entrambi a Calvello (PZ). Questi edifici non hanno subito alcun intervento di consolidamento, a eccezione del terzo che è stato restaurato con opere di ristilatura dei giunti di malta. Per ogni parete investigata, sono state eseguite cinque prove su uno o due giunti di malta sub-orizzontali, previa rimozione dell'intonaco. La velocità di penetrazione è stata impostata a 0.20 mm/s, il carico è stato limitato a 1500 N e i dati sono stati acquisiti con un passo di spostamento di 0.10 mm. Il valore massimo dello spostamento è

stato specificato caso per caso, in base alla conformazione dei giunti individuati.

La preparazione della prova su un singolo giunto (ispezione visiva del pannello, individuazione del giunto, ancoraggio della piastra) ha richiesto circa 30-45 minuti, e ogni test di penetrazione (serraggio del penetrometro alla piastra, penetrazione, sbloccaggio) ha richiesto circa 5 minuti, per un totale di circa 55-70 minuti per ogni giunto di malta oggetto di indagine.

## 4 - Applicazioni

### 4.1 Edificio nel centro storico di Avigliano

L'edificio, ubicato nel centro storico di Avigliano, è una casa privata a tre piani, disabitata e da ristrutturare.

La muratura è costituita da elementi lapidei non lavorati, disposti su filari non regolari e legati con malta a base di calce aerea priva di coesione.

La prova penetrometrica è stata effettuata su due pannelli, denominati A e B. Per la prova sul pannello A (vedi Figure 2-3) lo spostamento massimo è stato fissato a 60 mm.

Nella Figura 4 sono riportati i diagrammi di  $F$  in funzione di  $u$ , e nella Tabella 1 i valori di  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $\Delta u$ ,  $W$ ,  $F_m$ .

Dai grafici si può notare che il carico generalmente cresce con lo spostamento. Ciò è dovuto sia all'aumento della superficie di contatto tra la punta e la malta, sia al miglioramento dello stato di conservazione della malta all'aumentare della profondità di infissione della punta.

Tuttavia, si notano leggeri decrementi della forza, probabilmente causati dalla presenza di vuoti e/o dagli spostamenti/rotazioni di inerti di grandi dimensioni indotti dallo spostamento della punta.

Una migliore comprensione di tali fenomeni si potrà avere in futuro correlando i risultati della prova penetrometrica con quelli ricavabili da analisi porosimetriche in laboratorio, come già fatto in passato per alcuni indagini con il penetrometro dinamico (Calia *et al.*, 2013).



Figura 2. Avigliano, pannello A



Figura 3. Avigliano, pannello A, dettaglio dei fori della punta dopo la prova

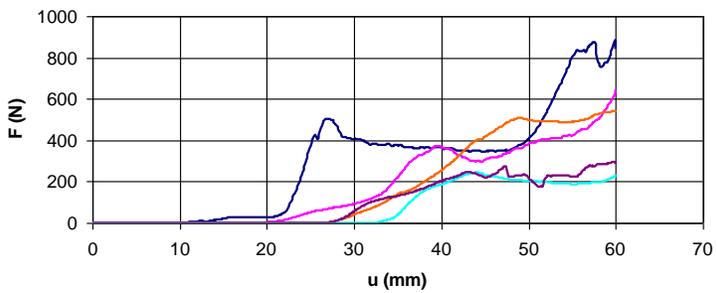


Figura 4. Diagrammi forza-spostamento, Avigliano, pannello A

Test	$u_1$ (mm)	$u_2$ (mm)	$\Delta u$ (mm)	$W$ (J)	$F_m$ (N)
1	22.0	60.0	38.0	17.11	450.18
2	22.0	60.0	38.0	10.58	278.51
3	28.5	60.0	31.5	10.51	333.79
4	33.0	60.0	27.0	4.84	179.30
5	28.0	60.0	32.0	6.12	191.19
				Media =	286.59
				Dev std =	111.43

Tabella 1. Spostamenti, lavoro e forza media, Avigliano, pannello A

Per il pannello B (Figure 5-6), sono state adottate le stesse impostazioni del pannello A, a eccezione dello spostamento a fine prova, impostato a 66 mm. I risultati sono riportati nella Figura 7 e nella Tabella 2.

Si può osservare come il pannello B sia caratterizzato da valori di  $F_m$  sistematicamente inferiori a quelli del pannello A, a conferma dell'importanza dei fattori di dispersione "globali". Per entrambi i pannelli si osserva un'elevata dispersione all'interno dei giunti testati.



Figura 5. Edificio per civile abitazione, Avigliano, pannello B



Figura 6. Edificio per civile abitazione, Avigliano, pannello B durante il test

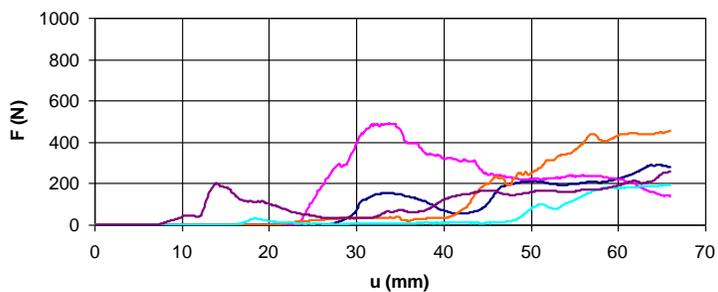


Figura 7. Diagrammi forza-spostamento, Avigliano, pannello B

Test	$u_1$ (mm)	$u_2$ (mm)	$\Delta u$ (mm)	$W$ (J)	$F_m$ (N)
1	27.5	66.0	38.5	6.17	160.14
2	23.5	66.0	42.5	11.53	271.36
3	40.0	66.0	26.0	7.85	302.02
4	48.0	66.0	18.0	1.24	68.63
5	7.7	66.0	58.3	6.79	116.48
Media =					183.73
Dev std =					100.00

Tabella 2. Spostamenti, lavoro e forza media, Avigliano, pannello B

#### 4.2 Chiesa della Madonna del Carmine, Pomarico

La chiesa della Madonna del Carmine, risalente alla fine del 1500, è situata a 6 km dal centro di Pomarico, in provincia di Matera (Figura 8).

La muratura ha tessitura irregolare, con elementi in pietrame informe e giunti in malta di calce. La malta risulta degradata e decoesa.



Figura 8. Chiesa Madonna del Carmine, Pomarico

La prova penetrometrica è stata eseguita su due pannelli in muratura della facciata, dall'esterno (pannello A) e dall'interno (pannello B). Per ciascun pannello sono state eseguite cinque perforazioni su un giunto di malta sub-orizzontale.

La prova è stata eseguita dopo la preventiva rimozione dell'intonaco. Lo spostamento a fine prova è stato impostato a 60 mm. I risultati della prova sono riportati nella Figura 9 e nella Tabella 3.

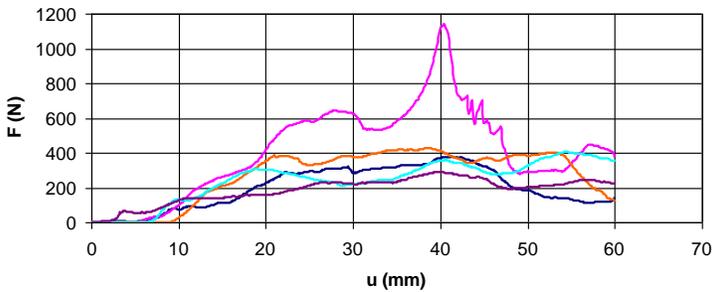


Figura 9. Diagrammi forza-spostamento, chiesa Madonna del Carmine, Pomarico, pannello A

Per la prova penetrometrica effettuata sul pannello B sono state adottate le stesse impostazioni del pannello A.

L'ultima perforazione è stata interrotta allo spostamento  $u_2 = 33.5$  mm per evitare di raggiungere la forza massima del penetrometro.

I risultati sono riportati nella Figura 10 e nella Tabella 4.

Come è possibile osservare, i valori medi di  $F_m$  sono simili nelle due prove, indicando una sostanziale omogeneità dei due pannelli.

Il pannello B mostra una ridotta dispersione nel giunto sottoposto a prova.

Test	$u_1$ (mm)	$u_2$ (mm)	$\Delta u$ (mm)	$W$ (J)	$F_m$ (N)
1	6.0	60.0	54.0	11.83	219.09
2	6.0	60.0	54.0	24.59	455.34
3	9.0	60.0	51.0	16.34	320.32
4	7.0	60.0	53.0	14.54	274.33
5	0.0	60.0	60.0	11.08	184.61
				Media =	290.74
				Dev std =	105.63

Tabella 3. Spostamenti, lavoro e forza media, chiesa Madonna del Carmine, Pomarico, pannello A

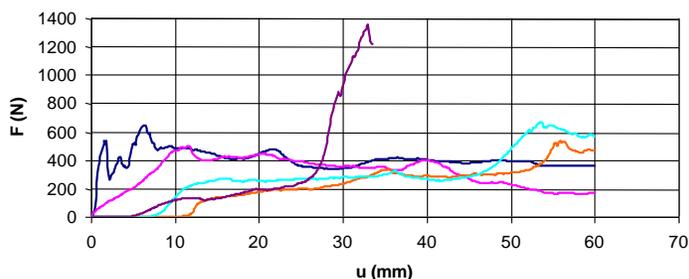


Figura 10. Diagrammi forza-spostamento, chiesa Madonna del Carmine, Pomarico, pannello B

Test	$u_1$ (mm)	$u_2$ (mm)	$\Delta u$ (mm)	$W$ (J)	$F_m$ (N)
1	0.0	60.0	60.0	24.14	402.31
2	0.0	60.0	60.0	18.63	310.45
3	11.0	60.0	49.0	13.08	266.92
4	8.0	60.0	52.0	17.03	327.58
5	6.0	33.5	27.5	9.32	338.81
Media =					329.21
Dev std =					49.17

Tabella 4. Spostamenti, lavoro e forza media, chiesa Madonna del Carmine, Pomarico, pannello B

#### 4.3 Chiesa di San Biagio, Calimera

La chiesa di San Biagio (Figura 11) si trova a 2 km a Est dal centro abitato di Calimera, in provincia di Lecce. Essa è composta da un ipogeo risalente all'XI secolo e da una navata soprastante costruita nel XVIII secolo. La muratura è costituita da conci di calcarenite squadrati, con malta di calce aerea e qualche aggiunta di malta cementizia. L'edificio si trova in un grave stato di degrado e attualmente è puntellato.

Le prove penetrometriche sono state eseguite su due pannelli murari: il primo nell'ipogeo (SB1), testato dall'interno, il secondo facente parte di una della facciate laterali della navata (SB2), testato sulla faccia esterna.



Figura 11. Chiesa di San Biagio, Calimera

Le prove penetrometriche eseguite nei giunti del pannello SB<sub>1</sub>, riportate nella Figura 12 e nella Tabella 5, evidenziano valori molto bassi della forza applicata, mediamente pari a 138,50 N. Tali valori sono riconducibili a malte in forte stato di decoesione e con valori di attrito molto bassi.

I risultati sul pannello SB<sub>2</sub> sono riportati nella Figura 13 e nella Tabella 5. I diagrammi forza-spostamento mettono in evidenza un comportamento, nei primi 10-15 mm, corrispondenti allo strato di ristilatura con malta cementizia caratterizzata da elevate rigidità e resistenza, diverso rispetto ai valori più bassi trovati a penetrazione più profonda, corrispondenti alla malta di calce originaria (15-60 mm).

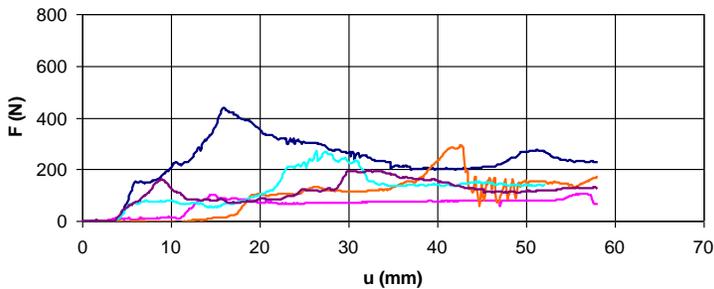


Figura 12. Diagrammi forza-spostamento, chiesa di San Biagio, Calimera, pannello SB<sub>1</sub>

Test	$u_1$ (mm)	$u_2$ (mm)	$\Delta u$ (mm)	$W$ (J)	$F_m$ (N)
1	4.0	58.0	54.0	13.49	249.83
2	2.5	58.0	55.5	3.65	65.70
3	12.1	58.0	45.9	5.69	124.04
4	3.9	58.0	48.1	6.37	132.45
5	3.8	58.0	54.2	6.53	120.47
Media =					138.50
Dev std =					67.57

Tabella 5. Spostamenti, lavoro e forza media, chiesa di San Biagio, Calimera, pannello SB1

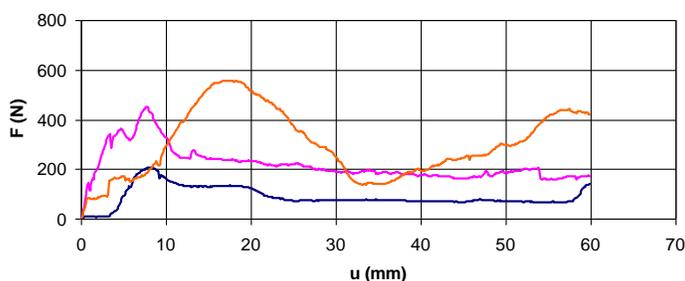


Figura 13. Diagrammi forza-spostamento, chiesa di San Biagio, Calimera, pannello SB2

Test	$u_1$ (mm)	$u_2$ (mm)	$\Delta u$ (mm)	$W$ (J)	$F_m$ (N)
1	0.4	60.0	59.6	5.30	89.00
2	0.1	60.0	59.9	12.99	216.82
3	0.1	60.0	59.9	18.04	301.17
Media =					202.33
Dev std =					106.82

Tabella 6. Spostamenti, lavoro e forza media, chiesa di San Biagio, Calimera, pannello SB2

#### 4.4 Chiesa di Santa Maria delle Grazie, Calvello

La chiesa di Santa Maria delle Grazie, risalente tra il XVIII ed il XIX secolo, si trova a circa 4 km dal centro abitato.

E' costituita da un'unica navata con facciata principale caratterizzata da timpano triangolare, campanile a vela e portale architravato (Figura 14).

La parete sottoposta a prova è in muratura di conci sbozzati in pietrame calcareo e malta di calce aerea. I risultati della prova penetrometrica, eseguita su un giunto sub-orizzontale della parete longitudinale sinistra, sono riportati nella Figura 15 e nella Tabella 7.



Figura 14. Chiesa di Santa Maria delle Grazie, Calvello

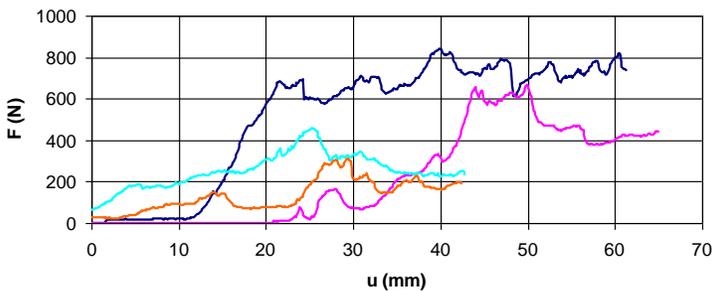


Figura 15. Diagrammi forza-spostamento, chiesa di Santa Maria delle Grazie, Calvello, pannello A

Test	$u_1$ (mm)	$u_2$ (mm)	$\Delta u$ (mm)	$W$ (J)	$F_m$ (N)
1	1.7	61.4	59.7	31.61	529.42
2	22.4	65.0	42.6	14.43	338.82
3	0.0	42.5	42.5	5.64	132.71
4	0.0	42.8	42.8	10.84	253.26
				Media =	313.55
				Dev std =	166.91

Tabella 7. Spostamenti, lavoro e forza media, chiesa di Santa Maria delle Grazie, Calvello, pannello A

#### 4.5 Cenobio di San Pietro a Cellaria, Calvello

Il cenobio, di cui restano ancora parti significative, sorge in alta montagna, a circa 1000 m di altitudine, dominando la valle del Camastra. Fu fondato intorno alla metà del XII secolo, dalla Congregazione di S. Maria di Pulsano, dell'ordine benedettino. Ha un impianto costituito da una chiesa ad unica navata e vari corpi di fabbrica, che costituiscono il risultato di una complessa storia costruttiva di cui si conservano la fase benedettina (tra il XII e il XIV secolo) nelle murature squadrate della chiesa, fasi successive in pietrame e conci meno lavorati dal XV al XX secolo, quando il cenobio diventa una masseria. Di rilievo sono alcuni dipinti murari a tempera, del XVII secolo, che impreziosiscono le pareti e la volta del presbiterio della chiesa.

La parete sottoposta a prova (Figura 16) è in muratura di conci sbozzati in pietrame calcareo e malta di calce aerea.



Figura 16. Cenobio di San Pietro a Cellaria, Calvello; parete sottoposta a prova penetrometrica

I risultati della prova penetrometrica sono riportati nella Figura 17 e nella Tabella 8.

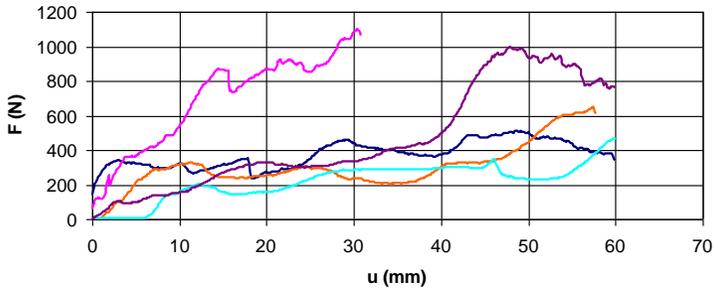


Figura 17. Diagrammi forza-spostamento, cenobio di San Pietro a Cellaria, Calvello, pannello A

Test	$u_1$ (mm)	$u_2$ (mm)	$\Delta u$ (mm)	$W$ (J)	$F_m$ (N)
1	0.0	60.0	60.0	22.49	374.87
2	0.0	30.8	30.8	21.24	689.67
3	1.2	57.7	56.5	17.37	307.36
4	6.3	60.0	53.7	13.10	244.04
5	0.3	60.0	59.7	27.60	462.38
Media =					415.66
Dev std =					173.28

Tabella 8. Spostamenti, lavoro e forza media, cenobio di San Pietro in Cellaria, Calvello, pannello A

## 5 - Correlazione della prova penetrometrica statica con la prova penetrometrica a percussione

La prova statica viene messa in relazione con la prova a percussione, già richiamata, grazie alla quale è stata ricavata una relazione empirica per il calcolo del coefficiente d'attrito della malta. Al fine di correlare le due prove, le pareti testate con la prova penetrometrica statica sono state testate anche con la prova penetrometrica a percussione.

La relazione tra le due prove è basata sull'equivalenza del lavoro speso per l'avanzamento della punta. Il lavoro teorico per singolo colpo del penetrometro a percussione è:

$$w = \frac{1}{2} K \delta^2 \quad (2)$$

dove:

$K = 4200 \text{ N/m}$  (costante elastica della molla);

$\delta = 20 \text{ mm}$  (accorciamento iniziale della molla);

da cui risulta:

$$w = 0.84 \text{ J.}$$

Il lavoro effettivo speso per l'avanzamento della punta è inferiore al lavoro teorico, per via di diversi fenomeni dissipativi, quali:

- l'urto tra la massa battente e il tamburo del penetrometro;
- il superamento dell'attrito statico tra punta e malta;
- l'attrito interno del dispositivo.

Il lavoro effettivo può porsi:

$$w' = \eta w \quad (3)$$

in cui  $\eta$  è un coefficiente di rendimento che va calibrato sulla base dei risultati sperimentali.

Assumendo di eseguire una prova con il penetrometro dinamico a percussione nello stesso punto nel quale è stata eseguita la prova con il penetrometro statico, a parità di avanzamento nel giunto di malta, la condizione dell'uguaglianza del lavoro nelle due prove può scriversi:

$$n \eta w = F_m \Delta u \quad (4)$$

dove  $n$  è il numero di colpi effettuati con il penetrometro dinamico.

L'Eq. (4) può essere riscritta come:

$$\frac{n}{\Delta u} = \frac{F_m}{\eta w} \quad (5)$$

dove  $n/\Delta u$  è il numero medio di colpi per unità di penetrazione della prova dinamica.

L'Eq. (5) permette di calcolare il rapporto  $n/\Delta u$  fornito dalla prova penetrometrica a percussione a partire dalla  $F_m$  determinata con la prova penetrometrica statica.

L'utilizzo dell'Eq. (5) richiede una preventiva stima del coefficiente di rendimento  $\eta$ . Questa stima può essere eseguita quando, per uno stesso pannello, siano disponibili sia la prova con penetrometro statico sia quella con penetrometro a percussione, attraverso l'equazione seguente:

$$\eta = \frac{F_m}{w} \frac{\Delta u}{n} \quad (6)$$

Nelle Tabelle 9-10 sono riportati i risultati delle prove penetrometriche a percussione sull'edificio di Avigliano, pannelli A e B, rispettivamente, nella Tabella 11 i risultati sulla chiesa della Madonna del Carmine, Pomarico, pannello A, nelle Tabelle 12-13 i risultati sulla chiesa di San Biagio, Calimera, pannelli SB1 e SB2, rispettivamente, e nella Tabella 14 i risultati per il cenobio di San Pietro a Cellaria, pannello A, quest'ultimo testato con 10 perforazioni. Con l'eccezione del cenobio di San Pietro in Cellaria, per tutte le altre prove risultano valori di  $n/\Delta u$  inferiori a  $1 \text{ mm}^{-1}$ , indicanti malte di scadente qualità.

Test	$n$	$\Delta u$ (mm)	$n/\Delta u$ ( $\text{mm}^{-1}$ )	Test	$n$	$\Delta u$ (mm)	$n/\Delta u$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	23	44.2	0.520	1	40	43.7	0.915
2	38	37.0	1.027	2	29	45.1	0.643
3	30	47.6	0.631	3	30	47.6	0.630
4	30	41.5	0.723	4	20	31.5	0.635
5	23	44.7	0.515	5	24	37.1	0.647
			Media:				0.683
			Dev std:				0.211
							0.694
							0.124

**Tabella 9. Prova penetrometrica dinamica, Avigliano, pannello A**

**Tabella 10. Prova penetrometrica dinamica, Avigliano, pannello B**

Test	$n$	$\Delta u$ (mm)	$n/\Delta u$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	32	40.25	0.795
2	30	43.15	0.695
3	26	46.40	0.560
4	28	46.25	0.605
5	30	46.55	0.644
		Media:	0.660
		Dev std:	0.090

**Tabella 11. Prova penetrometrica dinamica, chiesa Madonna del Carmine, Pomarico, pannello A**

Una prova penetrometrica statica per lo studio di malte storiche

Test	$n$	$\Delta u$ (mm)	$n/\Delta u$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	10	47.1	0.212
2	14	46.9	0.299
3	10	44.7	0.224
4	12	45.9	0.261
5	14	41.7	0.336
		Media:	0.266
		Dev std:	0.052

Tabella 12. Prova penetrometrica dinamica, chiesa di San Biagio, pannello SB1

Test	$n$	$\Delta u$ (mm)	$n/\Delta u$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	29	38.2	0.760
2	34	37.6	0.905
3	24	37.9	0.633
4	27	36.4	0.742
		Media:	0.760
		Dev std:	0.112

Tabella 13. Prova penetrometrica dinamica, chiesa di San Biagio, pannello SB2

Test	$n$	$\Delta u$ (mm)	$n/\Delta u$ ( $\text{mm}^{-1}$ )	Test	$n$	$\Delta u$ (mm)	$n/\Delta u$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	60	43.0	1.395	6	43	41.8	1.030
2	45	49.9	0.903	7	55	39.1	1.407
3	50	22.0	2.278	8	40	41.7	0.960
4	50	40.3	1.242	9	50	43.0	1.164
5	50	37.3	1.342	10	60	41.8	1.435
						Media:	1.316
						Dev std:	0.389

Tabella 14. Prova penetrometrica dinamica, cenobio di San Pietro a Cellaria, pannello A

Per il calcolo del coefficiente di rendimento secondo l'Eq. (6) si utilizzano i valori medi di  $F_m$  e di  $n/\Delta u$  su cinque perforazioni, a eccezione della chiesa di San Biagio, pannello SB2 (quattro perforazioni) e del cenobio di San Pietro a Cellaria (dieci perforazioni). I risultati sono riportati nella Tabella 8.

Edificio	Pannello	Media $n/\Delta u$ ( $\text{mm}^{-1}$ )	$\eta$
Avigliano	A	0.683	0.499
	B	0.694	0.315
Madonna del Carmine	A	0.660	0.524
San Biagio	SB1	0.266	0.619
	SB2	0.760	0.317
San Pietro a Cellaria	A	1.316	0.376
		Media =	0.442
		Dev std =	0.125

Tabella 15. Coefficiente di rendimento

Poiché la prova penetrometrica a percussione è stata eseguita in giunti diversi rispetto alla prova penetrometrica statica, le differenze tra le due prove risentono anche dei fattori di dispersione "locali". Si può osservare una dispersione piuttosto alta del coefficiente di rendimento ( $CoV = 0.282$ ). L'errore standard sul coefficiente di rendimento medio è pari a  $0.125/\sqrt{6} = 0.0508$  e, conseguentemente, l'intervallo media  $\pm$  err std è uguale a (0.391, 0.493). Ulteriori dati potranno migliorare l'attendibilità della relazione tra i due tipi di test.

## 6 - Conclusioni

E' stata presentata una prova penetrometrica statica su malta di muratura, basata sul principio dell'avanzamento della punta a velocità costante. Il risultato della prova è il diagramma della forza applicata alla punta in funzione dello spostamento di quest'ultima. A partire da tale diagramma, per ogni perforazione si possono calcolare il lavoro speso per l'avanzamento della punta e il valore medio della forza applicata. La prova può essere classificata come moderatamente distruttiva sui giunti di malta, e non distruttiva nei confronti degli elementi. Essa è quindi adatta a un impiego diffuso.

Sono state eseguite prove *in situ* su un edificio per civile abitazione, tre chiese e un edificio monastico. Per ciascun edificio sono stati indagati uno o due giunti di malta sub-orizzontali, ciascuno dei quali è stato sottoposto di regola a cinque perforazioni.

La preparazione della prova su un singolo giunto (individuazione del giunto e fissaggio della piastra) ha richiesto circa 30-45 minuti, e la singola perforazione (montaggio del penetrometro, esecuzione della prova e smontaggio del penetrometro) circa 5 minuti, per un totale di circa 55-70 minuti a giunto. Le prove eseguite hanno mostrato che la prova è adatta a essere utilizzata su murature storiche in pietrame irregolare.

La prova penetrometrica statica è stata messa in relazione con la prova penetrometrica a percussione, sviluppata in precedenti lavori. La relazione tra le due prove è basata sull'equivalenza del lavoro speso per l'avanzamento della punta. Mentre la prova

penetrometrica statica fornisce direttamente tale lavoro, la prova a percussione richiede la preventiva determinazione del coefficiente di rendimento, a causa di fenomeni dissipativi, quali l'urto tra la massa battente e il tamburo, il superamento dell'attrito statico tra punta e malta, e fenomeni dissipativi del dispositivo. Il coefficiente di rendimento è stato valutato per sei pannelli murari sui quali sono state eseguite entrambe le prove. La dispersione sul coefficiente di rendimento è piuttosto elevata; pertanto la stima del suo valore medio può essere migliorata solo attraverso l'esecuzione di ulteriori prove.

Indagini di laboratorio tramite scatola di taglio, tuttora in corso, su campioni di malta decoesa prelevati *in situ*, permetteranno di stabilire una correlazione tra la prova penetrometrica statica e il coefficiente d'attrito della malta.

## Ringraziamenti

Lo sviluppo del penetrometro e la ricerca sono stati finanziati nell'ambito dei progetti:

- "AITECH" e "PRO\_CULT" dell'IBAM-CNR (Regione Basilicata FESR 2007-13);

- "Grandi attrezzature 2011" dell'Università "Sapienza" di Roma; gli autori sono grati al coordinatore del progetto, il Prof. Giorgio Monti;

- "IN-CUL.TU.RE." dell'IBAM-CNR, coordinato dal Dr. Giovanni Quarta;

- "Dipartimento di Protezione Civile – Consorzio ReLUIS", Research Line Masonry Structures firmato il 27-12-2013. Le opinioni espresse in questa pubblicazione sono quelle degli autori e non sono necessariamente condivise dal Dipartimento della Protezione Civile.

Il penetrometro, ideato e progettato dal primo e dal secondo autore, è stato realizzato nell'officina meccanica del signor Felice Villano e nell'officina elettromeccanica del signor Carlo Ligrani.

Gli autori sono grati al signor Raffaele Carlucci per la disponibilità del palazzo residenziale ad Avigliano, e al Prof. Michelangelo Laterza, all'Ente Diocesi di Matera-Irsina e al

Comune di Pomarico per la disponibilità della chiesa della Madonna del Carmine.

Gli autori ringraziano il Dr. Omar Al Shawa per l'assistenza fornita nei test preliminari in Laboratorio e nella redazione del manuale d'uso.

## Bibliografia

ASTM Standard D 1586 1999, *Standard Test Method for Penetration and Split-Barrel Sampling of Soils*, ASTM International. West Conshohocken, PA. <http://www.astm.org>.

ASTM Standard C 803 / C 803-M 2003, *Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete*, ASTM International. West Conshohocken, PA. <http://www.astm.org>.

ASTM Standard D 3441 2005, *Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Tests of Soils*, ASTM International. West Conshohocken, PA. <http://www.astm.org>.

BS 1377-9 1990, *Methods for Test for Soils for Civil Engineering Purposes, In Situ Tests*, BSI British Standards. London. <http://www.bsiglobal.com>.

BS 1881-207 1992. *Testing Concrete. Recommendations for the Assessment of Concrete Strength by Near-to-Surface Tests*, BSI British Standards. London. <http://www.bsiglobal.com>.

Calia A., Liberatore D. & Masini N., *Approach to the study of conservation of historical masonry mortars by means of the correlation between porosimetry and penetrometric test. First results*, in: Proc. of "Built Heritage 2013 Monitoring Conservation Management", Milan, Italy, 18-20 November 2013, (2013), 1133-1140.

Felicetti R. & Gattesco N., *A penetration test to study the mechanical response of mortar in ancient masonry building*, Materials and Structures 31 (1998) 350-356.

Gucci N. & Barsotti R., *A non-destructive technique for the determination of mortar load capacity in situ*, Materials and Structures 28 (1995) 276-283.

Gucci N. & Sassu M., *Resistenza delle murature: valutazione con metodi non distruttivi, il penetrometro PNT-G*, L'Edilizia, XVI (2) (2002) 36-40.

Liberatore D., Spera G. & Cotugno M., *A new penetration test on mortar joints*, in: Proc. of the RILEM TC177MDT Workshop "On site control and non destructive evaluation of masonry structures and materials", Mantua, Italy, 13-14 November 2001 (2001) 191-202.

Liberatore D., Spera G. & Racina V., *Una prova penetrometrica per valutare le caratteristiche della malta: prime calibrazioni*, in: Proc. of the 11th Conference "L'Ingegneria Sismica in Italia", Genoa, Italy, 25-29 January 2004 (2004).

Liberatore D., Masini N., Sorrentino L., Racina V., Frezza L. & Sileo M., *A static penetration test for masonry mortar*, in: Proc. of the SAHC 2014, 9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions; Mexico City, Mexico, October 2014 (2014) 14-17.

Mohr H.A., *Exploration of Soil Conditions and Sampling Operations*, Soil mechanics series, Bull. 269. Graduate School of Engineering, Harvard University, (1940).

Rogers J.D., *Notes on the Standard Penetration Test*, Advanced Engineering Geology & Geotechnics, GE 441 (2004).

Sorrentino L., Liberatore L., Decanini L.D. & Liberatore D., *The performance of churches in the 2012 Emilia earthquakes*, Bull Earthquake Eng 12(5) (2014) 2299-2331, <http://dx.doi.org/10.1007/s10518-013-9519-3>.

Sorrentino L., Liberatore L., Liberatore, D. & Masiani R., *The behaviour of vernacular buildings in the 2012 Emilia earthquakes*, Bull Earthquake Eng 12(5) (2014) 2367- 2382, <http://dx.doi.org/10.1007/s10518-013-9455-2>.

## Lo stato di conservazione dei Sassi di Matera: correlazione tra il degrado e le condizioni ambientali attraverso tecniche di analisi spaziale

*Maria Sileo, Marilisa Biscione, Maria Danese,  
Fabrizio Terenzio Gizzi, Monica Álvarez de Buergo*

### Riassunto

In questo contributo è descritto un metodo per la valutazione dello stato di conservazione dei Sassi di Matera, sito iscritto nella lista del Patrimonio Mondiale dell'UNESCO dal 1993 (i Sassi e il Parco delle Chiese Rupestri di Matera) e recentemente eletto Capitale europea della Cultura per l'anno 2019.

L'articolo si sofferma sull'analisi dell'influenza di alcuni fattori ambientali sullo stato di conservazione dei Sassi, prestando particolare attenzione alle condizioni microclimatiche del sito, come l'insolazione e l'esposizione ai venti. Tale metodologia considera l'uso combinato di dati sul degrado e delle tecniche avanzate di analisi spaziali come la *Map Algebra* e la stima della *Kernel Density*. I risultati di tale ricerca sono discussi qui in forma sintetica. Per eventuali approfondimenti su tutti gli aspetti specifici si rimanda il Lettore al contributo recentemente pubblicato dagli Autori su rivista specializzata (Gizzi *et al.*, 2015).

### 1 - Introduzione

La conoscenza dello stato di conservazione dei centri storici e l'analisi delle cause del degrado sono elementi essenziali per stabilire adeguate contromisure preventive in particolare per i siti di elevato valore culturale, come quelli facenti parte del Patrimonio dell'Umanità. Da questo punto di vista, la letteratura di settore evidenzia diversi contributi riguardanti la classificazione degli agenti e delle forme di degrado interessanti il Patrimonio monumentale.

Fitzner & Heinrichs (2002) e Fitzner *et al.* (2002, 2003) hanno introdotto un importante apporto alla stima del degrado dei

monumenti in pietra applicabile oggettivamente e scalabile per differenti varietà di materiale lapideo e beni monumentali. Gli Autori hanno eseguito la valutazione delle tipologie e dell'intensità del degrado in base ad un sistema di classificazione che considera quattro livelli principali, ciascuno dei quali suddiviso in sub-livelli. Seguendo questo schema, gli Autori hanno inventariato e mappato tutte le tipologie di degrado osservate.

Thornbush (2012) ha concepito un sistema di classificazione delle forme di alterazione utilizzando immagini fotografiche digitali ad alta risoluzione per l'identificazione delle strutture visibili ad occhio nudo e classificate utilizzando il *Size-Extent (S-E) index*.

Recentemente Calia *et al.*, (2014) seguendo le raccomandazioni della norma di riferimento UNI 11182 (2006) e basandosi su rilievi di sito hanno realizzato un database delle forme di degrado dei monumenti edificati sia con la pietra calcarenitica pugliese sia con la Pietra Gentile. Il database include, inoltre, i dati rinvenimenti da analisi di laboratorio compiute sui materiali da costruzione dei monumenti censiti.

Per quanto riguarda l'analisi delle possibili relazioni causa-effetto, diversi autori correlano il degrado osservato sulle facciate degli edifici con le condizioni microclimatiche di sito. A tal proposito, negli anni Ottanta molta attenzione è stata dedicata al ruolo svolto dalla presenza/assenza di radiazione solare incidente sulle superfici in pietra costituenti il Patrimonio monumentale. Questi studi hanno dimostrato che il decadimento materico interessa prevalentemente sia le facciate esposte direttamente alla luce solare (sud) sia quelle poste completamente in ombra (nord). Le superfici dove l'esposizione alla radiazione solare è più intensa e prolungata subiscono notevoli sollecitazioni termiche; viceversa, sulle pareti aventi esposizione solare diretta limitata o assente, forme di degrado attribuibili ad esempio alla colonizzazione biologica si sviluppano con maggiore intensità, principalmente a causa della bassa evaporazione dell'acqua (Pope *et al.*, 2002; Gómez Heras, 2006).

Alcuni autori hanno anche analizzato l'influenza della radiazione solare e/o eolica sul degrado della pietra. Dolske

(1995) ha esaminato l'importanza delle condizioni ambientali quali umidità relativa, temperatura dell'aria, velocità del vento e irraggiamento solare, con particolare attenzione alle azioni esercitate dagli inquinanti atmosferici. Camuffo & Sturaro (1999, 2001) hanno posto attenzione alle relazioni tra l'esposizione delle facciate rispetto all'azione combinata dei venti e della pioggia battente e la presenza di alcune forme di degrado, considerando in particolare gli effetti delle interazioni ambientali locali dovute al clima urbano con i materiali costituenti la Torre di Pisa e su alcuni monumenti di Roma.

Considerando i contributi fino ad ora descritti in questo lavoro, dopo un rilievo sul campo degli edifici che costituiscono i Sassi di Matera, è stato realizzato un questionario specifico per valutare lo stato di conservazione e stimare, in tal modo, l'Indice di Degrado (*Decay Index*, DI). Inoltre, al fine di analizzare il rapporto di causa-effetto tra il degrado e le condizioni microclimatiche di sito, con particolare riguardo all'insolazione e alla direzione dei venti, l'articolo propone l'utilizzo di tecniche GIS avanzate, con particolare riferimento alla *Map Algebra* e all'uso della *Kernel Density*. Quest'ultimo aspetto della ricerca riveste carattere d'innovatività. Anche se alcuni autori, infatti, hanno già considerato il GIS per studiare i fenomeni di degrado dei materiali lapidei, il loro scopo è stato principalmente quello di rilevare, identificare, classificare e mappare le tipologie di decadimento osservate utilizzando e analizzando immagini storiche o recenti (Inkpen *et al.*, 2008; André *et al.*, 2014; Gomez-Heras *et al.*, 2014) senza avvalersi, tuttavia, delle tecniche avanzate che considerano gli oggetti utilizzando le loro proprietà geografiche e relazioni spaziali.

## 2 - I Sassi di Matera: quadro storico, territoriale ed ambientale

I Sassi di Matera sono inclusi, insieme al contiguo Parco delle Chiese Rupestri, nella *World Heritage List of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) e rappresentano il più completo esempio nell'area del Mediterraneo di insediamento rupestre a forte continuità di vita, ricavato in stretta armonia con l'ecosistema (Figure 1 e 2).

La particolare antropizzazione di quest'area, generata dalla grande povertà di mezzi e sostenuta da una tenace volontà insediativa, è riassunta nella definizione *"rock-cut settlement, architectural ensemble and landscape illustrating a number of significant stages in human history"*, utilizzata dall'ICOMOS per l'UNESCO (ICOMOS 1993).



Figura 1. Vista del centro storico di Matera (foto degli Autori)

In questo territorio sono presenti circa ottanta piccoli insediamenti rupestri frequentati in diversi periodi storici e aventi differenti funzionalità, come testimoniato dalla presenza di grotte adibite ad abitazione, chiese, asceteri, botteghe, palmenti o stalle. La forma originaria dei siti all'interno del Parco è ancora ben leggibile, a differenza dei due insediamenti rupestri più vicini alla Civita e progressivamente inglobati nel tessuto urbano, poi diventati rioni e definiti, appunto, Sassi.

Sin dal II millennio a.C. e senza soluzione di continuità la sommità della Civita è stata luogo prescelto di stanziamento da parte delle popolazioni che sono poi arrivate a espandersi fin lungo il fianco del Torrente Gravina (Cipolloni Sampò, 1999), dove sono ubicati i due rioni dei Sassi, il Caveoso ed il Barisano.

L'ordito urbanistico di questi quartieri si articola sul versante calcarenitico della Gravina secondo una successione verticale di ambienti, in parte scavati e in parte costruiti, il cui numero varia in base alla conformazione, natura e altezza della roccia su cui - o in cui - insistono e può arrivare sino a tre (Rione Le Malve, nel Caveoso) o variare da sei a nove (Civita) (Fonseca, 2006).

L'organizzazione dello spazio tiene conto, inoltre, dei solchi di erosione torrentizia e della necessità di convogliare le acque; questo fatto, insieme all'intreccio delle diverse tipologie abitative (dalla grotta, archetipo abitativo, al lamione, vano unico sviluppato in profondità e coperto a volta, fino alle case palazziate, in parte costruite) (Dell'Aquila & Messina, 1998) rende unico l'impianto urbano dei due antichi rioni.

Numerosi documenti risalenti al XIII e XIV secolo attestano vicino alla Civita una cospicua presenza d'istituzioni ecclesiastiche ed un'intensa attività di vendita o cessione di grotte e ci restituiscono le prime testimonianze scritte dell'uso del toponimo "Sasso", usato per indicare un rione scavato lungo la rupe (Fonseca, 2006; Dalena, 1990). Il quartiere del Piano, posto a un livello più elevato rispetto ai due Sassi, si sviluppa invece durante il XVIII secolo con abitazioni borghesi, più accoglienti, non scavate (totalmente) nella roccia ma costruite con ampie aperture.

La Civita, I Sassi, il Piano e il Parco sono stati dunque abitati e sfruttati per secoli da differenti etnie e ceti sociali e per le più disparate attività produttive, artigiane o religiose.

La commistione tra l'insediamento umano tradizionale e un uso del territorio tipico della civiltà e cultura rupestre ha mantenuto sin dalle sue origini lo stesso armonioso rapporto con l'ambiente: sono queste le peculiarità che hanno determinato l'inclusione del sito, sin dal 1993, nella lista del Patrimonio mondiale dell'UNESCO (<http://whc.unesco.org/en/list/670>) e poi contribuito alla designazione di Matera quale Capitale europea della Cultura 2019, nell'ottobre 2014.

I prestigiosi riconoscimenti internazionali di cui i Sassi beneficiano impongono ulteriori sforzi per assicurare misure di mitigazione volte a ridurre i fattori che influenzano il deterioramento di tale prezioso sito.



Figura 2. Matera: area oggetto di studio (da Google™ earth)

La comprensione dell'influenza delle dinamiche di degrado richiede da un lato la conoscenza dello stato di conservazione materico dell'insediamento, dall'altro la valutazione delle variabili ambientali che agiscono su di esso.

Da un punto di vista costitutivo, i monumenti e gli edifici dei Sassi sono formati, come detto, da una tipica pietra calcarenitica conosciuta localmente come Tufo calcareo, estratto dalla formazione della Calcarenite di Gravina (Pleistocene inferiore-Piacenziano) che affiora e caratterizza tutta l'area oggetto d'indagine. Tale litologia si ritrova anche nella vicina regione Puglia in contatto discordante sulla formazione del "Calcarea di Altamura" (Cretaceo superiore) (Ciaranfi *et al.*, 1979).

La Calcarenite di Gravina è costituita da elementi fossiliferi dal colore bianco-giallastro, si presenta generalmente massiva e scarsamente compatta con una granulometria variabile e per tali caratteristiche sono state distinte tre tipologie: *grainstone* a grana fine, *packstone* a grana media, e *grainstone* a grana grossa (Andriani & Walsh, 2003). Per la sua disponibilità e facilità di lavorazione, la roccia è stata ampiamente utilizzata nei secoli come materiale da costruzione sia in Puglia sia in Basilicata.

Da un punto di vista climatico, Matera è caratterizzata da un clima temperato caldo, con estati secche (Kottek *et al.*, 2006) e media annuale delle temperature minime e massime rispettivamente pari a 10.4 °C e 19.5 °C (<http://clisun.casaccia.enea.it/>, accessibile il 24 marzo 2014). Per quanto attiene le precipitazioni, la media annuale è di 543 mm/anno (De Stefano & Lorusso, 2002).

Ciò premesso, gli Autori hanno eseguito l'analisi dello stato di conservazione dei monumenti e degli edifici dei Sassi di Matera, correlando i dati rilevati con alcune delle principali caratteristiche ambientali per determinare i possibili fattori che controllano i processi di degrado della calcarenite.

### 3 - Metodologie

#### 3.1. Il questionario e il metodo di rilievo

Il degrado che riguarda i materiali lapidei calcarenitici dei Sassi è stato classificato attraverso la compilazione di un questionario *ad hoc* che è stato realizzato tenendo in considerazione principalmente la norma UNI 11182 (2006), il glossario ICOMOS-ISCS (2008) ed eseguendo un ampio esame della letteratura (Fitzner & Heinrichs, 2002; Fitzner *et al.*, 2002; Fitzner *et al.*, 2003; Viles & Gorbushina, 2003).

Il passo successivo è stato quello di individuare le voci da inserire nel questionario tramite rilievi preliminari in sito che hanno consentito di differenziare le forme di alterazione e degrado tipiche del luogo.

Il questionario è strutturato secondo cinque categorie principali:

- presenza di materiale biologico,
- presenza di depositi,
- perdita di materiale,
- cambiamento del colore superficiale,
- degrado estetico.

Ogni categoria è suddivisa in alcune sub-classi in cui sono incluse le forme di degrado (Gizzi *et al.*, 2015) (Tabella 1).

Una volta fissate le tipologie di alterazione e degrado incluse nel questionario, al fine di fornire una stima quantitativa relativa del degrado di ogni facciata è stato introdotto il *Decay Index* (DI) in accordo alla seguente formula:

$$DI = \frac{\sum_{i=1}^n X_i * W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

dove  $X_i$  individua la percentuale dell'area interessata dal degrado specifico rispetto alla superficie totale indagata;  $W_i$  rappresenta il peso attribuito a ciascuna forma di degrado e riproduce il fattore di rischio per la conservazione. Il peso massimo  $W_i$  che è stato attribuito è pari a 1.0 e rappresenta il valore di più alto rischio; il valore  $W_i$  più basso attribuito è pari a 0.5. Quanto ad  $n$ , esso riproduce il numero totale delle tipologie di degrado rilevate sulle singole superfici indagate.

Valori elevati dei pesi sono correlati alle forme di degrado che implicano direttamente o indirettamente una riduzione del volume e/o deterioramento della pietra dal punto di vista delle proprietà fisico-meccaniche (es.: perdita di materiale e la presenza di materiale biologico). Un aspetto importante tenuto presente per l'attribuzione dei pesi più elevati è stato quello della presenza di forme di degrado interessanti l'intero spessore delle murature, come ad esempio il fronte di risalita capillare.

Dopo aver fissato i criteri per stimare  $DI$ , per valutare lo stato di conservazione degli edifici sono stati effettuati dettagliati rilievi in sito basati sull'analisi visiva eseguita alla micro e mesoscala (da alcuni millimetri a qualche dm).

Durante il rilievo in sito sono stati compilati i questionari per circa duecento facciate e per ciascuna di esse sono state scattate fotografie in seguito orto-rettificate in modo da consentire la

stima della percentuale di area interessata da ogni specifica tipologia di degrado. La scelta delle pareti da considerare per il rilievo è stata compiuta valutando principalmente l'accessibilità delle superfici. Tutti i dati derivanti sia dal rilievo in sito sia dal calcolo del valore del *DI*, sono stati inseriti in un GIS per consentire la valutazione dell'influenza delle condizioni ambientali locali sullo sviluppo del degrado, utilizzando due tecniche di analisi spaziale: la *Map Algebra* e la *Kernel Density*.

CATEGORIA PRINCIPALE	FORME DI DEGRADO	Wi
Presenza di materiale biologico	<i>Colonizzazione biologica</i>	0.8
	<i>Presenza di vegetazione</i>	0.8
	<i>Patina biologica</i>	0.8
	<i>Escrementi di uccelli</i>	0.8
	<i>Macchie di urina</i>	0.8
Presenza di depositi	<i>Depositi superficiali</i>	0.5
	<i>Efflorescenze/subefflorescenze</i>	0.5
	<i>Incrostazione</i>	0.5
	<i>Crosta</i>	0.5
Perdita di materiale	<i>Alveolizzazione</i>	0.8
	<i>Esfoliazione</i>	0.8
	<i>Scagliatura</i>	0.8
	<i>Erosione</i>	0.8
	<i>Degrado differenziale</i>	0.8
	<i>Disgregazione / polverizzazione</i>	0.8
	<i>Pitting</i>	0.8
	<i>Fratturazione o fessurazione</i>	0.8
<i>Rigature / graffi a causa di impatto antropico</i>	0.8	
Cambiamenti del colore superficiale	<i>Fronte di risalita</i>	1.0
	<i>Colatura</i>	1.0
	<i>Macchie</i>	1.0
	<i>Soiling</i>	1.0
Degrado estetico [per aggiunta (A,B); riparazione/sostituzione (C,D)]	A <i>Cavi/tubazioni</i>	0.5
	B <i>Graffiti</i>	0.5
	C <i>Sostituzione</i>	1.0
	D <i>Rifacimento/ riparazione con malta o materiali protettivi</i>	1.0

Tabella 1. Questionario utilizzato per la classificazione delle forme di degrado e la valutazione dell'Indice *DI*. La terza colonna riporta il peso (*Wi*) attribuito a ciascuna categoria nella valutazione dell'Indice

### 3.2 Le analisi spaziali

#### 3.2.1. Map algebra

La *Map Algebra* è un linguaggio di alto livello per la modellazione spaziale che permette di sviluppare modelli spaziali complessi, utilizzando il format *raster* (De Mers, 2002). I gruppi principali di analisi esistenti sono tre (Tomlin, 1990):

1) le *local function* permettono di effettuare calcoli, partendo da uno o più *raster* di input sullo stesso singolo, corrispondente *pixel* di ciascuno dei *raster* di input;

2) le *focal function* permettono di applicare le funzioni effettuando i calcoli su un intorno predefinito di ciascun *pixel* del *raster* di input;

3) le *zonal function* permettono di calcolare le espressioni algebriche all'interno di zone individuate da uno dei *raster* di input.

Dalla combinazione di queste funzioni è possibile ottenere molti altri tipi di analisi, quali le *surface analysis*, per indagare e classificare il paesaggio e il territorio.

Tra queste l'*hillshade* è una delle tecniche di *surface analysis* che consente di ottenere, per ciascun *pixel* dell'*output raster* in cui è modellato lo spazio, l'illuminazione, ad esempio, della superficie di un edificio o di parte di esso che si trovi in quel *pixel*. I valori del *pixel* del *raster* di *output* può variare da 0 (illuminazione minima) fino a 255 (illuminazione massima). I parametri principali che sono presi in considerazione nell'analisi di tipo *hillshade* sono l'*azimut* e la quota del sole al di sopra dell'orizzonte.

#### 3.2.2. Kernel Density Estimation (KDE)

La *KDE* è una tecnica di *point pattern analysis* che mostra come il valore atteso (media) di un evento spaziale vari nello spazio.

La *KDE* è una funzione tridimensionale che si muove nello spazio, pesando gli eventi che ricadono all'interno della sua sfera d'influenza in base alla loro distanza del punto in cui l'intensità è

stata stimata (Gatrell *et al.*, 1996). In ogni punto dello spazio la KDE è definita come (Eq. 1):

$$(1) \lambda(L) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} k\left(\frac{L-L_i}{\tau}\right)$$

in cui  $\lambda$  è la distribuzione di densità dei punti,  $L_i$  è l'i-esimo evento,  $k$  è la funzione di *kernel* e  $\tau$  è la larghezza di banda. Il fattore che principalmente influenza la stima della densità è  $\tau$ : se è troppo grande  $\lambda$  tende alla densità semplice; se  $\tau$  è troppo piccolo, la stima non riesce a catturare il fenomeno.

In molti casi come valore della larghezza di banda è usata una misura di distanza, la *Nearest Neighbour Observed Distance (NNOD)*, definita dall'(Eq. 2):

$$(2) NNOD = \frac{\sum_{i=1}^n d_{min}(s_i, s_j)}{n}$$

in cui  $d_{min}(s_i, s_j)$  è la distanza tra ogni punto e il suo vicino più prossimo, ed  $n$  è il numero di punti appartenenti alla distribuzione.

Per approfondire maggiormente la KDE e i suoi parametri e l'uso del NNOD associato ad essa si veda (Danese *et al.*, 2008).

#### 4 - Risultati e discussione

Questa sezione analizza succintamente il rapporto tra il degrado e l'esposizione delle facciate al vento e/o all'irraggiamento solare per valutare le variabili ambientali coinvolte nel determinare il degrado osservato.

Come già accennato, il rilievo è stato condotto per circa 200 facciate, la cui altezza e superficie media sono rispettivamente pari a 5 metri e 36 metri quadri circa.

Per ciascuna delle facciate è stato stimato il *DI* che assume valori compresi fra 1.23 e 13.73, con una media di 5.8 (Tabella 2). Analizzando il *DI* distintamente per ogni classe, si può notare che:

- la maggior parte (44,3%) delle superfici ricade nella classe 2 avente un valore di *DI* medio-basso (da 3.73 a 6.23);

- le classi rappresentanti gli indici più alti includono un numero di superfici che diminuisce all'aumentare di *DI* (la classe 3 rappresenta il 28,4%, la classe 4 il 7,1% e la classe 5 il 2,7% del numero totale delle facciate).

Allo scopo di evidenziare come il valore di *DI* varia sul territorio e quali aree sono caratterizzate da valori più elevati (*hot spot*) e più bassi (*cold spot*) i dati sono stati rappresentati sulla mappa territoriale usando la tecnica della *KDE* (Figura 3). Al fine di analizzare l'influenza delle variabili ambientali sul degrado, è stata eseguita anche una correlazione tra il valore *DI* per ogni facciata e l'esposizione sia ai venti sia alla radiazione solare. In particolare, la *KDE* prende in considerazione l'indice *DI* associato a ciascuna facciata e trasforma questa informazione in densità di degrado distribuita lungo le pareti.

Tale elaborazione mostra che gli *hot spot* sono molto diffusi soprattutto nell'area nord e sud dei Sassi. Il risultato ottenuto aiuta a comprendere visivamente e numericamente la corrispondenza con i dati di esposizione al vento.

Per ogni parete, infatti, è stato calcolato il numero di giorni di esposizione analizzando una finestra temporale di due anni, dal 1 gennaio 2012 al 31 dicembre 2013.

I dati sull'esposizione indicano che la direzione dei venti prevalenti sono N e NE (da 160 a 270 giorni di frequenza in 2 anni). Il vento assume, inoltre, velocità elevate durante i mesi invernali, mentre i venti dalle direzioni NW, W, e SW sono meno frequenti (da 60 a 100 giorni di frequenza in 2 anni). Infine, i venti dalle direzioni sud, sud-est ed est appaiono sicuramente rivestire minore importanza (<50 giorni di frequenza nei due anni di osservazione).

Detto ciò, i venti con direzione compresi tra  $\pm 67,5^\circ$  rispetto all'esposizione della parete sono stati valutati come agenti direttamente e potenzialmente influenzanti il degrado della superficie esaminata.

Il numero di giorni di esposizione al vento è stato comparato con i risultati della *KDE* basata sul valore di *DI* su tutta l'area dei Sassi, ottenendo così una buona correlazione tra i dati (Figura 3).

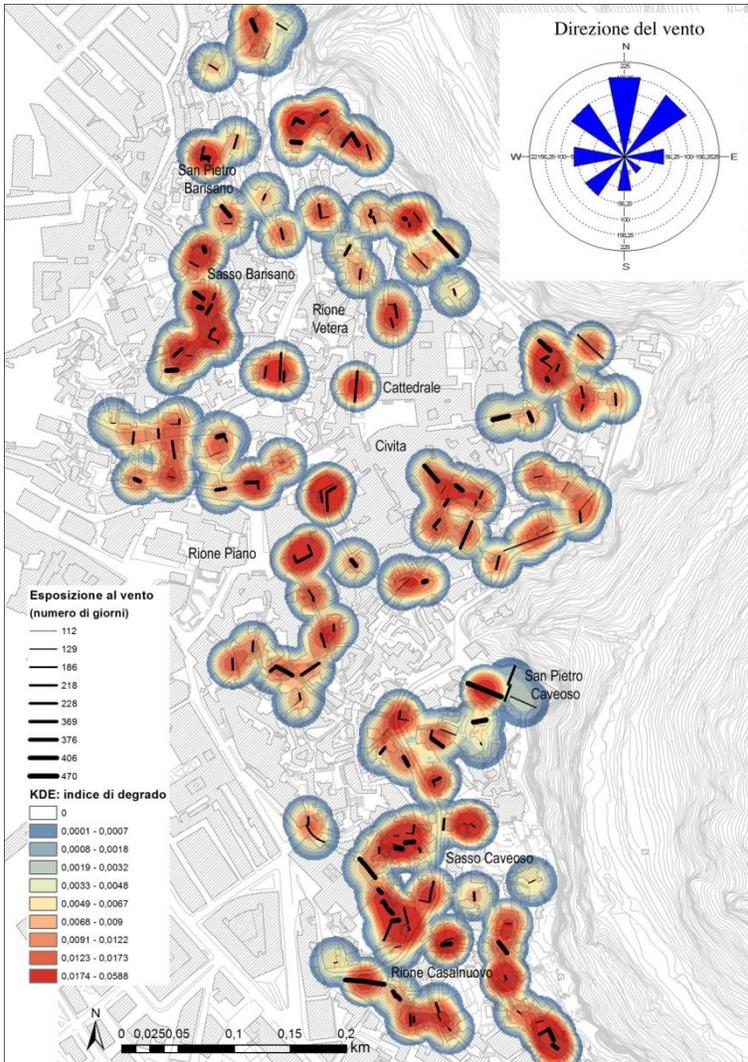


Figura 3. L'area del sito dei Sassi caratterizzata da *hot spot* e *cold spot* (massimi e minimi) del *DI*. L'elaborazione mostra anche la relazione tra la *KDE* ed i giorni di esposizione al vento per ciascuna facciata, rappresentata dallo spessore dei segmenti neri. Come si può rilevare dal diagramma in alto a destra, i venti principali spirano dalle direzioni nord e nord-est

Analizzando, infatti, la zona nord e sud dell'area oggetto di analisi, dove sono presenti hot spot di DI, si nota che il numero di giorni di esposizione al vento (valutabile come spessore dei segmenti neri nella Figura 3) mediamente aumenta al crescere dei valori del DI, suggerendo così una significativa influenza del vento sulle azioni del degrado (Tabella 2b). I dati non correlati possono essere dovuti al fatto che, come si vedrà in seguito, più di un fattore ambientale agisce nel causare il degrado osservato e anche le condizioni urbane del sito possono influenzare l'azione di fattori esterni (ad esempio l'influenza tra edifici vicini).

Per quanto riguarda l'esposizione alla radiazione solare, è stata compiuta l'analisi dell'*hillshade*, considerando l'altezza e l'azimut del sole al solstizio d'estate e d'inverno per intervalli di un'ora.

La Tabella 2a mostra la relazione tra l'esposizione al sole in estate (valori che vanno da zero per le facciate in ombra, a 255 per le facciate più assolate) e i valori di *DI*. In particolare, l'esposizione delle facciate alla radiazione solare è stata ripartita in cinque classi, dove la classe 1 comprende superfici aventi il più basso valore di radiazioni e la categoria 5 il più alto. Lo stesso approccio è stato seguito per il *DI*, i cui valori sono raggruppati in cinque classi di cui l'ultima riflette il degrado più elevato.

Analizzando sinteticamente i dati del periodo estivo, si nota che la maggior parte delle facciate (~76%) appartiene alla classe 5, in accordo con la massima escursione di illuminazione (intervallo di esposizione al sole). Inoltre, il numero di superfici complessivamente aumenta proporzionalmente con il *range* di escursione d'illuminazione.

Di fatto, solo l'1% delle superfici è in classe 1 (esposizione al sole 0-51), 1.6% nella classe 2 (52-102), il 9.2% nella classe 3 (103-153), e il 14.8% in classe 4 (154-204).

Considerando il solstizio d'inverno, emerge che numerose facciate che sono state soggette di un alto irraggiamento solare in estate sono frazionate in classi di più bassa radiazione solare (Tabella 3a). Ciò è dovuto all'azimut ( $120^{\circ}$ - $239^{\circ}$  in inverno contro  $57^{\circ}$ - $302^{\circ}$  in estate) e all'altezza del sole sull'orizzonte in inverno.

Queste circostanze astronomiche determinano che una porzione delle superfici esposte in classe 5 in estate sono fuori dalla massima escursione in inverno e alcune delle facciate

esposte al forte irraggiamento in estate sono esposte ad una bassa radiazione solare in inverno (classi 1 e 2) proprio quando le azioni del vento più elevate si determinano sulle stesse superfici.

Tabella 2a			Esposizione alla radiazione solare - Estate				
Classe	Decay Index Range		class 1	class 2	class 3	class 4	class 5
			0-51	52-102	103-153	154-204	205-255
Frequenza (numero delle facciate)							
1	1.23	3.73	1	1	5	5	22
2	3.73	6.23	1	0	7	8	65
3	6.23	8.73	2	0	2	5	43
4	8.73	11.23	0	0	3	4	6
5	11.23	13.73	0	0	1	0	4

Tabella 2b	Classi di esposizione al vento			
Classe di esposizione alla radiazione solare - Estate della tabella 2a per DI=3)	1	2	3	4
	1	0	1	0
2	0	0	0	0
3	2	0	0	0
4	3	0	2	0
5	9	20	4	7

Tabella 2. Matrice dei dati tra l'esposizione alla radiazione solare e i valori del *DI* in estate. L'esposizione al sole è considerata in cinque classi, da 0 a 255 (Tabella 2a); i dati evidenziati in grigio nella Tabella 2a sono stati confrontati con l'esposizione al vento e riportati in Tabella 2b

**Tabella 3a** **Esposizione alla radiazione solare - Inverno**

Classe	Decay Index Range		class 1	class 2	class 3	class 4	class 5
			0-51	52-102	103-153	154-204	205-255
<b>Frequenza (numero delle facciate)</b>							
1	1.23	3.73	7	3	11	4	8
2	3.73	6.23	15	14	25	7	20
3	6.23	8.73	4	12	15	8	13
4	8.73	11.23	5	2	4	1	1
5	11.23	13.73	1	1	2	0	1

**Tabella 3b** **Classi di esposizione al vento**

Classe di esposizione alla radiazione solare - Inverno della tabella 2a (per DI=3)	1	2	3	4
	1	0	1	2
2	2	1	2	7
3	7	4	2	2
4	1	7	0	0
5	6	6	1	0

Tabella 3. Matrice dei dati tra l'esposizione alla radiazione solare e i valori del *DI* in inverno. Come per i dati in estate l'esposizione alla radiazione solare in inverno è considerata in cinque classi, da 0 a 255 (Tabella 3a); i dati evidenziati in grigio nella Tabella 3a sono stati confrontati con l'esposizione al vento e riportati in Tabella 3b

L'esame di questi dati e una loro analisi più approfondita (Gizzi *et al.*, 2015) suggerisce che le superfici esposte a nord sono più influenzate dalle azioni vento/pioggia; al contrario, il degrado materico delle pareti verso sud sembra essere guidato principalmente dalla radiazione solare (Figura 4).



Figura 4. Matera: Chiesa di San Francesco. Fenomeni di alveolizzazione sulla parete esposta verso sud-ovest

## 5 – Conclusioni e prospettive

Questo lavoro ha affrontato l'analisi dello stato di conservazione dei Sassi di Matera, un sito di eccezionale valore universale. Due aspetti sono stati affrontati: l'analisi del degrado attraverso uno specifico indice e la valutazione, a scala territoriale, su come i fattori ambientali ne condizionano lo stato di conservazione.

Per raggiungere questi obiettivi è stato elaborato un questionario sulla base delle caratteristiche territoriali e urbane dell'area in esame. Attraverso le indagini in sito, il questionario è stato compilato per circa 200 facciate, rendendo evidente che i Sassi di Matera sono caratterizzati da un indice di degrado territoriale di entità medio-bassa.

La ricerca ha anche analizzato l'influenza di due principali parametri ambientali sul deterioramento causato dagli agenti atmosferici. Per fare ciò è stata adoperata una metodologia che esamina il rapporto tra il degrado, da un lato, e l'esposizione al sole e ai flussi di vento dall'altro. L'approccio seguito si basa

sull'applicazione di tecniche di analisi spaziale quali la *Map Algebra* e la *Kernel Density*. Tale criterio evidenzia, come atteso, che le superfici esposte a nord sembrano essere più influenzate dalle azioni vento/pioggia; al contrario, il decadimento materico sulle pareti verso sud sembra essere guidato principalmente dalla radiazione solare.

Da un punto di vista operativo, considerando gli incoraggianti risultati di tale nuova metodologia fondata sull'utilizzo delle tecniche di analisi spaziale, successive ricerche considereranno un numero maggiore di fattori ambientali/territoriali/urbani condizionanti il degrado, come l'inquinamento, l'influenza reciproca degli edifici, la larghezza delle strade e così via. Tutto ciò consentirà la valutazione di un protocollo da seguire in differenti situazioni ambientali e contesti storico-culturali per ottenere sempre maggiori correlazioni sul rapporto causa-effetto delle diverse forme di alterazione osservate.

Concludendo, questa ricerca può essere un valido strumento per fornire un metodo adatto ad analizzare e aggiornare i dati relativi allo stato di conservazione dei centri storici e pianificare strategie di conservazione appropriate. Ad esempio, gli esiti di questo studio potranno aiutare le istituzioni preposte nella pianificazione delle azioni di restauro e manutenzione, fornendo indicazione circa gli edifici/facciate che richiedono interventi, con l'obiettivo principale di destinare adeguate e tempestive risorse finanziarie alla conservazione di tale inestimabile Patrimonio Culturale.

## Bibliografia

André M.F., Vautier F., Voltaire O., Roussel E., *Accelerated stone deterioration induced by forest clearance around the Angkor temples*, Science of the Total Environment, Vol. 493, 15 September 2014, (2014) 98–108. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.05.141.

Andriani G.F. & Walsh N., *Fabric, porosity and water permeability of calcarenites from Apulia SE Italy) used as building and ornamental stone*, Bull.Eng. Geol. Env., 62 (2003) 77-84.

Calia A., Sileo M., Matera L., *Provenance, characterization and decay of a porous calcarenite of the Puglia region ("Pietra Gentile")*, London, Special Publication "Stone in Historic Buildings: Characterization and Performance", (2014) 4, 47-70. DOI: 10.1144/SP391.11.

Camuffo D., Sturaro G. and Valentino A., *Urban Climatology Applied to the deterioration of the Pisa Leaning Tower, Italy*, Theor. Climatol. 63, (1999) 223-231.

Camuffo D., Sturaro G., *The climate of Rome and its action on monument decay*, Climate Research, 16, (2001) 145-155.

Ciaranfi N., Maggiore M., Pieri P., Rapisardi L., Richetti G. & Walsh N., *Considerazioni sulla neotettonica della Fossa bradanica*, in Contributi Preliminari alla Realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, Pubbl. n°251 del Prog. Fin. Geodinamica, (1979) 73-95.

Cipolloni Sampò M., *L'Eneolitico e l'Età del Bronzo*, in: Cestaro A. and De Rosa G. (eds), *Storia della Basilicata*. Adamesteanu D (ed) L'Antichità. Laterza (1999): 67-136.

Dalena P., *Da Matera a Casalrotto. Civiltà delle grotte e popolamento rupestre (secc. X-XV)*, Mezzogiorno tardoantico, medievale e moderno, Vol 2., Galatina (LE): Congedo (1990), p. 42.

Danese M., Lazzari M., Murgante B., *Kernel Density Estimation Methods for a Geostatistical Approach in Seismic Risk Analysis: the Case Study of Potenza Hilltop Town (southern Italy)*, in: Gervasi O., Murgante B., Laganà A, Taniar D., Mun Y., Gavrilova M., (eds.) (ICCSA 2008) Lecture Notes in Computer Science vol. 5072(2008), 415-427. Springer-Verlag, Berlin. ISSN: 0302-9743.

Dell'Aquila F., Messina A., *Le chiese rupestri di Puglia e Basilicata* (1998), Adda Editore.

De Mers M.N., *GIS Modeling in raster*, Wiley & Sons, USA (2002).

De Stefano A., Lorusso M., *L'analisi dei dati pluviometrici in Basilicata*, in "Cultura, Il Territorio". Regione Basilicata (2002) 8p.

Dolske D., *Deposition of atmospheric pollutants to monuments, statues, and buildings*, The Science of Total Environment, 167, (1995) 15-31.

Fitzner B., Heinrichs K., *Damage diagnosis on stone monuments weathering forms, damage categories and damage indices*, in: Prikryl R, Viles HA, editors. Understanding and managing stone decay. Prague: The Karolinum Press, (2002) 11-56.

Fitzner B., & Heinrichs K., La Bouchardiere D., *Damage index for stone monuments*, in: Galan, E. & Zezza, F. (ed.): Protection and Conservation of the Cultural Heritage of the Mediterranean Cities, Proceedings of the 5th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Sevilla, Spain, 5-8 April 2000, (2002) 315-326.

Fitzner B., Heinrichs K., La Bouchardiere D., *Weathering damage on Pharaonic sandstone monuments in Luxor-Egypt*, Building and Environment 38 (2003) 1089-1103.

Fonseca C.D., *Il popolamento rupestre*, in: De Rosa G. and Cestaro A. (eds), *Storia della Basilicata*. Fonseca C.D. (ed) *Il Medioevo*, Laterza (2006), 164-191.

Gatrell A.C., Bailey T.C., Diggle P.J., Rowlingson B.S., *Spatial Point Pattern Analysis and Its Application in Geographical Epidemiology*, *Transaction of Institute of British Geographer*, 21 (1996) 256-271.

Gizzi F.T., Sileo M., Biscione M., Danese M., Álvarez de Buergo M., *The conservation state of the Sassi of Matera site (Southern Italy) and its correlation with the environmental conditions analysed through spatial analysis techniques*, *Journal of Cultural Heritage*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2015.05.002>, (2015) 14 pp.

Gómez Heras M., *Procesos y formas de deterioro térmico en piedra natural del patrimonio arquitectónico*, Tesis Doctoral, (2006), 84-669-2801-4, <http://eprints.ucm.es/tesis/geo/ucm-t28551.pdf>.

Gomez-Heras M., Lopez-Gonzalez L., García-Morales S., Fort R., Alvarez de Buergo M., *Integrating non-destructive techniques with photogrammetry 3D models* in Rogerio-Candeleda MA (Ed) *Science, Technology and Cultural Heritage*, CRC Press/Balkema, Leiden, (2014), 429-434. ISBN: 978-1-138-02744-2.

ICOMOS, [http://whc.unesco.org/archive/advisory\\_body\\_evaluation/670](http://whc.unesco.org/archive/advisory_body_evaluation/670), WORLD HERITAGE LIST Matera N° 670 (1993).

ICOMOS-ISCS, *Illustrated glossary on stone deterioration patterns*, in *Monuments and Sites*; XV, (2008), 78 pp., ISBN: 978-2-918086-00-0.

Inkpen R., Duane B., Burdett J., Yates T., *Assessing stone degradation using an integrated database and geographical information system (GIS)*, *Environ. Geol.* 56 (2008) 789-801.

Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., and Rubel F., *World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated*, *Meteorol. Z.*, 15 (2006), 259-263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.

Pope G.A., Meierding T.C., Paradise T.R., *Geomorphology's role in the study of weathering of cultural stone*, *Geomorphology* 47 (2002) 211-225.

Radina B. & Walsh N., *Proprietà tecniche delle calcareniti (Tufo Calcarei) di Gravina in Puglia*, *Geol. Appl. e Idrog.* (1972) 53-73.

Thornbush M.J., *A Site-Specific Index Based on Weathering Forms Visible in Central Oxford, UK*, *Geosciences* (2012), 2, 277-297.

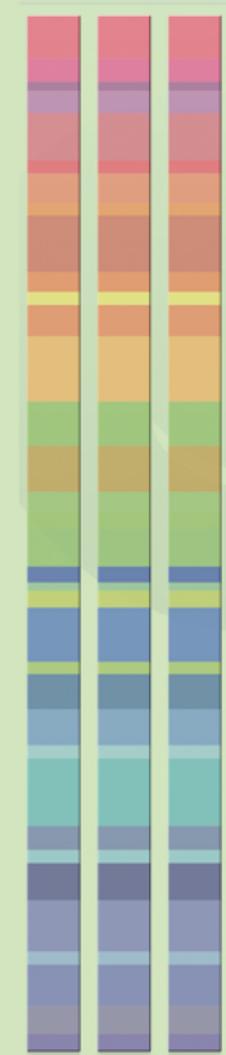
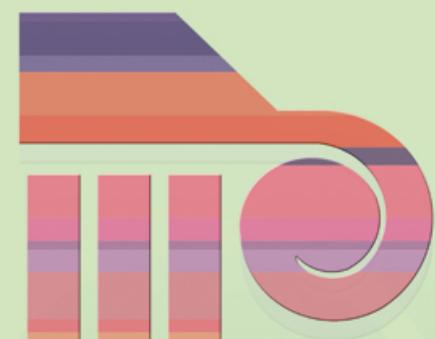
Tomlin C.D., *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, (1990).

UN11182, *Beni culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione*, *Termini e definizioni*, (2006).

Viles H.A., Gorbushina A.A., *Soiling and microbial colonisation on urban roadside limestone: a three year study in Oxford, England*, *Building and Environment*, 38 (2003) 1217-1224.

A stylized, colorful classical column is positioned on the right side of the page. The column has a fluted shaft with horizontal bands of various colors including purple, blue, green, yellow, orange, and red. The capital is a volute, also with horizontal bands. In the top right corner, there is a Wi-Fi symbol composed of three curved lines in shades of purple and blue. The background is a light green gradient.

Salvaguardia e partecipazione:  
stato dell'arte e nuovi  
contributi di PRO\_CULT



## "Smart Cities" - solo una buzzword o un miglioramento reale della qualità della vita

*Beniamino Murgante, Giuseppe Borruso*

### Riassunto

Il termine 'Smart city' è oggi ampiamente utilizzato, ma sembra esservi poca chiarezza dietro alla definizione. La maggior parte degli approcci tende a porre una grande enfasi sull'utilizzo combinato di tecnologie dell'Informazione Geografica e della comunicazione per inquadrare processi di pianificazione e gestione urbana. Nelle righe che seguono si cerca di definire il concetto di 'Smart city' e di identificare sia i termini di 'intelligenza' sia quelli critici legati alla loro attuale interpretazione.

In particolare è vivo il rischio di considerare solo lo 'strato tecnologico' quale elemento innovativo di una città 'smart', mentre al contrario gli strumenti dell'ICT dovrebbero giocare senz'altro un ruolo importante ma nell'ottica di uno sforzo di pianificazione urbana in cui il comportamento e l'interazione dei diversi attori vengono armonizzati.

### 1 - Introduzione

Oggi è molto diffuso un approccio che associa in maniera stretta il concetto di Smart City alla repentina diffusione di dispositivi elettronici. Azioni di questo tipo, per quanto di indubbia utilità, se completamente sconnesse dal contesto e soprattutto dalla città possono trasformarsi in un inutile spreco. Questa convinzione diffusa evoca scenari urbani ispirati dal film di Ridley Scott, "Blade Runner", che nelle intenzioni di molti vendors dovrebbero portare a una visione di città analoga a quella di una pubblicità della Pioneer di fine anni '80 ([http://youtu.be/5rMI\\_aVYtR0](http://youtu.be/5rMI_aVYtR0)) dove ogni persona "indossava" uno o più televisori che costituivano una barriera con il mondo esterno determinando un comportamento da automa<sup>1</sup>.



Figura 1. Risultato del programma di ammodernamento delle stazioni ferroviarie italiane

Questo approccio tutto italiano alle smart cities comporterà una pioggia di dispositivi elettronici nelle nostre città connessi ad improbabili obbiettivi da raggiungere. Già negli anni scorsi abbiamo assistito a molti programmi con risultati alquanto deludenti. Basti pensare al programma di ammodernamento delle stazioni ferroviarie che ha portato ad una installazione di un elevato numero di televisori, spesso di dimensioni rilevanti, destinati soprattutto a trasmettere pubblicità, ignorati da tutti, e parallelamente a uno smantellamento di servizi e strutture utili a supportare il viaggiatore: la quasi totale abolizione delle sedie, la riduzione in dimensioni dei tabelloni con gli orari e loro spostamento in luoghi spesso poco accessibili, sostituiti dai succitati mega-schermi pubblicitari, l'eliminazione dei servizi di trasporto bagagli, solo recentemente ripristinato in alcune stazioni (<https://twitter.com/gborruso/status/388912012841209856>).

È emblematico un recente *tweet* del giornalista Vittorio Zucconi, in cui una fotografia scattata a Roma Termini mostra, ai binari dell'Alta Velocità, due grandi orologi che riportano due ore

diverse (entrambe sbagliate!) mentre numerosi schermi LCD presentano non si sa quali informazioni, in genere di poca utilità (<https://twitter.com/vittoriozucconi/status/391656118226677760/photo/1>). Tralasciamo il fatto che le moderne stazioni ferroviarie sono spesso così *smart* da non prevedere scale mobili, rampe o ascensori per agevolare persone a mobilità ridotta o famiglie con bambini piccoli.

L'utilizzo di tecnologie nell'ambito della rigenerazione urbana è stata utilizzata negli anni '80 per recuperare aree industriali dismesse con un uso spinto di *High Tech* che ci ha regalato degli edifici che sono un colabrodo energetico.

Restando invece all'ambito strettamente urbano, in recenti applicazioni del concetto di *smartness* si è passati dagli investimenti in smart cards (sanitarie, carte d'identità) il cui utilizzo è spesso limitato a singole regioni (non in grado di dialogare e trasmettere informazioni tra strutture diverse: meglio la cara vecchia carta, quindi?) e dispositivi vari, non accompagnati tuttavia da analoghe spinte dal lato dei dati e delle procedure: spesso fare open data significa pubblicare liste di delibere in formato pdf ma i veri dati su cui la 'smartness' dei cittadini potrebbe concretizzarsi rimangono chiusi nei server o nei cassetti. L'altro aspetto è dato dal fare passare per smart interventi che hanno in realtà caratteristiche di manutenzione ordinaria o straordinaria di edifici (es. installazione di isolanti termici attorno agli edifici).

Assistendo a operazioni del genere risulta evidente che il programma, durante l'attuazione, ha perso di vista il suo principale obiettivo. Tra le prime nozioni che vengono insegnate durante le lezioni di pianificazione strategica è che in un programma bisogna prima di tutto identificare chi sono i beneficiari. Nella maggior parte dei programmi "technology driven" spesso questo principio non è preso in considerazione o viene dimenticato durante l'attuazione.

Per convincersi di questa tendenza basta pensare ai programmi riguardanti le scuole. Siamo tutti consapevoli che i principali problemi sono le classi pollaio e gli edifici fatiscenti, ma la priorità è stata quella di acquistare lavagne interattive multimediali (L.I.M.) e di passare al registro elettronico principalmente per appaltare software di bassa qualità e *tablet* per i docenti.

Sembra di rivivere lo stesso periodo degli albori dei sistemi informativi territoriali quando il mercato italiano era dettato più dall'offerta che dalla domanda. Era il periodo dei SIT "chiavi in mano" nel quale venivano spese ingenti risorse nell'acquisto di Hardware e Software senza avere le idee chiare sulle esigenze dell'amministrazione e del loro possibile uso nella gestione della città. Il risultato è che oggi, dopo circa venti anni, solo qualche centinaio di comuni su un totale di circa ottomila ha in SIT degno di questo nome. Rischi analoghi sono molto probabili nella via italiana alle *Smart Cities*.

Bisogna anche porsi un interrogativo: perché in una nazione che ha mostrato sempre forti repulsioni nei confronti delle tecnologie, periodicamente si manifestano forti accelerazioni nel settore dell'ICT?

In Italia ci sono sempre state forti remore nel confrontarsi con gli impulsi derivanti dall'innovazione perché l'adeguarsi a questi nuovi approcci porterebbe a modificare prassi e pratiche consolidate. E quando 'nuove tecnologie' vengono imposte e diffuse spesso hanno il risultato di generare repulsione nei confronti della stessa tecnologia, in quanto foriere di peggioramenti nella qualità delle procedure piuttosto che miglioramenti (v. smartcard sanitarie regionali), tanto da far rimpiangere la 'vecchia carta' e rinsaldare quindi lo scetticismo nei confronti dell'innovazione (quella vera). Negli anni scorsi ci sono stati vari disegni di legge, per fortuna tutti naufragati, che cercavano di mettere il bavaglio alla rete, da sempre vista più come problema che come fonte di opportunità. L'Italia è la nazione nella quale la principale azienda di telecomunicazioni, in un primo tempo, ha riposto poca attenzione in internet, vedendosi poi costretta nel 1996, per rimediare all'errore, a rilevare videonline (<http://www.vol.it>) il più importante provider italiano dell'epoca, realizzando clubnet.

Che senso ha riempire la città di "lampioni wi-fi" se abbiamo una delle bande più "strette" d'Europa? Quale utilità ha per la popolazione la sostituzione dei cestini dei rifiuti con contenitori "intelligenti" dotati di microchip e GPS con la funzione di segnalare quando l'immondizia ha raggiunto l'orlo? Queste "raffinatezze" sono utili in paesi dove la raccolta porta a porta

raggiunge la totalità delle abitazioni, non in città dove i rifiuti differenziati sono ben lontani dal 50%.

## 2 - I problemi fondamentali da affrontare nelle città

Uno studio dell'*Economist* dimostra che nonostante Stati Uniti ed Unione Europea abbiano una consistenza demografica confrontabile, negli Stati Uniti una popolazione di 164 milioni di abitanti risiede nelle 50 principali aree metropolitane mentre l'Europa si ferma a 102 milioni.

Questa forbice comporta sorprendenti conseguenze in termini di produttività e dei redditi.

Il Prodotto Interno Lordo prodotto in queste aree metropolitane europee è il 72% di quello prodotto nelle 50 più grandi città americane.

Un articolo del *Wall Street Journal* del 2012 evidenzia come le principali aree metropolitane degli Stati Uniti producono un PIL superiore alle economie di intere nazioni.

Un articolo del *Washington Post* sottolinea come in 31 stati americani una o due aree metropolitane rappresentino la stragrande maggioranza della produzione economica della nazione ed in altri 15 stati, una grande area metropolitana da sola produce la maggior parte del PIL. Il 50% percento del Prodotto Interno Lordo degli Stati Uniti è generato nelle principali diciassette aree metropolitane.

Da queste statistiche ci si rende facilmente conto che per quanto non si prediliga vivere in grandi città, nella maggior parte dei casi ciò diventi una necessità. Tra i vantaggi del vivere in aree urbane rispetto ad aree meno accessibili vi sono quelli legati al valore aggiunto che nasce dalla vicinanza, dalle interazioni tra individui, gruppi e territorio, con le possibilità di imparare e trasferire la conoscenza. Le città, quindi, svolgono per l'umanità un ruolo centrale.

Nonostante siano radicalmente cambiati i contesti economici ed i modelli produttivi, la città rappresentano sempre l'elemento più vitale dell'economia di una nazione. In genere in ogni nazione sviluppata le città rappresentano il vero cuore economico ed i luoghi più densamente popolati sono più attraenti per le persone che vogliono condividere la conoscenza. Mentre un tempo i

vantaggi erano strettamente connessi alla riduzione di costi di trasporto e di distribuzione oggi le città hanno dei grossi benefici in termini economici dovuti allo scambio di idee, si assiste quindi al passaggio da un'idea di città fondata sul concetto di localizzazione ad una città incentrata sull'interazione (Batty, 2013).

Nei prossimi anni assisteremo ad un incremento della popolazione mondiale di 2,3 miliardi di abitanti con un incremento medio della popolazione delle aree urbane del 30%. Entro il 2020 la popolazione urbana cinese diventerà il 60% del totale ed oltre 100 milioni di persone migreranno verso le aree metropolitane o contribuiranno alla creazione di nuovi centri urbani.

Questo fenomeno non si limiterà solo a nazioni nel quale si sta verificando un rapido sviluppo economico come Cina ed India, ma anche in Europa, come evidenzia un rapporto delle Nazioni Unite del 2011 "World Urbanization Prospects", dove nel 2050 quasi il 90% della popolazione vivrà in aree urbane.

Ovviamente uno stile di vita "urbano" comporta una minore sostenibilità, un maggior consumo di energia, un maggior inquinamento, una maggiore produzione di rifiuti, ecc..

In Cina nei prossimi 5 anni si realizzeranno 45 aeroporti, l'80% delle emissioni di CO<sub>2</sub> avviene nelle città, le aree urbane consumano il 75% dell'energia, ed il 50% delle perdite riguardanti l'approvvigionamento idrico avviene in città.

Si stanno verificando alcune previsioni allarmanti evidenziate alla conferenza di Rio de Janeiro del 1992. Le risorse del pianeta vengono utilizzate dal 20% della popolazione, ma con la crescita economica di nazioni come la Cina, l'India, la Russia ed il Brasile, con un elevato numero di abitanti potrebbe far saltare completamente il bilancio ambientale del pianeta.

Sono necessari, quindi, approcci intelligenti per risparmiare risorse economiche ed ambientali. Non è possibile riproporre uno sviluppo urbano basato sullo stesso modello che ha governato il processo di urbanizzazione verificatosi a partire dalla rivoluzione industriale fino ai giorni nostri.

Rispetto a queste problematiche diventa importante analizzare la città non solo cercando localizzazioni ottimali di attività o cercando le migliori teoriche destinazioni d'uso, ma cercando di

comprendere le interazioni tra le persone che rappresenta il fondamento logico del vivere e lavorare in città (Batty, 2013).

Si deve quindi passare da un approccio basato sulla pura crescita fisica delle città, ad uno fondato sulla capacità di utilizzare in maniera corretta ed efficiente energia, acqua e altre risorse e di fornire una qualità della vita elevata. In pratica le città devono diventare molto più intelligenti nel programmare e pianificare la gestione e l'uso delle risorse esistenti.

### 3 - Gli elementi principali di una Smart city

Identificare che cosa rende *smart* una città è legato alle differenti dimensioni, che si collegano a loro volta a concetti alquanto consolidati nella letteratura sulla città e le aree urbane. Nel significato di *smart*, la componente tecnologica è soprattutto collegata agli elementi e alle infrastrutture dell'ICT. Queste giocano un ruolo importante, in particolare come facilitatori dei processi di innovazione, condivisione e partecipazione attiva da parte dei cittadini/utilizzatori urbani, così come dello sviluppo di elementi tipici dell'economia della conoscenza. Seguendo alcune delle più interessanti interpretazioni, le *smart cities* sono città in cui uno strato tecnologico viene sovrapposto alla struttura e intelaiatura urbana esistente, consentendo ai suoi cittadini e utenti di connettersi alla rete, interagire tra loro e con altri attori: pubblica amministrazione, fornitori di beni e servizi, etc., di fatto ottimizzando la città e i suoi spazi. Dato che la popolazione mondiale sta crescendo e che tale crescita si aspetta avvenga soprattutto nelle città, la tecnologia può giocare un ruolo importante nel limitare il consumo di suolo e migliorare la qualità della vita.

Tuttavia oggi il rischio è che i decisori finali, i politici, i cittadini e le imprese si focalizzino soltanto sulla moda e la fascinazione del lato tecnologico dell'"intelligenza", con poca attenzione al suo inserimento all'interno del processo di pianificazione e progettazione urbana. In una Smart city l'infrastruttura tecnologica connessa all'ICT è centrale, nello stesso modo in cui nel passato lo era la realizzazione di nuovi edifici, strade, ferrovie, linee e reti telefoniche e di distribuzione dell'energia. Tali infrastrutture da un lato supportavano i bisogni della popolazione

mentre dall'altro influenzavano le modalità con cui le persone interagivano con lo spazio urbano. Le infrastrutture di una Smart city dovrebbero pertanto giocare un ruolo simile, basandosi pertanto su una pianificazione focalizzata, in quanto il loro utilizzo non deve essere limitato al breve termine, ma dovrebbe essere persistente, avendo in mente che le impostazioni date oggi influenzeranno i modi in cui i cittadini interagiranno con la città nei tempi presenti e futuri. Nella Smart city quindi la metafora della rete si sovrappone alla metafora urbana, in tal senso agendo quale nuova, differente infrastruttura capace di incanalare relazioni e interazioni, nonché essere influenzata e plasmata da tali processi, in modo simile a una rete di trasporto pubblico che si sviluppa in una città per connettere e servire luoghi, e successivamente evolve dando vita a 'nuovi' luoghi. La città dovrebbe pertanto presentarsi come una "piattaforma abilitante per le attività che i cittadini sono in grado di sviluppare, collegando quelle ereditate dal passato con quelle che si potranno realizzare nel futuro, non focalizzandosi soltanto sulle applicazioni ma sulla possibilità che i cittadini hanno di realizzarle". Una città smart dovrebbe pertanto basarsi su tre diversi 'pilastri' (Figura 2):

- Connessioni – quali le reti e le infrastrutture tecnologiche;
- I dati – aperti, pubblici o di interesse pubblico per consentire lo sviluppo di soluzioni innovative e l'interazione tra i cittadini/utenti della città;
- I sensori – compresi i cittadini (Goodchild, 2007a, 2007b, 2009), in grado di partecipare attivamente anche 'dal basso' alle attività della città.

Tali pilastri dovrebbero essere tenuti assieme da una governance in grado di collegarli, fornendo una direzione e una 'vision' alla città. Tale governance dovrebbe regolare la Smart city in un modo neutrale, senza entrare nel dettaglio delle applicazioni e dei contenuti.

La Smart city quindi si pone come progetto urbano, come una grande infrastruttura e come una metafora della rete in un contesto urbano.

In una frase, una *Smart city* diventa l'ambiente in cui una serie definita di elementi (sensori, dati, connessioni), armonizzata da un insieme limitato di regole di base, fornisce a enti pubblici,

cittadini, associazioni, imprese, etc., la possibilità di sviluppare nuove applicazioni e soluzioni in grado di migliorare la vita della città stessa, lasciando, di fatto, a questi ultimi attori, l'iniziativa dello sviluppo e di creare nuovi mercati e realtà.

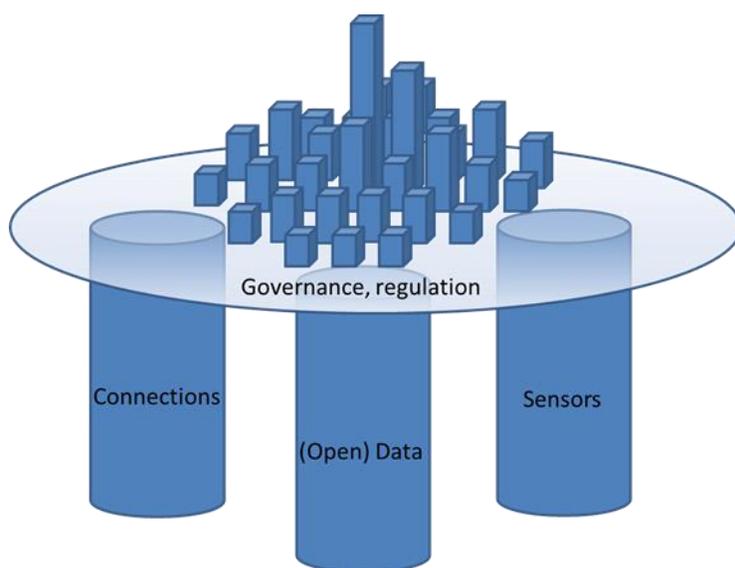


Figura 2. I "Pilastri" che sostengono la Smart city e la sua Governance (Murgante & Borruso, 2013)

Come per le smart cities anche per gli Open Data si fa un gran parlare senza entrare molto nel dettaglio del reale significato e della grandi opportunità che potrebbero derivare da un loro corretto utilizzo. Nella maggior parte dei casi si intende per Open Data l'upload di un file in formato portable document format (pdf) su un sito web consentendone il download. Quando una pubblica amministrazione condivide un file in formato pdf dovrebbe intervenire un organo di controllo, ed eventualmente sanzionare, in quanto un dipendente pubblico ha impiegato il suo tempo a porre dei vincoli ad un dato ed in un'altra amministrazione pubblica un altro dipendente pubblico sprecherà molto più tempo ad utilizzare quel dato proprio a causa di quei vincoli. Il pdf nasce per consentire stampe di documenti o di elaborati grafici, spesso

presso servizi di stampa, senza utilizzare il software con il quale questi dati sono stati prodotti, semplicemente adoperando lettore di file pdf.

Tim Berners-Lee ha proposto uno schema di classificazione degli Open Data associando le stelle al livello di qualità. Il livello più basso si basa sul fornire una licenza open rendendo il dato disponibile in rete senza definire nello specifico la tipologia di formato (in genere si tratta di file in formato pdf). L'unico scopo di questa categoria di dati è informare, è infatti solo possibile leggerli o stamparli. Il secondo livello intende fornire all'utente interessato un dato conservando la struttura originaria consentendo anche di manipolarlo. Si tratta di un piccolo passo in avanti anche se il dato rimane in formato proprietario.

Gli Open Data a tre stelle oltre a consentire la manipolazione e la gestione dei dati utilizzano formati non proprietari garantendo una migliore interoperabilità. Il livello superiore oltre a mantenere le proprietà di dati interoperabili consente una facile reperibilità in rete mediante l'utilizzo degli standard del web semantico W<sub>3</sub>C (RDF, OWL, SKOS, SPARQL, etc.). Open data a cinque stelle sono Linked Open Data.

Il limite di questa classificazione è che gli aspetti spaziali non vengono per nulla considerati.

Nell'estate 2009 a seguito della promozione del nostro volume "Geocomputation and Urban Planning" si sono scatenate molte discussioni su alcuni blog americani, amplificate su alcuni social network, dovuta alla quarta di copertina del libro dove riportavamo la citazione del famoso articolo di Carl Franklin che nel 1992 stimava che in circa l'80% dei dati aziendali fossero contenute informazioni georeferenziate o georeferenziabili. La maggior parte dei commenti su linkedin mostravano diffidenze sulla possibilità che nel 1992 l'80% delle informazioni contenute in dati pubblici avessero una componente spaziale. Oggi solo dopo sei anni, la situazione è completamente cambiata: ogni telefono cellulare dispone di un GPS e Google ed OpenStreetMap hanno trasformato l'informazione geografica da una piccola nicchia di utenti, molto specialista, ad un fenomeno di massa ed oggi probabilmente il 100% dei dati ha una relazione spaziale. Quindi non considerare gli aspetti spaziali come una componente intrinseca dei dati costituisce un grosso errore.

La componente spaziale è sempre stata sottovalutata a volte volutamente a volte per ignoranza. I primi piani regolatori venivano volutamente traslati rispetto alle coordinate originarie ed i valori della traslazione venivano custoditi gelosamente come i codici di accesso ad conto corrente bancario.

Il tutto per evitare la sovrapposizione dello strumento urbanistico con gli altri strati informativi e consentire di scoprire il livello di soggettività di alcune decisioni. I trucchi per creare barriere alla immediata sovrapposizione di strati informativi fanno parte della tradizione amministrativa italiana, dove ad esempio si sono sempre prodotte carte tecniche e catastali a scale differenti per consentire una certa aleatorietà agli uffici tecnici.

L'industria del cemento ha, infatti, sempre avuto un peso importante nella nazione, impedendo di fatto ogni riforma che riammodernasse l'impianto normativo urbanistico (l'ultima legge nazionale è di epoca fascista) o la reale attuazione di norme che consentissero un uso corretto delle tecnologie a supporto della pianificazione. Un approccio completo agli open data dovrebbe considerare gli Standard dell'Open Geospatial Consortium (OGC) e la direttiva INSPIRE.

Cercando una analogia con la musica il tradizionale Sistema Informativo Territoriale isolato contenente dati geografici può essere paragonato ad un grammofono, il geoportale che consente lo scarico di dati ha strette analogie con Napster, l'uso di Standard dell'*Open Geospatial Consortium* (OGC) e la direttiva INSPIRE ha un approccio molto simile a *Spotify*. Si tratta di invertire la tendenza all'accaparramento del dato creando una continua disponibilità *online*.

Oggi i dati rappresentano una grosso potenziale economico per nulla sfruttato, perché se messi a disposizione di tutti potrebbero, grazie alla grossa immaginazione collettiva, creare la nascita di imprese e produrre ulteriore business per le imprese esistenti.

Il grosso di queste possibili iniziative imprenditoriali si dovrebbero basare su applicazioni per *smartphone* e *tablet*, che nel 100% dei casi necessitano della componente spaziale.

Considerando la classica *app* per i parcheggi c'è molta differenza se l'applicazione consente solo l'acquisto del biglietto o se ti indica anche dove è situato il posto auto libero più vicino.



consistenti della popolazione urbana e rafforzando le ineguaglianze anziché ridurle.

Uno degli elementi centrali nella costruzione di un programma è la verifica di compatibilità e la complementarità di questo programma con gli altri programmi in itinere o conclusi da poco, oltre che delle possibili sovrapposizioni con altre iniziative (Archibugi, 2002).

In quest'ottica diventa centrale nella costruzione di una *Smart City* perseguire obiettivi di sintesi tra il programma riguardante la città intelligente e tutti quei piani e programmi ricadenti sull'area di studio (Piani regolatori generali, piani particolareggiati, piani settoriali, piani strategici, programmazione complessa, etc.). Si tratta, quindi, di utilizzare il grosso impatto delle tecnologie sulle nuove forme di policy e di pianificazione. Bisogna interpretare i sei assi principali riguardanti le città intelligenti, ovvero la declinazione dell'aggettivo "Smart" in *Economy, Environment, Governance, Living, Mobility, People*, non in maniera strettamente connessa alle tecnologie, ma considerando il valore aggiunto che l'innovazione può apportare ai programmi in atto o predisponendo un apposito programma complementare a molti che possa produrre utili sinergie.

Alla luce di questa affermazione, riflettendo sulle esperienze degli ultimi periodi, è facile riscontrare errori non banali nei bandi riguardanti le città. Non è stato fatto, ad esempio, nessuno sforzo per cercare importanti sinergie tra i due bandi, usciti nello stesso periodo, riguardanti rispettivamente le *Smart Cities* e quello riguardante il recupero delle aree urbane degradate ("Piano Nazionale per le Città"). In altre parole, si tratterebbe di considerare lo 'strato tecnologico' delle *Smart Cities* non soltanto sotto forma di gadget o di accessorio, ma in quanto compatibile e inserito nell'ambito del processo di programmazione, pianificazione, progettazione e gestione della città.

Capita sempre più di frequente di imbattersi in classifiche delle città italiane basate su indicatori di *smartness*. Nella maggior parte dei casi si tratta di indicatori che considerano la semplice presenza di alcuni servizi pubblici o opere pubbliche senza entrare nel dettaglio della loro qualità.

Leggendo semplici notizie di cronaca di rilievo nazionale ed incrociandole con queste classifiche ci si rende conto che molte

tra le amministrazioni più "smart" lasciano molto a desiderare nelle scelte intelligenti.

Consideriamo Genova, sempre tra le prime nei ranking nazionali ed allo stesso tempo continuamente alla ribalta per vittime a seguito di esondazioni.

Roma, altra città messa in buona posizione in tutte le classifiche, si accorge all'improvviso di avere seri problemi nella gestione del fenomeno migratorio e di aver speso decine di milioni di euro per far vivere gli extracomunitari in latrine. Considerazioni analoghe potrebbero essere fatte su Venezia, Milano e molte altre città particolarmente *smart*.

Evitando di entrare nel dettaglio dei singoli casi, per evitare speculare sulle disgrazie dei cittadini, è possibile però sviluppare delle considerazioni di carattere generale.

In quasi tutti i casi i "progetti smart" sono partiti a seguito di finanziamenti nazionali ed europei, ma le necessità di una comunità sono state generate dalla possibilità di ottenere delle risorse economiche invertendo la naturale sequenza logica. In genere si effettua una "radiografia" di un sistema mediante l'analisi dei problemi ipotizzando delle strategie per risolverli. L'altra criticità deriva dal completo scollamento di questi programmi rispetto agli altri programmi in atto sulla stessa città. L'importante è accaparrare risorse poi se non si ha una chiara idea di cosa farsene non è un problema.

Il risultato è una *governance* della città senza una *vision*, basata su una sommatoria di interventi. Questa totale assenza di strategia porta a rivedere continuamente le scelte effettuate in precedenza, non per sforzarsi di perseguire in maniera più efficace gli obiettivi prefissati, ma semplicemente per cercare di inseguire le continue e variegata emergenze.

L'implementazione di questo concetto può essere perseguita attraverso una stretta collaborazione tra imprese, università ed enti locali.

L'immagine seguente evidenzia la clusterizzazione dei *tweet* geo-localizzati rispetto ai principali *hashtag* durante l'uragano Sandy realizzata dall'università di Washinton. In particolare è possibile notare nell'area centrale del *webgis* una concentrazione di *tweet* (dati puntuali in rosa) che hanno come *hashtag* *#gas*. In

questo caso i cittadini agiscono da sensori volontari fornendo delle informazioni vitali nella gestione dell'emergenza.

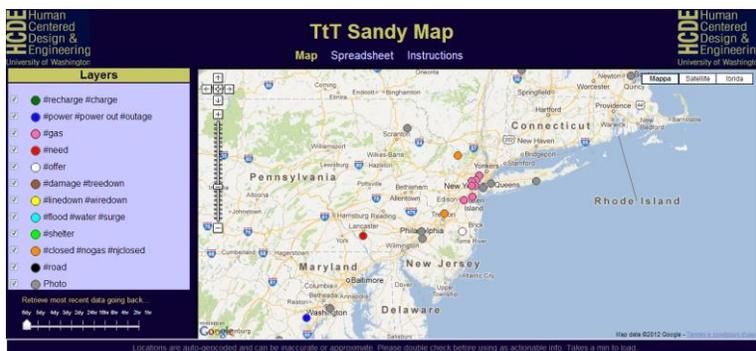


Figura 4. Clusterizzazione dei tweet geo-localizzati rispetto ai principali hashtag durante l'uragano Sandy ([http://faculty.washington.edu/kstarbi/TtT\\_Hurricane\\_Map\\_byEvent.html](http://faculty.washington.edu/kstarbi/TtT_Hurricane_Map_byEvent.html))

Da molti anni ad entrambi gli autori di questo contributo è capitato di referare paper incentrati sull'analisi dei fenomeni migratori mediante l'uso dei social media.

Purtroppo su questa tematica *twitter* viene utilizzato solo per diffondere affermazioni populiste. Quante ricerche validate da pubblicazioni su importanti riviste internazionali sono state prese in considerazione dagli enti locali nella governance della città?

Purtroppo il decisore spesso non va oltre gli slogan (spesso si confondono *tweet* e provvedimenti), mentre il dirigente è premiato rispetto alla capacità di smaltire mucchi di carte. Risulta evidente che l'innovazione viene vista come un problema, una deviazione dalle tradizionali e vetuste procedure, una potenziale distrazione, un qualcosa di poco utile nei minuti successivi. È bene evidenziare che in questa analisi non sono stati analizzati fenomeni non del tutto trascurabili in Italia come quello della corruzione e la collusione con la criminalità organizzata.

Il risultato è quello avvenuto a Genova dove i sensori e la pubblica amministrazione non sono riusciti a comunicare tra di loro (Scano, 2014) ed i cittadini hanno provveduto alla realizzazione di un web-gis con la localizzazione delle webcam per il monitoraggio del territorio.

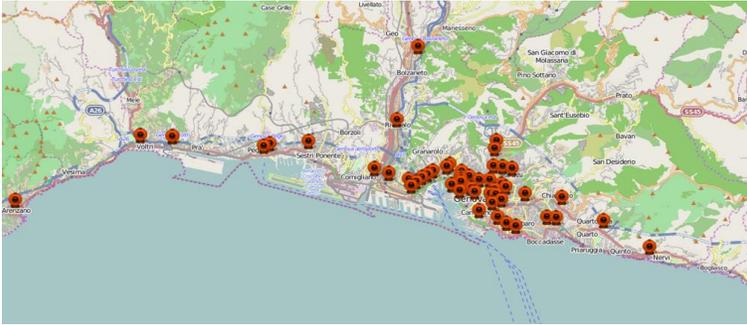


Figura 5. Web-gis con la localizzazione delle webcam per il monitoraggio del territorio realizzato dai cittadini di Genova (<http://opengenova.org/maps/webcam/>)

La via italiana alle "smart city" che nel migliore dei casi produrrà l'accensione automatizzata dei lampioni (Scano, 2014) è in linea con il tipico approccio che abbiamo nella programmazione, dove siamo sotto il rischio continuo di perdita di finanziamenti europei per un'assenza di una strategia complessiva (Conte, 2014).

L'approccio giusto deve basarsi su due capisaldi della pianificazione strategica (Gibelli, 1996): la collocazione delle scelte di breve periodo in un quadro previsionale che abbracci le dimensioni del medio e lungo periodo e l'aspirazione al raccordo e all'integrazione delle politiche di settore.

## 5 - Smart Communities

Uno dei principali obiettivi di una *Smart City* è quello di raggiungere una migliore qualità della vita grazie all'ausilio delle nuove tecnologie. Per perseguire questo obiettivo le diverse comunità giocano un ruolo centrale principalmente connesso alla partecipazione attiva dei cittadini alla vita pubblica della città. Per raggiungere un elevato livello di coinvolgimento degli abitanti è fondamentale un buon livello di istruzione, un approccio aperto, creativo e multiculturale, per accrescere la conoscenza di una comunità e la capacità di cooperare sui problemi quotidiani della città.

Un fattore chiave è, quindi, la partecipazione dei cittadini ai processi decisionali, al miglioramento dei servizi pubblici e sociali, alla definizione di strategie e prospettive politiche. Un requisito fondamentale per raggiungere un maggiore coinvolgimento della comunità è rappresentato dalla governance trasparente in modo da generare fiducia nei cittadini.

Di solito vengono utilizzate piattaforme online per incoraggiare i cittadini a partecipare alla vita pubblica, segnalando problemi, esprimere pareri ed opinioni su progetti o idee fino a creare referendum online. Da queste forme elementari di *e-participation* si è arrivati a forme molto sofisticate di *city dashboard*.

Il progredire della medicina moderna ha portato al monitoraggio dei sistemi umani, l'incrementare della pervasività dei dispositivi elettronici ha portato ad un sempre più dettagliato monitoraggio delle organizzazioni umane (Batty, 2015).

Il concetto di *smartness*, siano esse *communities, cities, villages* o quant'altro, si confronta comunque con problematiche, opportunità e rigidità non completamente nuove o diverse rispetto al passato. Comunemente si riporta in questi mesi come la quantità di dati generati ogni giorno sia enorme, e i dati creati in uno solo degli anni più recenti relativi alla città e alle sue dinamiche sia superiore a quanto realizzato in tutta la storia urbana precedente. Si valuta inoltre che a breve la maggior parte dei dati che navigheranno sulla rete saranno creati da sensori, oggetti o in ogni caso senza un intervento 'diretto' da parte della componente umana. Già oggi servizi sulla modellazione del traffico veicolare vengono spesso basata a partire dai dati del traffico degli smartphones, senza che gli utenti ne abbiano una eccessiva consapevolezza.

Tali mole e disponibilità di dati hanno alcuni effetti collaterali che rendono tale periodo storico simile a quelli caratterizzati da maggiori penurie e voracità di dati. Il già citato Mike Batty (Townsend, 2013) riporta l'esempio di Londra, dove l'elaborazione dei dati derivanti dalla Oyster card utilizzata nella metropolitana consente di tracciare entrate e uscite dal sistema di trasporto pubblico locale e di realizzare delle mappature in tempo reale (<http://mappinglondon.co.uk/2013/londons-oyster-card-flows/>). Tali dati, seppure notevoli quanto a dimensioni e ampiezza,

soffrono comunque di limiti già accusati in passato rispetto ad altri sistemi di rilevazione. Nelle ore di punta, infatti, le uscite vengono aperte per consentire un migliore deflusso, con una perdita del dato relativi alle uscite dal sistema e conseguente riduzione nell'esaustività e completezza dell'informazione.

L'altro aspetto 'problematico' è dato dal versante opposto, ovvero l'eccesso di dati disponibili. Se in passato metodi e modelli abbondavano, e ci si lamentava della quantità di dati disponibili e delle velocità di esecuzione dei programmi informatici, ora la potenza computazionale non rappresenta un problema e neppure la quantità di dati. Mancano invece standard e metodologie univoche e accettate relative all'analisi e all'estrazione di un vero contenuto informativo e di conoscenza a partire dai dati stessi. Ciò in quanto si rendono necessarie integrazioni e commistioni tra scienze e discipline diverse che rendono articolata e impegnativa l'analisi geografica e la pianificazione urbana.

In ogni caso, già la disponibilità di dati, la loro aggregazione e visualizzazione consentono di ottenere a livello urbano notevoli e interessanti livelli di utilità e di prontezza nell'interpretare dinamicamente i processi in atto. In analogia con quanto accaduto nel secolo scorso quando gli indicatori socioeconomici, sono sempre più utilizzati dai governi, da agenzie sovranazionali, da investitori o da società di rating per valutare le performance una nazione molte città in tutto il mondo utilizzano indicatori per monitorare e tracciare le prestazioni, guidare la formulazione delle politiche, e per informare i cittadini sul governo delle città (Kitchin *et al.*, 2015).

Si è passati, quindi, da un monitoraggio in tempo reale di fenomeni naturali e del traffico ad analisi sempre più integrate che includono anche dati socioeconomici e reazioni umane sui social media. Le "performance" della città possono rappresentare la sintesi di dati contenenti aspetti climatici, il funzionamento dei sistemi di trasporto e tutto ciò che è trend su *Twitter*.

Già a fine 2012 David Cameron ha iniziato a testare la "N°10 dashboard" capace di fornire informazioni in tempo reale sul PIL, sul mercato finanziario, sul lavoro, sui sondaggi ed anche *feed* di *Twitter*. La città di Londra ha una *city dashboard* (<http://www.citydashboard.org/>) molto articolata dove è possibile controllare in tempo reale dati dettagliati sulle condizioni

climatiche, sull'inquinamento, sulle linee della metropolitana, le notizie principali della BBC, l'aggiornamento di *OpenStreetMap* e le principali trending topic su *Twitter*.

L'aspetto sicuramente più innovativo delle *city dashboard* è rappresentato dai dati derivanti dalla *social network analysis*. Si tratta di tecniche di *mining* di dati utilizzate per estrarre dati dai social network analizzando relazioni e flussi tra persone o gruppi.

I dati delle reti sociali sono costituiti da due elementi Nodi (i concetti) e Archi (i legami tra i concetti).

L'analisi delle reti sociali riunisce concetti, termini, etc. in funzione delle loro relazioni, della densità di osservazione e della coesione.

Lo studio di queste relazioni è sviluppato sulla base di modelli matematici basati sulla base di teoria dei grafi e l'algebra lineare.

La rappresentazione grafica dell'analisi delle reti sociali da un lato facilita la sua visualizzazione e evidenzia alcune delle proprietà strutturali (Barabási, 2012), dall'altro la teoria dei grafi grazie alla eccezionale quantità di concetti, teoremi, algoritmi e logica va oltre la semplice rappresentazione generando nuova conoscenza (Mercklé, 2004).

Grazie alla teoria dei grafi è possibile descrivere le proprietà di centralità, densità, connettività, distanza e percorsi di collegamento tra nodi. Tuttavia grafici con dozzine di nodi e centinaia di archi rischiano di diventare illeggibili. L'algebra lineare e il calcolo matriciale aiutano a superare questa barriera. Supponendo che la rete è costituita da  $n$  archi, essa può essere rappresentata da una matrice di adiacenza  $X$  ( $N \times N$ ) i cui elementi sono le variabili  $X_{ij}$  che rappresentano i legami dal nodo  $i$  al nodo  $j$ . I legami indicano la presenza o meno di relazioni tra i nodi. La diagonale principale  $X_{ii}$  rappresenta auto-relazioni ed è trascurata. La rete di dati completa è quindi costituita dalle restanti  $n(n - 1)$  variabili (Grandjean, 2015).

Dopo una preliminare ripulitura dei dati testuali dalle congiunzioni, gli articoli determinativi ed indeterminativi numeri e simboli particolari che influenzerebbero negativamente il risultato si passa alla conversione dei plurali in singolari ed a rimodulazione dei verbi.

A partire da queste operazione si passa alla costruzione delle reti semantiche mediante seguenti indici di centralità: *Degree*

*Centrality, Closeness Centrality and Betweenness Centrality.* La più semplice misura centralità è *Degree Centrality* ed è definita come il numero di collegamenti diretti di un nodo. In Figura 6 A è il nodo con il maggior numero di collegamenti diretti in rete. Generalmente con nodi più collegamenti si trovano nella parte più centrale della rete, mentre i nodi periferici hanno pochi collegamenti (I, H, L in Figura 6) e di conseguenza si trovano ai margini di un diagramma di rete. *Closeness Centrality* considera il percorso più breve di un nodo a tutti gli altri nodi del grafo (Freeman, 1978). In pratica si tratta di una misura di distanza che calcola la possibilità da un nodo di raggiungere rapidamente tutti gli altri nodi. Nella Figura 6 C e D hanno meno connessioni rispetto A, ma questi nodi ha i percorsi più brevi per tutti gli altri. *Betweenness Centrality* misura la frequenza con cui un nodo si trova sul percorso più breve tra una coppia di nodi. Questo nodo può avere pochi collegamenti diretti e allo stesso tempo può giocare un ruolo cruciale nella rete. Per esempio B ha meno connessioni rispetto alla A, ma B ha una buona posizione nella rete collegando vari cluster. Senza B la rete sarà diviso in quattro reti. Il risultato è la produzione di le reti semantiche generate dall'analisi del testo delle discussioni avvenute sui social media.

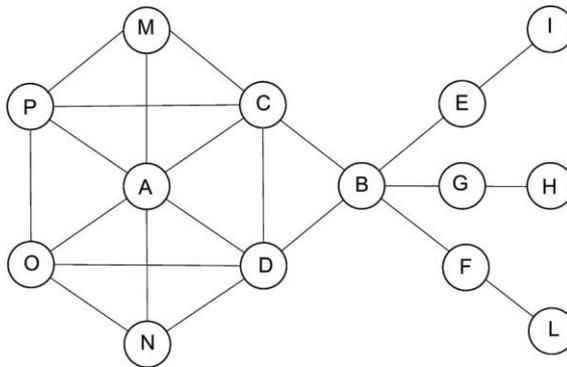


Figura 6. Posizione dei nodi e misure di centralità nella rete

Una applicazione di questi metodi alle politiche urbane e avvenuta nella città di Potenza.

Nel mese di dicembre 2011 un gruppo di professionisti dello studio "WOP Architettura e Paesaggio" ha proposto un progetto riguardante un grande parco situato in un'area completamente abbandonata situata nella parte a valle della città, un tempo sede di un grande allevamento suini.

Quando un progetto è completato, in genere, i progettisti organizzano un dibattito pubblico o provano a contattare i giornalisti per comunicare l'idea alla comunità interessata. In questo caso i progettisti hanno contattato un blogger locale (Antonio Nicastro @astronik) conosciuto in tutta la regione per il suo impegno nel settore ambientale e Giampiero D'Ecclesiis, un geologo noto per il suo attivismo su *Facebook*.

In poche settimane il gruppo di *Facebook* ha raggiunto 3.000 partecipanti (<http://www.facebook.com/groups/parcobasento/>) e i cittadini hanno cominciato a esprimere le loro opinioni. Nonostante il progetto fosse già molto dettagliato, l'obiettivo principale dei progettisti è stato quello di cercare di raccogliere altre idee direttamente dai cittadini. Per diversi mesi, ci sono state molte discussioni su come migliorare piccoli dettagli del progetto. Dopo questo primo periodo, i giornali hanno descritto il progetto e molte associazioni e gruppi di cittadini hanno chiesto ai progettisti di illustrare il progetto nelle loro sedi.

Allo stesso tempo è partita una petizione e tutti i negozi della città hanno raccolto le firme per il parco. Ma il compito cruciale che si era posto il gruppo di progettisti era di tentare di convincere i politici ad accettare l'idea del parco.

Pertanto, i politici, senza interessi personali nella zona, hanno immediatamente dichiarato una posizione chiara di preferenza per il parco, mentre i politici che avevano già fatto promesse ad alcuni imprenditori hanno cercato di evidenziare tutti i vincoli possibili nella realizzazione del parco.

L'aspetto innovativo della vicenda è che tutte le discussioni con i politici sono state sviluppate direttamente su *Facebook* o *Twitter*. Infatti, la questione più interessante non è il fatto che i politici e i cittadini hanno discusso direttamente in merito al progetto, questo può accadere anche nella piazza della città, ma il fatto che i social media possono essere considerati come una lavagna enorme nella piazza sulla quale le posizioni di tutti saranno scritte

in modo indelebile. E questo, ad esempio, per un politico ha il peso di una dichiarazione ufficiale.

Come già abbondantemente argomentato nei numeri precedenti della rubrica un potente strumento di sintesi è rappresentato dall'analisi delle discussioni sui social network.

Il gruppo del Parco del Basento ha registrato nel periodo gennaio 2012 aprile 2014 circa 851 discussioni con un elevato numero di commenti e "mi piace" (vedi Figura 7). In qualsiasi processo partecipato tradizionale sarebbe alquanto difficile raggiungere un livello confrontabile di scambio di idee.

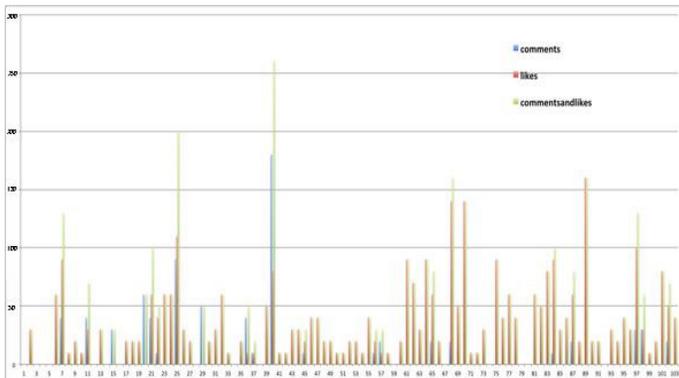


Figura 7. Commenti e "mi piace" nelle discussioni nel gruppo del parco del Basento

Le stesse reti semantiche costruite a partire dalle discussioni sviluppate nei social network sono un elemento centrale nella visualizzazione dei concetti chiave.

In Figura 8 è riportata una rete semantica molto generale basata su alcune discussioni avvenute nel gruppo *Facebook* del parco del Basento.

Nonostante gli impulsi ed i progressi degli ultimi anni non è ancora possibile riscontrare una sistematica integrazione di processi partecipativi a supporto delle scelte di piano ed esperienze di *participatory mapping*.

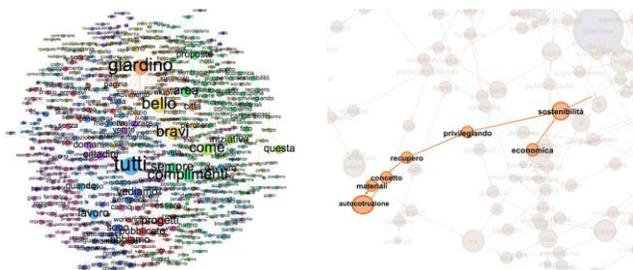


Figura 8. Reti semantiche generate dall'analisi del testo delle discussioni su Facebook riguardanti il giardino in movimento

In particolare modo si tratta di integrare la conoscenza derivante dall'ascolto dei principali fruitori della città, i suoi abitanti, con quadri conoscitivi costruiti grazie ad attività volontarie dei cittadini. Vari autori hanno analizzato il livello di completezza di dati geografici generati mediante VGI (Haklay, 2010, Neis *et al.*, 2011, Koukoletsos *et al.*, 2012) riscontrando delle enormi discrepanze tra le aree densamente popolate e facilmente accessibili rispetto ad aree più remote composte da aree urbane di piccole medie dimensioni ed insediamenti dispersi.

Per sopperire a questo gap nella città di Potenza in maniera del tutto informale associazioni, singoli cittadini, università e *digital champion* si sono attivati, in maniera del tutto volontaria, creando il gruppo *open data* Potenza (<https://www.facebook.com/groups/798383043510708/>) con il fine di organizzare sviluppare una serie di iniziative di innovazione sociale nella comunità cittadina.

Il problema di partenza era la quasi totale assenza di edifici su *OpenStreetMap*. A partire da mese di Marzo 2015 Francesco Loponte ha sviluppato parte della sua tesi di Laurea triennale in Ingegneria Ambiente e Territorio presso l'Università degli Studi della Basilicata inserendo la quasi totalità degli edifici della città (vedi Figura 9). Il lavoro di completamento di *OpenStreetMap* sulla città verrà completato da Lucia D'elia nei prossimi mesi.

Questo lavoro ha valorizzato alcune iniziative interessanti sviluppate in precedenza dal gruppo #Potenzadigitale come la mappatura delle #centoscale. Questa attività, oltre a produrre cartografia di dettagli di tutte le scalinate cittadine corredate da

bellissime foto su *Instagram* con l'hashtag #centoscale, ha consentito anche di riscontrare in molti casi la mancanza di toponomastica.

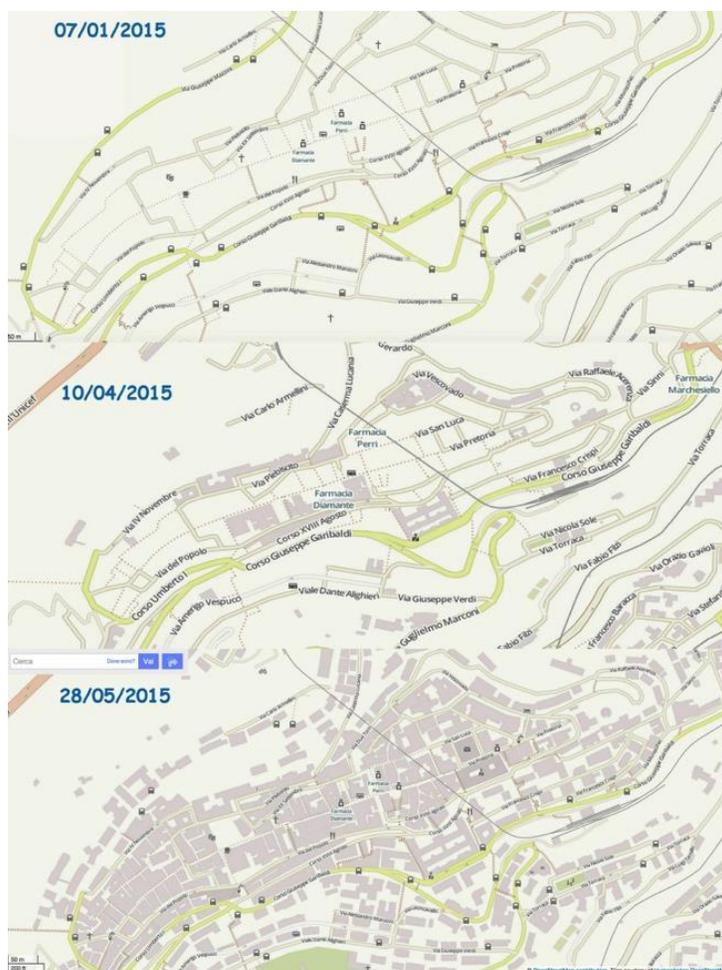


Figura 8. Evoluzione di *OpenStreetMap* sul comune di Potenza

La costruzione di una cartografia di base condivisa in ambiente open ha rappresentato un punto di partenza per ulteriori attività. Gli operatori economici della città hanno incominciato ad inserire

online le proprie attività considerando *OpenStreetMap* una importante vetrina. La prima occasione per combinare processi partecipativi ed innovazione sociale è stata il #lumi2015 Laboratorio Urbano in Materia di Innovazione (<http://oldwww.unibas.it/utenti/murgante/lumi.html> <https://www.facebook.com/events/497826777060832/>).

Si è realizzato un laboratorio aperto a tutte le persone intenzionate a dare un contributo di idee per il miglioramento di un quartiere di edilizia popolare realizzato nel secondo dopoguerra. Lo strumento per raggiungere l'obiettivo è stato un *hackathon* di 48 ore realizzato nella piazza principale del quartiere al quale hanno partecipato circa quaranta persone. Nella fase di analisi si sono integrati approcci tradizionali, basati su supporti cartacei ed innovativi utilizzando in modo intensivo i social media. In particolare la *tweetmap* è diventata una importante base conoscitiva. Twittando foto significative, commenti ed osservazioni, disegni, video, etc. con il GPS attivato ed utilizzando l'hashtag #lumi2015 è stato possibile raccogliere parte delle analisi sviluppate dai partecipanti all'*hackathon* in una *tweetmap* (<http://147.163.135.69/lumi2015/app/>).

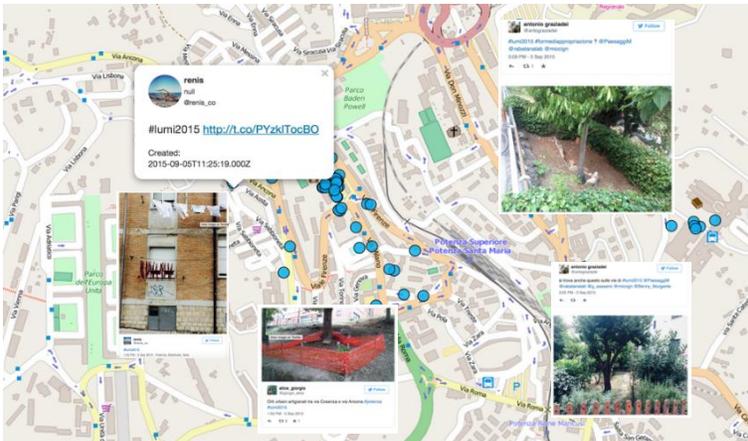


Figura 9. Tweetmap di #lumi2015 <http://147.163.135.69/lumi2015/app/>

L'hashtag #lumi2015 è stato tra i primi dieci *trending topic* su *Twitter* durante le due giornate dell'*hackathon*. I settori analizzati

sono stati: la rete pedonale, le aree verdi, le modalità di uso degli spazi pubblici e la descrizione dei luoghi.

Particolare attenzione è stata prestata al rapporto tra strade, marciapiedi, altezza degli edifici e verde.

Il giorno seguente a partire dai quadri conoscitivi, costruiti con strumenti tradizionali e social, delle idee progettuali. L'esperienza non si è conclusa con le 48 ore di *hackathon*, ma il processo partecipativo continuerà nei prossimi mesi e si cercherà di candidare alcuni progetti utilizzando le linee di finanziamento più adeguate al lavoro effettuato.

A Trieste un tavolo di lavoro #younginnovation, avviato a marzo in occasione di un convegno sui "territori digitali" ha prodotto, di fatto, un processo di partecipazione informale/formale tra studenti e vertici dell'amministrazione comunale.

Il progetto pilota è nato nell'ambito di un corso universitario, e ha riguardato varie fasi.

Una fase didattica è stata concentrata sul concetto di città e di rete. A questa è seguito un primo incontro pubblico, l'evento "#younginnovation", in cui dei giovani "utenti urbani" (studenti residenti e fuori sede) hanno ragionato su una sorta di griglia, in cui, a partire dalle caratteristiche della città, si sono osservati gli elementi di sviluppo economico, gli aspetti culturali, turistici, dell'innovazione, evidenziandone le carenze, le possibili soluzioni e gli attori del territorio da coinvolgere.

Una terza fase ha riguardato il confronto diretto con le componenti della pubblica amministrazione, in cui si sono evidenziate alcune criticità (evidenziate in Figura 10, cerchiate) e le possibili modalità di affrontarle, sia da parte della struttura pubblica, sia da parte degli stessi cittadini o utenti urbani.

La quarta fase ha riguardato, in un ulteriore incontro con il Comune, la presentazione di alcune proposte, cui fare seguire un quinto momento, dedicato alla loro effettiva realizzazione (quest'ultima fase è in corso, e al suo termine commenteremo sicuramente quanto realizzato).

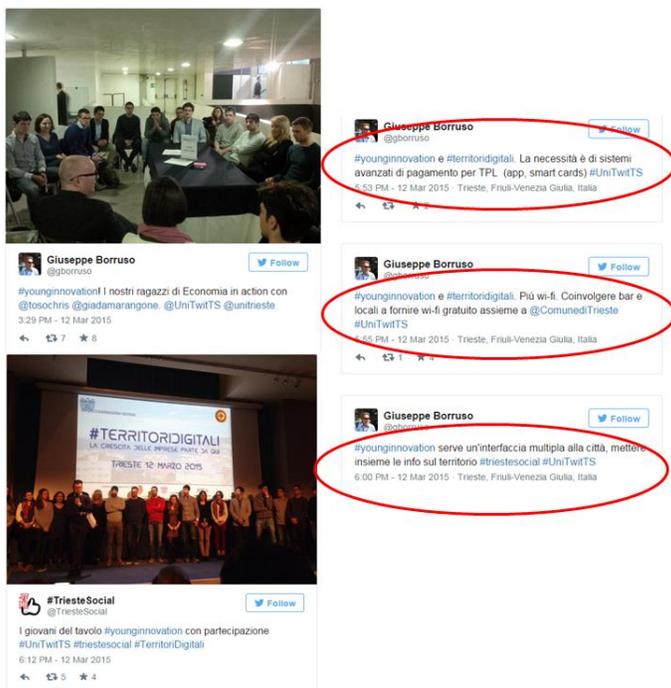


Figura 10. Momenti del tavolo di lavoro #younginnovation e degli spunti emersi durante il lavoro. <https://storify.com/gborruso/younginnovation-ai-territori-digitali-spunti-dai>

## 6 - Conclusioni

Uno studio dell'*European Samsung Lifestyle Research Lab* ha elaborato un *Samsung Technomic Index* che evidenzia i consumi in tecnologie nelle varie nazioni europee. L'Italia, nonostante la profonda crisi economica, ha i consumi più alti in tecnologie in Europa. La spesa media degli Italiani è di circa 559 euro in prodotti hi-tech, praticamente il doppio dei francesi (223 euro) e inglesi (274 euro) e molto superiore a quella dei tedeschi 323 euro. In questo scenario dove le tecnologie sono sempre al primo posto della lista dei desideri diventa molto popolare per il decisore riempire le città di gadget elettronici o appaltare applicazioni per *tablet* e *smartphone*. Un po' come accade per i bambini con i

videogiochi, i decisori hanno concentrato l'attenzione sulle applicazioni mobili perdendo di vista la città nel suo insieme, molto spesso lo stesso concetto di città.

Il termine *smart* è il più popolare in questo periodo ed è adottato in qualsiasi contesto riguardante la città. Si tratta di una sorta di prefisso telefonico da anteporre ad ogni termine o concetto già definito in letteratura.

Viene molto di frequente adottato nel linguaggio comune ed in tutti i tipi di pubblicità, un po' come nei disegni animati dei puffi abbiamo la "puf-foresta", le "puf-bacche" le "puf-fragole" etc. (Murgante & Borruso, 2014). Allo stesso modo la partecipazione diventa *smart participation*, i trasporti diventano *smart mobility* e anche triangolo della sostenibilità diventa il triangolo *smart*. Gli stessi sei assi delle *smart city*, considerati in una prospettiva di integrazione, spesso descritti come una rivoluzione culturale, non sono altro che la prima lezione di pianificazione urbana.

È del tutto evidente che la mobilità ha stretti rapporti con l'economia, le persone, la *governance*, l'ambiente e la qualità della vita.

Ad esempio, *Masdar City* considerata uno dei simboli delle città intelligenti progettata da Foster and Partners, è certamente una città pensata in funzione di tutte le precauzioni in termini di risparmio energetico e riduzione delle emissioni.

La domanda è: è sostenibile una sorta di città futuristica realizzata nel deserto? Non è da mettere in discussione la qualità e i dettagli del progetto, ma l'idea di base.

Nell'analizzare tecnologie applicate alla città è fondamentale distinguere se le innovazioni hanno rapporti con l'ambiente urbano o meno. La domanda principale da porsi è: sono queste tecnologie utili per la città o si tratta semplicemente di soluzioni alla ricerca di un problema? Il problema è che non è facile distinguere chiaramente questi due aspetti anche a causa della campagna di comunicazione organizzata dai produttori di dispositivi e da alcune comodità che diverse applicazioni producono.

Secondo Alberto Brandolini "the amount of energy necessary to refute bullshit is an order of magnitude bigger than to produce it" (<https://twitter.com/ziobrando/status/289635060758507521>).

I principali sforzi nei prossimi anni devono essere concentrati nel distinguere ciò che è *bullshit* da ciò che è utile per la città.

## Note

<sup>1</sup> Realtà cui non siamo tuttavia troppo lontani, non per via di ingombranti caschi contenenti televisori personali, quanto per l'immersione pressoché totale che una buona parte della popolazione dei paesi industrializzati ha ormai in dispositivi quali *smartphones* e *tablet* (<http://www.tecnostress.it/smartphone-addiction-cause-sintomi-e-abitudini-patologiche-in-infografica.html>).

## Bibliografia

- About W3C Standards <http://www.w3.org/standards/about.html>
- Archibugi F., *Introduzione alla pianificazione strategica in ambito pubblico*, 2002.
- Arthur C., "David Cameron tests real-time economic data app on iPad" The Guardian <http://www.theguardian.com/technology/2012/nov/08/david-cameron-tests-data-app>, 2012.
- Ball M., "Reference for 80% of Data Contains Geography Quote", Spatial Sustain: Promoting Spatial Design for a Sustainable Tomorrow <http://www.sensysmag.com/spatialsustain/reference-for-80-of-data-contains-geography-quote.html>, (2009).
- Barabási A-L., *Network Science Book*, <http://barabasi.com/network-sciencebook/#>, (2012).
- Batty B., *The New Science of Cities*, The MIT Press, (2013).
- Berners-Lee T., 5 ★ Open Data <http://5stardata.info/#addendum4>.
- Cameron M.A., Power R., Robinson B., Yin J., "Emergency situation awareness from twitter for crisis management". Proceedings of the 21st international conference companion on World Wide Web, ACM, 2012.
- Cillizza, C., *The case for big cities, in 1 map*. Washington Post (2014), <http://www.washingtonpost.com/blogs/the-fix/wp/2014/02/19/you-might-not-like-big-cities-but-you-need-them/> (last access December 2013).
- Conte V., "Lettera Ue bacchetta l'Italia: "Non avete una strategia". A rischio 40 miliardi di fondi", [http://www.repubblica.it/economia/2014/08/13/news/lettera\\_ue\\_bacchetta\\_l\\_italia\\_non\\_avete\\_una\\_strategia\\_a\\_rischio\\_40\\_miliardi\\_di\\_fondi-93668748/](http://www.repubblica.it/economia/2014/08/13/news/lettera_ue_bacchetta_l_italia_non_avete_una_strategia_a_rischio_40_miliardi_di_fondi-93668748/).
- De Biase L., *L'intelligenza delle Smart cities*, <http://blog.debiase.com/2012/04/intelligenza-delle-smart-city/>, (2012).

Dougherty C., *U.S. Cities With Bigger Economies Than Entire Countries*. Wall Street Journal (2012), <http://blogs.wsj.com/economics/2012/07/20/u-s-cities-with-bigger-economies-than-entire-countries/> (ultimo accesso Dicembre 2013).

Franklin C., *An Introduction to Geographic Information Systems: Linking Maps to databases*. Database 15 (1992) 13-21

Freeman L. C., *Centrality in social networks: Conceptual clarification*. Social Networks 1 (1978) 215-239.

Gibelli M. C., "*Tre famiglie di piani strategici: verso un modello reticolare e visionario*", in: Curti F. e Gibelli M. C., (a cura di), "*Pianificazione Strategica e gestione dello sviluppo urbano*", Firenze, (1996).

Goodchild, M.F., *Citizens as Voluntary Sensors: Spatial Data Infrastructure in the World of Web 2.0*. International Journal of Spatial Data Infrastructures Research 2, (2007a) 24-32

Goodchild M.F., *Citizens as sensors: the world of volunteered geography*, GeoJournal 69(4) (2007b) 211-221. DOI: 10.1007/s10708-007-911-y.

Goodchild M.F., *NeoGeography and the nature of geographic expertise*. Journal of Location Based Services 3 (2009) 82-96.

Grandjean M., *GEPHI-Introduction to Network Analysis and Visualization*, <http://www.martingrandjean.ch/gephi-introduction/>, (2015).

Haklay M., *How good is volunteered geographical information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets*. Environ. Plan. B, 37 (2010) 682-703.

Hawelka B., Sitko I., Beinat E., Sobolevsky S., Kazakopoulos P., Ratti C., *Geo-located Twitter as proxy for global mobility patterns*, Cartography and Geographic Information Science 41 (3) (2014) 260-271. DOI: 10.1080/15230406.2014.890072.

Hilber C., Cheshire P., *Concrete gains. America's big cities are larger than Europe's. That has important economic consequences*, The Economist (2012), <http://www.economist.com/node/21564536> (ultimo accesso Dicembre 2013).

Jurdak R., Zhao K., Liu J., AbouJaoude M., Cameron M., Newth D., *Understanding Human Mobility from Twitter*, PLoS ONE 10(7): e0131469 (2015) DOI:10.1371/journal.pone.0131469.

Koukoletsos T., Haklay M. and Ellul, C., *Assessing Data Completeness of VGI through an Automated Matching Procedure for Linear Data*. Transactions, in: GIS, 16 (2012) 477-498. DOI: 10.1111/j.1467-9671.2012.01304.x.

La Stampa (2014), "Italiani, in crisi ma con lo smartphone", <http://www.lastampa.it/2014/07/22/tecnologia/italiani-in-crisi-ma-con-lo-smartphone-TH4FABMMoZsciEozy4M3wN/pagina.html>.

Lampoltshammer T.J., Kounadi O., Sitko I., Hawelka B., *Sensing the public's reaction to crime news using the 'Links Correspondence Method'*, Applied geography 52 (2015) 57-66.

Lorusso S., Scioscia M., Sassano G., Graziadei A., Passannante P., Bellarosa S., Scaringi F., Murgante B., *Involving Citizens in Public Space Regeneration: The Experience of "Garden in Motion"*, Lecture Notes in Computer Science vol. 8580 (2014) 723-737. Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-09129-7\_52.

Mercklé P., *Sociologie des réseaux sociaux*. La Découverte, Paris, 2004.

Murgante B., *Wiki-Planning: The Experience of Basento Park in Potenza (Italy)*. In Borruso G., Bertazzon S., Favretto A. Murgante B., Torre C. (Eds.) "Geographic Information Analysis for Sustainable Development and Economic Planning: New Technologies" (2012) 345-359. Information Science Reference IGI Global, Hershey, PA. DOI: 10.4018/978-1-4666-1924-1.ch023.

Murgante B., Borruso G., "Cities and Smartness: A Critical Analysis of Opportunities and Risks". Lecture Notes in Computer Science vol. 7973, (2013) 630-642. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. ISSN: 0302-9743, DOI: 10.1007/978-3-642-39646-5\_46.

Murgante B., Borruso G., "Smart cities or dumb cities? Città, riqualificazione urbana e pioggia di dispositivi elettronici", Rivista GEOmedia, vol. 17 n.4 (2013) 48.

Murgante B., Borruso G., *Smart cities or dumb cities? Città e applicazioni per smartphone*, Rivista GEOmedia, vol. 17, n. 5 (2013) 48.

Murgante B., Borruso G., *Smart cities or dumb cities? Città dall'alto, città dal basso*, Rivista GEOmedia, vol. 17 n. 6 (2013) 50.

Murgante B., Borruso G., *Smart cities: un'analisi critica delle opportunità e dei rischi*, Rivista GEOmedia, vol. 17 n. 3 (2013) 6-10.

Murgante B., Borruso G., *Smart cities or dumb cities? Città ed opendata*, Rivista GEOmedia, vol. 18 n. 2 (2014) 46.

Murgante B., Borruso G., *Smart cities or dumb cities? Le vere sfide delle città intelligenti*, Rivista GEOmedia, vol. 18 n. 1 (2014) 46.

Murgante B., Borruso G., *Smart City or Smurfs City*. Lecture Notes, Computer Science vol. 8580 (2014) 738-749. Springer International Publishing Switzerland DOI: 10.1007/978-3-319-09129-7\_53.

Murgante B., Borruso G., *Smart Cities in a Smart Worl*. In Rassia S. and Pardalos P. (edited by), Future City Architecture for Optimal Living, Springer Verlag, Berli, (2015), 13-35. DOI: 10.1007/978-3-319-15030-7\_2. ISBN: 978-3-319-15029-1.

Murgante B., Borruso G., Lapucci A., "Geocomputation and Urban Planning" *Studies*, Computational Intelligence, vol. 176 (2009), Springer-Verlag. ISBN: 978-3-540-89929-7. DOI: 10.1007/978-3-540-89930-3.

Neis P., Zielstra D., Zipf A., *The street network evolution of crowdsourced maps: OpenStreetMap in Germany 2007-2011*, *Future Internet*, 4 (2011) 1-21. DOI: 10.3390/fi4010001.

Rocha M.C.F., Florentino, P.V., Pereira G.C., *City as commons: study of shared visions by communities on facebook*, in: Murgante et al. (Eds.) *Lecture Notes in Computer Science* vol. 8580, (2014), 486-501. Springer, Heidelberg.

Scano R., *Le smart city e i momenti di melma*, (2014). [http://www.agendadigitale.eu/smart-cities-communities/1178\\_le-smart-city-e-i-momenti-di-melma.htm](http://www.agendadigitale.eu/smart-cities-communities/1178_le-smart-city-e-i-momenti-di-melma.htm).

Small T.A., *What the hashtag? A content analysis of Canadian politics on Twitter*, in: Brian, D.L., Dan, M. (Eds.) *Social Media and Democracy. Innovations in participatory politics*, London, 2012, pp. 109-127.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, *Population Division. World Urbanization Prospects* (2011), [http://esa.un.org/unup/pdf/WUP2011\\_Final-Report.pdf](http://esa.un.org/unup/pdf/WUP2011_Final-Report.pdf) (ultimo accesso dicembre 2013).

Zagheni E.G.V., Weber I., *Inferring international and internal migration patterns from Twitter data*, in: *Proceedings of the Companion Publication of the 23rd International Conference on World Wide Web Companion*, Geneva, 2014.

Zephoria Incorporation *Top 20 Facebook Statistics*. Zephoria Incorporation, Sarasota, 2015.

## **SaveHer: un'applicazione (App) per contribuire attivamente alla salvaguardia del Patrimonio Culturale**

*Fabrizio Terenzio Gizzi, Nicola Masini, Beniamino Murgante,  
Nello Saulino, Marilisa Biscione, Maria Danese, Maria Sileo,  
Cinzia Zotta, Maria Rosaria Potenza*

### **Riassunto**

Nell'ampia gamma di utilizzazioni, le applicazioni per dispositivi mobili hanno un ruolo senz'altro importante per finalità connesse alla divulgazione e disseminazione di contenuti turistico-informativi pertinenti il Patrimonio Culturale.

Le applicazioni sviluppate e fruite dagli utenti finali consentono, infatti, di essere più performanti rispetto ai tradizionali strumenti informativi (es: siti web, guide audio, opuscoli informativi) grazie ai servizi basati sulla localizzazione geografica, al riconoscimento delle immagini e alla facilità di accesso ad informazioni precedentemente immagazzinate nel dispositivo mobile.

Ciò premesso, questo contributo espone l'idea fondante e le caratteristiche tecnico-operative sulle quali è basato lo sviluppo dell'applicazione (App) gratuita per dispositivi mobili denominata *SaveHer*, acronimo di *Save Heritage*.

Con l'ausilio di quest'applicazione, prima nel suo genere, l'utente/cittadino/turista potrà segnalare situazioni di criticità che interessano un monumento dovute a cause naturali (terremoti, frane, ecc.) o ad azioni antropiche (atti vandalici, furto, ecc.), informando così le istituzioni preposte che potranno agire tempestivamente, ristabilendo così le condizioni pre-evento e mettendo in atto le provvidenze necessarie per contrastare il fenomeno riscontrato.

## 1 – Introduzione

Negli ultimi anni si è assistito a una rapida diffusione di applicazioni per dispositivi mobili (*tablet* e *smartphone*) utilizzate per finalità proprie dei più disparati settori scientifici come in campo medico, ingegneristico, economico, chimico, psicologico, biologico, ecc..

Nell'ambito di questo pervasivo sviluppo collochiamo anche le numerose applicazioni ideate e sviluppate per essere funzionali alla conoscenza e disseminazione di contenuti e/o servizi pertinenti il vasto ambito del Patrimonio Culturale, con particolare attenzione alle finalità turistiche e promozionali. Tali strumenti consentono di ottenere informazioni dettagliate e in tempo reale circa eventi specifici, come gli orari di apertura di musei, le iniziative legate alla fruizione ed alla conoscenza di siti di interesse archeologico-monumentale, le guide virtuali, ecc..

La caratteristica comune alla maggior parte di queste applicazioni è, tuttavia, l'assenza di un ruolo primario degli utenti. Questi, infatti, il più delle volte sono degli attori passivi cioè "subiscono" l'informazione, non la generano. Ribaltando il punto di vista, gli utenti/cittadini possono e dovrebbero essere chiamati a svolgere, attraverso l'uso degli strumenti messi a disposizione dalle ICT, un ruolo sicuramente non secondario e in taluni casi insostituibile nei riguardi, in particolare, della tutela del Patrimonio artistico/architettonico, una sfida che coinvolge sempre più istituzioni nazionali e sovranazionali come l'ICOMOS, l'UNESCO, e il WHC e che pone sfide non solo tecniche, ma anche da sempre tese alla necessità di ottimizzare l'uso di risorse economiche, sempre più limitate.

Ciò premesso, questo contributo espone le caratteristiche tecnico-operative e l'idea di base sulla quale è stata sviluppata l'App per dispositivi mobili denominata *SaveHer*, acronimo di *Save Heritage* (Gizzi *et al.*, 2013).

Con l'ausilio di quest'applicazione l'utente/cittadino potrà segnalare situazioni di criticità imputabili a eventi naturali estremi (terremoti, frane, ecc.) o ad azioni antropiche (atti vandalici, furto, ecc.) che interessano il Patrimonio monumentale, informando così le istituzioni preposte che, in tal

modo, potranno mettere in atto le azioni necessarie per contrastare il fenomeno riscontrato.

La prospettiva sulla quale si basa lo sviluppo di *SaveHer* risiede nella constatazione che uno degli elementi cruciali per interventi tempestivi sul Patrimonio Culturale è quello di poter far affidamento su una fitta rete di "sensori" diffusi sul territorio: questo ruolo può essere in parte trasferito e svolto dai cittadini/turisti in stretto raccordo con le istituzioni. Un altro ingrediente utile a mettere in campo opportune e rapide azioni di tutela è l'uso delle tecnologie messe a disposizione dall'*Information Computer Technology* (ICT). In particolare, l'*Open Government*, insieme alle potenzialità offerte dalle applicazioni sviluppate per dispositivi mobili, può contribuire a sviluppare nuovi processi decisionali e burocratici relativi alla protezione del Patrimonio Culturale.

L'*Open Government* è basato su due principi. Il primo riguarda l'apertura, ossia il principio della bi-direzionalità secondo il quale i cittadini devono condividere e partecipare alle azioni che portano ai processi decisionali. Il secondo punto attiene la trasparenza: i cittadini devono poter controllare le azioni e il processo decisionale delle pubbliche amministrazioni grazie soprattutto alla libera circolazione dei dati, nota come *Open Data Movement* (Belisario *et al.*, 2011).

## 2 – App e Patrimonio Culturale: stato dell'arte

Prima di addentrarci nelle caratteristiche tecniche di sviluppo e di uso di *SaveHer*, è opportuno tracciare un breve quadro d'insieme, a scala nazionale e internazionale, relativo allo sviluppo e uso delle applicazioni per dispositivi mobili nel settore del Patrimonio Culturale.

Negli ultimissimi anni sono state pubblicate numerose App con finalità di promozione, divulgazione e fruizione, con contenuti riguardanti il Patrimonio Culturale di valenza internazionale o locale, e con utilità come la localizzazione, la segnalazione di punti d'interesse e le risorse digitali associate. Tra le più recenti ricordiamo *The Civil War Today*, *UNESCO World Heritage*, *Patrimonio Mondiale Ticino-Svizzera*, *Florence heritage* e *Appasseggio*<sup>1</sup>.

Appositamente dedicate ai Beni Culturali e utili alla gestione delle emergenze sono le App *ERS* e *LibraryFloods App*.

*Emergency ERS - Response and Salvage* (aprile 2012) delinea le fasi critiche di risposta ai disastri, dalla messa in sicurezza dell'ambiente alla valutazione del danno e fornisce consigli pratici di messa in sicurezza per nove tipologie di collezioni: fotografie, libri e documenti, dipinti, archivi digitali, tessuti, mobili, ceramiche/pietra/metallo, materiali organici e reperti di storia naturale.

Più specifica è la *LibraryFloods App*, realizzata dalla *US National Library of Medicine*, che fornisce informazioni dettagliate su come recuperare le collezioni dopo allagamenti o alluvioni.

Di recente si è assistito anche allo sviluppo di App per il Patrimonio Culturale nate a supporto del *m-learning* (Dowling & Whalen, 2014). In aggiunta crescono esponenzialmente applicazioni che combinano realtà aumentata e tecniche di modellazione 3d (Bonacini, 2014, Giloth & Tanant, 2014, Verykokou *et al.*, 2014, si vedano anche, disponibili nei market online, *Jumieges 3D*, *Museo SanGi* e *gli ARTGlass*, *Liguria Heritage*, *App Città Ideale* e *Città Ideale AR*, solo per citarne alcune<sup>2</sup>), ma anche tecnologie solitamente utilizzate per la diagnostica come quella della fluorescenza a Raggi X e IR o la tecnologia *RTI (Reflectance Transformation Imaging)* messe al servizio della divulgazione scientifica (*Touch Van Gogh*, *Second Canvas*, *RTI Mobile App*<sup>3</sup>).

Contenuti di altissima qualità e raffinate tecniche d'indagine avvicinano nuovi utenti al Patrimonio Culturale che, seppur non esperti in materia, sono sempre più attenti, curiosi ed esigenti. *ARTifact* è invece una nuova App pensata per la diagnostica per immagini destinata a ricercatori ed esperti; è stata recentemente presentata al *Scientific Symposium dell'International Council on Monuments and Sites (ICOMOS)* (Vanoni *et al.*, 2015) ed è disponibile per la fase di beta test ma non è ancora disponibile nei tradizionali *market on-line*.

Da segnalare, infine, un'applicazione sviluppata (aprile 2014) dall'Arma dei Carabinieri (Nucleo Tutela Patrimonio Culturale) in collaborazione con il Mibact: *iTPC Carabinieri*<sup>4</sup> è finalizzata alla tutela del Patrimonio Culturale. In particolare, l'App offre al

cittadino uno strumento per contribuire alla lotta ai furti e ai danni ai beni culturali e per supportare l'attività dei Carabinieri nella ricerca delle opere d'arte illecitamente sottratte.

A valle di tal *excursus*, nel panorama delle applicazioni mobili realizzate e appositamente dedicate ai Beni Culturali emerge che l'originalità di *SaveHer* è principalmente connessa alla possibilità offerta ai cittadini/turisti di interagire e dialogare con le istituzioni responsabili della conservazione del Patrimonio Culturale ed alla diretta partecipazione dell'utente, che diventa promotore ed attore della tutela attraverso l'uso delle sempre più pervasive tecnologie mobili.

### 3 - Caratteristiche ed utilizzo di *SaveHer*

L'applicazione *SaveHer* è stata progettata per l'uso con dispositivi mobili, sia *smartphone* sia *tablet*.

Da un punto di vista tecnico, l'applicazione è stata sviluppata per sistemi multi-piattaforma attraverso il software *Cordova Phonegap* (*Apache Software Foundation*) e, quindi, può essere utilizzata su dispositivi che supportano i sistemi operativi Apple iOS, Google Android, Microsoft Windows Phone 7/8, and RIM Blackberry.

In questa prima fase di sviluppo, l'interfaccia grafica dell'applicazione è strutturata in lingua italiana. In seguito si provvederà ad una sua estensione secondo opzioni multi-lingua.

La prima versione dell'applicazione è stata rilasciata nel *Play Store* della Google nel mese di Febbraio 2015, dopo una prima fase di *test* effettuata tra gli utenti per verificare la presenza di problemi di natura tecnica e/o ottimizzare l'interfaccia grafica. Quest'aspetto, infatti, riveste particolare importanza poiché le barriere tecnologiche possono influire negativamente sull'impiego, da parte dell'utente, delle potenzialità e vantaggi dei dispositivi mobili e dei relativi contenuti (Verkasalo *et al.*, 2010).

L'uso di *SaveHer* da parte dei cittadini può essere riassunto schematicamente in sette fasi principali (Figura 1):

- 1) identificazione, da parte dell'utente, del monumento danneggiato;

2) avvio di *SaveHer* e autenticazione dell'utente attraverso apposita registrazione *on-line* o mediante l'uso degli account dei social network come *Facebook* e *LinkedIn* (Figura 2a, 2b);

3) acquisizione di una o più foto (sino a un massimo di tre) del monumento, ponendo attenzione a cosa l'utente vuole che sia segnalato. Durante questa fase l'App registrerà automaticamente le coordinate geografiche dell'utente e quindi le foto includeranno nelle loro proprietà la latitudine e longitudine geografica del monumento (Figura 2c);

4) compilazione (fase opzionale) di un semplice questionario che consentirà all'amministratore del sistema di avere maggiori informazioni circa l'evento/circostanza da segnalare, come atti di vandalismo, danni da eventi meteorologici, effetti di terremoti o fenomeni franosi (Tabella 1);

5) invio dei dati (foto georeferenziate e questionario) a un server *cloud* remoto (attraverso richieste di tipo POST) e registrati in un *database*;

6) controllo, da parte dell'amministratore del sistema, circa i contenuti e la coerenza degli stessi con le finalità dell'applicazione;

7) pubblicazione dei dati concernenti la segnalazione, con i *credit* relativi all'utente, sia in forma testuale sia cartografica sulla pagina web dedicata (<http://www.appsaveheritage.com>) o mediante la stessa App (Figura 2d, 3);

8) invio delle informazioni circa la segnalazione alle istituzioni incaricate della salvaguardia (soprintendenze, comuni, ecc.) per la presa in carico e risoluzione della problematica segnalata.

Come accennato (punto 4), l'utente ha la facoltà di rispondere a un questionario precompilato da inviare assieme ai dati iconografici. Il questionario, che è stato sviluppato *ad hoc* per le finalità dell'applicazione, è composto di dieci domande riguardanti la *tipologia* e la *causa* del danno/inconveniente individuato sul monumento o sulle opere d'arte in esso contenute (Tabella 1). La formulazione delle domande è stata eseguita attraverso analisi bibliografiche (Marchetti *et al.*, 2006; Papa *et al.*, 2011) e tenendo conto dell'esperienza personale degli autori.

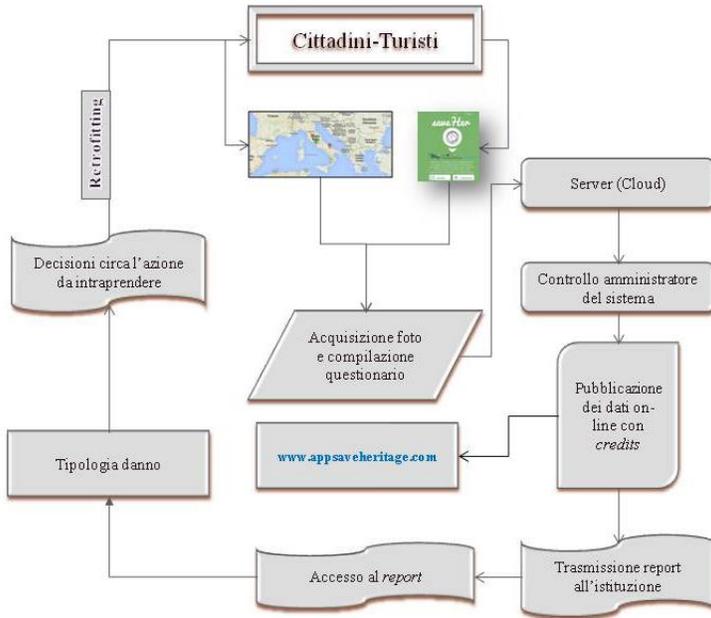


Figura 1. Flusso di lavoro riguardante l'uso e la gestione dei dati tramite SaveHer



Figura 2. Screenshot relativi all'avvio dell'App, al login, al report, ed alla localizzazione dell'utente (a-d, da sinistra a destra)

SaveHer: un'applicazione (App) per il Patrimonio Culturale

ID DOMANDA	TIPO DI DANNO	CAUSA DEL DANNO/ OGGETTO DEL DANNO
1	CROLLI (MURI, SOLAI, TETTO, ...)	➤ TERREMOTO
		➤ FRANA
2	LESIONI/DEFORMAZIONI (MURI, PILASTRI, SOLAI....)	➤ INCURIA
		➤ EVENTI METEOROLOGICI
3	TETTO DISCONNESSO	➤ ALTRO
		➤ NON NOTA/O
4	DEGRADO E CADUTA DI MATERIALE DA COSTRUZIONE	➤ TERREMOTO
		➤ FRANA
5	DANNI AL SISTEMA DI RACCOLTA ACQUE	➤ INCURIA
		➤ EVENTI METEOROLOGICI
6	PRESENZA D'ACQUA NELL'EDIFICIO O NELLE SUE PROSSIMITÀ	➤ ALTRO
		➤ NON NOTA/O
7	DANNO DA ATTO VANDALICO (EDIFICIO)	➤ ALLUVIONE/INONDAZIONE
		➤ PERDITA D'ACQUA
8	DANNO DA ATTO VANDALICO (OPERE D'ARTE:AFFRESCHI, MOSAICI,...)	➤ INFILTRAZIONI
		➤ ALTRO
9	FURTO	➤ INCENDIO
		➤ ESPLOSIONE
10	ALTRO	➤ ALTRO
		➤ ...

Tabella 1. Questionario da compilare a cura dell'utente per la precisa segnalazione del danno/fenomeno riscontrato e delle relative cause

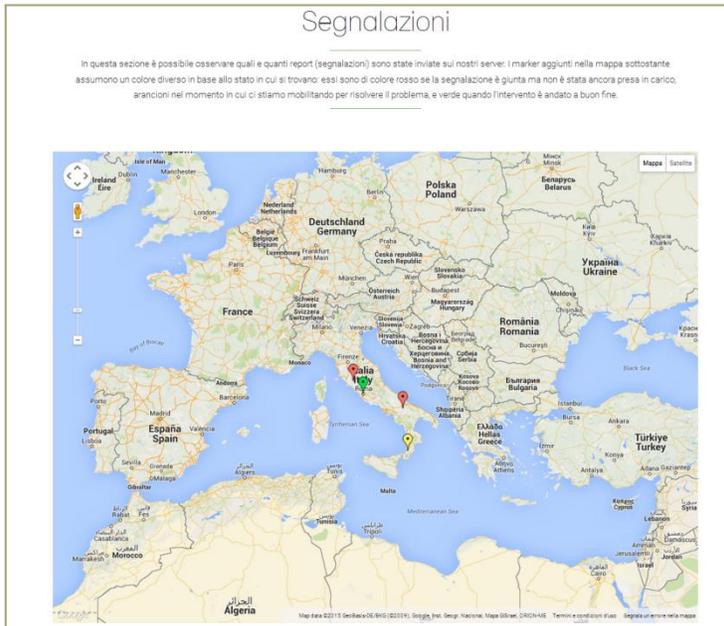


Figura 3. Sito web dell'App *SaveHer* (<http://www.appsaveheritage.com/>): mappa con le ubicazioni delle segnalazioni ricevute (accesso 26 luglio 2015)

Le prime tre domande del questionario riflettono informazioni circa le tipologie di danno (es.: crolli, lesioni nei muri, solai, tetti) causate da eventi naturali come terremoti, frane o eventi meteorologici estremi.

Le domande 4 e 5 riguardano le conseguenze provocate nell'edificato storico dall'incuria, come il distacco di intonaco, la compromissione del sistema di raccolta e deflusso delle acque pluviali.

Il punto 6 del prende in considerazione tipologie di effetti come la presenza d'acqua all'interno o nei pressi dell'edificio, dovuta ad eventi quali alluvioni/inondazioni o perdite ed infiltrazioni di acqua.

Le successive tre domande rimandano a tipologie di danno ascrivibili ad atti di vandalismo o furti (UNI 11182, 2006).

L'ultima domanda (decima) non è volutamente predefinita per dare la possibilità all'utente di inserire eventuali tipologie di

danno, con le relative cause, non previste nei nove quesiti precedenti.

In una seconda fase di sviluppo dell'applicazione sarà valutata la necessità o opportunità di introdurre un secondo livello di approfondimento del questionario che consenta all'utente di inserire informazioni più dettagliate circa la tipologia del danno riscontrato (e.g.: lunghezza ed ampiezza delle lesioni, tipologia del degrado materico, ecc.).

#### 4 - Implicazioni dall'uso di *SaveHer*

Per raggiungere le finalità proposte dall'uso di questo strumento *ICT* è fondamentale la convergenza di tre elementi. I primi due, di cui abbiamo accennato in precedenza riguardano le caratteristiche *user-friendly* dell'applicazione e l'intellegibilità delle domande proposte nel questionario. Il terzo aspetto, tuttavia, è probabilmente il più centrale e riguarda la disseminazione mirante a sensibilizzare nel medio periodo sia le istituzioni sia i cittadini. Come esito di quest'azione, possono derivare importanti implicazioni pratiche come:

- fornire informazioni appropriate e tempestive riguardo il bene vulnerato;
- identificare i territori/aree da porre sotto particolare attenzione;
- sensibilizzare l'opinione pubblica sulla necessità di una partecipazione attiva, collettiva e condivisa alla protezione del Patrimonio Culturale;
- agevolare il rapporto tra i cittadini-utenti e le amministrazioni con il compito di tutela del Patrimonio Culturale tangibile;
- diffondere la conoscenza riguardante la molteplicità dei monumenti cosiddetti "minori" che costellano il territorio italiano.

Il primo punto rappresenta il principale vantaggio atteso, ma richiede un forte coinvolgimento delle istituzioni che potranno trarre sicura utilità dalla disponibilità di informazioni sia iconografiche sia testuali circa l'inconveniente individuato nel monumento. Ciò consentirà ai ruoli istituzionali preposti di

pianificare interventi appropriati prima di recarsi sul sito oggetto di segnalazione, risparmiando così tempo e risorse economiche. Il secondo punto riguarda la possibilità, sulla base delle indicazioni statistiche delle segnalazioni da parte del pubblico, di individuare aree di particolare "vulnerabilità", ad esempio per atti vandalici o furti, verso le quali indirizzare prioritariamente interventi di controllo preventivo del Patrimonio Culturale.

I restanti tre punti riguardano possibili implicazioni indirette dall'uso dell'applicazione. Ad esempio, la disponibilità di foto dotate di informazioni geografiche agevolerà l'individuazione e la riscoperta di realtà poco note (es.: chiese rurali) con possibili implicazioni e risvolti positivi dal lato dell'impatto turistico.

## 5 - Conclusioni e prospettive

La sempre maggiore diffusione e familiarità dei cittadini verso le tecnologie *ICT* suggerisce potenziali utilizzi in differenti settori, tra i quali quello di supporto alla salvaguardia del Patrimonio monumentale. L'impiego di strumenti *hardware* e *software* di diffusione di massa è in grado di agevolare, infatti, il ruolo svolto delle istituzioni attraverso segnalazioni tempestive ed accurate da parte dei cittadini.

Partendo da questo punto di vista, l'articolo ha discusso le caratteristiche tecniche, le modalità d'uso e le finalità di *SaveHer*, un'applicazione per dispositivi mobili (*smartphone* e *tablet*) di recente sviluppo da parte dell'Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Due sono gli attori principali coinvolti direttamente o indirettamente dall'uso dell'applicazione: la popolazione, assunta come "sensore" attivo sul territorio e le istituzioni preposte alla tutela dell'edilizia storico-monumentale.

*SaveHer* è un'applicazione completamente gratuita ed è adesso disponibile per dispositivi Android sul *Google Play Store*. I cittadini/utenti che riscontrino una problematica relativa a un monumento o ad un sito di interesse monumentale possono, attraverso l'applicazione, segnalare con l'ausilio di riprese fotografiche e di un questionario la tipologia di effetto/danno individuato e le relative cause. Questi due dati, una volta inviati al *server* e gestiti dall'amministratore del sistema, saranno

trasmessi alle competenti istituzioni per le opportune azioni di ripristino delle condizioni pre-evento. L'applicazione è allo stato attuale sviluppata in lingua italiana, ma dopo l'esperienza nazionale si provvederà a renderla disponibile nelle principali lingue in modo da diffondere a scala internazionale il protocollo di salvaguardia proposto.

In linea con gli obiettivi dell'*Open Government*, attraverso *SaveHer* si auspica di raggiungere, nel medio-lungo termine, due ambiziosi scopi: incrementare sempre più la collaborazione tra cittadini e istituzioni per la tutela del Patrimonio costruito e sollecitare una sempre maggiore consapevolezza nella popolazione della necessità di porre attenzione e preservare un Patrimonio, come quello monumentale, che rappresenta un bene unico e "non rinnovabile".

## Note

<sup>1</sup> Le App elencate sono disponibili su *App store* e *Android market*. Per ulteriori dettagli: <http://www.heritagemontgomery.org/montgomery-county/civil-war-app>, <https://itunes.apple.com/it/app/unesco-world-heritage/id412183802?mt=8>; <http://www.webatelier.net/mobile-app-for-two-world-heritage-sites-in-ticino-switzerland-is-available-on-the-app-store>; <http://app.comune.fi.it/app/a0005.html>; [http://www.creative-heritage.eu/internaz\\_and\\_localization.html](http://www.creative-heritage.eu/internaz_and_localization.html); <http://www.webatelier.net/mobile-app-for-two-world-heritage-sites-in-ticino-switzerland-is-available-on-the-app-store>. Vedasi anche Gizzi *et al.* 2013. Per le APP sviluppate negli anni precedenti, vedasi Kenteris (2006, 2009) e Panda *et al.* (2012).

<sup>2</sup><https://itunes.apple.com/it/app/jumieges-3d/id556799877?mt=8>; <http://t4all.it/portfolio-articoli/museo-civico-sangi/>; <http://www.liguriaheritage.it/heritage/it/home.do>; <https://itunes.apple.com/it/app/citta-ideale/id897022892?mt=8>; <https://itunes.apple.com/it/app/citta-ideale-ar/id897564242?mt=8>

<sup>3</sup><http://heritageinmotion.eu/project/touch-van-gogh-app-for-tablet/>; [www.secondcanvas.net](http://www.secondcanvas.net); <https://itunes.apple.com/it/app/rti-mobile/id878658913?mt=8>

<sup>4</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=it.reply.leonardo.mobile&hl=it>, <https://itunes.apple.com/it/app/itpc-carabinieri/id858588594?mt=8>.

## Bibliografia

- Apple app store*. Available at <https://www.apple.com>. Accessed April 2013.
- Android Market*. Available at [https://play.google.com/store/apps?feature=corpus\\_selector](https://play.google.com/store/apps?feature=corpus_selector). Accessed April 2013.
- Belisario E., Cogo G., Epifani S. & Forghieri C., *Come si fa Open Data? Istruzioni per Enti e Amministrazioni Pubbliche* (2011). Versione 1.0 <http://www.datagov.it/2011/04/14/le-linee-guida-per-1%E2%80%99open-data/>.
- Bonacini E., *Augmented reality and cultural apps in Italy: stories from a marriage in mobility*. Il Capitale Culturale. Studies on the Value of Cultural Heritage, 9, (2014) 89-12.
- Carillo E., Kadobayashi R., Chikama M., Shimojo S., Rodriguez-Echavarria K. & Arnold D., *Making history alive and interactive: Designing an iPhone app to present the summer war of Osaka Byōbu*, in: 16th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, ed. by IEEE (VSMM, Seoul), (2010), pp. 365-368.
- Dowling C., Whalen M. (2014) *ARCH-APP: the city as classroom builder*. Proceedings of INTED 2014 Conference 10th-12th March 2014, Valencia, Spain, pp. 3729-3739 ISBN: 978-84-616-8412-0, (<http://www.mimiwhalen.net/wp-content/uploads/2013/12/Inted-2014-Paper.pdf>, accesso 07 September 2015).
- Giloth, C. F. and Tanant J., *Reconstitution of the Labyrinth of Versailles as a Mobile App*. 18th International Conference on Information Visualisation (IV), (2014), pp. 269-274.
- Gizzi F.T., Biscione M., Danese M., Deufemia V., Masini M., Murgante B., Paolino L., Saulino N., Sileo M., Potenza M.R., *SAVHER - An App for smart and community-shared approaches to the safeguard of cultural heritage*, in: Proceedings of the 4th EARSeL Workshop on "Remote Sensing for Cultural Heritage", 6-7 June 2013 - Matera, Italy, (2013), pp. 251-260. ISBN: 9788889693254.
- Holzinger K., Lehner M., Fassold M. & Holzinger A., *Archaeological scavenger hunt on mobile devices: From e-education to e-business - A triple adaptive mobile application for supporting experts, tourists and children*, in: International Conference on e-Business, edited by INSTICC (ICE-B, Seville), (2011), pp. 131-136.
- Kenteris M., Gavalas D. & Economou D., *An innovative mobile electronic tourist guide application*, in: Personal and Ubiquitous Computing 13(2), Springer- Verlag London, (2009), 103-118.
- Kenteris M., Gavalas D. & Economou D., *A novel method for the development of personalized mobile tourist applications*, in: 5th IASTED International Conference on Communication Systems and Networks, WMSF (CSN Palma de Mallorca), (2006), pp. 208-212.
- Marchetti L., Carapezza G.F., Mazzini G., Di Gennaro M., Galanti E., D'Annibale A., *Scheda per il rilievo del danno ai beni culturali - Chiese*. Gruppo di lavoro per la salvaguardia e la prevenzione dei Beni Culturali dai rischi naturali. Dipartimento della Protezione Civile Nazionale. Modello A - DC. Prima sezione, (2006), 14 pp..

Onn F., Chan S., Tosa N., Nakatsu R., Cheok A.D. & Madurapperuma A.P., *Personalized cultural information for mobile devices*, in: 2nd International Conference on Culture and Computing, Culture and Computing, IEEE (Kyoto), (2011), pp. 125-126.

Panda J., Sharma S. & Jawahar C.V., *Heritage app: Annotating images on mobile phones*, in: 8th Indian Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing, edited by ISRO, IUSSTF (ICVGIP Mumbai), (2012).

Papa S., Di Pasquale G., *Manuale per la compilazione della scheda per il rilievo del danno ai beni culturali*, Chiese. Modello A - DC. Dipartimento della Protezione Civile, (2011), 145 pp..

UNI 11182, *Beni culturali, Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni*, (2006), 38 pp..

Vanoni D., Stout S., Cosentino A., Kuester F., *ARtifact Conservation: Representation and Analysis of Spectroscopic and Multispectral Imaging Data Using Augmented Reality Scientific Symposium at the General Assembly of the International Council on Monuments and Sites (ICOMOS)*, (2015).

Verkasalo H., López-Nicolás C., Molina-Castillo J., Bouwman H., *Analysis of users and non-users of smartphone applications*. Telematics and Informatics, 27, (2010), 242-255.

Verykokou S., Ioannidis C., Kontogianni G., *3D Visualization via Augmented Reality: The Case of the Middle Stoa in the Ancient Agora of Athens, Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection Lecture Notes in Computer Science (Eds.)*, EuroMed 2014, LNCS 8740, Springer International Publishing Switzerland, (2014), 279-289.

## ***Ubiquitous Computing e Patrimonio Culturale: dalla fruizione alla salvaguardia***

*Marilisa Biscione, Maria Danese, Nicola Masini*

### **Riassunto**

Il contributo propone una sintesi della ricerca internazionale sull'*Ubiquitous Computing* dalla fine degli anni '80, periodo durante il quale muove i primi passi, sino ai giorni nostri. La nuova sfida, fortemente caratterizzata e basata sui concetti di localizzazione, contesto e scalabilità è stata accolta dagli informatici ma anche da chi si occupa di informazione geografica, di sensoristica, di reti di comunicazione, di telefonia mobile e, negli ultimi tempi, di Patrimonio Culturale. In particolare si parla di *Location Based Services* che, specie negli ultimi anni (in cui l'informazione è richiesta e disponibile sempre ed ovunque) assumono importanza centrale e diffusa. Si conclude con un approfondimento sulle applicazioni più recenti relative alla fruizione ed alla salvaguardia del Patrimonio Culturale, anche attraverso la partecipazione del cittadino.

### **1 - Introduzione**

In un lontano 1991 appena approdato ai "*window systems*" *Windows 3.0* e *X Window*, qualcuno immaginava un modo totalmente innovativo di pensare il *computer*. Si iniziava a prendere in considerazione il contesto, la sua importanza e la conseguente necessità di dotarlo di tanti piccoli dispositivi specifici, capaci di "sparire" ed integrarsi totalmente in esso: *le tecnologie più profonde sono quelle che scompaiono. Esse si intrecciano con il tessuto della vita di tutti i giorni fino a quando non sono indistinguibili da essa* (Weiser, 1991). Tale scomparsa-integrazione veniva concepita più come una evoluzione psicologica, sociologica ed antropologica dell'utilizzo dei calcolatori che tecnologica. Questa sensazione scaturiva dalla consapevolezza del fatto che quando si impara sufficientemente

bene qualcosa si smette di esserne coscienti, e viceversa; e quando le cose "scompaiono" si è liberi di usarle senza pensare, automaticamente e sapientemente. Ebbe origine secondo questa logica l'*Ubiquitous Computing*, concepito ed elaborato da Mark Weiser e dai suoi colleghi negli anni tra il 1988 ed i primi '90 presso il *Computer Science Lab allo Xerox PARC* (Weiser, 1991). Questa radicale sfida coinvolse sin dal principio tutti gli aspetti e gli ambiti dell'informatica: per rendere *context-aware* le applicazioni dell'*UbiComp* bisognava riuscire a modificare applicativi *hardware* e *software*, protocolli di comunicazione ecc.. Durante i primi anni ci si concentrò prevalentemente su contesti semplici, con il rilevamento dell'identità e della posizione di singoli moduli, preparandosi ad affrontare contesti sempre più complessi (insiemi di sensori o sistemi di riconoscimento di attività e individui) (Abowd & Mynatt, 2000). Gli ideatori dell'*UbiComp* e del *Context aware computing* introdussero sin da subito due questioni di importanza cruciale per la rivoluzione concettuale e materiale che si apprestavano a compiere: la geolocalizzazione, dato fondamentale per una corretta relazione con il contesto, e la scalabilità dei singoli moduli, per soddisfare le mutevoli esigenze e dimensioni dei nuovi scenari da implementare (Weiser, 1991). Data la necessità di una sempre più precisa e puntuale localizzazione geografica, è stato considerevole lo sviluppo tecnologico di protocolli di comunicazione e sistemi di localizzazione in *real time* (GPS o GSM, ma anche Wi-Fi, RFId, ZigBee ecc.) nel corso degli anni e questo ha accelerato a sua volta la realizzazione e la diffusione di applicazioni e servizi basati proprio sul rilevamento delle coordinate geografiche. I *Location Based Services* combinano le informazioni legate alla localizzazione con informazioni di tipo alfanumerico e multimediali relative al contesto secondo *standard* e procedure internazionali *ISO* e *OGC* (<http://www.opengeospatial.org/>). Il concetto di geolocalizzazione è dunque arrivato ad essere oggi di comprensione ed uso comune, esattamente come i dispositivi (*Smartphone*, *Tablet* ecc.) o i fenomeni sociali (*Social Network*) che ne hanno agevolato la diffusione. Ne consegue una forte consapevolezza dell'importanza della sempre maggior mole di dati ed informazioni ad essa associati, relativi alle abitudini degli utenti, specie quelli che usufruiscono di determinati servizi.

Anche gli operatori economici sfruttano in maniera consistente sistemi basati sui *Location Based Services* per incrementare i propri guadagni e ci si pone sempre con maggior attenzione il problema della *privacy* in questo ambito, già previsto e noto sin dai primi anni '90 (Weiser, 1991; Memon, 2015). Accanto ad una diversificata scelta di servizi ed applicazioni dedicate al Patrimonio Culturale, il prodotto *zbSens* proposto dal gruppo di ricerca Ibam-Cnr (si veda il contributo *Un approccio operativo e a basso costo alla protezione del Patrimonio artistico: il sistema ZbSens, infra*) si colloca in un settore poco servito dalle *Location Based Application*, ossia quello degli oggetti o dei beni artistici e della loro protezione più che della loro fruizione e valorizzazione.

## 2 - "Activate the world": l'Ubiquitous Computing

*Activate the world* era il mantra degli ideatori dell'*Ubiquitous Computing*: ci si proponeva di fornire ambienti e persone di centinaia di dispositivi *wireless*, di tutte le dimensioni. Per perseguire tale obiettivo bisognava ideare protocolli, servizi e sistemi informatici a basso costo, a basso consumo, con una rete di connessione e con nuovi *software* per le "*ubiquitous*" applicazioni (Weiser, 1991). La metodologia di ricerca parti dall'informatica sperimentale di serie: era necessario realizzare prototipi basati su una logica totalmente innovativa ma anche assicurare solidità, scalabilità e sostenibilità a tutti quei nuovi applicativi di uso quotidiano appena ideati (Weiser, 1993). Il punto focale dell'*Ubiquitous Computing* (Figura 1) sono sin da allora le applicazioni (*in primis* quelle legate alla localizzazione) e di conseguenza l'utilizzo delle informazioni da esse dedotte. *PARC*, *Europarc* e il centro di ricerca Olivetti costruirono già nei primi anni diversi tipi di *server* di localizzazione, composti da banche dati centrali di informazioni sulla posizione che potevano essere rapidamente interrogate (Weiser, 1993). Già le prime dimostrazioni di *UbiComp* basate sulla localizzazione prodotte dagli stessi laboratori si presentavano molto convincenti: la vera novità consisteva nel collegare l'attività umana implicita ai servizi forniti da dispositivi ed applicativi per migliorare o velocizzare attività quotidiane e comuni.



cellulare o PDA), di una rete di comunicazione (GSM, GPRS, UMTS), un sensore di posizione (GPS), di provider di servizi e applicazioni ed infine di provider di dati. Si tratta di servizi in continuo perfezionamento e diffusione, la cui prima fase di sviluppo è stata indirizzata dall'evolversi della tecnologia ancor prima e di più che dalle direttive ministeriali (Junglas & Watson, 2008) ed è stata fortemente influenzata dal rapido accrescimento della disponibilità di dispositivi portatili (Gartner, 2014). Il focus della ricerca relativa agli LBS si è spostato rapidamente sulla disponibilità dei dati e sulla loro gestione: le maggiori difficoltà erano quelle relative all'acquisizione del dato ed alla interoperabilità tra i principali fornitori di dati, che solitamente sono pubblici, commerciali o *open*. In questo senso la creazione di *standard* e procedure tecniche e legali sia ISO (ISOTC/211)<sup>1</sup> sia Open Geospatial Consortium (OGC 05-016)<sup>2</sup> ha senz'altro agevolato ed uniformato a livello internazionale questa tipologia di servizi. ISO Technical Committee 211 prevede indicazioni sui LBS nei documenti 1913<sup>2</sup> (*Location based services possible standard*), 19133 (*Location based services tracking and navigation*), 19134 (*Multimodal location based services for routing and navigation*), invece l'OGC descrive le specifiche per la realizzazione della piattaforma aperta *OpenLS* e descrive i servizi base di un *GeoMobilityService* (*Directory Service, Gateway Service, Location Utility Service, Presentation Service, Route Service*) nonché le sue funzionalità di base, la comunicazione tra client e server, la struttura dei dati. La conoscenza della localizzazione può essere fornita dalla rete, dal terminale o dall'utente stesso. La fase attuale di sviluppo degli LBS concentra la maggior attenzione proprio su quest'ultimo e sulle sue esigenze. Se da un lato la posizione geografica caratterizza e profila sempre di più le attività e le richieste degli utenti, dall'altro la massima diffusione di dispositivi mobili aumenta la necessità di nuove tecniche di rappresentazione (del contesto) e visualizzazione 3 e 4D: "la cartografia e la presentazione dei dati sono il linguaggio attraverso cui l'esplosione di dati viene interpretata spazialmente" (Gartner, 2014). Bisogna considerare poi negli ultimi 50 anni c'è stato un forte impulso e sviluppo dell'informazione geografica, per cui i sistemi di creazione e gestione di essa si sono trasformati da

software desktop abbastanza complessi da usare, specie per l'utente non esperto, a servizi *web friendly user* quali *Google Earth/Maps*, *Open Street Map* e i diversi *webGIS* diffusi in rete. Inoltre c'è stata una notevole diffusione di applicativi per cellulari basati sull'informazione geografica, sia derivanti dai *software* per computer *desktop*, sia dai servizi *web*, quali proprio il *player* di *Google Maps*. Tali cambiamenti contribuiscono notevolmente, insieme al basso costo delle nuove applicazioni su quelli basate, alla diffusione degli LBS: si pensi, per esempio, a *Station Finder*, un servizio "*Park and Ride*" di assistenza ai pendolari che, in base alla disponibilità di parcheggio, scelgono la stazione da cui prendere un mezzo pubblico con notevole risparmio di tempo e denaro. Il sistema, che integra diversi criteri per suggerire la soluzione più adatta all'utente, è stato sviluppato usando *Android SDK 4.0* e *Google API 16* (Chen *et al.*, 2014); oppure agli LBS utili per la ricerca di un taxi (Sheu *et al.*, 2010), a trovare ed incontrare amici vicini all'utente (Amir *et al.*, 2007) o per gestire emergenze (Jiang *et al.*, 2004), per citarne solo alcuni. Nuove funzionalità degli LBS sono sperimentate in servizi come *Sherlock*, che gestisce la conoscenza del contesto attraverso dati eterogenei forniti da oggetti in movimento che, usufruendo di differenti tecnologie di posizionamento e reti di comunicazione, forniscono informazioni su scenari dinamici ed in costante cambiamento (Yus *et al.*, 2013). I dati e le informazioni sono disponibili oggi in gran numero sia a causa della diffusione degli LBS, sia a causa di una maggior disponibilità degli utenti alla concessione volontaria degli stessi, senza nessuna preoccupazione relativa alla *privacy* o alla sicurezza delle informazioni, dai contenuti come foto o video alla posizione geografica, in *real time*. La mole dei dati raccolti da questi sistemi se da un lato diventa sempre più importante ed interessante in termini di analisi ed utilizzo, dall'altro acuisce il problema della *privacy*, già manifesto sin dai primi anni di sviluppo dell'*Ubiquitous Computing*. Consapevoli della crescita esponenziale di messaggi, informazioni e dati generati dalla nuova concezione "*ubiquitous*" dei dispositivi, ma allo stesso tempo forti della presenza di tecniche crittografiche per la protezione degli stessi, gli ideatori dell'*UbiComp* ritenevano che, se progettate ed inserite nei sistemi sin dall'inizio, queste tecniche avrebbero potuto garantire in futuro sempre maggior *privacy* per ogni tipo di

dato ed informazione (Weiser, 1991). Ad oggi la ricerca in questo senso si dirige verso nuovi sistemi ed algoritmi di protezione della "location privacy" e sollecita l'analisi delle motivazioni alla base della condivisione delle informazioni sulla localizzazione, che spesso è il risultato di dinamiche implicite di strategie ed espedienti sociali, sfruttato anche economicamente (attraverso *social network* che, tramite le informazioni geolocalizzate degli utenti, abilitano nuove dinamiche e gruppi sociali oppure con strategie di *marketing* che interagiscono con utenti di locali commerciali aperti al pubblico per incuriosirli ed attrarli all'interno della propria attività) (Wilson, 2012).

Chiedendo di accedere al servizio di cui si necessita in realtà, l'utente fornisce più o meno consapevolmente la propria posizione geografica, è quindi necessario che il *service provider* degli LBS in questione sia in grado di proteggere automaticamente la *privacy* dell'utente attraverso l'autenticazione dello stesso e l'utilizzo di algoritmi progettati *ad hoc* (Memon, 2015).

#### 4 - Location Based Services per il Patrimonio Culturale

La valorizzazione del Patrimonio Culturale fruisce oggi ampiamente di nuove strategie di promozione e divulgazione grazie a servizi e tecnologie basate sulla localizzazione (con la segnalazione di punti d'interesse, per esempio) e sull'integrazione di risorse digitali e contenuti multimediali (*UNESCO World Heritage*, *Florence heritage* ed *Appasseggio*<sup>3</sup> per citare solo alcune applicazioni a questo dedicate). La grande potenzialità dei servizi basati sulla localizzazione in ambito turistico e per la fruizione dei beni culturali è ormai chiara e frequentemente applicata (Deidda *et al.*, 2010; Kenteris *et al.*, 2011; Panda *et al.*, 2012). Questo tipo di LBS è in continua evoluzione grazie a diverse sperimentazioni volte a migliorare l'esperienza dell'utente-fruitori: questo può accadere grazie all'integrazione di differenti tecnologie di localizzazione e informazioni (Tesoriero *et al.*, 2012); con l'utilizzo di tecnologie mutuare dal "*semantic web*", che offrono l'opportunità di sviluppare applicazioni (sempre basate sulla posizione geografica) più "intelligenti" (Mahmood & Salam, 2013); con lo sfruttamento dei nuovi tipi di servizi sempre più legati al

turismo ed alla valorizzazione come la promozione, l'intrattenimento, la pubblicità (Pedrana, 2014).

Se spostiamo la nostra attenzione dalla fruizione alla tutela ed alla salvaguardia delle opere d'arte o dei beni culturali in genere possiamo segnalare numerose applicazioni che supportano e suggeriscono all'utente (un tecnico, o più frequentemente un semplice cittadino) come agire in caso di emergenze, furti o danni: si pensi, a volerne citare alcune, ad *ERS Emergency, Response, Salvage* che in caso di disastri suggerisce come mettere in sicurezza l'ambiente, valutare il danno e salvare diverse tipologie di collezioni o a *LibraryFloods*, che aiuta a recuperare beni librari dopo allagamenti o alluvioni; oppure ad *iTPC Carabinieri*<sup>4</sup>, che offre al cittadino uno strumento per contribuire alla lotta ai furti o danni ai beni culturali e supportare l'attività dei Carabinieri nella ricerca delle opere illecitamente sottratte.

A differenza delle prime due applicazioni in quest'ultima gioca una componente importante proprio il modulo di localizzazione, che ha la precisa funzionalità di indicare, in questo caso, la stazione dei Carabinieri più vicina.

Ancora, un esempio ulteriore è *SaveHer*, una applicazione che (si veda *infra*, *SaveHer: un'applicazione (App) per contribuire attivamente alla salvaguardia del Patrimonio Culturale*) offre la possibilità al cittadino di coadiuvare sul campo le istituzioni preposte alla tutela del Patrimonio Culturale, attivamente e consapevolmente, attraverso l'uso delle tecnologie mobili. Basterà catturare alcune immagini per acquisire le coordinate e inviare una segnalazione ad un apposito *server*. Le segnalazioni, una volta esaminate, daranno il via alla valutazione ed alla eventuale riparazione del danno ad opera di esperti.

Non una applicazione ma un vero e proprio sistema basato sui *Location Based Services*, a basso costo e facile da utilizzare, è *zbSens*: ideato per proteggere il Patrimonio artistico dal rischio di dispersione, furto e danneggiamento, si compone di moduli integrati, intercambiabili e comunicanti tra loro e con l'utente finale (si veda *Un approccio operativo e a basso costo alla protezione del Patrimonio artistico: il sistema zbSens, infra e Biscione et al. 2014*).

## Note

1. <http://www.isotc211.org/>.
2. <http://www.opengeospatial.org/standards/ols>.
3. Le *App* elencate sono disponibili su *App store* e *Android market*
4. <https://play.google.com/store/apps/details?id=it.reply.leonardo.mobile&hl=it>, <https://itunes.apple.com/it/app/itpc-carabinieri/id858588594?mt=8>.

## Bibliografia

Abowd G. D., Mynatt E. D. *Charting Past, Present, and Future, Research in Ubiquitous Computing*, ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Special issue on human-computer interaction in the new millennium, Vol. 7, No. 1, (2000) 29-58.

Amir A., Efrat A., Myllymaki J., Palaniappan L., Wampler K., *Buddy tracking - efficient proximity detection among mobile friends*, Pervasive and Mobile Computing 3 (5) (2007) 489-511.

Biscione M., Danese M., Masini N., Fachechi L., Bellusci D., Lorenzetti W. *Artworks in high-risk context: integrated and low cost approach to theft and dispersion protection*. In Rogerio-Candelera M.A. (ed.) *TecnoHeritage 2014*. Science, Technology and Cultural Heritage. Proceedings of the TechnoHeritage International Congress on Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage II. 24-27 Giugno, 2014, Siviglia, Spagna. CRC Press, 397-402 ISBN: 978-1-138-02744-2.

Chen Z., Xia J., Irawan B., Caulfield C. *Development of location based services for recommending departure stations to park and ride users*. Transportation research Part C 48 (2014) 256-268.

Deidda M., Pala A., Vacca G. *A tourist location based service (lbs) for the Cagliari city*, in: Brovelli M.A., Dragicevic S., Li S., Veenendaal B. (Eds.) *ISPRS Archives - Volume XXXVIII-4/W13 - WG IV/5, IV/1, IV/4, and ICWG IV/II, WebMGS 2010 - 1st International Workshop on Pervasive Web Mapping, Geoprocessing and Services, August 26-27, 2010, Como, Italy*.

<http://www.isotc211.org/>.

<http://www.opengeospatial.org/standards/ols>.

Jiang X., Chen N.Y., Hong J.I., Wang K., Takayama L., Landay J.A. *Siren: context-aware computing for firefighting*, in: Proceedings of The Second International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2004), Springer, Vienna, Austria, (2004) 87-105.

Junglas I. A. & Watson R.T. *Location Based Services. Evaluating user perceptions of location-tracking and location-awareness services.* Communications of the ACM March 2008/ vol. 51 No. 3.

Memon I. *Authentication User's Privacy: An Integrating Location Privacy Protection Algorithm for Secure Moving Objects in Location Based Services.* In: *Wireless Pers Commun* (2015) 82:1585-1600 DOI 10.1007/s11277-015-2300-y.

Sheu J. P., Chang G. Y., Chen C. H. *A distributed taxi hailing protocol in vehicular ad-hoc networks,* in: 71st IEEE Vehicular Technology Conf., VTC 2010, IEEE Computer Society, 2010, 1-5.

Weiser M. *Some computer science issues in ubiquitous computing.* *Commun. ACM* 36, 7 (July), 75-84.

Weiser, M. *The computer for the 21st century.* *Sci. Am.* 265, 3 (Sept.), 94-104.

Wilson M. W. *Location-based services, conspicuous mobility, and location-aware future.* *Geoforum* 43 (2012) 1266-1275.

Yus R., Mena E., Ilarri S., Illarramendi A. *SHERLOCK: Semantic management of Location-Based Services in wireless environments,* in: *Pervasive and Mobile Computing* 15 (2014) 87-99.

Pedrana M. *Location-based services and tourism: possible implications for destination.* *Current Issues in Tourism*, 2014 Vol. 17, No. 9, 753 -762, <http://dx.doi.org/10.1080/13683500.2013.868411>.

Mahmood F.M., Salam Z.A.B. *A conceptual framework for personalized location-based Services (LBS) tourism mobile application leveraging semantic web to enhance tourism experience.* Proceedings of the 2013 3rd IEEE International Advance Computing Conference (IACC), Feb 22-23, 2013, Ghaziabad, INDIA 287-291.

Tesoriero R., Gallud J. A., Lozano M., Penichet V. M. R. *Enhancing visitors' experience in art museums using mobile technologies.* *Information Systems Frontiers* April 2014, Volume 16, Issue 2, 303-327.

Kenteris M. Gavalas D. Economou D. *Electronic mobile guides: a survey.* *Personal and Ubiquitous Computing* (2011) 15:97-111 DOI 10.1007/s00779-010-0295-7.

Panda J., Sharma S. & Jawahar C.V. *Heritage app: Annotating images on mobile phones.* - 8th Indian Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing, edited by ISRO, IUSSTF (ICVGIP Mumbai).

## Un approccio operativo e a basso costo alla protezione del Patrimonio artistico: il sistema *zbSens*

Marilisa Biscione, Maria Danese, Nicola Masini

### Riassunto

Il contributo presenta *zbSens*, tra i più innovativi sistemi di tracciabilità e protezione del Patrimonio Culturale: i suoi componenti sono miniaturizzati e non invasivi, *low cost*, *user-friendly* ed a bassissimo consumo energetico. Può essere facilmente utilizzato per garantire la movimentazione di singole opere d'arte al fine evitarne la dispersione; allertare tempestivamente in caso di spostamento, sottrazione illecita o superamento della soglia igrotermica; facilitarne il recupero anche a distanza di anni; effettuare un monitoraggio speditivo dei parametri ambientali delle opere d'arte. Se ne illustrano metodologia e componenti, moduli, sensoristica, sistema di gestione e simulazioni per la validazione.

### 1 - Introduzione

Il presente lavoro raccoglie i risultati dell'attività di ricerca svolta presso il CNR IBAM (Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali) di Tito Scalo (PZ) nell'ambito della tematica *Tracciabilità del patrimonio artistico mobile: valutazione di compatibilità, applicazione di sensoristica e database finalizzati ai Location Based Services* e consiste nella formulazione di una proposta alla crescente domanda di supporto alla logistica ed alla protezione di opere d'arte in situazioni di emergenza attraverso l'ideazione e lo sviluppo di *zbSens*, un sistema innovativo per la loro tracciabilità.

Generalmente i sistemi di tracciabilità sollecitano una forte sinergia tra oggetti, Sistemi Informativi Geografici, sensoristica e servizi basati sulla localizzazione (LBS) grazie alla quale si possono coadiuvare, anche attraverso *l>alerting*, le azioni

intraprese per il monitoraggio di condizioni e spostamento dei prodotti (per una panoramica sulle applicazioni e tecnologie LBS si rimanda a Schiller & Voisard 2004). *zbSens* è un sistema di tracciabilità ideato appositamente per i beni artistici mobili e risponde all'esigenza di provvedere alla loro protezione dal rischio di dispersione in caso di emergenza o di collocazione in contesti poco protetti (chiese e cappelle rurali oppure edifici sprovvisti di sistemi di sicurezza). Questa esigenza, insieme a quella altrettanto stringente di trovare soluzioni che siano a basso costo, a basso consumo e di facile utilizzo, non trova conforto nelle soluzioni finora individuate (si veda *Ubiquitous Computing e Patrimonio Culturale: dalla fruizione alla salvaguardia, infra*). Per questo motivo il gruppo di ricerca ha orientato gli sforzi in questa direzione, secondo la seguente metodologia.

## 2 - Il sistema *zbSens*: metodologia e componenti

### 2.1 *Le opere da proteggere*

La questione della protezione del Patrimonio Culturale mobile dal rischio di dispersione ci allerta circa le problematiche legate alla sua movimentazione (anche di natura fraudolenta) e mette in primo piano la necessità di poter identificare in qualsiasi circostanza le caratteristiche dell'oggetto e la sua provenienza, così da poterlo riconoscere e ricollocare nel luogo d'origine. A tal fine è stato predisposto un *geodatabase ad hoc* che dia modo all'operatore, una volta assegnato un codice univoco ad ogni opera, di associare le informazioni necessarie per la sua identificazione, la conservazione, la localizzazione ed il riposizionamento. La struttura della banca dati di opere d'arte mobili è stata pensata coerentemente alla normativa ministeriale sfruttando i criteri e lo schema delle schede "OA" - Opera d'Arte dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (1992, 1998) ed aggiungendo alcuni elementi di tipo spaziale. Pur essendo completa è concisa, caratteristiche fondamentali per una consultazione rapida ed esaustiva (Figura 1).

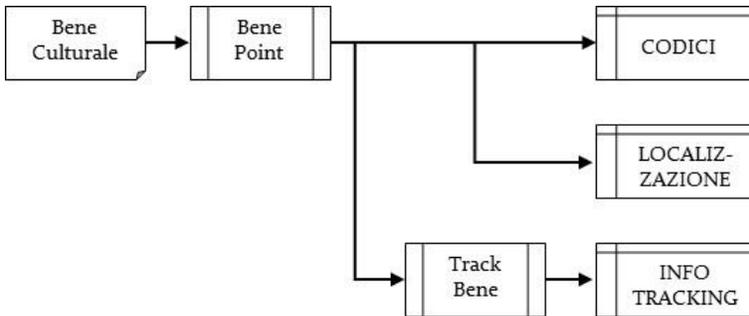


Figura 1. Flow chart del modello dei dati usato

Ogni opera da proteggere è dunque rappresentata da un record nel database spaziale (implementato in un server) ed è fisicamente dotata di un sensore di posizione (relativa o assoluta) e di rilevamento di alcuni parametri ambientali quali la temperatura (T) e l'umidità relativa (RH). Nel caso in cui il bene venga spostato o nel caso in cui i parametri ambientali raggiungano determinati *valori di soglia*, il sistema lancia l'*early warning* all'operatore e lo mostra visivamente nel *WebGis* di gestione.

## 2.2 I sensori *zbSens*

I sensori *zbSens* integrano moduli di localizzazione (GPS), trasmissione dati (GPRS/GSM) e rilevamento di parametri termoisometrici (T, RH)<sup>1</sup>. Passando per una prima versione prototipale sono state realizzate due tipologie di dispositivi: il primo caratterizzato da modulo GPS/GPRS per tracciare gli spostamenti in ambienti non confinati (*outdoor*), il secondo è stato progettato con rete di sensori ZigBee, adatta al monitoraggio in ambienti confinati (*indoor*). I rilevatori di temperatura ed umidità sono presenti in entrambi i sistemi. Il lavoro per la loro progettazione, ingegnerizzazione e miniaturizzazione è stato guidato dalla necessità di realizzare un prodotto finale che potesse arrivare ad essere il meno invasivo possibile, economico, *user friendly*, utilizzabile *indoor* e *outdoor* con i relativi protocolli di comunicazione ed infine a basso consumo energetico. Molti dei componenti precedentemente

adottati sono stati sostituiti con componenti più piccoli, più efficienti e più economici. Particolare attenzione è stata posta alla loro facile reperibilità sul mercato e alla facilità di assemblaggio.

### 2.3 Sensori di localizzazione GPS/GPRS per la tracciabilità outdoor

La funzione principale di questi dispositivi è di tracciare la posizione e gli spostamenti dei beni artistici mobili in ambienti non confinati, inviando informazioni circa le condizioni ambientali di stoccaggio o collocazione dei beni artistici. Ciò è reso possibile grazie ad un sensore di temperatura e ad un sensore di umidità, la posizione è rilevata invece per mezzo del segnale GPS ed i dati sono inviati tramite la rete mobile (GSM o GPRS). Il movimento del dispositivo è rilevato grazie all'aggiunta di un accelerometro.

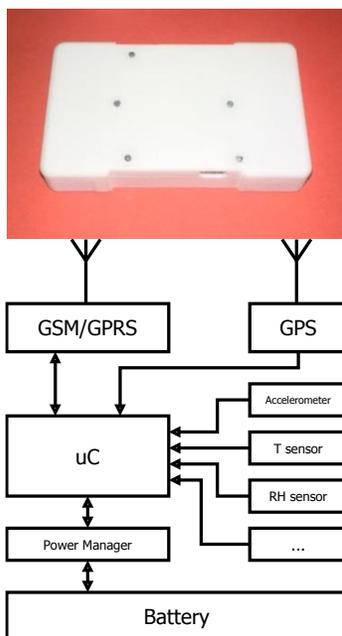


Figura 2. Sensore di localizzazione GPS/GPRS e rilevamento valori ambientali

I dati sono trasmessi sotto forma di messaggio SMS o tramite pacchetti di dati UDP inviati attraverso la rete mobile. La trasmissione dei dati avviene ad intervalli regolari o al verificarsi di una o più condizioni di allarme tra le seguenti:

- il dispositivo è in movimento;
- i parametri ambientali non rientrano nell'intervallo prestabilito;
- la batteria si sta scaricando.

Tutta l'elettronica di controllo, elaborazione, trasmissione e ricezione dei segnali, i sensori, le antenne e la batteria sono contenuti in un contenitore compatto dalle dimensioni di 8cm x 4.5cm x 1.5cm. La massa complessiva (inclusa la batteria) è di circa 50g<sup>2</sup>. La batteria è compatta e leggera, ai polimeri di litio (LiPo) ad alta capacità (950mAh). Il dispositivo ha una lunga autonomia grazie all'oculata scelta di componenti e un *firmware* altamente ottimizzato.

I parametri fondamentali dei dispositivi possono essere riprogrammati in qualsiasi momento per mezzo di comandi di configurazione inviati tramite SMS o pacchetto dati UDP (*User Datagram Protocol*).

#### **2.4 Sensori ZigBee per il monitoraggio indoor**

Questi dispositivi hanno la funzione di monitorare beni artistici mobili in ambienti confinati (chiese, musei, depositi, ecc.) tramite sensori ambientali e di movimento. Lo *Zigbee* è uno *standard* di comunicazione radio (*Zigbee Alliance*) nato inizialmente per applicazioni di domotica evoluta, finalizzato ai protocolli di comunicazione che utilizzano piccole radio digitali a bassa potenza. È capace di far dialogare fra loro un numero elevato di sensori in un raggio d'azione di circa 10-75 metri e con velocità di trasmissione intorno ai 28 *KBps*, utilizzando frequenze libere (2,4 *GHz*). Lo *Zigbee* permette di creare delle vere e proprie reti di dispositivi in grado di scambiarsi vicendevolmente informazioni. Riesce a collegare tra loro fino a circa 65.000 unità grazie al suo basso consumo energetico, al costo ridotto dei suoi dispositivi ed alla conseguente possibilità di utilizzare la ridondanza per una maggiore affidabilità. Nei nostri dispositivi in caso di condizioni di allarme i sensori *Zigbee*

invisano informazioni attraverso una rete *wireless* ad un dispositivo di raccolta (*gateway*) che provvede ad inoltrarle ad un server attraverso la rete mobile (GPRS). Tutti i componenti (elettronica di controllo, elaborazione, trasmissione e ricezione dei segnali, sensori, antenna e batteria) sono contenuti in un *case* circolare di dimensioni 30 mm di diametro e 15 mm di spessore. La massa complessiva è di soli 15g<sup>3</sup>. Nonostante la ridotta capacità della batteria, il dispositivo ha una lunga autonomia: il *firmware* tiene infatti il microcontrollore nella modalità di maggior risparmio energetico per la quasi totalità del tempo, riattivandolo solo in occasione di condizioni di allarme oppure periodicamente ogni 7.5 secondi. L'alta efficienza del codice sviluppato richiede solo poche decine di millisecondi per svolgere tutte le funzioni necessarie, trascorsi i quali il microprocessore ritorna nelle condizioni di ottimizzazione del consumo energetico. Il microcontrollore è affiancato da un modulo di trasmissione radio tra i più moderni e tecnologicamente avanzati esistenti sul mercato<sup>4</sup>.

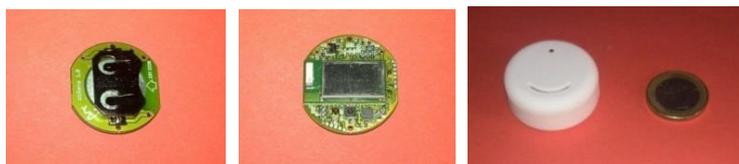


Figura 3. Sensori ZigBee per il monitoraggio indoor

Ogni dispositivo rileva le condizioni ambientali per mezzo di diversi tipi di sensori, tutti miniaturizzati ed integrati all'interno della scheda elettronica: oltre ad un sensore di accelerazione per rilevare il movimento dell'opera d'arte, esso è provvisto di uno di temperatura ed uno di umidità. L'accelerometro può essere configurato (da remoto via rete *wireless*) con il valore minimo di accelerazione tollerato, superato il quale è inviata una condizione di allarme di movimento. I sensori ambientali sono caratterizzati da una notevole precisione intrinseca, inoltre per una maggiore precisione e stabilità nelle misurazioni ambientali, i valori di temperatura ed umidità sono mediati su 8 misure effettuate in un minuto. Al fine di aumentare l'accuratezza delle misure è possibile calibrare tali sensori (sempre da remoto via

rete *wireless*) in laboratorio o direttamente sul sito di misurazione. Il dispositivo invia i dati al *gateway* tramite la rete *wireless* al verificarsi di una condizione di allarme oppure periodicamente dopo un tempo minimo prefissato, come e negli stessi casi previsti per i sensori GPS/GPRS. Il *gateway* inoltra messaggi SMS o pacchetti UDP tramite la rete GSM/GPRS.

Dopo l'ottimizzazione di entrambi i sistemi (GPS/GPRS e *ZigBee*) tutti i dispositivi sono stati ulteriormente ottimizzati per la produzione in serie. Parallelamente, è stato progettato il contenitore tenendo conto della funzionalità del dispositivo, dell'aspetto estetico e dell'economicità della produzione in serie: le varie parti, da realizzarsi in plastica (ABS), sono state disegnate in modo da non prevedere la necessità di inserti retrattili negli stampi di produzione.



Figura 4. I dispositivi *zbSens*

<b>Dispositivi <i>zbSens</i></b>			
	Sensibilità	Intervallo di misura	Accuratezza
Posizione (modulo GPS)			3m
Accelerazione	1mg	+/- 2g	
Temperatura	0.04°C	da -40°C a 85°C	0.3°C
Umidità	0.2 %	da 0% a 100%	+/- 2%

Tabella 1. Caratteristiche principali dei sensori di monitoraggio e localizzazione

Si è inoltre optato per una soluzione a incastri flessibili in modo che le varie parti possano essere assemblate senza l'uso di attrezzatura speciale. Sulla base dei disegni sono stati realizzati dei prototipi con il metodo della prototipazione rapida. Una volta assemblati e programmati i dispositivi, sono stati testati sia in laboratorio sia in alcuni siti.

### ***2.5 Un sistema per ogni contesto, un sensore per ogni opera d'arte***

Se durante le fasi di progettazione e realizzazione della sensoristica si è tenuto conto dell'economicità e della facilità di settaggio dei componenti, del risparmio energetico e della miniaturizzazione, nondimeno è e sarà necessario dedicare grande attenzione sia alla scelta dei differenti moduli del sistema *zbSens* più adatti al singolo contesto in cui si trovano ed al rischio cui maggiormente sono soggetti i beni da proteggere, sia alla modalità di applicazione di ogni dispositivo all'opera d'arte.

Il sistema *zbSens* è infatti pensato per essere modulare e versatile e si può decidere quale dei differenti pacchetti a disposizione sono più funzionali all'esigenza dell'utente finale: si può scegliere di tracciare la movimentazione *outdoor* o semplicemente sapere se e quando c'è uno spostamento anche lieve all'interno di un luogo confinato, e contemporaneamente monitorare le condizioni termoigrometriche dell'ambiente<sup>5</sup>.

Per quanto riguarda invece la modalità di applicazione del sensore agli oggetti d'arte, bisogna considerare che la loro unicità richiede attenzione nella scelta di ogni elemento utile per la loro conservazione, evitando l'uso di materiale dannoso e cercando soluzioni adeguate.

È fondamentale che i dispositivi di controllo siano compatibili, non invasivi e facilmente rimovibili dalla superficie di teche e soprattutto dei singoli beni artistici mobili quali statue lignee, calici, reliquiari, candelabri ecc. (che non sempre, tra l'altro, presentano un buono stato di conservazione).

Nella fase di sperimentazione ed ottimizzazione del sistema si è deciso di applicare i sensori miniaturizzati su alcuni campioni di diversi materiali (legno in buone condizioni e metallo) con l'ausilio di un biadesivo speciale.

Si tratta di una pellicola di poliestere rivestita su entrambi i lati con due adesivi acrilici, uno ad aderenza controllata per consentire all'utente una facile rimozione senza residui (lato opera d'arte), l'altro invece, ad altissima aderenza, contiene agenti aggressivi (lato sensore). Possono essere applicati su metalli, vetro e carta e sono resistenti ai raggi UV, alle basse temperature, all'umidità, ai solventi, agli acidi diluiti, ad olio e grasso.

Questa prima sperimentazione su campioni di materiali non deteriorati ha avuto esiti positivi: l'applicazione del biadesivo verrà adottata dunque nei casi in cui la superficie dell'oggetto da salvaguardare presenterà uno stato di conservazione ottimale.

### *2.6 La gestione del sistema ed il recupero delle opere d'arte*

Parallelamente all'ingegnerizzazione della sensoristica si è provveduto a mettere a punto un sistema informativo geografico esteso al *web* per la gestione, da parte dell'utente finale, dei dati inviati dai dispositivi applicati ai beni da proteggere.

L'*end user* è così in grado di ricevere in tempo reale ed in maniera riservata ogni tipo di messaggio (ordinario o di allarme) relativo alla posizione ed al rilevamento dei parametri ambientali precedentemente impostati o al livello di carica delle batterie dei sensori. Il sistema costruito sfrutta dunque un sistema *Gis web based* ossia accessibile via internet per il monitoraggio dei beni culturali e della sensoristica ad essi associati. Tutto il sistema è stato sviluppato su piattaforma *Open Source*, utilizzando le applicazioni dei *Geographic Free and Open Source Software (GFOSS)*.

Per garantire anche in questa fase l'abbattimento dei costi complessivi del sistema come base cartografica è stata utilizzata la piattaforma gratuita *OpenStreetMap*. Il *webGIS*, nel dettaglio, è strutturato nel modo seguente: è presente una pagina *web* in cui l'utente può effettuare l'accesso inserendo un nome utente ed una *password* (Figura 5).

Una volta effettuato il *log-in* l'utente è in grado di visualizzare le opere d'arte oggetto di monitoraggio.

Cliccando con il cursore sui simboli rappresentanti la posizione dei beni sulla mappa è possibile visualizzarne una breve descrizione.

Nel caso in cui nella finestra a destra non ci siano messaggi, l'oggetto è immobile e i parametri ambientali sono nella norma.

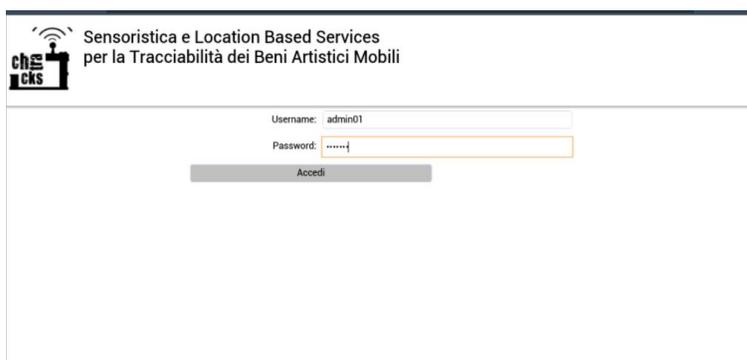


Figura 5. Pagina di log-in del sistema *zbSens*

Nel caso in cui il sensore segnali una situazione di allarme nella finestra a destra verrà visualizzato il relativo segnale. In caso di movimentazione verrà mostrato il percorso effettuato dal bene culturale (Figura 6).

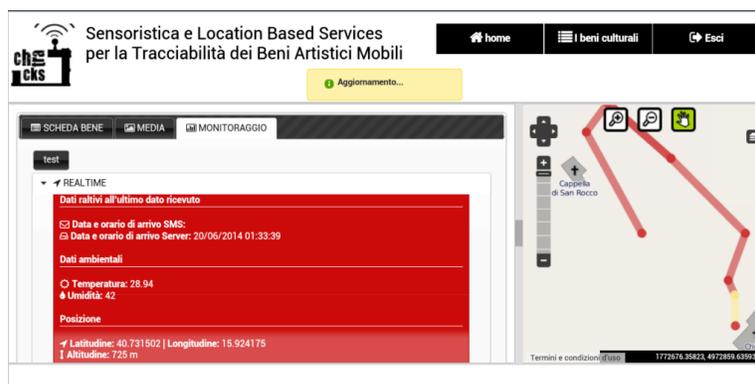


Figura 6. WebGIS per la gestione del sistema *zbSens*: Visualizzazione di messaggi di allarme ambientale (temperatura ed umidità) e di movimento (coordinate). Visualizzazione della traccia dello spostamento sulla mappa

Infine, sempre dal *webGIS* l'utente potrà accedere ad eventuali informazioni relative al manufatto artistico ossia un maggior dettaglio dei parametri - ambientali, di posizione o batteria - fuori soglia (Figura 7), una scheda con il suo record distintivo secondo la già descritta codifica dell'ICCD, oltre che all'immagine relativa al bene (Figura 8).

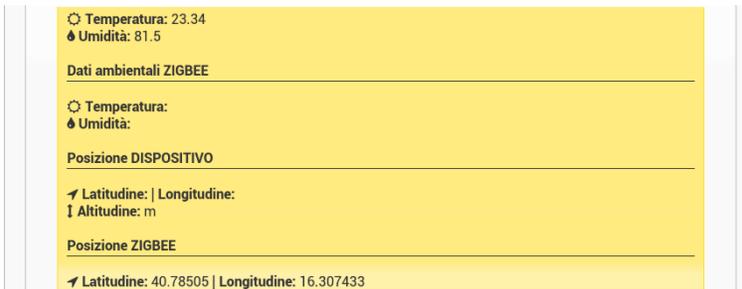


Figura 7. Dettaglio messaggio in caso di allarme ambientale

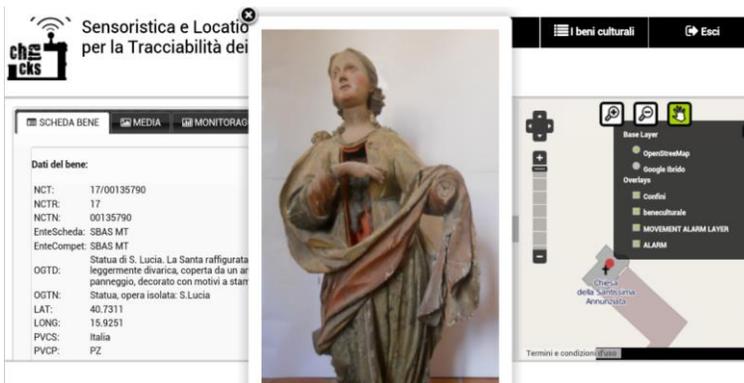


Figura 8. Visualizzazione dell'immagine e delle informazioni riguardanti il bene culturale protetto secondo la codifica dell'ICCD

Grazie ad una gestione della sensoristica *user-friendly* come quella appena descritta, l'operatore (parroco, custode ecc.) è in grado di monitorare in qualsiasi momento lo stato delle opere che ha deciso di proteggere. Il contenuto costo finale del sistema permette una distribuzione capillare sul territorio e permette di tutelare un gran numero di opere incustodite ma di alto valore

culturale. A tal proposito è opportuno ricordare che secondo il parziale inventario dell'Ufficio Nazionale per i Beni Culturali ecclesiastici della CEI, in Italia sono custoditi (più o meno bene) 3.452.793 di opere d'arte mobili (UNBC al Settembre 2015). Il dato è da considerarsi parziale, ma è sufficiente per comprendere come ci possano essere potenzialmente molte opere a rischio dispersione se movimentate per la messa in sicurezza in situazioni di emergenza oppure in costante pericolo di furto, se collocate in luoghi non protetti (cappelle rurali o chiese ed edifici storici sprovvisti sistemi di sicurezza).

Infine, per assicurare il pronto intervento delle forze dell'ordine in caso di sottrazione illecita, fondamentale è il collegamento del sistema alle centrali operative del Comando Carabinieri Tutela Patrimonio Culturale: *zbSens* non solo arricchisce il database delle opere scomparse (Banca Dati dei Beni Culturali Illecitamente Sottratti), ma contribuisce in maniera sostanziale alle successive indagini delle forze dell'ordine per il recupero.

### 3 - Simulazioni per la validazione del sistema

Durante le varie fasi di realizzazione del sistema hanno avuto luogo alcune simulazioni dimostrative per testare sia i moduli di comunicazione, localizzazione e quindi tracciabilità attraverso la movimentazione di alcune opere sia quelli finalizzati al monitoraggio microclimatico tramite l'installazione dei sensori in un ambiente confinato.

Nel primo caso la scelta delle opere d'arte da movimentare è stata effettuata tenendo conto del loro contesto di appartenenza, della tipologia, del materiale di cui si compongono, del loro stato di conservazione. Le opere scelte si trovano in tre diversi edifici religiosi (piccole chiese sempre aperte e non dotate di alcun sistema di sicurezza) del piccolo centro lucano di Cancellara (PZ).

Nello specifico si tratta di:

- una statua di S. Lucia, in legno, risalente al XVIII sec. ubicata nella Chiesa dell'Annunziata, in cattivo stato di conservazione;

- un calice in argento del XVII sec. in due elementi realizzati a tornitura, sbalzo, traforo e fusione, con tre figure angeliche ed altrettante di Santi (Francesco d'Assisi, Antonio e Margherita) collocato nella Chiesa Madre di Santa Maria del Carmine, presenta un medio stato di conservazione.
- un dipinto, olio su tela, del XVIII sec. raffigurante il Beato Pacifico da San Severino. E' una tela di medie dimensioni, la cui cornice, coeva, è policromata in nero e oro. Si trova nella Cappella di San Rocco ed è in un discreto stato di conservazione.

Presso la Soprintendenza per i Beni Storici, Artistici ed Etnoantropologici della Basilicata con sede in Matera, sono state consultate le schede OA (ICCD) relative alle opere scelte, e si è provveduto a popolare il database con i dati da esse desunti (oltre alle coordinate spaziali funzionali al *tracking*) secondo il modello di strutturazione della base di dati spaziali dei beni culturali precedentemente realizzato ed acquisito.

Le simulazioni effettuate hanno permesso di perfezionare i moduli di localizzazione e di *early warning* ed infine confermarne il buon funzionamento durante la movimentazione.

Al fine di poter procedere alla validazione dei moduli di rilevamento dei parametri ambientali il sistema è stato inoltre installato temporaneamente nella Cripta della Chiesa di S. Francesco d'Assisi in Irsina. L'edificio religioso fu realizzato in corrispondenza dei resti del castello normanno ed ospita, nel vano corrispondente al vecchio torrione, una Cripta. Si tratta di un ambiente interamente affrescato che presenta particolari condizioni microclimatiche le quali hanno causato diverse patologie di degrado sulle superfici affrescate; questa circostanza ha determinato la scelta di questo luogo per la sperimentazione.

Al suo interno trovano posto infatti altri due sistemi destinati esclusivamente al monitoraggio ambientale: uno è più costoso e commerciale, l'altro è a basso costo e basato su tecnologie *open source*<sup>6</sup>. Oltre ai dati rilevati su lungo periodo da questi due sistemi sono stati dunque acquisiti, per un determinato intervallo di tempo<sup>7</sup> anche quelli ottenuti dai sensori *zbSens*. Il confronto tra i valori di temperatura (T) ed umidità relativa (RH)

dei tre sistemi hanno reso possibile la validazione dell'efficienza dei moduli *zbSens* destinati al monitoraggio ambientale<sup>8</sup>.

#### 4 - Risultati

La struttura fin qui descritta, composta di moduli integrati, intercambiabili e comunicanti tra loro e con l'utente finale delinea *in toto* il sistema innovativo *zbSens*.

Esso si presenta come un prodotto miniaturizzato e non cablato dunque non invasivo, *low cost*, *user-friendly* ed a bassissimo consumo energetico. Queste caratteristiche rappresentano una assoluta novità nell'ambito dei sistemi di tracciabilità da un lato, dei sistemi di protezione dei beni culturali dall'altro.

In particolare le ridotte dimensioni dei sensori *zbSens* rendono il sistema poco invasivo quindi adatto all'inserimento in ambienti ad alto impatto "artistico" ed estetico; i contenuti costi di realizzazione garantiscono il largo utilizzo del prodotto, fondamentale a causa della capillare diffusione delle opere d'arte nella nostra nazione, e allo stesso tempo ne evidenziano l'estrema utilità nei casi in cui si dovesse palesare la necessità di una rapida analisi del contesto ambientale in luoghi ad alto rischio di degrado materico.

Con la messa a punto del sistema si offre la possibilità di:

- tracciare e garantire la movimentazione di ogni opera d'arte catalogata ed associata al corrispondente profilo identificativo univoco (come da standard ICCD-MIBAC) per evitarne la dispersione;
- allertare tempestivamente in caso di spostamento, sottrazione illecita, superamento soglia igrotermica;
- facilitare il recupero ed il conseguente reinserimento nel contesto di origine anche a distanza di anni;
- effettuare un monitoraggio speditivo dei parametri ambientali al fine di valutare l'idoneità del luogo di conservazione provvisoria o permanente delle opere d'arte.

## 5 - Sviluppi futuri

Nel futuro si intende assemblare e commercializzare dei pacchetti *zbSens* a misura di utente e contesto, finalizzati alla protezione del Patrimonio artistico dal rischio di dispersione e furto e funzionali alla sua conservazione ottimale dal punto di vista microclimatico oltre che per il monitoraggio ambientale speditivo in casi particolarmente delicati. Il singolo pacchetto che sarà commercializzato si comporrà di 10 sensori per 10 opere d'arte e, in aggiunta, sarà fornito supporto iniziale ai parroci ed agli utenti finali per la gestione del sistema. Prima e durante quel momento verrà messo a punto un protocollo per l'applicazione dei sensori alle opere artistiche mobili, terminando il lavoro svolto sulle campionature dei materiali e ragionando in base ai casi specifici di applicazione anche in base allo stato di conservazione dei beni.

### Note

1. La sensoristica è stata appositamente progettata, disegnata ed ingegnerizzata con il supporto della società Mens Tecnica di Senise.
2. Le dimensioni approssimative del primo prototipo sono 120x50x12 mm (batteria inclusa).
3. I primi due prototipi di sensori wireless misurano rispettivamente uno 52x30x10 mm (batteria compresa), con un peso di 18 g, 2 anni di autonomia, rilevatori di movimento, temperatura ed umidità a bordo; e l'altro 52x30x6 mm, pesa 10 g ed ha un'autonomia di 6 mesi e sensore di movimento a bordo. Il primo modello di router ZigBee con antenna esterna misura 55x55x60 mm, è alimentato via USB universale, ed è dotato di batteria in caso di mancanza di energia elettrica, con una durata della batteria di 4 ore. Il router raccoglie i dati da fine-device e li inoltra al gateway.
4. Le caratteristiche principali del modulo di trasmissione dati sono: distanza coperta - 100m in ambienti aperti, da 15m a 60m all'interno di edifici. La copertura in ambiente aperto è stata verificata con una serie di misure effettuate all'aperto, ponendo dispositivo e gateway a distanze crescenti fino ad una distanza di 120m.
5. Cfr. *infra* il paragrafo *Simulazioni per la validazione del sistema*.
6. L'installazione, l'analisi ed il confronto tra i dati rilevati dai sensori di questi due sistemi rientrano tra le attività del progetto PRO\_CULT,

"Tecniche innovative per il monitoraggio del degrado materico del patrimonio architettonico e monumentale".

7. Il periodo considerato va dalle ore 12:00 del 26 settembre alle ore 9:10 (17:00 per i sensori zbSens) del 1 Ottobre 2014.

8. Cfr. *Approcci low cost al monitoraggio microclimatico di ambienti confinanti: il caso della Cripta di S. Francesco in Irsina (MT)*, *infra*.

## Bibliografia

GFOSS Geospatial Free and Open Source Software [www.gfoss.it](http://www.gfoss.it).

ICCD 1992 *Modello per il rilevamento dati. Scheda OA*, <http://www.iccd.beniculturali.it/index.php?it/253/beni-storici-e-artistici>.

ICCD 1998 *Strutturazione dati schede di catalogo. Normativa per la strutturazione e il trasferimento dati*.

OSM Open Street Map [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org).

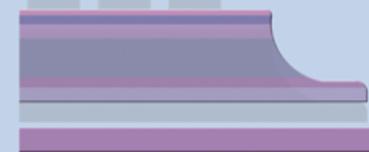
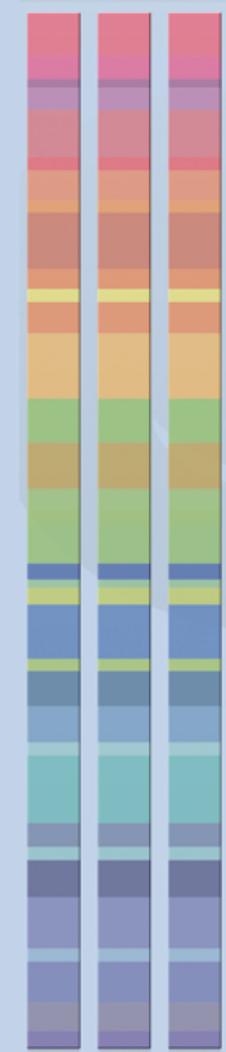
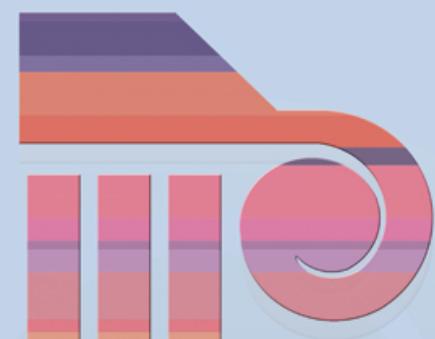
Schiller J., Voisard A. (a cura di), *Location Based Services*, Elsevier 2004.

UNBC 2014 *Ufficio Nazionale per i beni culturali ecclesiastici CEI - Chiesa Cattolica* <http://www.chiesacattolica.it/beniculturali/>.

ZigBee Alliance 2012 *ZigBee Specification v1.0*, <http://zigbee.org/> (ultima consultazione Febbraio 2015).

The image features a stylized classical column on the right side, composed of horizontal bands of various colors including purple, orange, red, yellow, green, and blue. The column has a spiral capital. In the top right corner, there is a Wi-Fi symbol. The background is a light blue gradient with a faint, large watermark of the letter 'C' behind the column. The text 'Rischi dei Beni Culturali' is centered in white.

# Rischi dei Beni Culturali



## Dalle basi di dati agli *Open Data*: risorse *on-line* nell'ambito dei rischi geologici

Maria Danese, Fabrizio Terenzio Gizzi, Cinzia Zotta

### Riassunto

Il contributo considera la dimensione diacronica, con specifico riguardo all'ultimo decennio, del rapporto tra tecnologie ICT ed il loro utilizzo nell'ambito dei rischi naturali, con particolare attenzione alla relativa diffusione degli studi e delle informazioni. È pertanto presentata l'analisi dell'evoluzione temporale delle ICT, dalle basi di dati all'introduzione degli *Open Data*, soffermandosi sulla catalogazione delle principali fonti di dati oggi disponibili *on-line* relativamente alla disseminazione dei contenuti e dei prodotti tecnico-scientifici concernenti i rischi naturali, con particolare riguardo a quelli geologici.

### 1 - Introduzione

Dagli anni Ottanta le *Information Computer Technologies* (ICT) hanno avuto un rapido sviluppo sia in termini quantitativi sia, e forse soprattutto, in termini qualitativi poiché l'accessibilità a tali strumenti è aumentata notevolmente, rendendo le nuove tecnologie usufruibili non solo da informatici, ma anche da utenti non esperti.

La ricaduta nei diversi settori applicativi tecnico-scientifici si è avuta, di volta in volta, con almeno un decennio di ritardo. Nel caso dei rischi naturali e di quelli geologici in particolare, si è cominciato a fare effettivamente ricorso alle ICT emergenti, salvo poche eccezioni, con oltre un decennio di ritardo, quindi dagli anni Duemila.

In questo contributo sarà prima esaminato lo sviluppo delle ICT nel tempo, dalla nascita dei Sistemi Informativi Geografici (GIS) fino all'introduzione del paradigma dell'*ubiquitous-computing*, discutendo poi di come queste sono state utilizzate nell'ambito dei rischi geologici, considerando un breve stato

dell'arte riguardante le risorse disponibili *on-line* e fruibili in modalità *open*.

## 2- I rischi naturali

Per rischio (R) s'intende la probabilità o valore atteso di perdite (vite umane, proprietà ed infrastrutture, danni economici) durante un determinato intervallo di tempo, dovute al verificarsi di un particolare fenomeno di una data intensità (UNDRO 1979; Burton *et al.* 1993).

Alla definizione di rischio concorrono più elementi, quali la Pericolosità (P), la Vulnerabilità (V) e l'Esposizione (E):

$$R = P \times V \times E$$

La **Pericolosità** (P) rappresenta la probabilità di accadimento di un evento, caratterizzato da una certa intensità, in una determinata area e in un dato intervallo di tempo. La definizione, quindi, include il riferimento alla spazialità e temporalità del fenomeno naturale oltre al concetto d'intensità o magnitudo ovvero la dimensione e la forza distruttiva della manifestazione.

Il valore dell'unitarietà degli elementi soggetti a rischio (persone e beni materiali) all'interno del territorio è definito, invece, come **Esposizione** (E).

L'ultimo fattore che concorre alla valutazione del rischio è la **Vulnerabilità** (V) che è definita come la propensione da parte di un bene esposto a subire conseguenze per effetto di un determinato evento avverso, inteso come una singola manifestazione del fenomeno temuto.

I rischi, da un punto di vista tipologico, sono classificati in primo luogo in base all'origine, individuando in tal modo due categorie principali:

- **rischi naturali**, legati a processi naturali che per l'irregolarità e le dimensioni delle loro manifestazioni minacciano l'uomo e le sue attività;
- **rischi antropici**, congiunti a iniziative e attività dell'uomo che comportano per la popolazione una

minaccia come l'inquinamento o, più in generale, problemi di sicurezza e incolumità.

Tra i rischi naturali, quelli a carattere geologico includono il rischio sismico, idrogeologico e vulcanico.

Con il termine **rischio sismico** si indica una stima delle perdite causate dai terremoti che potranno interessare in un determinato periodo una data area. Questa stima può essere espressa in diversi modi, per esempio attraverso i danni economici subiti dagli edifici, il costo complessivo in termini economici e sociali delle conseguenze subite dalla popolazione del sito in esame, oppure attraverso l'impatto sulla popolazione (numero prevedibile di morti e feriti).

Con il termine di **rischio idrogeologico** s'intende l'insieme di effetti di un ampio spettro di processi morfologici che conducono alla trasformazione e cambiamento del paesaggio naturale in tempi variabili da relativamente rapidi a estremamente veloci ed includono principalmente i fenomeni franosi ed alluvionali.

I fattori che condizionano un territorio rispetto al rischio idrogeologico sono sia la conformazione geologico-geomorfologica locale sia l'azione antropica. La densità della popolazione, la progressiva urbanizzazione, l'abbandono dei terreni montani, l'abusivismo edilizio, il continuo disboscamento, l'uso di tecniche agricole poco rispettose dell'ambiente e la mancata manutenzione dei versanti e dei corsi d'acqua hanno, infatti, sicuramente aggravato il dissesto e messo ulteriormente in evidenza la fragilità del territorio italiano, incrementando l'esposizione ai fenomeni e quindi il rischio stesso.

In ultimo, il **rischio vulcanico**, si può definire come il prodotto della probabilità di occorrenza di un evento eruttivo per il danno che ne potrebbe conseguire.

Quanto maggiore è la probabilità di eruzione, tanto maggiore sarà il rischio. A parità di pericolosità, invece, il rischio aumenta con l'aumentare dell'urbanizzazione dell'area perimetrale al vulcano.

In generale, la vulnerabilità delle persone e degli edifici alle fenomenologie vulcaniche è sempre elevata. Il rischio si riduce al minimo solo quando la pericolosità o il valore esposto sono

limitati: è questo il caso di vulcani non più attivi che presentano fenomenologie a pericolosità limitata, oppure di vulcani ubicati in zone non abitate.

### 3 – Evoluzione delle ICT e rischi naturali

#### 3.1 Dalle basi di dati ai GIS

Il primo deciso contributo dell'informatica al progresso della società si ha con l'invenzione delle basi di dati il cui termine fu coniato intorno agli anni Sessanta, ma il modello relazionale e i *software* di gestione delle basi dati con carattere *user-friendly*, che resero queste tecnologie accessibili anche ai non esperti nel settore, si svilupparono dagli anni Settanta (Codd, 1970). Parallelamente, furono sviluppate le reti di telecomunicazioni che condussero, intorno agli anni Ottanta, all'invenzione di Internet prima e alla sua successiva diffusione a scala planetaria dagli anni Novanta, grazie al protocollo *http* (Berners-Lee *et al.*, 1994).

I GIS nascono, invece, alla fine degli anni Sessanta, consentendo l'inclusione degli aspetti spaziali nelle basi di dati. Anche i GIS, tuttavia, hanno avuto piena diffusione e sono stati utilizzati coerentemente alle loro finalità solo recentemente, grazie alla diffusione di *software* più semplici da usare. Sino al decennio scorso, infatti, così com'è accaduto in diversi altri settori, non solo in quello relativo ai rischi naturali, i GIS ancora erano adottati solo per gli aspetti relativi alla rappresentazione digitale, più legati ai sistemi CAD che al concetto ed alla filosofia propria del Sistema Informativo (Murgante, 2008).

Il ritardo nell'uso appropriato di questi nuovi strumenti nell'ambito dei rischi naturali è stato causato da un *gap* sia generazionale sia d'istruzione scolastica. Fino agli anni Ottanta, infatti, l'insegnamento dell'informatica non era ancora previsto nei piani di offerta formativa delle scuole ed anche nelle Università la conoscenza e l'uso dei computer e delle relative applicazioni erano prerogativa solo di pochi docenti, mentre la loro maggioranza continuava a conservare una sorta di diffidenza nei confronti delle nuove tecnologie talvolta anche ostacolando

gli studenti più volenterosi che autonomamente adottavano gli strumenti messi a disposizione dall'informatica agli specifici settori di studio.

La prova di ciò è che ancora molti studenti laureatisi tra gli anni 2000 e 2010 pur producendo elaborati su supporto informatico, utilizzavano tali strumenti a scopo puramente rappresentativo, quali *software* di grafica digitale piuttosto che basi di dati spaziali.

Pertanto è solo in seguito che l'utente comprende le potenzialità delle basi di dati e in particolare dei GIS applicati ai rischi naturali, con tutti i vantaggi derivanti incluse le capacità di ricerca, consultazione, gestione, analisi e aggiornamento dei dati.

### 3.2 WebGIS e partecipazione

Tra le diverse possibilità offerte dai GIS, grazie all'unione con gli strumenti *web* che danno vita ai *WebGIS*, c'è quella del coinvolgimento dei cittadini nella conoscenza e condivisione di dati e nelle decisioni riguardanti la gestione dei rischi naturali.

A tal proposito, è da notare che tra gli otto diversi livelli di partecipazione dei cittadini al *processo di piano* (Arnstein, 1969) che include *la manipolazione, terapia, informazione, consultazione e rassicurazione dei cittadini, formazione di partnership, delega dei poteri, controllo da parte dei cittadini*, la semplice informazione si colloca solo al terzo livello diventando, pertanto, la condizione minima necessaria anche se non sufficiente a garantire la partecipazione attiva dei cittadini.

Ciò riguarda ovviamente anche le decisioni che sono intraprese nella pianificazione urbanistica e territoriale per quanto riguarda gli aspetti concernenti i rischi naturali.

Ancora oggi sembra, tuttavia, che la comunicazione dell'informazione riguardante i rischi naturali ai cittadini non sia ritenuta di prioritaria importanza. In tal senso è interessante notare una completa mancanza di dati concernenti i rischi naturali, intesi nella loro accezione più ampia, tra gli strati informativi considerati prioritariamente d'interesse comunitario e per questo liberamente accessibili da IntesaGIS (2008).

### 3.3 L'interoperabilità dei dati: infrastrutture di dati spaziali e ontologie

La rilevante diffusione dell'informazione geografica in *WebGIS* locali contenenti dati riferibili ai rischi naturali, che si ebbe quindi dagli anni Novanta, sembra essere stato un fenomeno unicamente positivo. In realtà esso fu caratterizzato anche da una serie di aspetti sfavorevoli, talvolta anche tipologicamente divergenti quali ad esempio la realizzazione di dati talvolta disorganizzati e incompleti o, al contrario, la ridondanza degli stessi. Ciò fu l'effetto di molteplici fattori tra i quali la mancata strutturazione dei dati geografici secondo *standard* predefiniti in grado di garantirne la qualità, l'assenza di condivisione dell'informazione geografica e di regole atte a garantirla, la mancanza di produzione di metadati, cioè di documenti digitali contenenti non solo elementi sull'origine (produttori, distributori, anno di produzione, ecc.), ma anche sull'evoluzione dell'informazione spazialmente vincolata (aggiornamenti, ecc.).

Da ciò scaturì la necessità di progettare le basi di dati spaziali secondo regole che ne garantissero l'interoperabilità, cioè la possibilità di scambiare i dati ottenuti:

- con *software* diversi, prodotti quindi con formati diversi, da cui il concetto di *interoperabilità informatica*,
- da utenti diversi, aventi quindi linguaggi e significati eterogenei, da cui il concetto di *interoperabilità semantica*.

Dal primo punto deriva l'evoluzione dei GIS nelle Infrastrutture di Dati Spaziali, mentre il secondo ha portato all'uso, in essi, delle Ontologie.

I principi d'interoperabilità, efficienza e condivisibilità dell'informazione geografica sono alla base del concetto di Infrastrutture di Dati Spaziali (ISD) istituzionalizzate nel 1994 negli Stati Uniti con l'iniziativa *National Spatial Data Infrastructure* e a cui si è poi successivamente ispirata la Comunità Europea adottando nel luglio 2004 e approvando nel giugno 2006 la Direttiva INSPIRE. Secondo questa "...I problemi relativi alla disponibilità, alla qualità, all'organizzazione ed all'accessibilità delle informazioni territoriali sono comuni a molte

*tematiche politiche e categorie di informazioni e si riscontrano a vari livelli dell'amministrazione pubblica. Per risolvere tali problemi sono necessarie misure in materia di scambio, condivisione, accesso e utilizzo di dati territoriali e di servizi relativi ai dati territoriali interoperabili provenienti dai vari livelli dell'amministrazione pubblica e da vari settori. Occorre, pertanto, istituire un'infrastruttura per l'informazione territoriale" (Direttiva 2007/2/CE).*

Nel 1994, contemporaneamente alla nascita delle ISD nasceva l'*Open Geospatial Consortium* (OGC), il quale elaborò e dettò gli *standard* per il contenuto, i servizi e l'interscambio di dati geografici finalizzati ad essere *aperti, interoperabili ed aggiornabili*.

La proiezione temporale di tali regole ha condotto alla definizione dei seguenti *standard*, ora di largo uso:

- WMS (*Web MapService*): l'accesso ai dati è effettuato in formato *raster*;
- WFS (*Web Feature Service*): l'accesso ai dati è effettuato in formato vettoriale;
- WCS (*Web Coverage Service*): l'accesso ai dati è effettuato in formato *coverage*;
- WPS (*Web Processing Service*): tramite questo servizio sono standardizzate anche le elaborazioni di dati geospaziali.

Riguardo al panorama nazionale, solo nel 1996 in Italia fu tentato un processo di standardizzazione dei formati da utilizzare con i dati geografici, tramite la redazione di un Protocollo d'Intesa Stato-Regioni-Enti locali sui Sistemi Informativi Geografici, nel quale fu proposto il GeoUML, quale linguaggio per la progettazione di *database* spaziali (Intesa SRE SIT).

Nonostante la nascita delle ISD, dell'OGC e del protocollo nazionale Intesa SRE SIT, il processo di standardizzazione e l'interoperabilità dei dati spaziali nell'ambito dei rischi naturali, così come in altri settori, è ancora lontano dall'essere compiuto, analogamente alla loro completa fruibilità. È possibile, ad esempio, che alcuni dati manchino nelle risorse *on-line* dei geoportali regionali, ma siano presenti nei siti dei corrispondenti Enti locali, quali Comuni, Province, Gruppi di Azione Locale

(GAL). Questa circostanza è un evidente sintomo di fallimento del principio d'interoperabilità dei dati e di collaborazione tra Enti.

Lo scambio e la messa a sistema di informazioni, tuttavia, non possono essere efficienti se non si raggiunge un punto di convergenza tra gli operatori sul significato stesso di dato spaziale. In questo senso le ontologie mirano a migliorare l'efficienza dei *database* geografici relazionali, poiché rendono più efficienti ed efficaci le ricerche effettuate al loro interno tramite l'uso delle corrispondenze semantiche, in quanto un'ontologia definisce le condizioni basilari, le relazioni, il vocabolario di un dominio, le regole per combinare i termini e le relazioni per definire eventuali estensioni dei vocabolari.

### 3.4 *L'ubiquitous computing e gli Open Data (OD)*

Durante l'ultimo decennio si è verificato un ulteriore sviluppo delle tecnologie informatiche, grazie alla diffusione del *mobile* e del *web 2.0*, che hanno consentito la nascita dell'*ubiquitous computing* e del *crowdsourcing*, nonché le *smart cities* di cui tali tecnologie, insieme al fenomeno dell'*Open Data* (OD), ne costituiscono i pilastri (Murgante e Borruso, 2013).

L'*ubiquitous computing* è stato accolto nell'ambito dei rischi naturali soprattutto per quanto riguarda la gestione delle emergenze, anche se il dibattito è rimasto sinora confinato più nell'ambito teorico che in quello pratico dato che rari sono gli esempi in cui effettivamente *social network*, *mobiletechnology* e *app* sono state effettivamente messe a sistema per gestire e coordinare l'insieme delle attività post-disastro.

Per quanto concerne il fenomeno dell'*Open Data*, molti sono gli enti territoriali e i centri di ricerca che hanno sviluppato un geoportale o un *WebGIS*, attraverso il quale rendere fruibili i propri dati. È da notare, tuttavia, che perdura ancora una certa confusione sul reale significato di OD, spesso scambiati con il primo livello della classificazione prevista da Berners-Lee (2012): cioè una semplice distribuzione del dato in un formato che ne permetta la visualizzazione, come ad esempio il *pdf*. I livelli superiori previsti da tale catalogazione (2. distribuzione del dato consentendo la manipolazione, ma conservando la struttura -

proprietaria- originale; 3. distribuzione del dato utilizzando formati non proprietari; 4. Distribuzione del dato utilizzando formati non proprietari e standard tipici del web semantico; 5. *Linked Open Data*) sono sostanzialmente ignorati da chi opera nella produzione e distribuzione di dati spaziali.

#### 4 - Le risorse *on-line* e i criteri di analisi

In conformità a queste premesse, il presente contributo espone un quadro complessivo delle principali risorse *on-line* disponibili riguardanti i rischi naturali, con particolare riferimento a quelli geologici (vedi Appendice). È da rilevare che tra le risorse considerate sono stati inseriti oltre agli elaborati riguardanti i fattori che consentono la valutazione del rischio (pericolosità, esposizione e vulnerabilità), anche gli strati informativi di base utili per la loro analisi, come la cartografia geologica, tettonica, geomorfologica, le carte inventario delle frane, etc.

Dal punto di vista delle tecnologie, in questo lavoro è stato considerato solo ciò che è utilizzato per una catalogazione e conservazione del dato, mentre sono stati trascurati gli aspetti che si riferiscono alle analisi spaziali, che meritano considerazioni a parte. Allo stesso modo non si è tenuto conto degli aspetti relativi alla sensoristica, quali fibra ottica, GPS ed altro, oltre che alla gestione delle emergenze, settore che è quello più orientato all'uso dell'*ubiquitous computing* ed all'uso dei *social network*. Quindi ciò che è stato considerato riguarda esclusivamente gli aspetti relativi all'informatizzazione, catalogazione, diffusione e divulgazione di dati relativi ai rischi.

Per quanto riguarda gli *open data*, nelle tabelle riportate in appendice sono stati considerati come realmente *open* solo i dati che possono essere classificati a due stelle nella scala precedentemente riportata di Tim Berners Lee, poiché il primo livello, cioè ad esempio dare all'utente la possibilità di scaricare i file in versione *pdf*, consente solo di visualizzare i dati venendo meno, in tal modo, ai vantaggi relativi all'uso dell'*open source*.

Ovviamente le tabelle e le varie voci in esse contenute (quali l'indicazione riguardante la presenza di OD e la messa a

disposizione di servizi) concernono esclusivamente i dati relativi ai rischi naturali e non a tutta la cartografia, per cui, in alcuni casi in un portale potrebbe esserci povertà di dati relativi ai rischi naturali, ma ricchezza di dati di altri settori. Ad esempio, recentemente la Regione Basilicata ha reso disponibile una notevole mole di dati, tuttavia tra questi non sono ancora presenti dati "aperti" riguardanti i rischi naturali, per cui alla voce riguardante gli *Open Data* la classificazione riflette tale indisponibilità (voce "no").

Dal punto di vista del *target* di riferimento istituzionale preso in considerazione, ci si è limitati a considerare le risorse presenti sui portali di rilevanza nazionale e sui SIT degli enti territoriali regionali. Le risorse degli enti locali, quali Comuni, Province, Gruppi di Azione Locale non sono state consultate così come altri siti ove pure è possibile trovare cartografia specifica relativa al sito oggetto di indagine (ad esempio, per quanto riguarda il Friuli Venezia Giulia è possibile trovare ulteriori dati relativi al rischio sismico nel portale dedicato della Protezione Civile (<http://geoserver.protezionecivile.fvg.it/webgis/>). Tale scelta è stata compiuta considerando che l'obiettivo della direttiva *Inspire* e del concetto di interoperabilità non è quello di avere più portali specifici e separati, ma di produrre servizi che convergano tutti in unico sistema informativo *on-line*, magari quello regionale. In accordo a tale approccio concettuale, in questo lavoro ci si è limitati a valutare quindi gli strati informativi relativi ai rischi che convergono nei portali di rilevanza nazionale e regionale.

Considerazioni equivalenti sono state effettuate per i portali e *WebGIS* autonomi sviluppati da alcuni enti di ricerca, che in questo lavoro non sono stati considerati in quanto ci si è concentrati prevalentemente sull'amministrazione pubblica. Ad esempio, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) condivide sul *web* molti dati del settore (anche se le risorse *Open* sono limitate) su diversi siti dedicati (<http://esse1.mi.ingv.it/>; <http://istituto.ingv.it/l-ingv/archivi-e-banche-dati/>). Anche nel caso degli enti di ricerca sarebbe auspicabile avere non solo dati aperti a tutti, forniti di metadati per garantirne la proprietà intellettuale, ma anche che siano facilmente rintracciabili su portali dedicati, superando la frammentazione legata allo

sviluppo di strumenti *WebGIS* autonomi. Auspicabile peraltro sarebbe, ancor di più, garantire l'interoperabilità di tali dati con portali nazionali e regionali già esistenti.

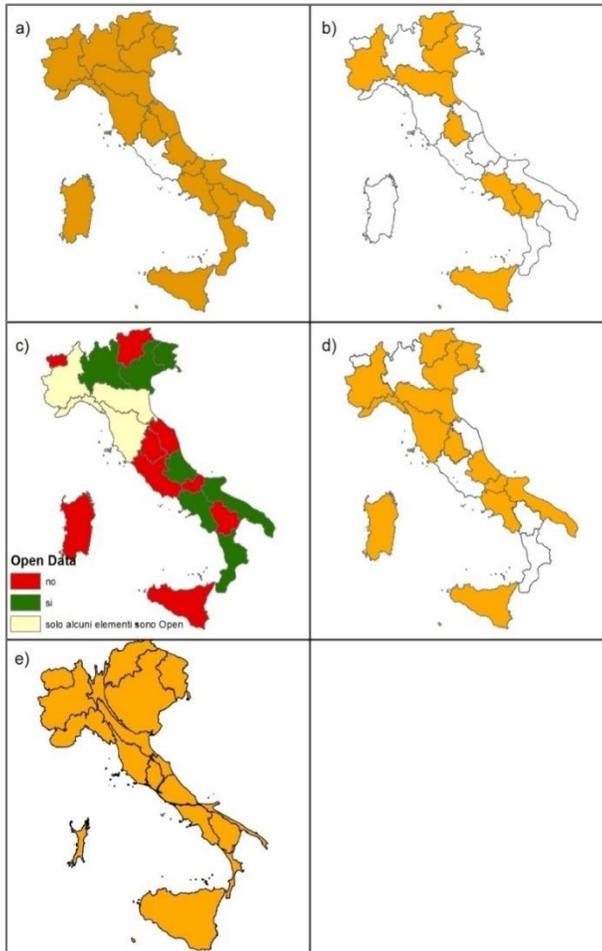


Figura 1. a) geoportali regionali con informazioni sul rischio idrogeologico e b) sismico; c) geoportali che offrono OD e d) servizi; e) cartogramma ottenuto in base al numero di strati informativi disponibili per ciascuna regione

Riassumendo, questo contributo riporta una sintesi delle risorse *on-line* presenti su portali nazionali e regionali, escludendo gli altri enti locali ed enti di ricerca, in modo da comprendere quanto è immediatamente reperibile tramite questi strumenti, fornendo delle indicazioni su come migliorare la fruibilità dei dati nell'ottica di un loro uso sempre più condiviso.

## 5 - Considerazioni e prospettive

Dall'elenco delle risorse *on-line* disponibile in appendice si nota che le Risorse Nazionali (RN) disponibili sono tre mentre quelle regionali (RR) evidenziano, se confrontate, una rilevante variabilità nei contenuti.

Nel complesso, considerando sia l'aspetto quantitativo sia quello tipologico-qualitativo dei dati, si può facilmente evincere come molto ancora possa e debba essere fatto sia dal punto di vista della semplice produzione di dati geografici sui rischi naturali sia dal punto di vista della predisposizione di servizi e dell'apertura e condivisione degli studi e delle informazioni.

Come mostrano le mappe in Figura 1, gli strati informativi censiti riguardano prevalentemente l'aspetto idrogeologico (Figura 1a) mentre per quanto attiene quello sismico i dati sono meno diffusi e condivisi con una distribuzione territoriale, peraltro, scarsamente sovrapponibile con le condizioni di pericolosità del territorio nazionale (Figura 1b).

Inoltre, unicamente sette regioni offrono solo dati *Open* (Figura 1c) mentre altre ancora non offrono servizi secondo gli standard dell'OGC (Figura 1d).

La Figura 1e mostra, infine, un cartogramma, in cui i confini regionali sono stati deformati considerando il numero di strati informativi sui rischi naturali offerti in ogni geoportale. Si nota come le regioni settentrionali rispetto a quelle centro-meridionali della Penisola evidenzino, mediamente, una maggiore disponibilità di dati, con particolare riguardo alla regione Emilia-Romagna ed al Piemonte. Nel Mezzogiorno emergono per disponibilità i dati messi a disposizione dalle Regione Sicilia.

Eseguita questa prima indagine riguardante la catalogazione e conservazione dei dati, successive ricerche focalizzeranno l'attenzione sugli aspetti riguardanti le analisi spaziali consentendo, in tal modo, una valutazione complessiva ed esaustiva circa l'uso delle *ICT* a supporto dello studio dei rischi naturali e geologici in particolare.

## Bibliografia

Arnstein S., *A ladder of citizen participation*, Journal of American Institute of Planners, 4 vol.35 (1969).

Berners-Lee T.J. 5 ★ *Open Data*.<http://5stardata.info/#addendum4> (2012).

Berners-Lee T.J., Cailliau R., Groff J.F., Pollermann B., *World-Wide Web: Information Universe*. Electronic Publishing: Research, Applications and Policy, 1 vol.2 (1992).

Burton I., Kates R.W., White G.F., *The Environment as Hazard*, Second Edition, Guilford Press, New York/London 1993.

Codd E.F., *A relational model of data for large shared data banks*. Communications of the ACM 13. 6, (1970) 377-387.

Direttiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 14 marzo 2007 che istituisce un'infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea (Inspire). Gazzetta ufficiale dell'UE. [http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/site/it/oj/2007/l\\_108/l10820070425it-00010014.pdf](http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/site/it/oj/2007/l_108/l10820070425it-00010014.pdf).

Intesa GIS Intesa Stato Regioni Enti locali Sistemi Informativi Territoriali. Specifiche per la realizzazione dei database topografici di interesse generale. Il modello concettuale GeoUML Specifica formale in UML. <http://www.centrointerregionale-gis.it/script/scrp.asp?Pagecode=002> (2008).

Murgante B., *L'informatica, I Sistemi Informativi Geografici e la Pianificazione del Territorio*. In Murgante B. (a cura di) *L'informazione geografica a supporto della pianificazione territoriale*, Franco Angeli, Urbanistica, Milano, 7-37 (2008).

Murgante B., Borruso G. (2013) *Smart cities: un'analisi critica delle opportunità e dei rischi*. GEOmedia, 3 vol. 17 (2013).

Strati prioritari di interesse nazionale DBPrioriok, <http://www.centrointer-regionale-is.it/DBPrior/DocumentoDBPrior.pdf>.

UNDRO (United Nations Disaster Relief Coordinator). *Natural Disasters and Vulnerability Analysis in Report of Expert Group Meeting (9-12 July 1979)*, UNDRO, Geneva. (1979).

**Appendice: risorse *on-line* (analisi al 13 febbraio 2015)**

***Risorse Nazionali (RN)***

<b>RN<sub>1</sub></b>	
<b>Nome</b>	Progetto CARG (Programma Nazionale di Cartografia Geologica e Geomatica alla scala 1:50000)
<b>Link</b>	<a href="http://web.archive.org/web/20080706131002/http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Servizi_per_1%27Ambiente/Carte_geologiche/">http://web.archive.org/web/20080706131002/http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Servizi_per_1%27Ambiente/Carte_geologiche/</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico
<b>Contenuti</b>	Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000
<b>Servizi</b>	WMS presenti in un altro link ( <a href="http://web.archive.org/web/20090708054443/http://serviziogeologico.apat.it/website/documenti/portale/servizi_wms.htm">http://web.archive.org/web/20090708054443/http://serviziogeologico.apat.it/website/documenti/portale/servizi_wms.htm</a> ) ma non attivi alla data di analisi
<b>OD</b>	No

<b>RN<sub>2</sub></b>	
<b>Nome</b>	Portale geografico
<b>Link</b>	<a href="http://web.archive.org/web/20090708052011/http://serviziogeologico.apat.it/website/documenti/portale/portale.htm">http://web.archive.org/web/20090708052011/http://serviziogeologico.apat.it/website/documenti/portale/portale.htm</a>
<b>Tipo rischio</b>	Sismico Idrogeologico
<b>Contenuti</b>	Carg faglie_sovrascorrimenti francarg frane_danni_iffi frane_iffi geomorfologia_carg raster_geologico_100k raster_geologico_1250k raster_geologico_500k raster_geologico_50k raster_geologico_50k sondaggi Sondaggi Profondi Stratimetria
<b>(RN<sub>2</sub>)</b>	

<i>continua)</i>	terremoti
<b>Servizi</b>	WMS WFS ArcIMS
<b>OD</b>	Non da questo sito. Si rimanda alla tabella specifica per ogni Regione

RN <sub>3</sub>	
<b>Nome</b>	Geoportale Nazionale
<b>Link</b>	<a href="http://www.pcn.minambiente.it/GN/index.php?lan=it">http://www.pcn.minambiente.it/GN/index.php?lan=it</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico Sismico
<b>Contenuti</b>	Carta geolitologica d'Italia Carta geologica d'Italia Catalogo frane 2008 Classificazione sismica dei comuni italiani al 2012 PAI - Pericolosità idrogeologica PAI - Rischio idrogeologico Pericolosità sismica di riferimento a passo 0,02 gradi Pericolosità sismica di riferimento a passo 0,05 gradi Progetto PersistentScatterersInterferometry Zone sismogenetiche ZS <sub>9</sub>
<b>Servizi</b>	WMS WFS WCS WPS
<b>OD</b>	-

### *Risorse Regionali (RR)*

<b>RR<sub>1</sub></b>	
<b>Nome</b>	<b>Geoportale Regione Abruzzo</b>
<b>Link</b>	<a href="http://geoportale.regione.abruzzo.it/geoportale/">http://geoportale.regione.abruzzo.it/geoportale/</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico
<b>Contenuti</b>	Rischio erosione potenziale dei suoli Rischio erosione reale dei suoli Carta aree esondabili Carta della linea di costa
<b>Servizi</b>	WMS
<b>OD</b>	Si

<b>RR<sub>2</sub></b>	
<b>Nome</b>	<b>Geoportale Regione Basilicata</b>
<b>Link</b>	<a href="http://rsdi.regione.basilicata.it">http://rsdi.regione.basilicata.it</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico Sismico
<b>Contenuti</b>	Pericolosità alluvioni Areali in frana Areali di rischio Mappe di microzonazione sismica
<b>Servizi</b>	-
<b>OD</b>	-

<b>RR<sub>3</sub></b>	
<b>Nome</b>	<b>Geoportale Regione Calabria</b>
<b>Link</b>	<a href="http://pr5sit.regione.calabria.it/web/pr5sit/home">http://pr5sit.regione.calabria.it/web/pr5sit/home</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico
<b>Contenuti</b>	Repertorio delle Frane
<b>Servizi</b>	-
<b>OD</b>	Si

<b>RR<sub>4</sub></b>	
<b>Nome</b>	<b>Geoportale Regione Campania</b>
<b>Link</b>	<a href="http://sit.regione.campania.it">http://sit.regione.campania.it</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico Sismico Vulcanico
<b>Contenuti</b>	Aree inondabili Aree in frana IFFI Classificazione Sismica Rischio sismico e vulcanico
<b>Servizi</b>	WMS di alcuni strati informativi
<b>OD</b>	Si

<b>RR<sub>5</sub></b>	
<b>Nome</b>	<b>Geoportale Emilia Romagna</b>
<b>Link</b>	1) <a href="http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/servizi-on-line/cartografia-interattiva">http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/servizi-on-line/cartografia-interattiva</a> 2) <a href="http://geoportale.regione.emilia-romagna.it/">http://geoportale.regione.emilia-romagna.it/</a> 2) <a href="http://geo.regione.emilia-romagna.it/geocatalogo/">http://geo.regione.emilia-romagna.it/geocatalogo/</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico Sismico
<b>Contenuti</b>	Inventario del dissesto idrogeologico in scala 1:10.000 Dati IFFI Cartografia erosione suoli Mappa del rischio costiero Archivio frane storiche Classificazione sismica Microzonazione sismica
<b>Servizi</b>	WMS
<b>OD</b>	Solo per alcuni contenuti o comunque talvolta sono scaricabili solo i pdf

<b>RR6</b>	
<b>Nome</b>	<b>Catalogo dei dati ambientali e territoriali (Friuli Venezia Giulia)</b>
<b>Link</b>	<a href="http://www.regione.fvg.it/rafvfg/cms/RAFVG/ambiente-territorio/tutela-ambiente-gestione-risorse-naturali/FOGLIA201/">http://www.regione.fvg.it/rafvfg/cms/RAFVG/ambiente-territorio/tutela-ambiente-gestione-risorse-naturali/FOGLIA201/</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico
<b>Contenuti</b>	Cartografia CARG Fenomeni franosi Pericolosità Elementi a rischio Punti di vista fotografie
<b>Servizi</b>	WMS - WFS
<b>OD</b>	Si

<b>RR7</b>	
<b>Nome</b>	<b>WebGIS SITS (Regione Lazio)</b>
<b>Link</b>	<a href="http://www.urbanisticaecasa.regione.lazio.it/cartografia_on_line/">http://www.urbanisticaecasa.regione.lazio.it/cartografia_on_line/</a>
<b>Tipo rischio</b>	-
<b>Contenuti</b>	-
<b>Servizi</b>	-
<b>OD</b>	-

<b>RR8</b>	
<b>Nome</b>	<b>Geoportale Regione Liguria</b>
<b>Link</b>	<a href="http://geoportale.regione.liguria.it/geoportal/catalog/main/home.page">http://geoportale.regione.liguria.it/geoportal/catalog/main/home.page</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico
<b>Contenuti</b>	Fasce dinamiche delle spiagge e della costa alta - Fase di consultazione pubblica Rischio costiero - Fase di consultazione pubblica Carta delle Criticità ad Uso di Protezione Civile sc. 1:25000 –(fasce inondabili e aree a pericolosità di frana) Inventario dei Fenomeni Franosi sc. 1:10000 - Progetto

	IFFI Remover - Rete di Monitoraggio dei Versanti sc.1:10000 Scenari di pericolosità alluvionale - Direttiva Alluvioni Classi di rischio alluvionale ed elementi territoriali esposti -
<b>Servizi</b>	WMS
<b>OD</b>	Solo per alcuni strati informativi

<b>RR9</b>	
<b>Nome</b>	<b>Geoportale Regione Lombardia</b>
<b>Link</b>	<a href="http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportal">http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportal</a> e
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico
<b>Contenuti</b>	Aree a vincolo idrogeologico Inventario dei Fenomeni Franosi - Progetto IFFI
<b>Servizi</b>	-
<b>OD</b>	Si

<b>RR10</b>	
<b>Nome</b>	<b>SIT Regione Marche</b>
<b>Link</b>	<a href="http://webgis.cartografia.marche.it/">http://webgis.cartografia.marche.it/</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico
<b>Contenuti</b>	Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI Marche)
<b>Servizi</b>	-
<b>OD</b>	-

<b>R11</b>	
<b>Nome</b>	<b>Portale Cartografico Regione Molise</b>
<b>Link</b>	<a href="http://cartografia.regione.molise.it/iffi/index.html">http://cartografia.regione.molise.it/iffi/index.html</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico
<b>Contenuti</b>	Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI Molise)
<b>Servizi</b>	WMS
<b>OD</b>	-

<b>R12</b>	
<b>Nome</b>	<b>Geoportale Regione Piemonte</b>
<b>Link</b>	<a href="http://www.geoportale.piemonte.it/cms/">http://www.geoportale.piemonte.it/cms/</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico Sismico
<b>Contenuti</b>	Arpa Piemonte - Sismicità in Piemonte - Classificazione sismica su base comunale Arpa Piemonte - Sismicità in Piemonte - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTIo4) Arpa Piemonte - Sismicità in Piemonte - Sismicità strumentale e Sismicità recente Arpa Piemonte - Documentazione iconografica dei dissesti Ripresa aerea 1994 Alluvione CGR Piano di volo Arpa Piemonte - Rete Regionale Controllo Movimenti Franosi (ReRCoMF) Arpa Piemonte - Cartografia 1:10.000: Campo inondazione ed effetti piena del 2-3/11/1968 - F. Sesia Progetti di interventi di difesa del suolo Arpa Piemonte - Zone di allertamento per il rischio idrogeologico e idraulico Dissesti lineari PAI vigente
<b>Servizi</b>	WMS WFS
<b>OD</b>	Alcuni

RR13	
<b>Nome</b>	<b>SIT Regione Puglia</b>
<b>Link</b>	<a href="http://www.sit.puglia.it/">http://www.sit.puglia.it/</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico
<b>Contenuti</b>	Carta idrogeomorfologica
<b>Servizi</b>	WMS
<b>OD</b>	Si

RR14	
<b>Nome</b>	<b>Geoportale Regione Sardegna</b>
<b>Link</b>	<a href="http://www.sardegna.geoportale.it/">http://www.sardegna.geoportale.it/</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico
<b>Contenuti</b>	Banca dati del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico
<b>Servizi</b>	WMS-WFS
<b>OD</b>	-

RR15	
<b>Nome</b>	<b>SITR Sicilia</b>
<b>Link</b>	<a href="http://www.sitr.regione.sicilia.it/">http://www.sitr.regione.sicilia.it/</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico Sismico
<b>Contenuti</b>	P.A.I. Sicilia - Aggiornamenti - Geomorfologia - Pericolosità da frana - UTM WGS84 33N P.A.I. Sicilia - Aggiornamenti - Geomorfologia - Dissesti - UTM WGS84 33N. P.A.I. Sicilia - Aggiornamenti - Geomorfologia - Rischio da frana - UTM WGS84 33N Sondaggi geognostici raccolti nell'ambito degli studi di Microzonazione sismica del versante orientale dell'Etna (OPCM 3278/2003) <i>(RR15 continua)</i> Comuni oggetto degli studi di Microzonazione sismica del versante orientale dell'Etna (OPCM 3278/2003) Vincolo Idrogeologico

	<p>Vincolo idrogeologico ex R.D. 3267 del 1923 - provincia AG (coord. UTM-WGS84 fuso 33)  RR8  Sismicità storica - Microzonazione sismica del versante orientale dell'Etna (OPCM 3278/2003)  Esiti di agibilità edifici danneggiati sisma 2002 - Microzonazione sismica del versante orientale dell'Etna (OPCM 3278/2003)  Geologia e faglie - Microzonazione sismica del versante orientale dell'Etna (OPCM 3278/2003)  Fratturazioni al suolo Microzonazione sismica del versante orientale dell'Etna (OPCM 3278/2003)  P.A.I. Sicilia - Geomorfologia - Dissesti - UTM WGS84 33N  P.A.I. Sicilia - Geomorfologia - Pericolosità da frana - UTM WGS84 33N  P.A.I. Sicilia - Geomorfologia - Siti Attenzione - UTM WGS84 33N  P.A.I. Sicilia - Idraulica - Rischio Idraulico - UTM WGS84 33N  P.A.I. Sicilia - Idraulica - Pericolosità Idraulica - UTM WGS84 33N  P.A.I. Sicilia - Idraulica - Siti Attenzione - UTM WGS84 33N  P.A.I. Sicilia - Idraulica - Esondazione - UTM WGS84 33N</p>
<b>Servizi</b>	WCS-WMS-WFS
<b>OD</b>	No

<b>RR16</b>	
<b>Nome</b>	<b>Geoportale Toscana</b>
<b>Link</b>	<a href="http://www.regione.toscana.it/enti-e-associazioni/pianificazione-e-paesaggio/informazione-geografica">http://www.regione.toscana.it/enti-e-associazioni/pianificazione-e-paesaggio/informazione-geografica</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico
<b>Contenuti</b>	Pericolosità e Rischio di alluvione (D.Lgs.49/2010) Vincolo idrogeologico

	Banca dati frane e coperture Banca dati indagini geotematiche DataBase Geologico Regionale Rischio idrogeologico
<b>Servizi</b>	WMS
<b>OD</b>	Formato Geotiff per alcuni.

**RR17**

<b>Nome</b>	<b>Portale geocartografico Trentino Alto-Adige</b>
<b>Link</b>	<a href="http://www.territorio.provincia.tn.it/portal/server.pt/community/portale_geocartografico_trentino/254">http://www.territorio.provincia.tn.it/portal/server.pt/community/portale_geocartografico_trentino/254</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico Sismico
<b>Contenuti</b>	Carta di sintesi geologica Sondaggi Catasto grotte Eventi sismici: - Archivio storico - Archivio strumentale - Archivio strumentale digitale
<b>Servizi</b>	WMS-WFS
<b>OD</b>	-

**RR18**

<b>Nome</b>	<b>SIAT Regione Umbria</b>
<b>Link</b>	<a href="http://umbriageo.regione.umbria.it/pagine/webgis-001">http://umbriageo.regione.umbria.it/pagine/webgis-001</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico Sismico
<b>Contenuti</b>	Carta geologica Carte di pericolosità sismica locale
<b>Servizi</b>	WMS
<b>OD</b>	-

<b>RR19</b>	
<b>Nome</b>	<b>Geoportale Valle D'Aosta</b>
<b>Link</b>	<a href="http://geoportale.partout.it/">http://geoportale.partout.it/</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico
<b>Contenuti</b>	Carta dissesti Catasto ghiacciai Catasto valanghe
<b>Servizi</b>	-
<b>OD</b>	-

<b>RR20</b>	
<b>Nome</b>	<b>Infrastruttura dei dati territoriali del Veneto</b>
<b>Link</b>	<a href="http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog/">http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog/</a>
<b>Tipo rischio</b>	Idrogeologico Sismico
<b>Contenuti</b>	Classificazione sismica dei comuni del territorio Veneto Zone interessate da aree franose (IFFI) Zone interessate da deformazioni gravitative profonde Linee indicanti la direzione del dissesto Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe Terremoti storici con epicentro in Veneto Terremoti strumentali localizzati in Veneto Nodi di accelerazione sismica Mappa di pericolosità sismica Aree esondate per alluvioni Aree esondate per mareggiate Aree litoranee con tendenza all'arretramento Aree litoranee soggette a subsidenza Variazione dei fondali marini in erosione Zone sottoposte a vincolo idrogeologico Zone a rischio sismico Aree pericolose dovute ad allagamento Aree soggette a scolo meccanico
<b>Servizi</b>	WMS
<b>OD</b>	Si

## ALDASS: l'AtLante dei DAnni Sismici Storici a scala urbana (XIX-XX secolo) dell'Italia meridionale

Maria Danese, Fabrizio Terenzio Gizzi,  
Cinzia Zotta, Maria Rosaria Potenza

### Riassunto

L'esame dei danni causati dai terremoti del passato, in complementarità con le tradizionali indagini geologiche e geofisiche di sito, è utile per approfondire gli studi di risposta sismica nelle aree urbane e definire, quindi, strategie adeguate e mirate di prevenzione sismica.

In questo quadro, l'articolo esamina le caratteristiche del WebGIS ALDASS ([www.aldass.it](http://www.aldass.it)), l'AtLlante dei DAnni Sismici Storici a scala urbana (XIX-XX secolo) dell'Italia meridionale, che rende disponibili le ricerche condotte dall'Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IBAM-CNR) riguardanti la mappatura digitale, ad alta risoluzione spaziale, degli effetti prodotti da forti terremoti del passato nei contesti urbani.

I dati contenuti nell'Atlante potranno essere utili per supportare gli studi di microzonazione sismica, con particolare attenzione ai centri storici.

### 1 - Introduzione

È noto come durante un terremoto i danni agli edifici possano variare anche considerevolmente entro aree molto ristrette. Questi effetti possono essere la conseguenza di fenomeni di amplificazione sismica imputabili a eterogeneità litologiche e geologiche o a irregolarità riguardanti morfologie superficiali e/o sepolte (Aki, 1988; Pederson *et al.*, 1994). È evidente, quindi, come l'identificazione dei settori urbani potenzialmente soggetti a incremento di effetti sia fondamentale per ridurre l'impatto di futuri terremoti.

Da questo punto di vista, la valutazione delle conseguenze prodotte da forti eventi del passato può essere un importante supporto conoscitivo poiché i terremoti già accaduti costituiscono una sorta di "collaudo" del complesso sistema terreno-edificio (Guidoboni *et al.*, 2003; Gizzi, *et al.*, 2011). L'analisi degli effetti causati da terremoti storici può consentire, infatti, l'identificazione di potenziali "aree di attenzione" da sottoporre a specifici approfondimenti conoscitivi attraverso le tradizionali e imprescindibili indagini geologiche, geotecniche e geofisiche di sito. Ovviamente, più le informazioni macrosismiche saranno qualitativamente significative e vincolabili dal punto di vista spaziale, maggiore sarà la loro potenzialità di supporto alla conoscenza delle specificità territoriali.

Partendo da queste premesse, gli Autori hanno intrapreso un'attività di ricerca mirata all'esame dettagliato degli effetti generati da forti terremoti del passato nei centri urbani, con specifica attenzione ai centri storici.

Il *target* territoriale di tali studi è costituito dall'Italia meridionale, con particolare riguardo alla porzione appenninica campano-lucana, mentre per quanto attiene l'arco cronologico di riferimento, specifica attenzione è rivolta allo studio dei terremoti occorsi dal XIX secolo per i quali, grazie ad una migliore qualità e completezza delle documentazioni, maggiore è la probabilità di attingere dati storici utili a redigere dettagliate cartografie tematiche del danno, anche a scala della singola unità immobiliare.

L'insieme delle elaborazioni macrosismiche costituisce e costituirà, unitamente ai futuri studi, l'importante base informativa del *WebGIS* ALDASS, l'AtLante dei Danni Sismici Storici a scala urbana relativi all'Italia meridionale (XIX-XX secolo).

Da un punto di vista tecnico, il *WebGIS* si avvale di una piattaforma sviluppata in ambiente *Open Source*, basata sull'uso combinato di *MapServer* e *Open Layers*, e compatibile con gli *standard* internazionali dell'*Open Geospatial Consortium*.

La piattaforma è inoltre basata su un modello partecipativo, composta cioè in modo da rendere possibile la collaborazione attiva dei cittadini/utenti, dando la facoltà a coloro che

possiedono informazioni, dirette od indirette, relativamente agli effetti prodotti dal sisma sull'edificato ed il territorio di segnalarli al fine dell'incremento della completezza, qualità e copertura spaziale delle informazioni implementate nel *WebGIS*.

## 2 - Il quadro degli studi di sismicità storica

Come indicato in precedenza, ALDASS si propone come un "contenitore" digitale in continuo aggiornamento concernente gli studi sugli effetti prodotti da terremoti storici in aree urbane.

Gli esiti delle ricerche che sono inclusi sinora nel *WebGIS* abbracciano due categorie di eventi sismici: quelli per i quali è stata effettuata un'analisi sistematica dei quadri di danneggiamento urbano per le località coinvolte e terremoti per i quali gli studi sono stati eseguiti in maniera non sistematica e, quindi, limitati ad un numero ristretto di località interessate dagli effetti di danneggiamento (Figura 1).

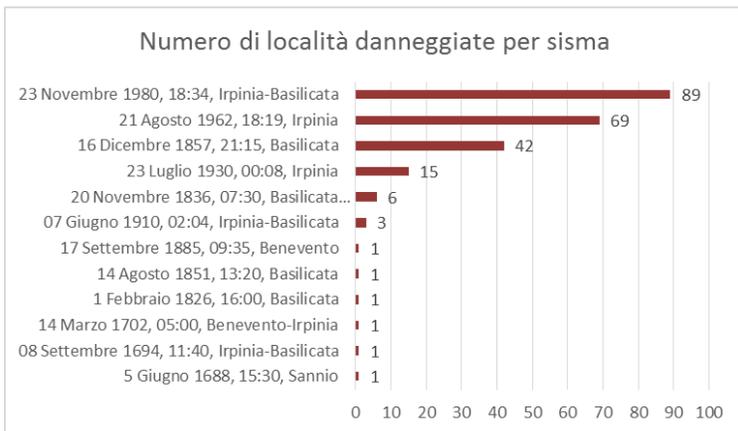


Figura 1. Numero di località e terremoti per i quali sono stati compiuti studi macrosismici di dettaglio

Nella prima categoria, alla quale afferisce la netta maggioranza delle ricerche portate a termine o attualmente in corso, possiamo annoverare il terremoto della Basilicata del 16 dicembre 1857 ( $M_w=7.0$ ), i sismi irpini del 23 luglio 1930

(Mw=6.6) e del 21 agosto 1962 (Mw=6.1) ed infine il terremoto irpino-lucano del 23 novembre 1980 (Mw=6.9). Nell'insieme, il numero delle cartografie tematiche afferenti a questi eventi sono circa 210.

Nella seconda categoria includiamo i terremoti del Sannio del 5 giugno 1688, dell'Irpinia-Basilicata dell'8 settembre 1694, dell'Irpinia-Beneventano del 14 marzo 1702, della Basilicata del 1 febbraio 1826, della Basilicata meridionale del 20 novembre 1836 (studio in corso), della Basilicata del 14 agosto 1851 e di Benevento del 17 settembre 1885.

### *2.1 Il sisma del 16 dicembre 1857*

Nel 1857 la Basilicata meridionale fu teatro di un violento terremoto che causò effetti sul territorio e l'edificato con due distinti eventi: quello principale del giorno 16 e quello secondario occorso dieci giorni dopo.

Il terremoto arrecò distruzioni in circa trenta località della Campania e della Basilicata. Le aree più colpite furono quelle della provincia di Potenza, in particolare la Val d'Agri, e l'area orientale della provincia di Salerno.

I paesi di Montemurro e Saponara (Grumento Nova), situati in prossimità dell'epicentro furono completamente rasi al suolo. Complessivamente, ben centottanta località subirono gravissimi danni al patrimonio abitativo pubblico e privato, in buona parte reso inagibile. I morti accertati furono 9732, secondo le stime ufficiali comparse in una relazione stilata il 31 marzo 1858 dal Giustiziere di Basilicata.

Numerosi furono gli effetti al suolo, consistenti in fratture e frane. Tra i comuni interessati da tali fenomeni ricordiamo Viggiano, Bella, Tito, Tramutola, Montemurro in provincia di Potenza; Padula, Polla e Ponte Campestrino in provincia di Salerno (Ferrari, 2004).

Allo scopo di valutare i danni prodotti nel tessuto urbano dei centri abitati della Basilicata, sono state avviate ricerche sistematiche basate principalmente su fonti archivistiche, sia inedite sia edite. È stata esaminata e riesaminata, infatti, tutta la documentazione originale a carattere tecnico-amministrativo e contemporanea all'evento, preservata presso l'Archivio di Stato di

Potenza ed afferente al *Fondo Intendenza di Basilicata*, raccolta ed organizzata nella serie *Danni ai Comuni*, contenuta in tredici buste per un totale di centodiciotto fascicoli.

Ogni fascicolo include tutto il carteggio riguardante i danni subiti da ciascun comune. Le fonti riportano principalmente la corrispondenza intercorsa tra l'Intendenza della Basilicata con sede a Potenza, dipendente dal Ministro degli Interni del Regno delle Due Sicilie, e le autorità circondariali (sottointendenti e giudici) e comunali (sindaci, parroci e capi urbani) nonché le commissioni comunali e di verifica. Dall'esame delle informazioni macrosismiche rinvenute nelle fonti archivistiche è stato possibile redigere cartografie tematiche del danno per circa trenta comuni della provincia di Potenza e quindici della provincia di Matera.

Per maggiori dettagli riguardanti sia la metodologia seguita per l'analisi di questo terremoto sia le elaborazioni tematiche prodotte, si rimanda al contributo *Il terremoto del 16 dicembre 1857 in Basilicata: analisi del danno nei centri urbani, infra*

## 2.2 Il sisma del 23 luglio 1930

Il terremoto del 23 luglio 1930 è tra i più forti terremoti registrati in Italia negli ultimi quattro secoli. L'attivazione della sorgente occorre alle ore 00:08 GMT e gli effetti interessarono un'area estesa circa 6.500 kmq, comprendente principalmente le regioni Campania, Basilicata e Puglia.

Il sisma causò numerosi effetti sull'ambiente, come fenomeni franosi, liquefazioni e fratture nel suolo (Esposito & Porfido, 2010). I maggiori danni al patrimonio abitativo furono registrati su di un territorio vasto circa 1.500 kmq, situato al confine campano-lucano e compreso tra Melfi ed Ariano Irpino.

Per questo terremoto, ricerche svolte dagli Autori hanno consentito di redigere tematismi del danno per i centri urbani dell'intera area nord-orientale della Basilicata, con particolare riguardo ai nove comuni gravitanti attorno all'inattivo vulcano Vulture, in provincia di Potenza (Gizzi *et al.*, 2010a; Gizzi *et al.*, 2010b). L'esito di queste ricerche, assieme ad altre analisi contestuali allo studio dell'evento sismico esperite da altri

ricercatori sono confluite in un'opera monografica dedicata (Gizzi & Masini, 2010).

In particolare, le fonti analizzate per la redazione delle cartografie tematiche del danno afferiscono al carteggio prodotto a suo tempo dall'Ufficio Speciale del Genio Civile di Melfi, istituito in seguito all'evento sismico e avente lo scopo di pianificare e controllare l'opera di ricostruzione.

Il *Fondo Genio Civile*, che registra tutta l'attività espletata dall'Ufficio negli anni Trenta, è preservato presso l'Archivio di Stato di Potenza ed è suddiviso in due *Serie* archivistiche: quella *Generale* e quella *Specifica*. Mentre la *Serie Generale* è composta di documentazione politematica con carteggio tecnico, amministrativo, normativo e legale, la *Serie Specifica* è distinta, invece, per comuni ed include tanti fascicoli quante sono le unità immobiliari coinvolte nell'evento sismico, sia facenti parti dell'edilizia minore, civile e rurale, sia rientranti nella categoria pubblica e/o monumentale.

### 2.3 Terremoto del 21 agosto 1962

Il 21 agosto 1962 alle ore 18:19 GMT, l'Appennino meridionale fu sede di un forte terremoto. L'evento fu caratterizzato da almeno due distinte scosse premonitrici, la prima delle 15:56 GMT, la seconda delle 18:10 GMT. Proprio l'azione di allerta esercitata nella popolazione da questi due eventi determinò un numero ridotto di vittime (diciassette), delle quali solo una collegata all'azione diretta del terremoto.

L'area più danneggiata fu l'Appennino campano, con particolare riguardo alle province di Avellino e Benevento, dove circa 39.000 abitazioni furono compromesse causando circa 30.000 senzatetto.

I comuni compresi nell'area pleistosismica furono Molinara, Reino e Sant'Arcangelo Trimonte nella regione sannito-beneventana e Casalbore e Melito Irpino nel settore irpino. Il terremoto causò danni anche nelle altre province campane e nelle limitrofe regioni del Molise, Puglia e Basilicata e fu avvertito anche in Abruzzo e nel Lazio.

Per estendere la conoscenza circa le conseguenze prodotte dal sisma in ambito urbano è stato effettuato uno studio macro-

sismico che ha consentito la redazione di numerose cartografie del danno ad alto rapporto di scala grafica per una facile fruibilità ed un rapido accesso al dato di base.

L'intera ricerca deriva dalla consultazione di un'imponente documentazione primaria, a carattere tecnico ed amministrativo, completamente inedita e disponibile presso archivi centrali e periferici.

In particolare, gli esiti delle ricerche sono stati possibili grazie ad uno studio sistematico e correlato di una nutrita documentazione archivistica rinvenuta presso l'Archivio storico del Dipartimento della Protezione Civile in Roma, l'Archivio di Stato di Benevento, l'Archivio di Stato di Campobasso e l'Archivio del Genio Civile di Ariano Irpino. Per raffinare l'analisi degli effetti in alcuni paesi sono state effettuate ulteriori ricerche presso archivi comunali, correnti e storici, avvalendosi anche del supporto conoscitivo da parte del personale degli uffici tecnici. L'intero studio macrosismico, unitamente all'analisi di aspetti riguardanti il dissesto idrogeologico degli abitati all'epoca del terremoto ed alla risposta istituzionale all'evento sono confluiti in un'opera monografica (Gizzi, 2012).

#### *2.4 Il sisma del 23 novembre 1980*

Il sisma del 23 novembre 1980 è tra i più forti terremoti della storia sismica italiana. L'evento causò gravissime conseguenze al tessuto insediativo di una vasta porzione dell'Appennino meridionale, tra cui soprattutto l'Irpinia e la Basilicata, con particolare riferimento alle province di Avellino, Potenza e Salerno.

Gli effetti distruttivi coinvolsero un'area di 3.500 kmq, causando circa 2.900 morti, mentre quelli di risentimento coinvolsero il territorio compreso tra la Sicilia e la Liguria.

Anche per questo evento, come per gli altri di cui si è prima discusso, l'indisponibilità del dato descrittivo alla base delle valutazioni macrosismico-parametriche, impediva fino a qualche anno fa, una conoscenza dettagliata della distribuzione degli effetti a scala urbana dell'area colpita dal sisma, specie per il settore lucano.

Per colmare questa lacuna, nel 2009, gli scriventi Autori hanno avviato una ricerca mirata all'analisi sistematica di due tipologie di fonti tecniche: le schede "A" e "B" di rilievo del danno compilate subito dopo l'evento e gli elaborati tecnici a corredo dei piani di recupero dei centri storici, redatti in base alla Legge 219/81. La scheda "A" include elementi identificativi dell'intero stabile e riguardano principalmente dati amministrativi, tipologia strutturale, anno di costruzione, livello di danno. La scheda "B" invece, ricalca nella sostanza i contenuti della scheda "A" riferiti però, alla singola unità abitativa inclusa fisicamente nell'edificio.

I livelli di danneggiamento previsti nelle schede sono otto: nessun danno; irrilevante (abitabile-riparazione non urgente); lieve (abitabile-da riparare); notevole (da sgombrare parzialmente-riparabile); grave (da sgombrare-riparabile); gravissimo (da sgombrare e demolire); crollato parzialmente (da demolire); distrutto.

Altra documentazione che è stata esaminata riguarda i piani di recupero dei centri storici, redatti in base alla Legge 219/81. La stesura dei piani implicava l'analisi della distribuzione dei danni utile per l'individuazione dei comparti di intervento urbanistico. L'analisi degli effetti, invece, era eseguita dai tecnici incaricati della redazione del piano mediante una restituzione, cartografica o tabellare, dei dati contenuti proprio nelle schede "A" e "B" o tramite rilievi diretti in sito.

Nell'insieme, la ricerca ha consentito di realizzare cartografie tematiche di danneggiamento illustranti la distribuzione territoriale del danno per ciascun settore urbano dei comuni della regione Basilicata (Gizzi *et al.*, 2012).

### 3 - Il WebGIS ALDASS

#### 3.1 L'architettura

Il WebGIS ALDASS rende disponibili i dati macrosismici grazie ad una piattaforma sviluppata in ambiente *Open Source*, che trasforma la cartografia di base assieme ai dati derivanti dalle ricerche di sismicità storica in un WebGIS, sviluppato con

soluzione mista *client-server* che consente l'accesso ai dati e li rende visualizzabili ed interrogabili dall'utente attraverso un *browser*, dove è possibile consultare diversi *layer* e le informazioni alfanumeriche ad essi associati (Figura 2).

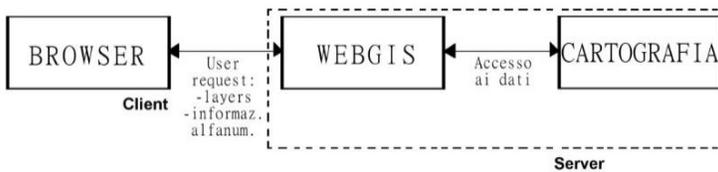


Figura 2. Architettura di ALDASS. Schema sintetico

Come detto, gli strumenti *software* su cui si basa ALDASS sono *Open Source* e comprendono:

- il Sistema Operativo: Linux – Ubuntu;
- il Server: Apache;
- il Database server: MySql;
- i Linguaggi di *scripting* e librerie: *PHP*, *Javascript*, *OpenLayers*.

### 3.2 I contenuti digitali, la homepage, la partecipazione

I contenuti digitali del *WebGIS* ALDASS riflettono lo stato di avanzamento delle ricerche riguardanti gli studi di sismicità storica che hanno come riferimento geografico principale l'Italia meridionale e come *target* cronologico primario i secoli XIX-XX.

Allo stato attuale degli studi, quindi, ALDASS include le molteplici e sistematiche elaborazioni tematiche effettuate per le località colpite dai terremoti irpini del 23 luglio 1930, 21 agosto 1962 e 23 novembre 1980.

A breve saranno implementati i dati concernenti il sisma della Basilicata del 16 dicembre 1857 e quelli relativi agli altri terremoti caratterizzati da studi non sistematici (Figura 3).



possibile, inoltre, accedere a una sezione in cui compiere approfondimenti bibliografici specifici (sez. "Per saperne di più"). Riguardo quest'aspetto, è da rilevare che la corretta valutazione dei dati riportati nelle cartografie tematiche non può essere disgiunta dalla consultazione della sezione "Come si legge" e da eventuali approfondimenti a cui tale sezione rimanda (sez. "Per saperne di più").

**Atlante dei Danni Sismici Storici a scala urbana**

HOME LOGIN VAI al WEBGIS

**Cos'è**  
 ALDASS è il web GIS che rende disponibili gli esiti delle ricerche condotte dall'Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali del Consiglio Nazionale delle Ricerche riguardanti la mappatura digitale, ad alta risoluzione spaziale, degli effetti prodotti in ambito urbano da forti terremoti storici. La conoscenza dei danni causati da terremoti del passato, in complementarità con le tradizionali indagini geologiche e geofisiche, è utile per approfondire l'analisi della risposta sismica delle aree urbane e quindi mettere a punto misure più mirate di prevenzione sismica...  
 Continua a leggere

**Com'è fatto**  
 Architettura del WebGIS.  
 Continua a leggere

**Le nostre fonti**  
 ALDASS è basato su di una sistematica ricerca d'archivio di fonti documentarie relative a dati macrosismici relativi a diversi terremoti di riferimento. Al momento gli ambiti territoriali coperti sono la Basilicata e la Campania. Le fonti archivistiche consultate per il principale arco cronologico di riferimento, che va da un carattere essenzialmente tecnico e tecnico-amministrativo...  
 Continua a leggere

**Come si legge**  
 ALDASS contiene le mappe del danno elaborate a partire da documentazione cartacea, in gran parte completamente inedita. L'elemento essenziale dei tematismi cartografici è costituito dalle aree omogenee di danno, in accordo alle denominazioni rivenienti nella documentazione originale consultata. I contenuti, tuttavia, non si limitano all'indicazione del danno, ma sono presenti anche dati relativi agli interventi...  
 Continua a leggere

**Per saperne di più**  
 Guarda la bibliografia completa

**Collabora con noi**  
 Vuoi segnalare gli effetti di un sisma su un edificio di tua conoscenza? Compila la nostra scheda e provvederemo a pubblicare la tua segnalazione nel web GIS.  
 Compila la scheda di segnalazione

| Chi siamo | Contatti | Copyright |

Figura 4. Homepage del progetto ALDASS

Un'altra possibilità che offre ALDASS, nell'ottica 2.0 e del *Volunteered Geographic Information Systems* (VGI), è quella di rendere possibile la collaborazione e la partecipazione degli utenti, dando loro la possibilità di inviare segnalazioni attraverso la sezione "Collabora con noi". Tramite questa, gli utenti potranno pubblicamente condividere informazioni dirette o indirette circa gli effetti sismici sofferti da un particolare edificio/abitazione in conseguenza di eventi sismici del passato.

**Collabora con noi**

Vuoi segnalare gli effetti di un sisma su un edificio di tua conoscenza? Compila la nostra scheda!!!

**SEZIONE A. TERREMOTO PER IL QUALE COMPILI LA SCHEDA DI SEGNALAZIONE DANNI AD EDIFICI O SUE PORZIONI (Unità)**

1. In che anno c'è stato il terremoto per il quale vuoi fare la segnalazione?

2. Se alla domanda precedente hai inserito altro, puoi specificare qui l'anno del sisma che non hai trovato in elenco?

**SEZIONE B. I TUOI DATI**

3. Nome

4. Cognome

5. Professione  
[11 - Membri di corp. aggregati e di governo, dirigenti amministrativi e giudici della pub. amm. e di organizzazioni di interesse nazionale e ...]

6. Perché compili questa scheda (puoi effettuare più di una scelta):

in qualità di testimone che ha vissuto in prima persona il terremoto;

essendo in possesso informazioni sui danni causati dal terremoto tramandate oralmente da altre persone che hanno vissuto l'evento (es.: familiari, conoscenti, et)

sulla base di informazioni reperite da fonti scritte (quotidiani, libri, et). [si prega di indicare la fonte-campo non obbligatorio-]

altro

**SEZIONE C. INFORMAZIONI GENERALI**

7. Quale parte dell'abitato subi i danni maggiori per effetto del terremoto?

8. Puoi segnalare l'occorrenza di fenomeni particolari connessi al terremoto (fratture nel suolo, frane, etc.)?

9. Descrivi, se vuoi, emozioni e sensazioni personali, di familiari e collettive relative al terremoto

Figura 5. Stralcio della scheda (composta di sei sezioni) che sarà implementata in ALDASS e da compilare a cura dell'utente per segnalare i danni prodotti da un terremoto in base ad informazioni dirette o indirette

Tale informazione, vagliata e filtrata dall'amministratore del sistema, sarà integrata negli studi disponibili e attribuita, con i relativi *credit* all'utente-fornitore del dato. In particolare, l'utente potrà inserire i seguenti dati:

- 1) indicazioni generali relative al sisma ed ai suoi effetti nella/per la località rispetto alla quale si effettua la segnalazione;
- 2) informazioni riguardanti l'ubicazione e le caratteristiche dell'unità edilizia per la quale si desidera compilare la scheda;
- 3) notizie concernenti l'entità del danno derivanti da informazioni dirette o indirette e/o di cui ancora si hanno traccia nell'unità edilizia oggetto della comunicazione;
- 4) infine, la scheda prevederà anche la possibilità di inserire eventuali informazioni di tipo iconografico.

In Figura 5 si riporta uno stralcio della scheda di collaborazione, con alcune delle sezioni da redigere a cura del compilatore.

### 3.3 Il WebGIS

Dalla *homepage* è possibile accedere direttamente al *WebGIS*. L'utente potrà usare come base cartografica (Figura 6 - 1) sia l'*open source Open StreetMap*, sia le diverse versioni di *Google Maps* (*Hybrid, Physical, Satellite, Streets*).

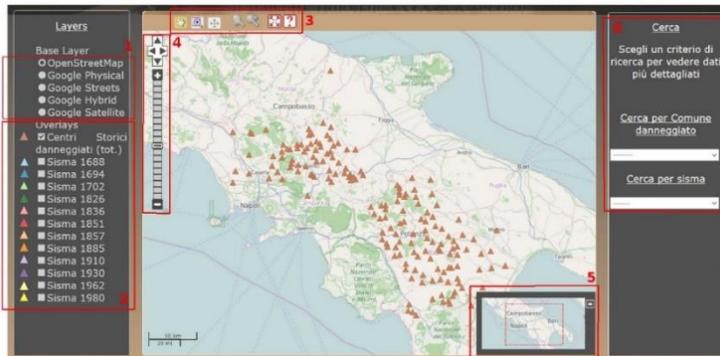


Figura 6. Schermata iniziale del *WebGIS* ALDASS

Sotto gli strati informativi di base è inserito l'elenco dei sismi che è possibile attivare e disattivare sulla cartografia di base



integrata e correlata della documentazione, ai cinque livelli di danno deducibili dalla scala MCS.

Le informazioni circa il danno in ciascun'area secondo le descrizioni desunte dai dati archivistici saranno rinvenibili, comunque, attraverso l'opzione "Selezione" dei poligoni di iso-danneggiamento. La scelta di rendere disponibile anche la descrizione macrosismica documentaria è stata compiuta per consentire all'utente impieghi del dato di base per finalità differenti dal presente studio (es.: analisi del lessico tecnico-macrosismico, deduzioni circa la risposta istituzionale, ecc.).

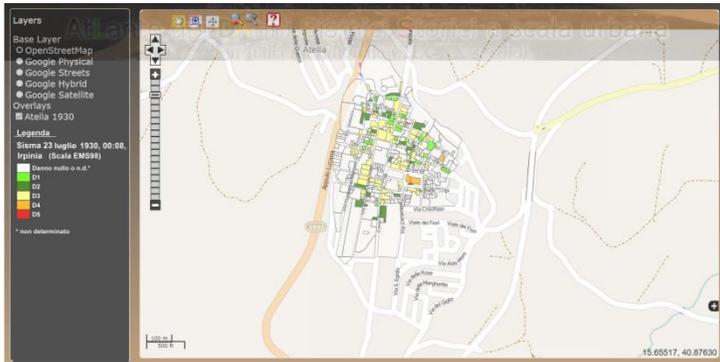


Figura 8. Esempio di risultato della ricerca concernente il sisma del 23 luglio 1930 e ai danni provocati al comune di Atella (PZ). Elaborazioni effettuate su base cartografica coeva al terremoto

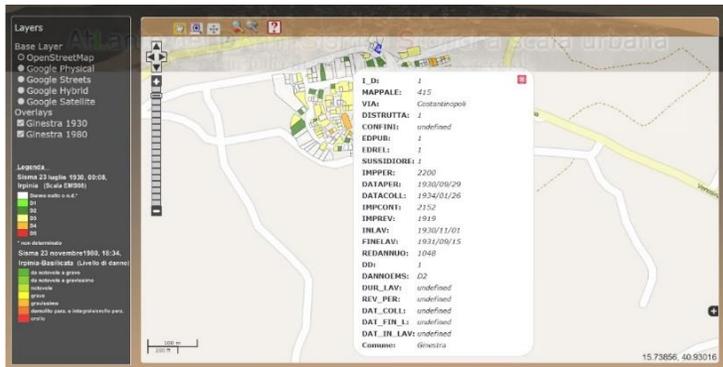


Figura 9. Esempio di informazioni alfanumeriche consultabili

#### 4 - Conclusioni e prospettive

L'analisi degli effetti prodotti da forti terremoti del passato contribuisce a definire strategie di mitigazione del rischio sismico. Il reiterarsi di effetti di danneggiamento nelle medesime aree può, infatti, essere indizio di una particolare "sensibilità" di un sito all'*input* sismico. Compiere, quindi, per una determinata località un esame diacronico dei danni prodotti da terremoti già accaduti aiuta a individuare le aree ove sarebbe opportuno eseguire indagini mirate a evidenziare possibili cause delle anomalie nella distribuzione degli effetti.

Con questo scopo gli Autori hanno sviluppato, nel corso degli ultimi anni, alcuni studi miranti a definire i quadri di danneggiamento urbano di località coinvolte in terremoti occorsi in Italia meridionale tra il XIX ed il XX secolo.

L'oggetto di tali ricerche, assieme a quelle ancora in corso e relative ad altri eventi sismici occorsi in Italia meridionale, sono confluite e confluiranno nel *WebGIS* ALDASS.

Da un punto di vista tecnico, ALDASS è uno strumento *in progress* poiché, come tutti gli strumenti digitali, è in continua espansione. Nello specifico è prevista, nel medio termine, la traduzione in lingua inglese sia del sito web sia del *WebGIS*. Inoltre, al momento l'utente può interagire limitatamente col sistema poiché può esclusivamente visualizzare e consultare le informazioni tramite il *browser*. In seguito sono previste due tipologie di servizi aggiuntivi: 1) la condivisione della cartografia secondo gli standard dell'OGC (*Open Geospatial Consortium*), 2) la possibilità di eseguire il *download* dei dati, da utilizzare sotto licenza *Creative Commons 4.0* internazionale, potenzialmente funzionali agli studi di microzonazione sismica.

In conclusione, l'insieme delle informazioni macrosismiche contenute in ALDASS rappresenta un'importante base informativa rivolta a fornire, nell'ottica di un approccio multi ed interdisciplinare, uno strumento di immediata consultazione e utile per un duplice scopo: ottimizzare la conoscenza circa la pericolosità sismica delle aree urbanizzate e, nel contempo, suggerire strategie orientate alla riduzione del rischio.

## Bibliografia

Aki K., *Local site effects on strong ground motion*. Proceedings of Earthquake Engineering and Soil Dynamics II (1988), 103-155.

Esposito E., Porfido S., *Gli effetti cosismici sull'ambiente fisico per la valutazione della vulnerabilità del territorio*, in: Gizzi F.T. & Masini N. (a cura di) *Dalle Fonti all'Evento. Percorsi strumenti e metodi per l'analisi del terremoto del 23 luglio 1930 nell'area del Vulture*. Napoli, 2010, 129-142. ISBN 978-88-495-2050-7.

Ferrari G., *Fenomeni precursori osservati, effetti sui suoli e sulle acque in occasione del terremoto del 1857*, in: Ferrari G. (a cura di) *Viaggio nelle aree del terremoto del 16 dicembre 1857. L'opera di Robert Mallet nel contesto scientifico e ambientale attuale del Vallo di Diano e della Val d'Agri*, Bologna, 2004, 393-404. ISBN 88-85213-09-X.

Gizzi F.T., Masini N., Potenza M.R., Zotta C., *L'analisi del danno: fonti documentarie, criteri interpretativi e parametrizzazione*, in: Gizzi F.T. & Masini N. (a cura di) *Dalle Fonti all'Evento: percorsi strumenti e metodi per l'analisi del terremoto del 23 Luglio 1930 nell'area del Vulture*, Napoli 2010, 143-164. ISBN 978-88-495-2050-7.

Gizzi F.T., Potenza M.R., Zotta C. *Effetti macrosismici nei centri storici: dati per un Atlante degli scenari*, in: Gizzi F.T. & Masini N. (a cura di) *Dalle Fonti all'Evento: percorsi strumenti e metodi per l'analisi del terremoto del 23 Luglio 1930 nell'area del Vulture*, Napoli (2010), 165-182. ISBN 978-88-495-2050-7.

Gizzi F.T., Potenza M.R., Zotta C. (2011). *Effetti sismici in ambito urbano di eventi del XX secolo: elaborazioni per un Atlante degli "scenari"*. In *Fuori dell'ordinario: la città di fronte a catastrofi ed eventi eccezionali*. V Congresso dell'Associazione Italiana di Storia Urbana (AISU). Roma, 8-9-10 settembre 2011. Atti su CD-ROM.

Gizzi F.T., *Il "Terremoto bianco" del 21 Agosto 1962. Aspetti macrosismici, geologici e risposta istituzionale*. Con la Collaborazione di Maria Rosaria Potenza e Cinzia Zotta. Prefazione di Sergio Castenetto, Lagonegro, (2012) 736 pp.. ISBN 788895-508443.

Gizzi F.T., Potenza M.R., Zotta C., *23 November 1980 Irpinia-Basilicata earthquake (Southern Italy): towards a full knowledge of the seismic effects*, Bull. Earth. Eng., 10, 1109-1131. Springer, (2012). DOI 10.1007/s10518-012-9353-z.

Guidoboni, E., Mariotti, D., Giammarino, M.S., Rovelli, A., *Identification of amplified damage zones in Palermo, Sicily (Italy), during the earthquakes of the last three centuries*, Bulletin of the Seismological Society of America 93 (4), (2003) 1649-1669.

Mallet R., *Great Neapolitan Earthquake of 1857. The First Principles of Observational Seismology*, 2 voll., London, (1862), trad. It. 2004. *Viaggio*

*nelle aree del terremoto del 16 dicembre 1857. L'opera di Robert Mallet nel contesto scientifico e ambientale attuale del Vallo di Diano e della Val D'Agri* - a cura di Graziano Ferrari.

Pedersen, H., LeBrun, B., Hatzfeld, D., Campillo, M., Bard, P.Y., *Ground motion amplitude across ridges*. Bulletin of the Seismological Society of America 84 (6), (1994), 1786-1800.

## Il terremoto del 16 dicembre 1857 in Basilicata: analisi del danno nei centri urbani

*Cinzia Zotta, Fabrizio Terenzio Gizzi, Maria Rosaria Potenza*

### Riassunto

L'articolo descrive la metodologia e gli esiti sintetici di studi sistematici mirati alla conoscenza della distribuzione spaziale dei danni prodotti dal violento terremoto della Basilicata del 16 dicembre 1857 ( $M_w=7.0$ ) nei centri urbani della regione.

La ricerca si è avvalsa di un'analisi integrata di documentazione archivistica a carattere sia tecnico sia amministrativo, preservata presso l'Archivio di Stato di Potenza.

Gli esiti della ricerca, che s'inserisce nel più ampio quadro di attività miranti a fornire strumenti di supporto e complementari agli studi di microzonazione sismica, hanno consentito la realizzazione di elaborazioni cartografiche a carattere tematico-macrosismico relative ai centri storici della Basilicata per i quali l'informazione complessiva rintracciata è stata valutata come sufficiente sia da un punto di vista qualitativo sia sotto l'aspetto della sua completezza.

### 1 - Introduzione

L'identificazione dei livelli di danneggiamento prodotti da terremoti del passato in ambito urbano può essere di supporto all'individuazione di aree a maggior pericolosità sismica da sottoporre, in via prioritaria, a un approfondimento conoscitivo attraverso i tradizionali studi e le tecniche d'indagine a carattere geologico-geofisico.

L'informazione macrosismica, tuttavia, può essere sponda in campo applicativo solo se supportata da vincoli di tipo spaziale che ne identifichino i riferimenti nell'ambito del tessuto abitativo riconducibile alla data del terremoto oggetto di valutazione. Quindi, la disponibilità di descrizioni particolareggiate degli effetti sulle costruzioni per i terremoti di elevata magnitudo

rende possibile una differenziazione delle aree a diverso danneggiamento all'interno dello stesso centro abitato, permettendo di disporre di elementi utili in prospettiva della microzonazione sismica (Branno *et al.*, 1983; Gizzi, 2006).

Partendo da questo quadro generale di riferimento, questo contributo espone la metodologia seguita per l'analisi del danno prodotto dal violento sisma della Basilicata del 16 dicembre 1857 nei centri abitati della regione.

La ricerca si è avvalsa principalmente di fonti primarie rianalizzate o analizzate qui per la prima volta secondo le prospettive dello studio.

Le fonti consultate afferiscono principalmente al Fondo Intendenza di Basilicata, preservato presso l'Archivio di Stato di Potenza.

Gli esiti di questa ricerca confluiranno nell'*AtLante dei Danni Sismici Storici* a scala urbana (ALDASS), concepito come supporto e strumento sinergico agli studi di microzonazione sismica (si veda *ALDASS: l'AtLante dei Danni Sismici Storici a scala urbana (XIX-XX secolo) dell'Italia meridionale, infra*).

## 2 – Stato delle conoscenze sul terremoto della Basilicata del 16 dicembre 1857

Il sisma del mese di dicembre 1857 causò effetti sul territorio e l'edificato con due distinti eventi: quello principale del giorno 16 (Mw=7.0) e quello secondario, occorso dieci giorni dopo (Rovida *et al.*, 2011).

Il terremoto arrecò distruzioni in numerose località della Campania e della Basilicata. Le aree più colpite furono quelle della provincia di Potenza, in particolare la Val d'Agri, e l'area del Vallo di Diano, in provincia di Salerno. I paesi di Montemurro e Saponara, situati in prossimità dell'epicentro, furono completamente rasi al suolo.

Complessivamente, ben 180 comuni subirono gravissimi danni al patrimonio abitativo pubblico e privato, in gran parte reso inagibile. I morti accertati furono 9732, secondo le stime ufficiali comparse in una relazione stilata il 31 marzo 1858 dal Rosica, Giustiziere di Basilicata.

Numerosi furono gli effetti al suolo, consistenti in fratture e frane. Tra i comuni interessati da tali fenomeni ricordiamo Viggiano, Bella, Tito, Tramutola, Montemurro, in provincia di Potenza; Padula, Polla e Ponte Campestrino, in provincia di Salerno (Ferrari, 2004).

Per questo terremoto è disponibile una letteratura scientifica a carattere macrosismico sia coeva all'evento sia successiva, derivante da rielaborazioni effettuate in tempi più recenti a partire dalla fine degli anni Settanta.

La principale opera contemporanea all'evento è rappresentata dagli esiti dei sopralluoghi effettuati all'indomani del terremoto dall'ingegnere irlandese Robert Mallet i cui studi, supportati dalla Royal Society di Londra furono pubblicati nell'opera *The Great Neapolitan Earthquake of 1857*, data alle stampe nel 1862. Questo sisma fu un vero e proprio laboratorio di ricerca per lo scienziato che, basandosi su osservazioni dirette, informazioni acquisite sui luoghi del disastro da testimoni, e su un consistente supporto di fotografie monoscopiche e stereoscopiche realizzate dal Bernoud e dal Grellier, realizzò una minuziosa documentazione degli effetti del terremoto (Becchetti & Ferrari, 2004).

La documentazione descrittiva e iconografica concerne le visioni d'insieme degli abitati, gli effetti al suolo ma, in particolare, i danni subiti da singoli edifici, con special riguardo all'edilizia monumentale e/o palazziata.

La finalità principale dello scienziato era, infatti, la verifica empirica del modello di determinazione dell'epicentro da lui stesso messo a punto e basato fondamentalmente sull'analisi delle direzioni di fratturazione e/o di caduta di manufatti.

Nelle sue valutazioni, quindi, il Mallet favorisce spesso descrizioni circostanziate del danneggiamento di singoli edifici come, ad esempio, nel caso del Palazzo Palmieri a Polla o della Certosa di Padula, ponendo quindi in secondo piano le descrizioni che si riferiscono alla distribuzione del danno all'interno di ciascuna delle località visitate.

Coevi al terremoto sono anche gli studi effettuati e supportati dalla Società Economica della Basilicata come *Il terremoto di Basilicata* di Raffaele Battista (1858), segretario della Società Economica, e *Sui tremuoti di Basilicata nel dicembre 1857* dello

storico e politico Giacomo Racioppi (1858). Queste due fonti furono usate, insieme a altre di prima mano, dal Baratta (1901) nella sua opera *I Terremoti d'Italia*.

Il geografo e sismologo, infatti, pur essendo consapevole dell'importanza scientifica del lavoro del Mallet non riuscì a consultarlo "...non avendolo potuto trovare in alcuna delle biblioteche..." (Baratta, p. 426).

Il quadro che ne deriva dall'opera del Baratta riguarda gli effetti sulle persone e l'indicazione delle diverse aree di isodanneggiamento, suddivise in disastrosa, rovinosa, fortissima, molto forte, mediocre.

Per quanto attiene gli studi scientifici più recenti, avviati verso la fine degli anni Settanta grazie al rinnovato interesse per l'analisi degli effetti sismici, Magri e Molin (1979) nell'*Attività macrosismica in Basilicata, Campania e Puglia dal 1847 al 1861* riportano valutazioni in termini d'intensità e individuano l'epicentro macrosismico all'interno dell'area delimitata dai comuni di Montemurro, Grumento Nova e Viggiano (provincia di Potenza), località alle quali gli Autori attribuiscono il grado XI della scala MCS.

Le valutazioni esperite dagli Autori attingono principalmente a una revisione e parametrizzazione dalle descrizioni fornite nelle opere del Mallet e del Baratta.

Qualche anno dopo, Branno *et al.*, (1983) pubblicano lo *Studio, su base macrosismica, del terremoto della Basilicata del 16 dicembre 1857* che rappresenta una revisione della documentazione dell'Intendenza di Basilicata, disponibile presso il Fondo omonimo dell'Archivio di Stato di Potenza.

In questo contributo gli Autori riportano anche descrizioni sintetiche dei danni subiti dai comuni.

La parametrizzazione del dato descrittivo consentì agli Autori di valutare l'intensità macrosismica per 289 località e tracciare le isosiste comprendenti le aree dall'XI al VI grado MCS.

Questi studi rappresentarono il frutto dell'avanzamento delle conoscenze sul terremoto nell'ambito delle attività promosse dal Progetto Finalizzato Geodinamica del CNR- Gruppo Catalogo dei Terremoti- (Branno *et al.*, 1985).

Guidoboni e Ferrari (1987), grazie a nuovi studi esperiti analizzando sia le descrizioni del Mallet sia relazioni ufficiali,

pubbliche ed ecclesiastiche e fonti memorialistiche locali consultate principalmente presso l'Archivio di Stato di Napoli, Potenza, Taranto e presso l'Archivio Segreto Vaticano, incrementarono a 334 le località per le quali furono individuati danni e risentimenti, aggiungendo primariamente i siti di area pugliese.

Gli studi effettuati nell'ambito della realizzazione del *Catalogue of Strong Italian earthquake from 461 B.C. to 1997* (Boschi *et al.*, 2000) e del *Catalogue of Strong earthquake in Italy from 461 B.C. to 1997 and Mediterranean area 760 B.C.-1500* (Guidoboni *et al.*, 2007), acquisiscono i risultati conseguiti a partire dai lavori di Magri e Molin (1979), riproducendo un numero di punti nel campo quotato comparabile a quelli raggiunti con gli studi della fine degli anni Ottanta e rispettivamente uguali, per i due cataloghi a 337 e 340.

Questi lavori forniscono anche una sintesi descrittiva delle conseguenze sismiche registrate nelle singole località che, di norma, non consentono comunque di acquisire un quadro dei danni sul territorio edificato utile per le finalità dello studio esposto in questo capitolo.

Studi più recenti hanno anche preso in considerazione gli effetti prodotti in ambito urbano dal terremoto del 1857, come le rielaborazioni proposte in *Historical earthquakes and damage patterns in Potenza* (Basilicata, Southern Italy) da Gizzi & Masini (2007) che analizzano il danneggiamento nel centro storico di Potenza, confrontandolo e comparandolo alle conseguenze causate da altri due terremoti del XIX e XX secolo.

Numerosi sono anche gli studi storiografici che trattano l'evento, come *Il Terremoto del 1857 nella documentazione dell'Archivio di Stato di Potenza* (Angelini, 1985), che fornisce indicazioni sugli effetti di danneggiamento prodotti a seguito del disastroso evento per tutti i comuni della Basilicata, soffermandosi principalmente sulle conseguenze riguardanti il patrimonio edilizio monumentale e religioso.

Tali informazioni derivano dall'analisi ed elaborazione di fonti coeve custodite presso l'Archivio di Stato di Potenza nel Fondo Intendenza di Basilicata, serie Danni ai comuni.

Numerose altre sono le fonti storiografiche ove sono riferiti effetti in singole località e/o sull'edilizia monumentale/religiosa.

Tra questi ricordiamo Riviello (1888), Bozza (1889), Racioppi (1889), Bertaux (1897), Schiavone (1966), Claps (1982), Schnars (1991).

### 3 - Metodologia d'indagine e analisi del danno

Com'è stato accennato in precedenza, la sola consultazione ed elaborazione di informazioni disponibili dallo studio delle fonti bibliografiche non è sufficiente ad individuare gli effetti di danneggiamento a scala urbana.

Le informazioni disponibili, infatti, sono di limitata utilità sia per quanto attiene la conoscenza dei livelli di danno sia per quanto riguarda gli "indicatori toponomastici", ossia gli elementi utili alla corretta geo-localizzazione degli episodi di danneggiamento nell'ambito urbano.

Per superare queste lacune, si è posta la necessità, quindi, di avviare e affiancare all'analisi delle fonti bibliografiche ricerche sistematiche su fonti archivistiche sia già consultate da precedenti studiosi, sia analizzate per la prima volta in questo studio.

Si è proceduto, quindi, a un riesame di tutta la documentazione originale a carattere amministrativo o tecnico-amministrativo contemporanea all'evento, preservata presso l'Archivio di Stato di Potenza ed afferente al *Fondo Intendenza di Basilicata*, raccolta ed organizzata nella serie *Danni ai Comuni*, contenuta in tredici buste, per un totale di centodiciotto fascicoli.

Ognuno di essi racchiude il carteggio riguardante i danni subiti da ciascun comune dei quattro distretti (Potenza, Matera, Lagonegro e Melfi) in cui era suddivisa la Provincia di Basilicata.

I documenti in esso inclusi riguardano principalmente la corrispondenza intercorsa tra l'Ufficio dell'Intendenza di Basilicata con sede a Potenza, dipendente dal Ministro degli Interni del Regno delle Due Sicilie, ed il potere circondariale costituito da Sottointendenti e giudici e le autorità comunali quali sindaci, parroci e capi urbani, oltre che le commissioni comunali e quella centrale.

All'indomani del disastroso terremoto del 16 dicembre 1857, fu riproposto il sistema delle commissioni (così come era stato fatto

per il precedente sisma del 1826), con una più capillare articolazione territoriale (Gizzi & Masini, 2007).

Mentre la commissione centrale aveva il compito di coordinare le attività di soccorso ed aiuto alle popolazioni oltre che supportare le commissioni locali, queste ultime istituite in tutti i comuni della Basilicata, avevano il compito, tra gli altri, di far demolire le case pericolanti dei proprietari in condizioni economiche disagiate, ed in generale prendere iniziative in merito alla sicurezza pubblica (es.: presidio di edifici pericolanti, sgombero della viabilità cittadina; ecc.).

Entrambe le commissioni erano composte di amministratori e tecnici; la commissione locale era composta anche di un rappresentante del clero cittadino.

Da un punto di vista metodologico e per una corretta valutazione degli effetti di danneggiamento, si è proceduto, per ogni singola località, a organizzare le informazioni secondo un criterio di *temporale*.

Sono stati analizzati quindi prioritariamente i documenti prossimi all'evento principale avendo cura di analizzare la "stabilità" delle informazioni nel tempo anche se provenienti da ruoli istituzionali e cariche diverse.

Dal punto di vista dell'individuazione dei precisi quadri di danneggiamento urbano, particolare attenzione è stata dedicata ai verbali delle commissioni (in particolare quelle locali) nonché alla corrispondenza intercorsa tra le commissioni stesse e l'Ufficio dell'Intendenza.

Questi documenti riportano dati più vincolati o vincolabili rispetto al centro abitato e hanno anche consentito la verifica o identificazione di elementi descrittivi macrosismici e toponomastici ricavabili da altri documenti.

Oltre a queste informazioni, sono stati utilizzati tutti i dati disponibili in bibliografia aventi caratteri di complementarità e funzionali a individuare il danno tanto all'edilizia residenziale tanto a quella monumentale (es.: Mallet, fonti storiografiche).

In presenza, invece, di discordanze di contenuto tra fonti archivistiche e bibliografiche, normalmente è stata preferita la fonte primaria.

La redazione di cartografie tematiche del danno necessita, oltre dell'ovvia indagine macrosismica, di aspetti conoscitivi di contesto.

A tale scopo è stata intrapresa anche una ricerca bibliografica utile per inquadrare l'evento sismico nel corretto ambito storico, urbano e sociale dei luoghi oggetto d'indagine.

La necessità di uno studio contestuale nasce dall'analisi ad esempio, della tipologia d'informazioni riportata nei verbali delle commissioni locali, incaricate della verifica delle case danneggiate.

Da questi atti ufficiali è stato possibile individuare sia il livello di danno alle abitazioni sia ottenere un'indicazione circa l'ubicazione delle stesse, riflessa nei toponimi associati al nome dei proprietari.

Nell'ubicazione degli episodi di danneggiamento su cartografie attuali sono emerse, tuttavia, alcune criticità.

In molti casi, infatti, l'indicazione circa l'ubicazione dell'abitazione danneggiata non è stata rinvenuta nei verbali o, comunque, se riportata era spesso riferita ad indicatori toponomastici non aventi più corrispondenza con quelli attuali, a causa dei cambiamenti post-unitari della toponimia urbana.

Per superare entrambe queste difficoltà è stata effettuata un'analisi diacronica della toponomastica urbana, indispensabile per la redazione delle cartografie tematiche del danno.

A tal riguardo, ci si è avvalsi di studi relazionati tra fonti bibliografiche, archivistiche e cartografiche.

In particolare, l'analisi ha riguardato (Figura 1):

- gli studi storiografici locali (es.: Varuolo, 2002);
- gli studi toponomastici locali (es.: Greco & Lotierzo, 1992);
- il Catasto Provvisorio (prima metà XIX sec.);
- la cartografia relativa al censimento del 1881;
- la cartografia catastale di primo impianto (inizio XX sec.)

Il Catasto Provvisorio è, come noto, un inventario di tipo descrittivo dei beni immobili, e include i nomi dei proprietari, la loro professione e l'ubicazione delle loro abitazioni.

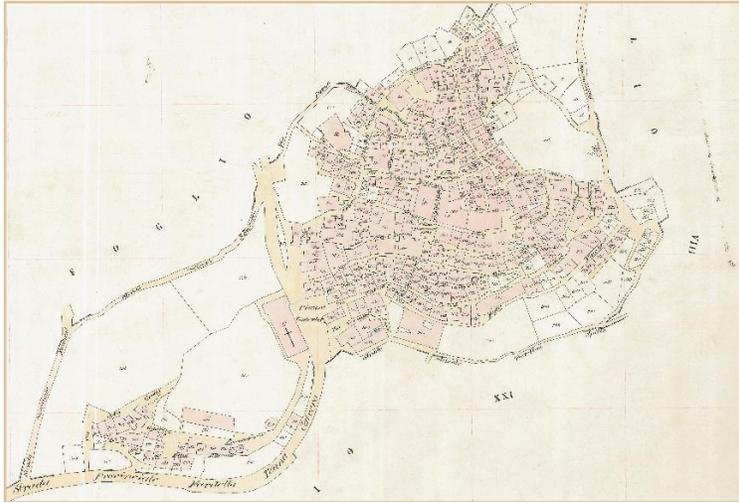


Figura 1. Mappa catastale di primo impianto dell'abitato di Teana (PZ) utilizzata per l'analisi toponomastica

Le operazioni tecniche di rilevamento, costituenti il nucleo dei dati riportati nel catasto e realizzate in base alle prime operazioni fondiari ultimate nel 1807, portarono alla stesura degli *Stati di Sezione*, senza supporto geometrico, redatti in seguito alla Legge n. 238 dell'8 novembre 1806.

Tale Legge stabiliva su quali beni dovesse gravare la contribuzione fondiaria decretata dalla precedente Legge n. 134 dell'8 agosto 1806. Essa doveva essere fissata sul prodotto netto dei beni e non poteva eccederne il quinto del valore.

In base alle leggi del 1806, nei mesi di Dicembre e Gennaio 1807 i sindaci, gli eletti e i ripartitori, insieme ai controllori, procedettero alla suddivisione di ciascun territorio comunale in sezioni o aree, ognuna contraddistinta da una lettera dell'alfabeto, registrando le proprietà di ogni sezione, cominciando da quella posta più a levante.

Ai fini di questo studio, la consultazione della *Sezione Domiciliaria*, parte integrante dello Stato di Sezione del Catasto Provvisorio, si è rivelata di particolare interesse poiché ha

consentito di risalire all'ubicazione delle case danneggiate, ma non "georiferite" nei verbali delle commissioni.

I nominativi dei proprietari delle abitazioni indicate nei verbali delle commissioni, infatti, sono stati confrontati con quelli censiti nello Stato di Sezione del comune considerato.

Il confronto è stato eseguito considerando il nominativo diretto (stesso proprietario indicato nei verbali) o indiretto (familiari) in caso di assenza di quest'ultimo.

La consultazione dell'inventario dei beni, inoltre, si è mostrata particolarmente utile anche per contestualizzare, nel quadro urbanistico-toponomastico attuale, quelle aree di danneggiamento che non hanno più correlazione con la toponomastica urbana vigente.

In tal caso, infatti, la corrispondenza tra il vecchio toponimo e quello attuale è stata ricercata facendo riferimento al criterio territoriale seguito dai compilatori della *Sezione domiciliaria* all'epoca del rilievo: "...per ogni sezione, cominciando da est verso ovest, si dovevano annotare le proprietà esistenti, designando nome, cognome, domicilio del proprietario, la natura dei beni..." (Stella, 1989).

Ciò ha consentito di mettere in relazione biunivoca i toponimi non aventi più corrispondenza con quelli correnti, con altri segnalati nella "*Sezione domiciliaria*" e noti nella toponomastica attuale, vincolandone in tal modo la posizione nell'attuale tessuto cittadino.

Per risalire ad una corretta localizzazione è stato necessario, comunque, ottenere un supporto costituito da basi cartografiche coeve al terremoto.

Per tale scopo, quindi, lo studio toponomastico è stato integrato con l'analisi della cartografia riguardante le piante del censimento del 1881, anch'esse preservate presso l'Archivio di Stato di Potenza.

Queste ultime, redatte non da tecnici, ma da funzionari incaricati del controllo o da un membro della commissione censuaria all'indomani del censimento del 1881, possono considerarsi delle semplici raffigurazioni iconografiche, non in scala, poiché avevano la sola funzione di illustrare la posizione delle sezioni catastali in cui era ripartito tutto il territorio urbano ed extra-urbano.

Contestualmente, è stata eseguita anche un'analisi della cartografia catastale di primo impianto, risalente alla fine del XIX secolo e custodita presso l'Agenzia del Territorio di Potenza, che si è rivelata adatta anche per stabilire l'entità dello sviluppo urbano dei centri abitati in un periodo più vicino al terremoto.

Dalla definizione e identificazione delle equivalenze dei toponimi tra quelli vigenti nel XIX secolo e quelli attuali, effettuati attraverso lo studio diacronico-toponomastico e cartografico, si è quindi proceduto alla georeferenziazione delle aree di danno omogenee su ortofoto recenti (2011) al fine di ottenere un quadro conoscitivo spaziale di rapida fruibilità degli effetti post-sisma relativi sia all'edilizia residenziale sia a quella pubblica/monumentale.

Nel complesso, dall'esame e dall'analisi delle informazioni macrosismiche e toponomastiche è stato possibile redigere cartografie tematiche del danno per circa quarantacinque centri abitati afferenti sia alla provincia di Potenza sia a quella di Matera (Figura 2).

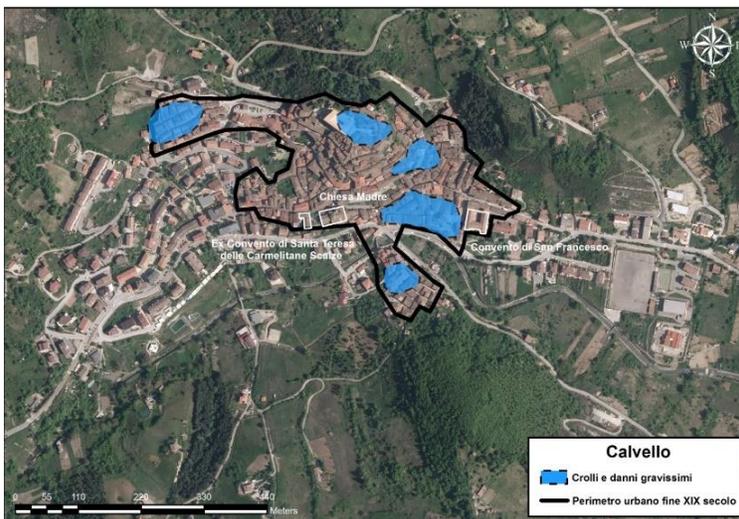


Figura 2. Calvello: danni in seguito al sisma del 16 dicembre 1857

#### 4 - Conclusioni e prospettive

L'attuale conoscenza delle conseguenze del disastroso evento avvenuto nella notte tra il 16 e 17 dicembre 1857 sul patrimonio costruito è insufficiente per identificare gli effetti di danneggiamento a scala urbana.

È stato intrapreso, quindi, uno studio mirato di tipo macrosismico a scala urbana.

L'approfondimento di tale aspetto ha richiesto un'analisi o rianalisi mirata e sistematica dell'intero carteggio afferente al Fondo Intendenza di Basilicata, raccolto e organizzato nella serie *Danni ai Comuni* e preservato presso l'Archivio di Stato di Potenza.

A questo proposito, il contributo ha brevemente esposto la metodologia per l'elaborazione delle cartografie tematico-macrosismiche relative ai centri della Basilicata per i quali la qualità e quantità dell'informazione rinvenuta è stata considerata sufficiente. Successive ricerche prenderanno in considerazione anche località poste oltre i confini regionali della Basilicata, con particolare riguardo ai centri abitati ricadenti nel Vallo di Diano.

L'insieme degli studi svolti sinora, derivanti dall'analisi critica di fonti a prevalente matrice amministrativa e tecnico-amministrativa, sarà oggetto di apposita monografia scientifica di prossima pubblicazione.

Inoltre, tali ricerche, assieme ad altri studi sistematici effettuati dagli scriventi Autori su singoli eventi sismici, diverranno parte integrante di un più vasto progetto di conoscenza macrosismica sia da un punto di vista cronologico sia da quello geografico, e andranno ad arricchire il contenuto di *ALDASS, l'Atlante dei Danni Sismici Storici a scala urbana* [si veda *ALDASS: l'Atlante dei Danni Sismici Storici a scala urbana (XIX-XX secolo) dell'Italia meridionale, infra*], strumento pensato come supporto agli studi di microzonazione sismica.

#### Bibliografia

Angelini G., *Il terremoto del 1857 nella documentazione dell'Archivio di Stato di Potenza*. In: "Bollettino storico della Basilicata" a cura della Deputazione di Storia Patria della Lucania, Roma, 1985.

Baratta M., *I terremoti d'Italia*, Torino, 1901.

Battista R., *Il terremoto di Basilicata*, Potenza, 1858.

Becchetti P. & Ferrari G., *Fotografia e osservazione scientifica. Robert Mallet e il reportage fotografico nelle aree del terremoto del 16 dicembre 1857*, in: (Ferrari G., a cura di) *Viaggio nelle aree del terremoto del 16 dicembre 1857. L'opera di Robert Mallet nel contesto scientifico e ambientale attuale del Vallo di Diano e della Val d'Agri*, (2004), 63-92. Bologna. ISBN 88-85213-09-X.

Bertaux E., *I monumenti medievali della regione del Vulture*. Supplemento a "Napoli Nobilissima" VI (1897) I-XXIV.

Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G., and Gasperini P., *Catalogue of strong Italian earthquakes from 461 B.C. to 1997*, Ann. Geofis. 43 (2000), 843-868 (con incluso CD-ROM).

Bozza A., *Il Vulture ovvero brevi notizie di Barile e delle sue colonie albanesi*, Rionero in Vulture, 1889.

Branno A., Esposito E. G. I., Marturano A., Porfido S. & Rinaldis V., *Studio su base macrosismica, del terremoto della Basilicata del 16 dicembre 1857*, in: "Bollettino della società dei naturalisti di Napoli" XCII (1983) 249-338.

Branno A., Esposito E. G. I., Marturano A., Porfido S. & Rinaldis V., *The Basilicata earthquake of December 16, 1857*, in: Postpischl D. (Eds), *Atlas of isoseismal maps of Italian earthquakes*, CNR-PFG, Quaderni de La Ricerca Scientifica 114 Vol. 2A (1985) 88-91.

Claps V., *Cronistoria dei terremoti in Basilicata: anno 1 d. c. - 1980*, Collana di cultura lucana, 9, Galatina, 1982.

Ferrari G., *Fenomeni precursori osservati, effetti sui suoli e sulle acque in occasione del terremoto del 1857*, in: Ferrari G. (a cura di) *Viaggio nelle aree del terremoto del 16 dicembre 1857. L'opera di Robert Mallet nel contesto scientifico e ambientale attuale del Vallo di Diano e della Val d'Agri*, Bologna, (2004), 393-404. ISBN 88-85213-09-X.

Gizzi F.T., *To what degree can historical seismicity records assist in seismic microzonation?* Engineering Geology 87 (2006) 1-12.

Gizzi F.T. & Masini N., *Historical earthquakes and damage patterns for Potenza (Basilicata, southern Italy)*, Annals of Geophysics vol. 50 (2007) 599-611.

Greco M.T., Lotierzo A., *Toponomastica di Marsico Nuovo*, Melfi, 1992.

Guidoboni E., Ferrari G., *Contribution to the study of the Basilicata earthquake of 1857*, in: Guidoboni E., Ferrari G. (a cura di), *Mallet's macroseismic survey on the Neapolitan earthquake of 16<sup>th</sup> December 1857*, ING, Bologna (1987), 101-147.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G. and Valensise G., *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461*

*B.C.1997) and Mediterranean Area (760 B.C.1500)*, (2007). INGV-SGA.  
<http://storing.ingv.it/cfti4med/> (ultimo accesso, 10/06/2011).

Magri G., Molin D., *Attività macrosismica in Basilicata, Campania e Puglia dal 1847 al 1861*, Roma, 1979.

Mallet R., *Great Neapolitan Earthquake of 1857. The First Principles of Observational Seismology*. 2 voll. London, 1862.

Racioppi G., *Memoria sui tremuoti di Basilicata nel Dicembre 1857*. Giornale *Iride*, 2 vol., 41, (1858), Napoli.

Racioppi G., *Storia dei popoli della Lucania e della Basilicata*, 2 vol., Roma, 1889.

Riviello R., *Cronaca potentina dal 1799 al 1882*, Potenza, 1888.

Rovida A., Camassi R., Gasperini P., Stucchi M. (Eds), *CPT111, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*, <http://emidius.mi.ingv.it/CPT111> (2011), Accesso 8 ottobre 2012.

Schiavone E., *Montemurro, notizie storiche*, Napoli, 1966.

Schnars K. W., *La Terra incognita – Diario di un viaggiatore tedesco in Basilicata*, Venosa, 1991.

Stella A., *S. Lucia di Serino. Società e terre nei catasti onciario e napoleonico*, S. Lucia di Serino, 1989.

Varuolo P., *Contributo alla storia di Grottole*, Matera, 2002.

## **Patrimonio storico-architettonico e salvaguardia: analisi delle caratteristiche costruttive e dinamiche dei campanili delle chiese in Basilicata**

*Fabrizio Terenzio Gizzi, Domenico Liberatore, Nicola Masini,  
Marta Bruno, Maria Rosaria Potenza, Manuela Scavone,  
Maria Sileo, Luigi Sorrentino, Cinzia Zotta, Tommaso Pagnoni*

### **Riassunto**

Si esaminano gli esiti preliminari di un'attività di ricerca finalizzata alla conoscenza delle caratteristiche costruttive e dinamiche di una particolare tipologia di beni architettonici: i campanili delle chiese. Lo scopo è quello di fornire uno strumento utile all'identificazione di eventuali condizioni di rischio e, quindi, di potenziali priorità di interventi strutturali tesi alla salvaguardia dei monumenti.

Il percorso metodologico che sarà seguito durante tutta l'attività è qui riportato e reso fruibile al lettore attraverso due casi studio che sono stati affrontati sinora: il campanile della Cattedrale di San Gerardo di Potenza e quello della Chiesa di San Michele di Marsico Nuovo, sempre in provincia di Potenza. Partendo da un esame propedeutico della storia sismica di sito e dall'analisi contestuale dei danni registrati dai due siti presi in esame, l'articolo affronta l'analisi delle principali caratteristiche dinamiche dei campanili soffermandosi e confrontando i risultati ottenuti attraverso misure in sito di microtremori ed analisi dei modelli ad elementi finiti. Le valutazioni dinamiche di ordine strutturale sono state utili anche per effettuare considerazioni in merito ad eventuali fenomeni di risonanza terreno-campanile.

### **1 – Introduzione**

La salvaguardia del Patrimonio monumentale rappresenta una sfida che necessita sempre più di azioni sinergiche tra il mondo della ricerca e gli attori istituzionali coinvolti nella loro

tutela. In questo quadro è di basilare importanza, specie in un territorio come l'area mediterranea, e la penisola italiana in particolare, porre attenzione all'edificato storico-monumentale ubicato in aree ad elevata pericolosità sismica. Un'analisi, se pur speditiva della storia sismica italiana, pone in evidenza, infatti, che i terremoti hanno prodotto danni di differente entità in una considerevole porzione del Patrimonio architettonico, con conseguenti ricostruzioni e riparazioni che, non di rado invasive, hanno alterato le caratteristiche fisiche originali, contribuendo così a trasformare l'originaria concezione architettonica in una stratificazione di interventi edilizi riflettenti la cultura e le tecniche costruttive coeve agli interventi post-sismici. Assume quindi significatività la conoscenza di quei monumenti che possono essere soggetti ad un rischio sismico maggiore verso i quali gli *stakeholder* potrebbero indirizzare successive azioni di mitigazione delle potenziali conseguenze di futuri terremoti.

Partendo da questa premessa, l'articolo descrive gli esiti preliminari di un'attività di ricerca finalizzata alla valutazione, attraverso tecniche non invasive e non distruttive, delle proprietà dinamiche di una peculiare tipologia di beni architettonici: i campanili delle chiese.

Due sono in particolare gli aspetti considerati. Il primo riguarda la valutazione sperimentale della frequenza fondamentale di vibrazione dei campanili e la sua comparazione con le caratteristiche dinamiche dei suoli di fondazione per evidenziare eventuali fenomeni di risonanza terreno-struttura che potrebbero causare incrementi di danneggiamento in conseguenza di fenomeni sismici. Il secondo punto attiene la correlazione tra le proprietà dinamiche derivate dalle misure in sito e la modellazione numerica ad elementi finiti, considerando le caratteristiche architettoniche, costruttive e geometriche dei monumenti, come la loro altezza, il numero dei piani, i materiali costruttivi, le dimensioni, la presenza di aperture, catene, e la loro posizione nel contesto urbanistico locale. Lo scopo finale di questo secondo punto è quello di stilare una classificazione tipologica di queste particolari strutture architettoniche.

L'attività di ricerca ha il suo *target* di studio nella regione Basilicata, localizzata in una porzione dell'Appennino meridionale caratterizzata da elevata pericolosità sismica e

colpita da conseguenze di forti terremoti storici, ultimo dei quali quello del 23 novembre 1980 (Me 6.9) (Gizzi *et al.*, 2012).

Per rendere evidente la metodologia che sarà adottata nel prosieguo dell'attività di ricerca, di seguito sono esposti gli esiti di analisi condotte su due campanili, quello della Cattedrale di San Gerardo di Potenza e quello della Chiesa di San Michele di Marsico Nuovo, anch'esso in provincia di Potenza.

Il contributo è strutturato in due parti principali: la prima, metodologica, alla quale segue la seconda riguardante specificatamente i due casi studio presi in considerazione. L'articolo trae successivamente alcune conclusioni delineando prospettive di ricerca future.

## 2 – Metodologie sperimentali e di analisi numerica

### 2.1 Misura delle frequenze fondamentali attraverso rilievi in sito di microtremore ambientale

La valutazione delle frequenze fondamentali per l'alzato architettonico e per il terreno è stata effettuata attraverso misure in sito di microtremore. I dati di microtremore sono stati successivamente analizzati attraverso due tecniche: la tecnica dei rapporti spettrali della componente orizzontale e verticale (HVSR) e quella dei rapporti spettrali tra componenti orizzontali (HHSR) (Castro *et al.*, 1998; Gallipoli *et al.*, 2009).

La prima consiste nel prendere in esame il rapporto tra l'ampiezza dello spettro di Fourier delle componenti orizzontali e verticale misurate al piano più alto, la seconda considera, invece, le sole componenti orizzontali, registrate al piano più alto ed al basamento.

Allo scopo di evidenziare possibili fenomeni di risonanza terreno-struttura, sono state effettuate misure addizionali su terreno naturale, in condizioni di *free-field* nelle adiacenze dei campanili. Tali misure sono state elaborate con la tecnica HVSR.

Le misure di microtremore sono state acquisite con il tromometro digitale (Micromed Tromino®) che ospita in un singolo contenitore tre velocimetri, un digitalizzatore a 24 bit e l'unità di immagazzinamento dati. La durata delle registrazioni è stata fissata in 15 min con una frequenza di campionamento a 128

Hz. Dopo la procedura di *pre-processing* e *processing* dei dati (es.: analisi della stabilità delle curve HVSR e rimozione dei transienti nel dominio delle frequenze, *smoothing* con finestra triangolare al 7%) le frequenze fondamentali sono state individuate in corrispondenza delle massime ampiezze dei rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e verticale (HVSR) e orizzontali (HHSR).

## ***2.2 Calcolo delle frequenze fondamentali attraverso modelli ad elementi finiti***

L'obiettivo della modellazione a Elementi Finiti (EF) è quello di riprodurre i risultati delle misure di vibrazione ambientale e identificare il modulo elastico medio della muratura.

È stato utilizzato il codice a *EF SAP2000 Advanced*, ver. 14.0.0 (CSI, 2014). Le pareti in muratura sono state modellate con elementi 3-D SOLID. Considerato il basso livello energetico delle vibrazioni ambientali, è stato assunto il modello di materiale elastico lineare.

## **3 - Casi di studio**

### ***3.1 Il Campanile della Cattedrale di San Gerardo in Potenza***

#### ***3.1.1 Sismicità storica di sito ed effetti macrosismici***

L'Italia è uno dei paesi con i più ricchi cataloghi di osservazioni macrosismiche. Utilizzando i dati più aggiornati (Locati *et al.*, 2011), a partire dal 1000 AD, per la città di Potenza è possibile trovare una prima lista di 15 osservazioni la cui intensità al sito è superiore alla soglia del danno ( $\geq V$  Mercalli-Cancani-Sieberg, MCS). Tuttavia, è plausibile che i terremoti risentiti nell'area siano più numerosi. Infatti, questo numero limitato è dovuto al fatto che l'evidenza storica relativa ai terremoti potrebbe non essere più esistente, o non reperibile, oppure non studiata. In questi casi è utile ricorrere a una legge di attenuazione per ricavare l'intensità al sito a partire dall'intensità epicentrale. In questa circostanza, la legge definita da Decanini e Mollaioli (1997) è stata applicata a un catalogo di intensità

epicentrali (Rovida *et al.*, 2011), e nuovamente sono state considerate solamente le intensità risentite maggiori o uguali al V MCS. Un totale di 32 eventi (osservati e calcolati) è stato ricostruito (Figura 1).

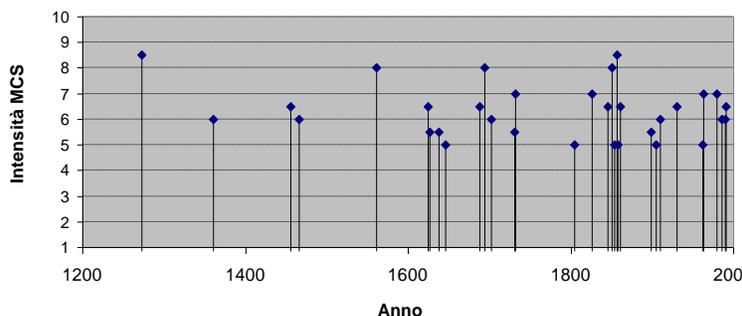


Figura 1. Storia sismica di Potenza (elaborazione sui dati di Locati *et al.*, 2011; Rovida *et al.*, 2011)

Va anche menzionato che, per il centro storico di Potenza e un periodo di ritorno di 712 anni, normalmente adottato per le chiese, l'attuale zonazione sismica (DMI, 2008) specifica un'accelerazione orizzontale massima attesa al suolo pari a 0.235 g (su suolo rigido), corrispondente a una sismicità media.

Riguardo ai terremoti che hanno colpito la città di Potenza, si possono menzionare gli eventi del 1273 ( $I_S = \text{VIII-IX}$  MCS), 1561 ( $I_S = \text{VIII}$ ), 1694 ( $I_S = \text{VIII}$ ), 1826 ( $I_S = \text{VII}$ ), 1857 ( $I_S = \text{VIII-IX}$ ), 1910 ( $I_S = \text{VI}$ ), 1930 ( $I_S = \text{VI-VII}$ ), 1980 ( $I_S = \text{VII}$ ) (Gizzi e Masini, 2007).

In conseguenza del terremoto dell'8 settembre 1694 la Cattedrale di San Gerardo e l'annesso campanile furono danneggiati. Dopo circa due secoli, la città fu colpita da due eventi molto importanti: quello del 1 febbraio 1826 e quello del 16 dicembre 1857. Riguardo al danno causato dal terremoto del 1826, il campanile, già in cattivo stato di conservazione, subì alcune fessurazioni, mentre la chiesa non fu danneggiata. Circa vent'anni più tardi, il terremoto distruttivo del 1857 causò gravi effetti a Potenza. Il campanile non patì danni, mentre la Cattedrale fu fortemente fessurata e, di conseguenza, demolita e ricostruita.

Il XX secolo vide la città colpita da altri tre terremoti, per due dei quali (7 giugno 1910 e 23 luglio 1930) le fonti storiche non

riportano alcun danno al campanile ma solo alla Cattedrale. Viceversa, il campanile fu seriamente danneggiato dal terremoto del 23 novembre 1980, riportando un esteso quadro fessurativo e una perdita parziale di collegamento tra le pareti murarie (Sbeap, Relazioni del 26/01/1985 e del 06/05/1985).

### *3.1.2 Caratteristiche architettoniche*

Il Campanile della Cattedrale di San Gerardo, con i suoi circa 40 m di altezza, è un'emergenza significativa dal punto di vista paesaggistico poiché predomina su tutti gli edifici circostanti e caratterizza inconfondibilmente il profilo della città.

Il campanile è un organismo autonomo, separato dalla chiesa e situato in posizione laterale rispetto ad essa. È distaccato dal prospetto sud della chiesa e posto in prossimità dell'ingresso principale sul lato destro di chi entra, e nei pressi dell'ingresso secondario della chiesa stessa. Inoltre esso è connesso ed addossato su un solo lato, lungo il fronte destro della cattedrale, in prossimità della cappella di San Gerardo che ne consente l'accesso dall'interno. Ancor prima era ubicato in prossimità delle mura cittadine, in corrispondenza dell'angolo tra il transetto e l'abside e sul lato sinistro della chiesa; probabilmente, la particolare posizione sul crinale del colle, causa di frequenti lesioni e crolli della struttura, avrebbe indotto al suo spostamento nel sito attuale (Buccaro, 1980; Messina, 1980).

Il campanile si sviluppa su 5 livelli. Le principali componenti edilizie sono: il fusto che si erge su un basamento a corpo unico con base quadrata e lato 6.10 m, la cella campanaria a pianta quadrata, la cuspidi di copertura di forma piramidale e un coronamento metallico poggiante su sfera.

Le murature in pietrame di origine calcarea, con forme irregolari all'interno e squadrate all'esterno presentano uno spessore variabile da 1.75 m a 1.25 m, decrescente con l'altezza. In corrispondenza del basamento lo spessore murario è di 1.75 m, che si riduce a 1.50 m al primo piano e ad 1.25 m ai piani successivi.

L'omogeneità della tessitura muraria è ben apprezzabile nelle facciate, caratterizzate da grandi conci d'angolo squadrate e ben connessi. Tra gli elementi architettonici strutturali, funzionali e

decorativi si rilevano in facciata cornici marcapiano in pietra, lievemente aggettanti (20 cm), che scandiscono lo sviluppo verticale del campanile in 5 livelli, e finestre della tipologia a monofora con arco a tutto sesto di dimensioni variabili (da  $1.10 \times 1.90 \text{ m}^2$  a  $1.20 \times 3.20 \text{ m}^2$ ), oltre a due piccole feritoie di forma ottagonale (dimensioni di involuppo  $0.45 \times 1.00 \text{ m}^2$ ) con cornice in pietra poste in corrispondenza del basamento al piano terra (Figure 2,3,4).

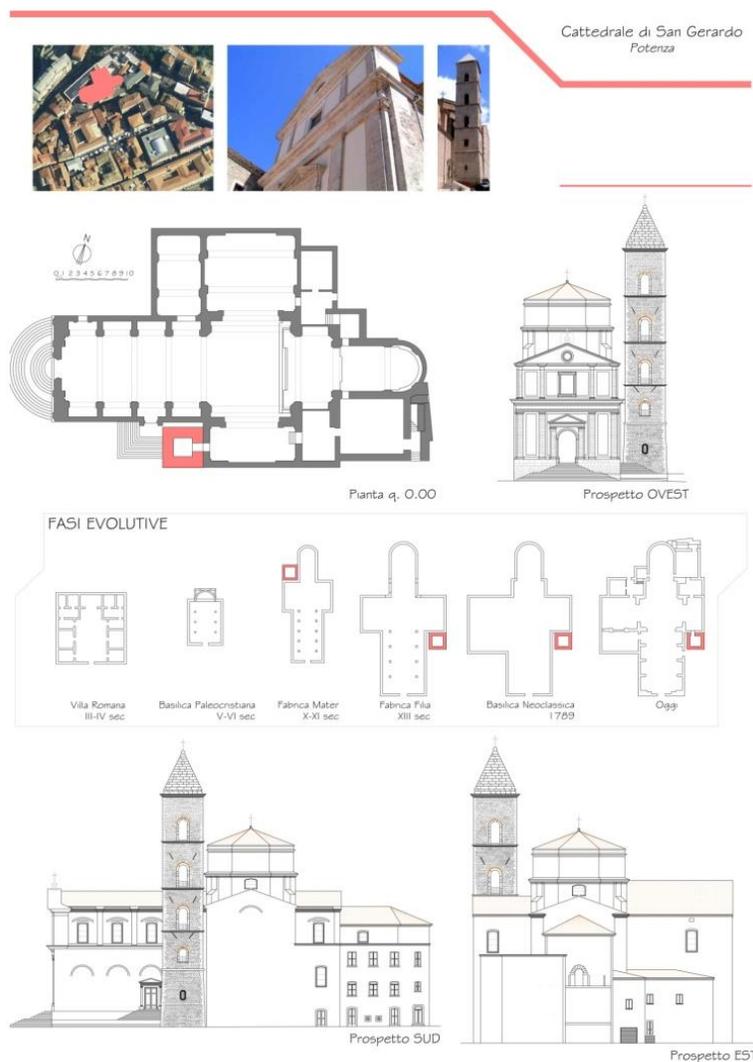
La sommità del campanile è costituita da una struttura a padiglione a 4 falde simmetriche con altezza pari a 5 m. L'elemento di collegamento verticale è costituito da una scala a pioli in metallo che permette l'accesso a ciascun piano, fino al piccolo locale praticabile della cella campanaria, caratterizzata anch'essa da monofore a tutto sesto di dimensioni  $1.20 \times 3.00 \text{ m}^2$ .

La configurazione attuale è il risultato di frequenti ristrutturazioni, ricostruzioni o, più in generale, rimaneggiamenti edilizi realizzati nel corso dei secoli per molteplici ragioni, tra cui cedimenti, crolli e ampliamenti dell'edificio di culto.

Il sisma che colpì la Basilicata nel 1980 danneggiò l'antica torre campanaria che, pericolosamente inclinata, presentava un quadro fessurativo notevole, diffuso e generalizzato.

Le murature gravemente dissestate evidenziavano numerose lesioni ad andamento subverticale, interessanti l'edificio per tutta l'altezza (Sbeap, *Relazione circa i lavori di rafforzamento...*, 1985).

Le evidenti discontinuità delle superfici murarie, la sconnessione dei quattro fronti e la leggera inclinazione della struttura resero necessario un intervento di ripristino e rafforzamento statico finalizzato a incrementare la capacità portante delle murature, ripristinare la continuità della struttura ove compromessa dall'insorgere di lesioni e distacchi, stabilire un sufficiente collegamento e irrigidimento dei quattro fronti della torre e collegare la struttura in elevato al terreno di fondazione (Sbeap, *Relazione al progetto...*, 1985).



**Figura 2. Rilievo architettonico della Cattedrale di San Gerardo a Potenza. Schemi grafici relativi all'evoluzione storica e costruttiva della Cattedrale**

Cattedrale di San Gerardo  
Potenza

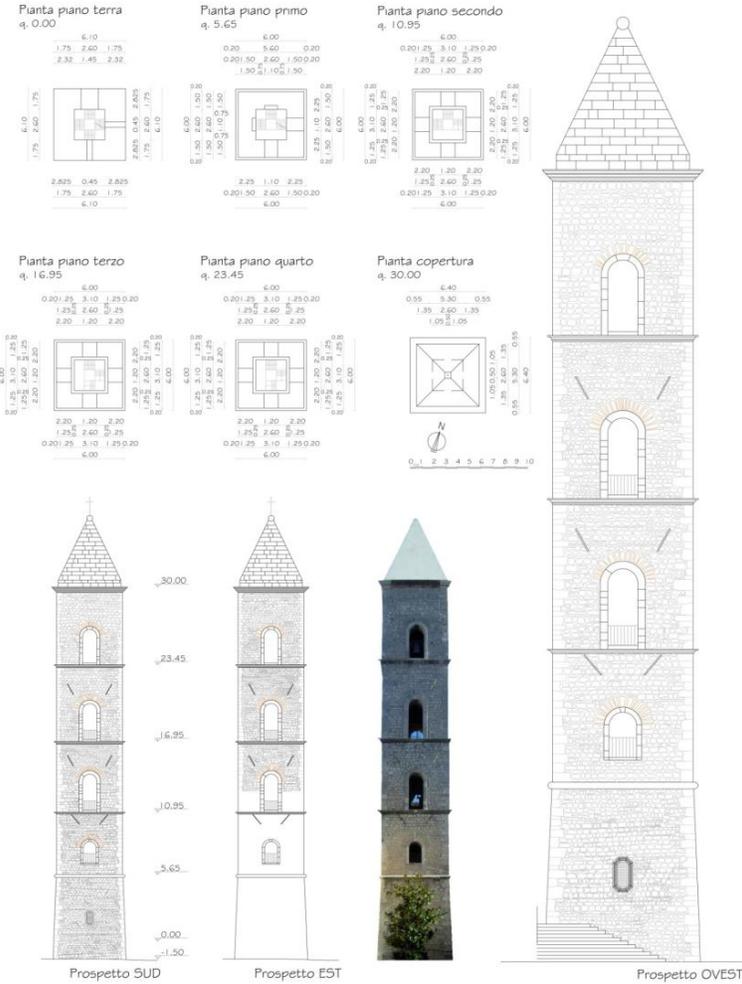


Figura 3. Elaborati grafici di rilievo architettonico della Cattedrale di San Gerardo a Potenza



Nello specifico gli interventi comportarono: perforazioni armate, consolidamento con intonaci armati, cordoli di calcestruzzo armato in corrispondenza degli orizzontamenti, consolidamento delle fondazioni mediante sottofondazione con reticolo di micropali ed infine demolizione e rifacimento del manto di copertura della cuspide (Sbeap, *Relaz. circa i lavori di somma urgenza...*, 1997).

### 3.1.3 Frequenza fondamentale da misure di microtremore

Considerando l'inaccessibilità del piano più alto del campanile (quarto), le misurazioni di microtremore sono state effettuate al secondo piano.

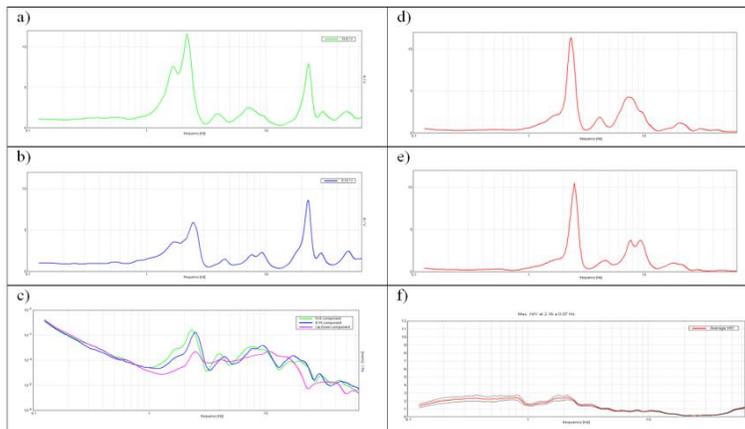


Figura 5. Misure di microtremore eseguite all'interno del campanile della Cattedrale di San Gerardo in Potenza (a-e) ed in condizioni di *free-field* (f). La direzione N-S corrisponde alle facciate del campanile perpendicolari alla navata della cattedrale, mentre la direzione E-W è a essa parallela. Le frequenze ottenute con la tecnica HVSR (a, rapporto H/V, componente N-S: 2.2 Hz; b, rapporto H/V, componente E-W: 2.5 Hz; c, spettri di ampiezza delle tre componenti) evidenziano un buon accordo con quelle derivanti dall'analisi tramite la seconda metodica (d, rapporto H/H, componente N-S: 2.3 Hz; e, rapporto H/H, componente E-W: 2.5 Hz). Le frequenze più elevate possono essere identificate a 4.0, 7.7, 9.6 Hz, lungo la direzione N-S, ed a 4.4, 7.7, 9.4 Hz lungo la direzione E-W. I rilievi effettuati nella stazione in *free-field* non evidenziano picchi H/V indicativi in accordo con i criteri del protocollo SESAME (2004)

Dall'analisi degli spettri emerge un buon accordo tra i dati ottenuti con le due tecniche di analisi dei dati. In particolare per la componente N-S si evidenzia una frequenza che oscilla tra 2.2 e 2.3 Hz mentre lungo la direzione E-W si osserva una frequenza di 2.5 Hz coincidente per entrambe le tecniche usate. Riguardo le misure in *free-field*, l'analisi dei rapporti spettrali H/V non evidenzia picchi significativi, analizzati in accordo con il protocollo SESAME (2004) (Figura 5).

### 3.1.4 Modello ad Elementi Finiti

Il campanile è stato modellato come indipendente dal corpo principale della chiesa. Il modello tiene conto della riduzione di spessore dalla base alla sommità del campanile. La base è stata modellata come incastrata al suolo.

Per la muratura di pietrame, la massa specifica adottata nell'analisi è 2.24 t/m<sup>3</sup> e il modulo elastico 1.0 10<sup>7</sup> kN/m<sup>2</sup>. Quest'ultimo è stato calibrato al fine di riprodurre la prima frequenza sperimentale.

Le prime cinque forme modali sono riportate in Figura 6. La Tabella 1 riporta i picchi di frequenza rilevati sperimentalmente con le corrispondenti direzioni, le frequenze modali del modello EF, fino al 5° modo, le masse modali lungo le direzioni longitudinale e trasversale divise per la massa totale, e la differenza relativa tra le frequenze del modello EF e i picchi di frequenza sperimentali.

Si può osservare in generale un buon accordo tra le frequenze del modello EF e i picchi di frequenza sperimentali, con massima differenza relativa inferiore al 10% in valore assoluto.

Va evidenziato che la calibrazione del modello EF è stata condotta variando un solo parametro. È presente anche un modo torsionale, con frequenza 7.1 Hz, che corrisponde alla frequenza sperimentale 7.7 Hz.

Questo modo influenza le misure lungo le direzioni sia longitudinale sia trasversale, a causa dell'eccentricità del punto di misura rispetto al centro di rotazione. Le frequenze 4.0 Hz e 4.4 Hz lungo le direzioni longitudinali e trasversali, rispettivamente, sono presumibilmente legate a modi locali e

non risultano dal modello EF, finalizzato a riprodurre il comportamento globale del campanile.

Il valore del modulo elastico adottato per il modello EF è molto alto se confrontato con i valori normalmente utilizzati per la muratura di blocchi lapidei squadri (2.4 ÷ 3.2 10<sup>6</sup> kN/m<sup>2</sup>) e può essere giustificato sulla base dell'incremento di rigidità prodotto dall'intervento di consolidamento.

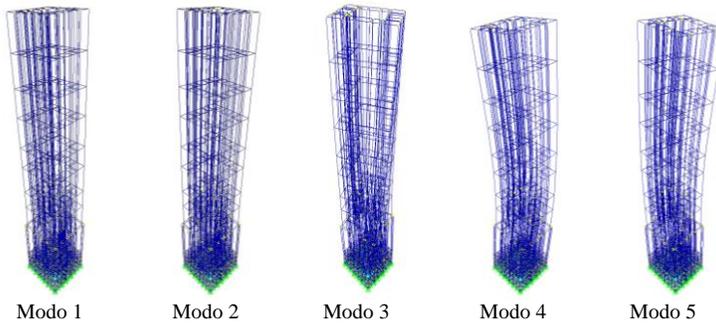


Figura 6. Forme modali del campanile della Cattedrale di San Gerardo a Potenza

Modo	Sperimentale		Modello EF			Δ (%)
	Frequenza (Hz)	Direzione	Frequenza (Hz)	Massa modale efficace / massa totale		
				Direzione longitudinale	Direzione trasversale	
1	2.2 ÷ 2.3	long.	2.2	0.54	0	0 ÷ -4
2	2.5	trasv.	2.3	0	0.54	-8
	4.0	long.	-	-	-	-
3	4.4	trasv.	-	-	-	-
	7.7	long.-trasv.	7.1	0.01	0.01	-9
4	9.4	trasv.	9.3	0.01	0.21	
5	9.6	long.	10.2	0.19	0	6

Tabella 1. Analisi modale del campanile della Cattedrale di San Gerardo a Potenza



della provincia in quegli anni ove si evince che: "...circa due terzi dell'abitato adagiato al suolo" e che "...debbono demolirsi per l'imminente pericolo di crollamento" all'incirca 200 abitazioni private (ASPz, 21 dicembre 1857; ASPz, 25-28 dicembre 1857). Nel rione Civita, inoltre, furono "adagiate al suolo" le case e la chiesa madre, ridotte a un "ammasso di macerie" (ASPz, 31 marzo 1858).

Per quanto attiene l'edilizia religiosa, la chiesa di San Michele riportò danni per 600 ducati: la navata destra divenne inaccessibile, mentre si dovette demolire il terzo piano del campanile per l'imminente pericolo di crollo (ASPz, 25-28 dicembre 1857; Angelini, 1985). Il più recente sisma del 23 novembre 1980 causò rovine in tutto il centro abitato, alternandosi zone con danno 'gravissimo' ad aree con danno 'notevole' (Gizzi, 2010). La Chiesa di San Michele riportò lesioni diffuse alle strutture murarie e gravi danni al campanile in corrispondenza delle celle campanarie, con distacco e crollo d'intonaco (Frattani, 1982; Proietti, 1994).

### 3.1.2 Caratteristiche architettoniche

La Chiesa di San Michele Arcangelo, situata nella parte più alta del borgo antico, la Civita, si colloca a ridosso delle torri superstiti dell'antica cinta muraria ed è comunemente considerata la prima cattedrale di Marsico Nuovo. Non vi sono documenti che comprovano l'anno esatto della sua fondazione, ma è tra le chiese più antiche e venne edificata e destinata al culto dell'Arcangelo Michele probabilmente dai primi conti Longobardi. La *facies* originaria è ben identificabile nonostante la successione di restauri, integrazioni e ricostruzioni realizzati nelle varie epoche per stabilizzare la struttura in seguito ad eventi calamitosi. La facciata principale, che ingloba la torre campanaria, presenta un lineare profilo "a capanna", a due spioventi con una zona centrale leggermente più alta in corrispondenza della navata centrale (Figure 8 e 9). Con un'articolazione geometricamente rigorosa e semplice, mostra due finestre di forma rettangolare ed un ridotto oculo centrale contornato da un cordone di pietra che si apre al centro della facciata. L'accesso alla chiesa avviene lungo il fronte sud-est, tramite un portale con cornice in pietra, probabilmente

ascrivibile al XII-XIII secolo, con colonne laterali e capitelli figurativi adornati da foglie e fiori, architrave decorato e lunette inserite nel timpano. Il robusto edificio, con mura perimetrali di spessore variabile da 65 a 90 cm, ha uno schema planimetrico semplice e regolare, con tre navate, presbiterio rettangolare e sagrestia retrostante. La navata centrale è separata dalle due laterali, di larghezza minore, da archi a tutto sesto.

L'illuminazione interna è generalmente contenuta, poiché la luce filtra solo attraverso il rosone della facciata principale e le ridotte finestre poste al piano più alto.

Il campanile, probabilmente quattrocentesco, ha un'altezza pari a circa 17 m, pianta quadrangolare di dimensioni di 4.10×4.20 m<sup>2</sup>, e due pareti addossate alla chiesa. Il fusto si articola su quattro livelli, ciascuno segnato da una cornice marcapiano in pietra, leggermente aggettante, e si conclude con una cuspidi di copertura, al di sotto della quale si trova la cella campanaria (Figura 9). I paramenti murari sono scanditi da sette aperture con arco a tutto sesto, di cui tre di dimensioni pari a 2.40×1.30 m<sup>2</sup> al secondo livello e le rimanenti quattro di dimensioni pari a 2.20×1.20 m<sup>2</sup> al terzo livello.

L'intera struttura architettonica (chiesa e campanile) è costituita da paramenti verticali in muratura di pietrame irregolare, oggi completamente intonacati, e da elementi orizzontali in legno o in acciaio.

La configurazione attuale è il risultato di una serie di crolli ed interventi di consolidamento realizzati in seguito ad eventi sismici. Infatti, la chiesa e la torre campanaria hanno subito danni e dissesti generalizzati che hanno interessato le strutture dei solai, dei muri portanti e delle piattabande.

In particolar modo, l'intervento di restauro del 1968-69 aveva previsto l'esecuzione di un cordolo in calcestruzzo armato sulla copertura dell'abside e della navata destra ed il rifacimento totale della copertura, dissestata e priva di elementi per la raccolta e lo smaltimento delle acque meteoriche (Sbeap, *Relazione circa i lavori di restauro del 1968/69...*, s.d.). Più gravi e consistenti i danni prodotti dal sisma del 1980.

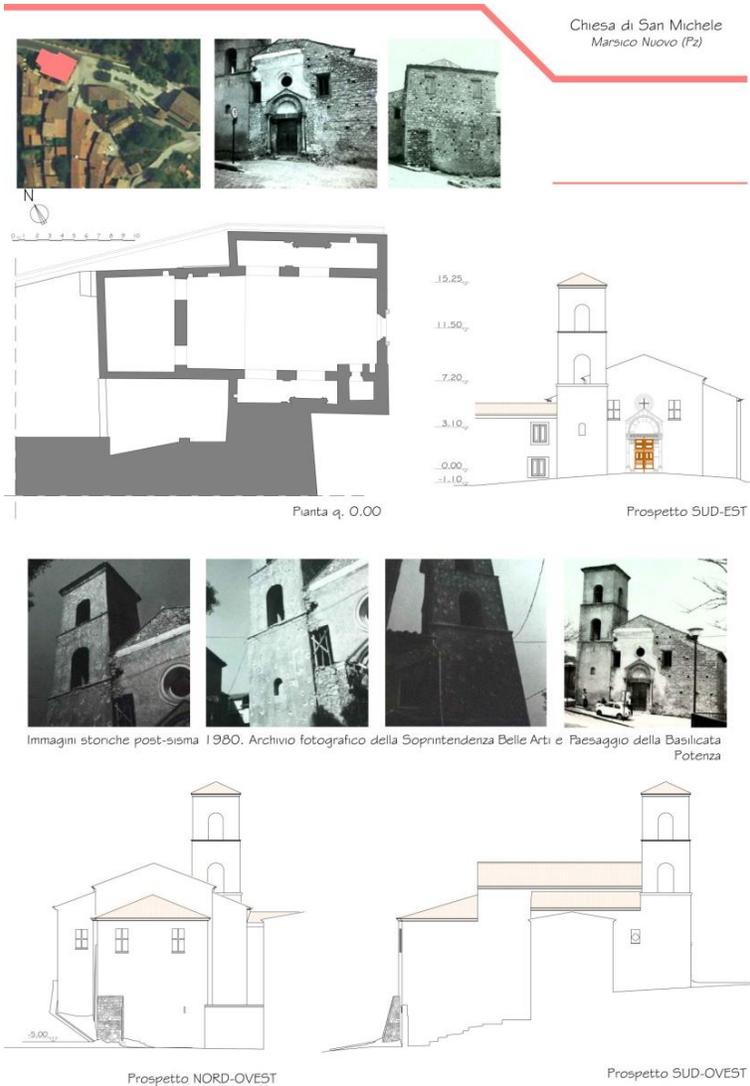


Figura 8. Rilievo architettonico della Chiesa di San Michele a Marsico Nuovo con accluse le fotografie riprese nel post-sisma 1980 (fonte fotografie: Archivio fotografico della Soprintendenza Belle Arti e Paesaggio della Basilicata, Potenza)

## Patrimonio storico-architettonico e salvaguardia

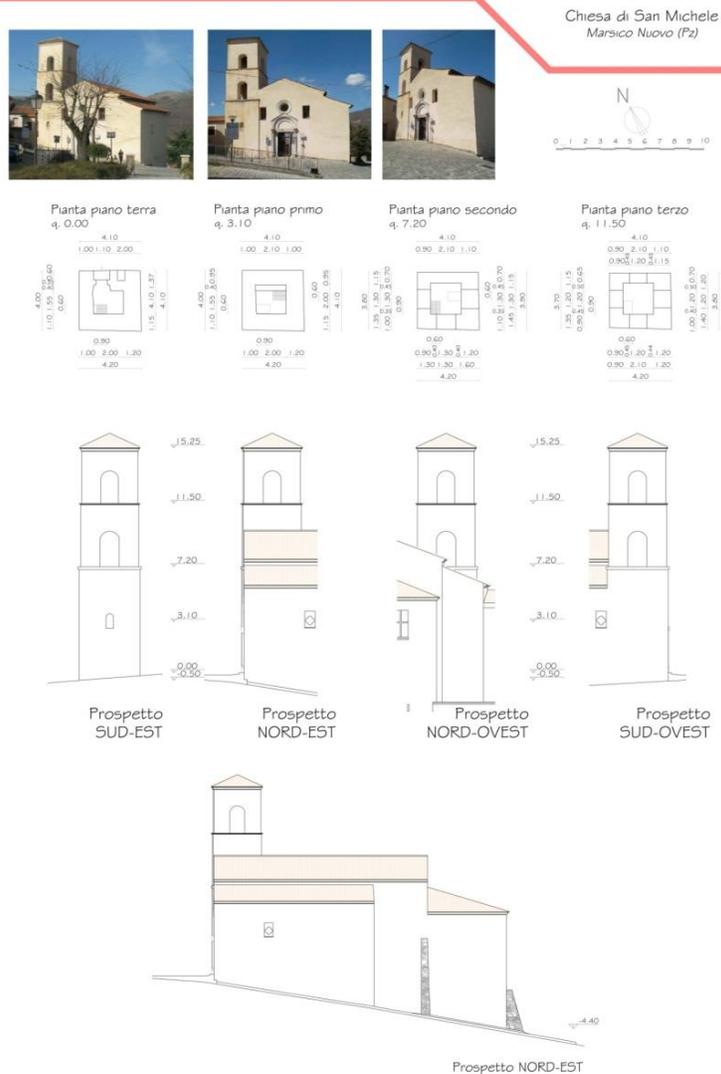


Figura 9. Rilievo architettonico della Chiesa di San Michele a Marsico Nuovo

Il quadro fessurativo appariva generalizzato con dissesti che interessavano anche la struttura del campanile. In particolare modo, si rilevarono lesioni ad andamento verticale sulla facciata principale, deformazioni e lesioni diffuse in copertura, lesioni articolate sulle strutture murarie, interessate da distacco d'intonaco e crolli limitati.

La condizione di degrado conseguente al sisma aveva indotto il Comune ad intervenire tempestivamente con lavori di primo presidio relativi essenzialmente al puntellamento e alla demolizione di tutte le parti pericolanti ed ormai irrecuperabili. Il primo lotto di lavori aveva previsto un primo intervento di preconsolidamento delle murature interessate da degrado e crolli, eseguito tramite iniezioni di miscele cementizie (Sbeap, *Relazione circa i lavori di restauro e consolidamento...*, 1997).

Al termine venne realizzata la struttura di copertura, a falde su capriate lignee e coppi di rivestimento, con il cordolo di sottotetto e la revisione della copertura stessa.

L'intervento generale mirava alla conservazione delle strutture esistenti, al miglioramento delle capacità portanti delle stesse, al consolidamento ed irrigidimento degli orizzontamenti del campanile. Sono state poi ricostruite porzioni di paramenti murari nelle zone interessate da crolli e cedimenti.

Tali murature, oggi difficilmente identificabili perché intonacate, sono state oggetto anche di interventi localizzati di stilatura profonda dei giunti, "scuci-e-cuci" delle zone maggiormente degradate, oltre iniezioni di miscele leganti nel nucleo interno.

Gli orizzontamenti più bassi del campanile sono stati irrigiditi con solette in calcestruzzo armato, spesse 20 cm, mentre il solaio in legno dell'ultimo livello è stato irrigidito mediante posa in opera di tavolato, nonché collegato alla muratura portante con elementi metallici (Sbeap, *Relazione circa i lavori di restauro e consolidamento...*, 1997).

I numerosi e diversificati interventi, eseguiti in molteplici momenti per ripristinare la stabilità dell'impianto, hanno interessato anche le facciate che, parzialmente crollate, sono state ricostruite con rimaneggiamento delle poche aperture, ripristino delle piattabande lesionate, realizzate mediante travi miste acciaio-calcestruzzo, rivestite di intonaco.

Dalle fotografie riprese nel post-sisma (Figura 8) si rileva, infatti, una struttura muraria in pietrame di forma irregolare con contenute variazioni dimensionali dei componenti.

Gli elementi di dimensioni maggiori si alternano ad elementi minuti in modo da ottenere un buon ingranamento e un adeguato sfalsamento dei giunti.

La posa in opera è stata realizzata secondo corsi d'orizzontamento ondulati, localmente sdoppiati e/o convergenti. Si rilevano, inoltre, ridotti frammenti di laterizi e scaglie usati come rinzeppature.

Infine, si rileva un largo uso di fori da costruzione, le cui dimensioni oscillano intorno ad un valore medio di circa  $15 \times 15 - 20 \times 20$  cm<sup>2</sup>, disposti pressoché regolarmente sia in verticale che in orizzontale.

Tali fori sono probabilmente legati all'impiego di passerelle a sbalzo, sorrette da mensole lignee che attraversavano l'intero spessore della parete.

Il fenomeno si ripete lungo tutti i fronti. La distribuzione regolare delle buche puntaie consente di riconoscere aggiustamenti e riparazioni.

### *3.2.3 Frequenza fondamentale da misure di microtremore*

Le misurazioni di microtremore sono state effettuate al terzo piano. Dall'analisi degli spettri emerge un discreto accordo tra i dati ottenuti con le due tecniche di analisi.

In particolare, per la componente N-S si evidenzia una frequenza che oscilla tra 3,0 e 3,2 Hz mentre lungo la direzione E-W si osserva una frequenza di 3,8 Hz coincidente per entrambe le tecniche usate (Figura 10).

Riguardo le misure in *free-field*, l'analisi dei rapporti spettrali H/V non evidenzia picchi significativi, analizzati in accordo con il protocollo SESAME (2004). Pertanto i danneggiamenti conseguenti i terremoti del 1857 e 1980 non sembrano imputabili a fenomeni di amplificazione locale.

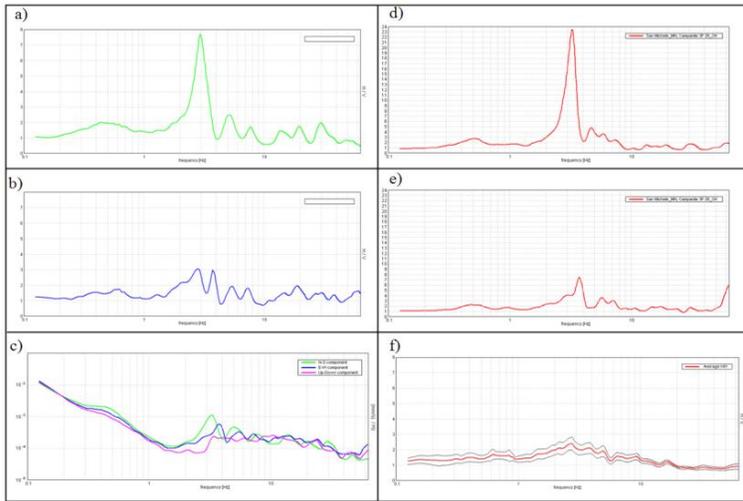


Figura 10. Misure di microtremore effettuate all'interno del campanile della Chiesa di San Michele di Marsico Nuovo (a-e) ed in condizioni di *free-field* (f). La direzione N-S corrisponde alle facciate del campanile parallele alla navata della chiesa. Le frequenze ottenute con la tecnica HVSR (a, rapporto H/V, componente N-S: 3.0 Hz; b, rapporto H/V, componente E-W: 3.8 Hz; c, spettri di ampiezza delle tre componenti) evidenziano un buon accordo con quelle derivanti dall'analisi tramite la metodica HHSR (d, rapporto H/H, componente N-S: 3.2 Hz; e, rapporto H/H, componente E-W: 3.8 Hz). Le frequenze più elevate possono essere identificate a 5.2 e 7.8 Hz, lungo la direzione N-S, ed a 5.5 e 7.3 Hz lungo la direzione E-W. Anche in questo caso, come per il campanile della cattedrale di Potenza, i rilievi effettuati nella stazione in *free-field* non sembrano evidenziare picchi H/V indicativi secondo il protocollo SESAME (2004)

### 3.2.4 Modello ad Elementi Finiti

Il modello a elementi finiti del campanile tiene conto della riduzione di spessore dalla base alla sommità del campanile. Alla base sono stati inseriti vincoli di incastro. Lungo il prospetto sulla facciata principale, fino alla quota di 8 m, e lungo quello laterale, fino alla quota di 5 m, sono stati inseriti ulteriori vincoli che tengono conto del collegamento tra il campanile e le pareti della chiesa. In particolare, nella facciata S-E sono stati vincolati lo spostamento secondo la direzione trasversale e le rotazioni attorno alle direzioni longitudinale e verticale, mentre nella

facciata S-W lo spostamento secondo la direzione longitudinale e le rotazioni attorno alle direzioni trasversale e verticale. Per la muratura di pietrame, la massa specifica adottata nell'analisi è 1,94 t/m<sup>3</sup> e il modulo elastico 1.05 10<sup>6</sup> kN/m<sup>2</sup>. Quest'ultimo è l'estremo superiore dell'intervallo specificato dal DMI (2008) per la muratura in pietrame disordinato.

Le prime sei forme modali sono riportate in Figura 11.

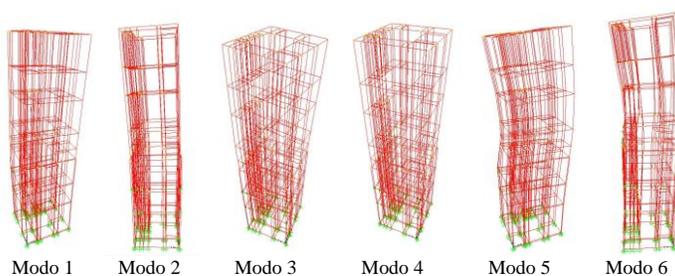


Figura 11. Forme modali del campanile della Chiesa di San Michele di Marsico Nuovo

Modo	Sperimentale		Frequenza (Hz)	Modello EF		$\Delta$ (%)
	Frequenza (Hz)	Direzione		Massa modale efficace / massa totale	Direzione longitudinale	
1	3,0 ÷ 3,2	long.	3,3	0,47	0,00	3÷10
2	3,8	trasv.	3,8	1,01	0,43	0
3	-	-	8,2	0,00	0,00	-
4	-	-	12,7	0,00	0,00	-
5	5,2	long.	14,2	0,15	0,03	173
6	5,5	trasv.	14,8	0,02	0,21	169
	7,3	trasv.	-	-	-	-
	7,8	long.	-	-	-	-

Tabella 2. Analisi modale del campanile della Chiesa di San Michele di Marsico Nuovo

La Tabella 2 riporta i picchi di frequenza rilevati sperimentalmente, con le corrispondenti direzioni, le frequenze modali del modello EF, fino al 6° modo, le masse modali lungo le

direzioni longitudinale e trasversale divise per la massa totale, e la differenza relativa tra le frequenze del modello EF e i picchi di frequenza sperimentali. Si può osservare un buon accordo tra le prime due frequenze del modello EF e i picchi di frequenza sperimentali, con massima differenza relativa del 10% in valore assoluto. I modi 3 e 4 del modello EF sono nella direzione verticale, con frequenze 8.2 e 12.7 Hz, rispettivamente, e non sono rilevati dalle misure sperimentali. Il modo 5 del modello EF è nella direzione longitudinale, con frequenza 14.2 Hz, e il 6 nella direzione trasversale, con frequenza 14.8 Hz. Queste frequenze sono notevolmente distanti da quelle rilevate sperimentalmente, 5.2 Hz nella direzione longitudinale e 5.5 Hz nella direzione trasversale. Va evidenziato che la calibrazione del modello EF è stata condotta variando il modulo elastico e le condizioni di vincolo delle facciate. Si può ipotizzare che una ricalibrazione di questi parametri possa condurre a un migliore accordo tra i risultati del modello EF e le misure sperimentali.

#### 4 - Conclusioni e prospettive

Il contributo ha esposto, attraverso l'analisi di due casi studio, gli esiti preliminari di un'attività di ricerca in corso finalizzata ad investigare le principali caratteristiche dinamiche di una particolare architettura storica: i campanili delle chiese. Lo scopo è di mettere in relazione tali proprietà con la risposta in frequenza dei siti ove tali costruzioni sono ubicate al fine di evidenziare eventuali e potenziali incrementi di effetti di danneggiamento co-sismico in conseguenza di interazioni dinamiche terreno-struttura. Successivo obiettivo è la correlazione tra le proprietà dinamiche derivate dalle prove sperimentali e la modellazione numerica ad elementi finiti.

Allo scopo di evidenziare il percorso metodologico che accompagnerà il prosieguo della ricerca, sono stati qui esposti i risultati relativi alle torri campanarie sia della Cattedrale di San Gerardo di Potenza sia della Chiesa di San Michele di Marsico Nuovo (PZ). Per raggiungere i due obiettivi prefissati, i successivi studi focalizzeranno l'attenzione sulle torri campanarie situate nella regione Basilicata e rientranti in categorie tipologicamente

differenti, considerando soprattutto le caratteristiche costruttive e geometrico-dimensionali.

Due aspetti principali sono stati quindi presi in esame per i due casi studio qui in esame. Il primo riguarda la stima delle frequenze fondamentali dei campanili, derivate da misure dirette di microtremore ambientale e da una loro comparazione con i risultati forniti dai modelli ad elementi finiti. Il secondo riguarda il confronto delle frequenze dei campanili con quelle dei suoli di sedime per valutare eventuali condizioni di rischio.

Per quanto riguarda i risultati si può notare che le frequenze dei campanili stimate attraverso le misure sperimentali ed i modelli numerici sono tra loro confrontabili, in particolare se consideriamo il primo modo di vibrare in ciascuna delle due direzioni principali. L'analisi modale è in grado di riprodurre la frequenza di alcuni modi superiori nel caso del campanile della cattedrale di San Gerardo a Potenza, mentre sussistono rilevanti differenze nel caso del campanile della Chiesa di San Michele di Marsico Nuovo che, a differenza del precedente, è collegato con il corpo principale della chiesa. Inoltre, le frequenze dei campanili, se comparate con quelle dei suoli, sembrano escludere fenomeni di risonanza terreno-struttura e, quindi, un rischio locale maggiore.

## Riferimenti alle citazioni

### Fonti archivistiche

ASPz (Archivio di Stato di Potenza), Intendenza di Basilicata (1806-1860), Affari Vari, Terremoto 1857, Serie Danni nei Comuni, B. 1373, fasc. 118. Elenco delle case e dei muri da demolirsi per imminente pericolo di crollamento, Marsico Nuovo, 25-28 dicembre 1857.

ASPz (Archivio di Stato di Potenza), Intendenza di Basilicata (1806-1860), Affari Vari, Terremoto 1857, B.1360. Relazione dell'Intendenza di Basilicata ai Direttori dei Ministeri dell'Interno e della Polizia sui danni provocati dal terremoto del 16 dicembre 1857 a Potenza e nella sua provincia, Potenza, 21 dicembre 1857.

ASPz (Archivio di Stato di Potenza), Intendenza di Basilicata (1806-1860), Affari Vari, Terremoto 1857, B.1360. Stato de' danni cagionati dal

tremuoto del 16 Dicembre 1857 ai Comuni della suddetta provincia di Basilicata, Potenza, 31 marzo 1858.

SBEAP (Soprintendenza Belle Arti e Paesaggio della Basilicata). Relazione al progetto di rafforzamento statico del Campanile della Chiesa di San Gerardo nel comune di Potenza, Potenza, 26/01/1985.

SBEAP (Soprintendenza Belle Arti e Paesaggio della Basilicata). Relazione circa i lavori di rafforzamento statico del Campanile ed opere di completamento interne alla Chiesa San Gerardo nel comune di Potenza, Potenza, 06/05/1985.

SBEAP (Soprintendenza Belle Arti e Paesaggio della Basilicata). Relazione circa i lavori di somma urgenza della Cattedrale San Gerardo di Potenza, Potenza, 24/09/1997.

SBEAP (Soprintendenza Belle Arti e Paesaggio della Basilicata). Relazione circa i lavori di restauro del 1968/69 della Chiesa di San Michele di Marsico Nuovo, Potenza, s.d..

SBEAP (Soprintendenza Belle Arti e Paesaggio della Basilicata). Relazione circa i lavori di restauro e consolidamento della Chiesa di San Michele di Marsico Nuovo, Potenza, 09/08/1997.

Archivio fotografico della Soprintendenza Belle Arti e Paesaggio della Basilicata, Potenza. Marsico Nuovo (PZ) – Chiesa di San Michele, negativo s.n., numero 1548, collocazione N.F., 23/03/1968; negativo C/2282, numero B - 5721, collocazione N.F., 05/06/1980; negativo C/2282, numero 5025, collocazione N.F., 05/06/1980; negativo C/5718, numero G - 4307, collocazione N.F., 21/09/1987; negativo C/5718, numero G - 4306, collocazione N.F., 21/09/1987; negativo C/5718, numero G - 4303, collocazione N.F., 21/09/1987.

## Bibliografia

Angelini G., *Il terremoto del 1857 nella documentazione dell'Archivio di Stato di Potenza*. In: "Bollettino storico della Basilicata" a cura della Deputazione di Storia Patria della Lucania, Roma 1985.

Buccaro A. (a cura di), *Le città nella storia d'Italia - Potenza, Laterza*, 1980. ISBN: 9788842053781.

Castro R.R., Mucciarelli M., Pacor F., Federici P. and Zaninetti A., *Determination of the characteristic frequency of two dams located in the region of Calabria, Italy*. Bull. Seism. Soc. Am., 88, 2, (1998), 503-511.

CSI (2014) *SAP2000*, <https://www.csiamerica.com/sap2000>.

Decanini L.D., Mollaioli F., *Sull'attenuazione dell'intensità macrosismica in alcune zone sismo genetiche italiane*. In: 8° Convegno Nazionale "L'ingegneria sismica in Italia", Taormina, 21-24 September 1997, pp. 895-902.

DMI (Decreto del Ministro delle Infrastrutture) 14 gennaio 2008. *Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana 2008; 4: Supplemento Ordinario 30.

Gallipoli M.R., Mucciarelli M., Vona M., *Empirical estimate of fundamental frequencies and damping for Italian buildings*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. Vol. 38, Issue 8, (2009), 973-988.

Frattani P., *Sisma 1980 effetti sul patrimonio artistico della Campania e della Basilicata*. Ministero per i Beni Culturali ed Ambientali. Suppl. 3, Bollettino d'Arte, Roma, 1982.

Gizzi F.T. (a cura di), *Il sisma del 23 Novembre 1980 in Basilicata: effetti macrosismici a scala urbana*. Con la Collaborazione di Maria Rosaria Potenza e Cinzia Zotta, Lagonegro, 2010. ISBN 9788895508221.

Gizzi F.T., Masini N., *Historical earthquakes and damage patterns for Potenza (Basilicata, southern Italy)*. Annals of Geophysics 50(5), (2007), 599-611.

Gizzi F.T., Potenza M.R., Zotta C., *23 November 1980 Irpinia-Basilicata earthquake (Southern Italy): towards a full knowledge of the seismic effects*, Bull. Earth. Eng., 10, (2012), 1109-1131. DOI 10.1007/s10518-012-9353-z.

Locati M., Camassi R., Stucchi M. (Eds), *DBMI11, la versione 2011 del DataBase Macrosismico Italiano*. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.

Messina G., *Storie di carta storie di pietre*. Potenza, 1980.

Proietti G. (a cura di), *"Dopo la polvere". Rilevazione degli interventi di recupero post-sismico del patrimonio archeologico, architettonico ed artistico delle regioni Campania e Basilicata danneggiato dal terremoto del 23 novembre 1980 e del 14 febbraio 1981*. Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, Tomo V, Province di Matera e Potenza, Roma, 1994.

Rovida A., Camassi R., Gasperini P., Stucchi M. (Eds), *CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11>.

SESAME-project, *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: measurements, processing and interpretation*.

[ftp://ftp.geo.uib.no/pub/seismo/SOFTWARE/SESAME/ USER-.GUIDE-LINES/SESAME-HV-User-Guidelines.pdf](ftp://ftp.geo.uib.no/pub/seismo/SOFTWARE/SESAME/USER-.GUIDE-LINES/SESAME-HV-User-Guidelines.pdf).

## Archeologia preventiva: il ruolo delle analisi spaziali e del *remote sensing* nei modelli predittivi

*Maria Danese, Marilisa Biscione, Nicola Masini*

### Riassunto

In questo lavoro viene presentata la redazione di uno stato dell'arte relativo alle applicazioni delle ICT, in particolare il telerilevamento e i Sistemi Informativi Geografici, all'archeologia preventiva. Nello specifico il lavoro, partendo dall'importanza dell'archeologia preventiva nell'ambito sia della ricerca scientifica che della pianificazione urbanistica e territoriale, vuole sottolineare come tali strumenti possano essere fondamentali non solo quali strumenti di supporto alle decisioni per la valutazione del potenziale archeologico di un territorio, ma anche per ottenere e gestire un maggior quantitativo di informazioni rispetto ai metodi classici.

### 1 - Introduzione

Quello dei rinvenimenti archeologici durante la realizzazione di grandi infrastrutture è sempre stato, anche in Italia, un tema molto delicato e controverso. Sin dagli inizi del XX secolo siti più o meno estesi sono stati sacrificati alle esigenze di sviluppo urbanistico - territoriale, in totale assenza di pianificazione e senza rilievi e immagini che documentassero le vestigia distrutte. La già grave mancanza di equilibrio tra la salvaguardia del Patrimonio archeologico (allora non ancora inteso dal punto di vista paesaggistico) e l'impegno a trovare risposte efficaci alle esigenze legate ai grandi cantieri pubblici è stata per lungo tempo inasprita dal vuoto legislativo esistente in merito.

Questa situazione ha fatto sì che il tema dell'archeologia preventiva guadagnasse l'introduzione di una specifica norma nel Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio e di successive disposizioni di legge che, nonostante il ritardo rispetto allo

scenario internazionale, hanno il merito di far luce sui numerosi aspetti controversi, dalla terminologia alla metodologia operativa. Si evidenzia la necessità di valutare il potenziale archeologico di un territorio prima dell'apertura dei grandi cantieri pubblici, e si stabilisce in quale maniera: non basta redigere un inventario dei dati disponibili, per quanto eterogenei, ma è fondamentale sfruttare tecnologie diagnostiche innovative per l'individuazione di tracce altrimenti 'invisibili', dalle prospezioni geofisiche all'utilizzo di analisi spaziali e al trattamento di immagini satellitari e aeree per la creazione di modelli predittivi. I modelli predittivi sono uno strumento che può essere usato a questo scopo e le *Information Computer Technologies*, in particolare il telerilevamento e i Sistemi Informativi Geografici danno la possibilità di ottenerne di sempre più ricchi ed efficaci: il primo offre la possibilità di effettuare indagini non invasive, i secondi un supporto alla redazione della documentazione richiesta, ma soprattutto la possibilità di combinare fattori eterogenei, per una lettura innovativa e una mappa del territorio più funzionale, di supporto alle decisioni.

## 2 - L'archeologia preventiva

Villaggi neolitici, strade, centuriazioni, ville romane, insediamenti fortificati medievali, necropoli, masserie, tratturi della transumanza e luoghi di culto: questi sono solo alcuni esempi di ciò che può celarsi dietro le innumerevoli tracce degli antichi paesaggi stratificatisi nel tempo e custodite dal paesaggio attuale.

A tal proposito archeologia preventiva e tutela del paesaggio rappresentano due fondamentali aspetti di quella disciplina che indaga i passati assetti territoriali ed interpreta l'evoluzione delle dinamiche uomo-ambiente: l'archeologia del paesaggio<sup>1</sup>. Definita "studio archeologico del rapporto tra le persone e l'ambiente nell'antichità e dei rapporti tra la gente nel contesto dell'ambiente in cui abitava"<sup>2</sup> si occupa di indagare fattori ambientali e relazioni sociali, estendendo il proprio ambito di ricerca alla comprensione dell'organizzazione del territorio in un dato momento. Dovendo indagare continuità e cambiamenti del

paesaggio archeologico, all'interpretazione sincronica si aggiunge poi anche quella diacronica.

In particolare, l'archeologia preventiva ha lo scopo di conciliare l'esigenza di tutela del Patrimonio archeologico con le necessità operative delle attività che comportano lavori di scavo. I primi grandi lavori di archeologia preventiva in Europa si svolsero a Londra già dal secondo dopoguerra, in occasione degli scavi di ampliamento della metropolitana.

La forte reazione dell'opinione pubblica alla distruzione del sottosuolo archeologico londinese portò, già nel 1991, alla fondazione del *Museum of London Archaeology Service* (MoLAS), un istituto pubblico che oggi ha in carica maggior parte dei lavori di archeologia urbana e preventiva inglese (De Caro, 2008). Il termine "*archéologie préventive*" è tuttavia ufficialmente utilizzato per la prima volta solo nel giugno 1979, per giunta in Francia, da Jacques Lasfargues: anche qui la mobilitazione popolare di quegli anni a seguito della distruzione di numerosi siti archeologici nei cantieri delle grandi infrastrutture, ha portato ad una sempre maggiore consapevolezza nella gestione della questione fino alla nascita, nel 2001, di un apposito istituto pubblico: l'*Institut National des Recherches Archéologiques Préventives* (INRAP) (Demoule, 2012). Molto alto anche in Italia il prezzo da pagare in termini di distruzione del Patrimonio archeologico, sacrificato alle esigenze propagandistiche di regime (si pensi a via dei Fori Imperiali, voluta e realizzata durante il periodo fascista) o al dilagante sviluppo urbanistico delle nostre città nel dopoguerra.

Una prima specifica direttiva a tutela delle aree già soggette a vincolo archeologico viene emanata durante gli anni '80<sup>3</sup>: l'amministrazione pubblica committente ha l'obbligo di richiedere un consulto preliminare, in fase di progettazione, alla Soprintendenza. Successivamente la necessità di allargare la tutela anche alle aree non vincolate, resa impellente dall'apertura dei grandi cantieri di infrastrutture pubbliche (ferrovie per Treni ad Alta Velocità, metropolitane) ma non supportata ancora da nessuna norma legislativa, induce i vari Soprintendenti ad attivarsi autonomamente nella definizione di metodologie adatte, scaturite e sperimentate durante l'attività sul campo ed ispirate ai documenti internazionali quali la *Carta ICOMOS*

(1990) e la *Convenzione Europea per la Salvaguardia del Patrimonio Archeologico* (1992)(De Caro, 2009). Questa situazione tutta italiana trova corrispondenza nella confusione che per anni ha caratterizzato la terminologia del settore: l'attività delle Soprintendenze veniva appunto definita "di emergenza", mentre il metodo "predittivo" indicava una linea di ricerca di tipo prettamente accademico(D'Andrea e Guermandi, 2008). Con le disposizioni di legge varate successivamente, si introducono concetti e definizioni più corretti, come quelli di *rischio* e *valutazione/carta del potenziale archeologico*<sup>4</sup>. Soprattutto, si definisce un metodo concreto ed efficace per la tutela del Patrimonio archeologico italiano, assicurando al tempo stesso maggiori garanzie su tempi e costi di lavoro nei cantieri pubblici. Nel 2004 con l'art. 28 del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio si stabilisce che "in caso di realizzazione di opere pubbliche ricadenti in aree di interesse archeologico il soprintendente può richiedere l'esecuzione di saggi archeologici preventivi sulle aree medesime a spese del committente dell'opera pubblica". La norma viene dettagliata con la L. 109 del 25.06.2005 che disciplina la verifica preventiva dell'interesse archeologico, nello specifico l'obbligo di trasmettere prima dell'approvazione al soprintendente territorialmente competente copia del progetto preliminare dell'intervento, insieme alle indagini archeologiche e geologiche preliminari [...] con particolare attenzione ai dati di archivio, ricognizioni sul terreno, alla lettura della geomorfologia del territorio, nonché alla fotointerpretazioni per le opere a rete". Non solo. Come previsto dalla normativa archeologica appena indicata, dal Codice dei Contratti Pubblici (D. Lgs 163/2006) e dal suo Regolamento di esecuzione ed attuazione, la Verifica Preventiva di Interesse Archeologico e la Verifica di Interesse Archeologico devono accompagnare tutte le fasi del progetto di una opera pubblica (preliminare, definitivo ed esecutivo) e deve essere realizzata congiuntamente ad un documento di Valutazione del Rischio Archeologico.

Più nello specifico nella prima fase, che è lo studio di fattibilità, devono essere verificati i vincoli paesaggistici, ambientali, storici e archeologici e le misure di salvaguardia di questi. Tra gli elaborati richiesti, oltre ai dati bibliografici,

devono essere presenti quelli relativi ad indagini preliminari storiche ed archeologiche e gli esiti, in termini di una relazione illustrativa del progetto preliminare e della redazione di una carta archeologica.

In una seconda fase invece l'archeologo deve realizzare una relazione archeologica nella quale siano presenti gli approfondimenti effettuati a seguito del progetto preliminare e dell'indagine diretta. Va quindi presentata una mappatura delle aree di rischio archeologico elevato, medio, basso (Documento di Valutazione del Rischio Archeologico).

### 3 - I modelli predittivi

In archeologia i primi passi verso una metodologia di studio che tenga conto della trasformazione dei siti archeologici in relazione alle dinamiche ambientali e socio-culturali risalgono agli anni '60 del XX secolo, epoca del rinnovamento metodologico - scientifico della disciplina proposto dalla *New Archaeology*.

Nel decennio successivo si diffonde l'uso di "modelli" che, illustrati come paradigmi, sono di tipo morfologico, antropico, ecologico (studio dell'insediamento in relazione con l'ambiente), geografico (studio spaziale dell'insediamento) (Forte, 2002).

Dal punto di vista più strettamente metodologico numerosi sono i riferimenti alla geografia locazionale (studio dei modelli spaziali), in particolare ai Poligoni di Thiessen, alla *Central Place Theory*, e dalla *Site Catchment Analysis*. La *Central Place Theory* era stata elaborata negli anni '30 da Christaller, geografo tedesco che, analizzando una serie di centri della Germania meridionale e la loro distribuzione, individuò un modello ricorrente costituito da una cellula esagonale in cui gli stessi si ordinavano secondo una triplice gerarchia, di mercato, di traffico e amministrativo.

La *Site Catchment Analysis* invece, corrisponde all'analisi del "bacino di cattura" del sito, ossia al territorio relativo ad un sito archeologico rilevabile da molteplici fonti di informazione: dati paleoambientali, faunistici, pedologici, geologici, uso del suolo, destinazione d'uso dei terreni.

Questo tipo di analisi, ispirata dal geografo Von Thunen e perfezionata dal paleontologo Higgs e dal geologo Vita-Finzi, studia la distribuzione delle aree di approvvigionamento rispetto alla posizione delle aree insediative. (Vita Finzi e Higgs) condussero delle ricerche nell'Italia meridionale, e calcolarono che l'area di pertinenza di un insediamento preistorico sfruttata per la caccia e la raccolta potesse trovarsi a due ore circa di cammino dal sito, mentre quelle destinate alla coltivazione ad una sola ora di cammino.

Un aspetto fondamentale, preso in considerazione solo successivamente, ha riguardato la dimensione sociale del paesaggio, ed ha comportato una reazione all'astrazione dei modelli spaziali degli anni '60 e '70 di stampo anglosassone che prendevano spunto dalle analisi spaziali della geografia.

Si prende in pratica coscienza del fatto che l'uomo, più che considerare l'ambiente semplice sfondo alle sue interazioni, viva all'interno del paesaggio: Tilley (1994), contrario alla esclusiva concentrazione delle interpretazioni sugli aspetti ambientali, sottolinea come oltre alle relazioni di tipo funzionale che possono motivare le scelte insediative e produttive vanno prese in considerazione anche "l'aspetto simbolico ed il ruolo della memoria sociale".

I modelli predittivi si inseriscono nell'archeologia del paesaggio (landscape archaeology), terminologia utilizzata da diversi autori (Anschuetz *et al.*, 2001; Ashmore e Knapp, 1999; Sever e Irwin, 2003) nell'ultimo trentennio. L'archeologia dei paesaggi studia le relazioni tra l'uomo e l'ambiente naturale e costruito (Vaughn e Crawford, 2009).

Ogni paesaggio viene considerato come composto da un insieme infinito di fenomeni ed ogni fenomeno diventa indicatore delle trasformazioni culturali di quella regione (Niknami, 2007).

Di conseguenza, come sintetizzato da Podobnikar *et al.* (2001) i modelli predittivi in archeologia si fondano sul principio per cui, partendo dalla nostra conoscenza dei siti archeologici già noti, sia possibile utilizzare tali siti come test empirico per capire quali fattori hanno influenzato la loro posizione nello spazio. Vengono studiate le relazioni esistenti tra ambiente naturale, sociale e la posizione del sito, al fine di esplicitare le regole insediative che saranno poi usate all'interno del modello.

#### 4 – Il *remote sensing* nei modelli predittivi

Alla base del processo di costruzione dei modelli predittivi vi è l'osservazione del territorio e del paesaggio con metodi e tecnologie di *remote sensing*, ovvero di rilevamento e misura a distanza dell'energia elettromagnetica irradiata verso sensori posti, generalmente, su piattaforma aerea e satellitare. I sensori si dividono in passivi ed attivi.

I primi consentono di misurare la radiazione solare riflessa o emessa dalla superficie osservata. Si tratta di sensori ottici quali, camere fotografiche tradizionali, termocamere, radiometri multi ed iperspettrali, che acquisiscono dati dalle bande del visibile all'infrarosso termico.

I secondi trasmettono verso le superfici indagate le radiazioni elettromagnetiche e misurano l'intensità e il tempo dell'eco di ritorno. Si tratta dei sensori LiDAR (acronimo di *Light Detection and Ranging*) posti su piattaforma terrestre e aerea e Radar ad apertura sintetica (SAR) su piattaforma aerea e satellitare. L'applicazione di tali tecnologie è finalizzata ad ottenere e interpretare informazioni sull'interazione uomo-ambiente di potenziale interesse culturale.

Dagli inizi del '900 fino agli anni' 80 del secolo l'unica modalità di osservazione remota di supporto all'archeologia preventiva è stata la fotografia aerea, che è stata alla base di una vera e propria disciplina, chiamata archeologia aerea (Crawford, 1929; Wilson, 1982).

L'archeologia aerea, ancora in uso, ha consentito di scoprire straordinari tesori, monumenti e paesaggi sepolti grazie alla capacità, già dei primi pionieri, di analizzare e interpretare anomalie della vegetazione, del contenuto di umidità e microrilievi relativi ad opere di trasformazione del suolo (fossati, pozzi) e strutture sepolte di interesse culturale.

I marker archeologici più impiegati sono quelli relativi alle tracce di accrescimento differenziale della vegetazione (i cosiddetti *crop-marks*, Figura 1), le tracce su suolo nudo (*soil-marks*), i microrilievi (o *shadow-marks*) e le variazioni locali di umidità (*damp-marks*). Essi costituiscono la manifestazione visibile in superficie dell'interazione fisica, pedologica e topografica tra depositi archeologici e il loro intorno.

Ulteriori opportunità di discriminare tracce e anomalie di interesse archeologico sono offerte da sensori multispettrali ad alta risoluzione su piattaforma satellitare (Lasaponara e Masini, 2012; Comer & Harrower, 2013) quali QuickBird (2001), GeoEye (2008), Pleiades (2013) che acquisiscono dati pancromatici ad una risoluzione compresa tra 41cm e 60cm e dati multispettrali, nelle bande del blue, verde, rosso e vicino infrarosso, con risoluzione geometrica pari a quattro volte quella dei rispettivi dati pancromatici. Le caratteristiche multispettrali di tali dati consentono di operare una serie di elaborazioni basate sul calcolo di indici spettrali, tra i quali il *Normalized Difference Vegetation Index* capace di enfatizzare le variazioni di riflettanza della vegetazione indotte dalla presenza di strutture o fossati sepolti (Lasaponara & Masini, 2006).



Figura 1. Foto aerea: particolare di *crop marks* relativi ad un insediamento neolitico interrato in Provincia di Foggia

Approcci basati su tecniche di classificazione supervisionata o non supervisionata, metodi *object oriented* consentono di estrarre in maniera semiautomatica *feature* e *pattern* di interesse archeologico (De Laet, 2007; Rowlands e Sarris, 2007; Ciminale *et al.*, 2009; Trier, 2009).

Il telerilevamento ottico di tipo passivo non consente di coprire tutta la casistica di potenziali risorse archeologiche da individuare e predire. Innanzitutto non è in grado di rilevare siti

archeologici in elevato o sepolti in aree coperte dalla vegetazione. Inoltre, in aree non vegetate e caratterizzate da una topografia accidentata, l'effetto ombra rende difficile l'individuazione di tracce di interesse archeologico specie se associate alla presenza di microrilievi.

E' ciò che tipicamente si riscontra in siti collinari e montuosi. Qui l'erosione impedisce il completo interrimento di siti, strutture e terrapieni di interesse archeologico, lasciando in superficie materia costruttiva, in forma caotica, e microrilievi.

In tali casi, il LiDAR (Figura 2) ha dato prova della sua efficacia nell'individuazione di *features* archeologici (Doneus *et al.*, 2008; Masini *et al.*, 2011; Opitz & Dave, 2013):

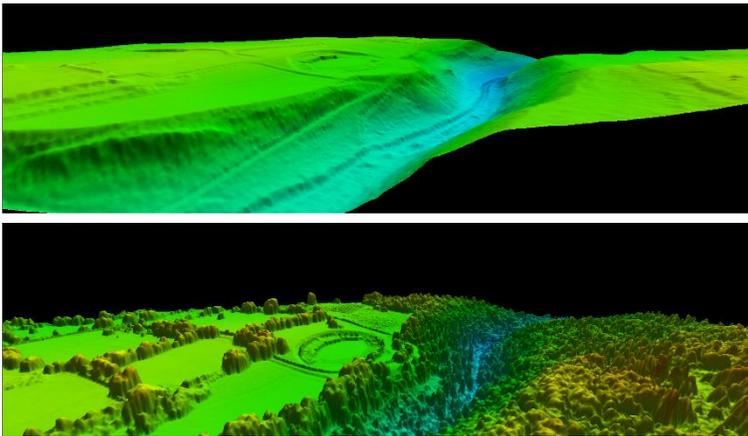


Figura 2. Particolare del sito archeologico di Grumentum nel DTM (in alto) e nel DSM (in basso) ottenuto dal rilievo LiDAR

i) sia in presenza di vegetazione, grazie alla possibilità di penetrare nella vegetazione e di filtrarla attraverso la rimozione delle nuvole dei punti riflessi da alberi ed arbusti;

ii) sia in assenza della stessa, sfruttando l'elevata accuratezza e risoluzione dei modelli digitali che si ottengono.

Ai fini del riconoscimento di *feature* archeologici una tecnologia ancora tutta da esplorare è quella del SAR (Figura 3).



Figura 3. Metaponto: dettaglio che con l'area templare e paleoalvei visto da un'immagine satellitare Pleiades in falsocolore (sx) e un'immagine SAR CosmoSkyMed (Enhanced Spotlight) (dx)

Qualche promettente risultato si intravede per l'individuazione sia di microrilievi, utile per la ricostruzione della forma urbana di siti semisepolti, mediante *backscattering* diffuso

del segnale radar, che di aree umide, sfruttando la sensibilità del radar alle caratteristiche dielectriche del suolo (Chen *et al.*, 2015).

La capacità di successo delle tecnologie di osservazione della terra è legata a numerose variabili connesse al tipo di terreno, alla presenza o meno di vegetazione e di umidità, al periodo di acquisizione, alle caratteristiche dei materiali costruttivi, alla dimensione e forma dei depositi archeologici sepolti, e infine, alle caratteristiche morfologiche delle superfici.

Ciò suggerisce l'adozione di una strategia di acquisizione e di analisi dei dati di tipo multitemporale, multiscala e multisensore, con un aumento della complessità delle elaborazioni da effettuare, in una logica di integrazione.

Pertanto è necessaria la conoscenza approfondita del problema (predizione archeologica), con particolare riferimento alle caratteristiche dei target da individuare (*feature* archeologici), del loro intorno (caratteristiche dei suoli, geomorfologia, etc.), dei fattori ambientali e culturali che, epoca per epoca, possano aver favorito o ostacolato/limitato la presenza di insediamenti umani.

A tal fine è necessario operare con una visione olistica del problema, basata sull'interdisciplinarietà, che consenta attraverso opportuni modelli (v. paragrafo 5) di individuare pattern spazio-temporali e predire dunque possibili scenari storico-insediativi utili non solo per la conoscenza ma anche per l'archeologia preventiva di supporto alla pianificazione territoriale.

## 5 - Le analisi spaziali nei modelli predittivi

Gli usi principali che si fanno con i Sistemi Informativi Geografici, grazie all'uso delle analisi spaziali nei modelli predittivi sono due.

Il primo è di tipo pratico ed è finalizzato a mappare le aree maggiormente sensibili all'interno di un territorio, per proteggere i beni archeologici. Il secondo è di tipo accademico ed è congiunto alla volontà di effettuare la ricostruzione del passato, pertanto è finalizzato a comprendere meglio gli insediamenti sulla base dei parametri insediativi.

Dal punto di vista tecnico, due sono le principali caratteristiche che differenziano i modelli: 1) il metodo 2) i parametri usati.

Per quanto riguarda i metodi i più utilizzati in letteratura fanno ricorso alla statistica, usando ad esempio le catene di Markov, la *belief theory* di Dempster-Shafer (Canning, 2005), la regressione lineare o logistica, l'analisi multi-frattale (Zhongxuan *et al.*, 2011). Altri lavori usano invece metodi più semplificati, ovvero le *zonal functions* della *map algebra*.

Per quanto riguarda la scelta dei parametri, in letteratura ne esiste una grande varietà. In particolare i parametri di base usati nei modelli di archeologia predittiva sono le caratteristiche dei suoli, la quota e la presenza di risorse idriche (Brandt *et al.*, 1992).

Altri parametri meno usati sono (Garcia, 2013; Stanè and Kvamme, 1999; Verhagen, 2007):

- esposizione al sole, ovvero il numero medio di ore di luce solare ricevuta da un sito e le sue medie stagionali ed annuali;
- presenza di vegetazione o accumulo di sedimenti, che provocano l'oscuramento della superficie visibile;
- distanza da diversi elementi quali la costa e i rilievi;
- distanza euclidea o *cost distance* tra siti;
- analisi ed indici di visibilità;

Mentre i primi tre vengono considerate come variabili ambientali, gli ultimi due vengono considerate variabili sociali.

Ovviamente la scelta dei parametri è calibrata anche in funzione del periodo storico cui si fa riferimento nella ricerca. Essa avviene con due modalità: deduttiva ed induttiva. Con la modalità deduttiva le regole di localizzazione sono derivate da un approccio di tipo teorico e dalla conseguente conoscenza teorica dei siti archeologici, dai quali si cerca di dedurre le dinamiche insediative e gli usi del suolo del passato. Con la modalità induttiva le regole da inserire nel modello vengono invece estratte dal *dataset* disponibile (Stanè and Kvamme, 1999). Diventa pertanto fondamentale il dataset archeologico di base che può essere costituito dal database dei siti noti ufficialmente, dall'insieme di dati raccolti durante eventuali

ricognizioni archeologiche e auspicabilmente dall'analisi di immagini satellitari (Ciminale *et al.*, 2009).

## 6 – Considerazioni finali

Il bisogno di salvaguardare il paesaggio archeologico può essere oggi aiutato dalle diverse tecnologie disponibili, il *remote sensing* e le analisi spaziali nell'ambito dei Sistemi Informativi Geografici.

Questi infatti sono in grado di fornire un ottimo supporto, sia alla ricerca scientifica e agli studi del settore, sia alle decisioni nell'ambito delle discipline mirate alla salvaguardia del patrimonio quali la pianificazione. È chiaro che la conoscenza archeologica è la base imprescindibile su cui fondare l'uso di tali tecnologie, altrimenti lo sviluppo del modello analitico "più bello" e l'uso dei dati satellitari anche ad alta risoluzione risulterebbero un puro esercizio analitico.

Allo scopo di una maggiore efficacia ed utilità nell'uso delle citate tecnologie è anche fondamentale prevedere una fase, spesso trascurata, di post-modellazione, in cui effettuare una verifica sul territorio, utile a validare i risultati ottenuti con il calcolatore.

## Note

1. Secondo la Convenzione Europea Del Paesaggio, Art.1, 2000, quest'ultimo è quella "determinata parte di territorio così come è percepita dalle popolazioni, il cui carattere deriva dall'azione di fattori naturali e/o umani e dalle loro interrelazioni".

2. Si veda Barker 1986, anche per una sintesi delle ricerche in Italia e in area mediterranea della scuola britannica, che ha il merito di aver avviato e condotto con rigore metodologico ricerche, dibattiti, confronti.

3. Si tratta di due circolari della Presidenza del Consiglio dei Ministri, del 20/04/1982 e del 24/06/1982.

4. art. 28, comma 4, del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio; art. 95 del D.Lgs. 12 aprile 2006, n. 163, "Codice degli appalti", e s.m.i.; art. 2-ter del D.L. 26 aprile 2005, n. 63, convertito nella L. 25 giugno 2005, n. 109.

## Bibliografia

Anschuetz K.F., Wilshusen R.H., Scheik C.L., *An archaeology of landscapes: perspectives and directions*. Journal of Archaeological Research 9 vol.2 (2001) 157-211.

Ashmore W., Knapp A.B. (Eds.), *Archaeologies of landscape: Contemporary perspectives*. Malden, MA: Blackwell Publishers 1999.

Barker G., *L'archeologia del paesaggio italiano: nuovi orientamenti e recenti esperienze*, 1986.

Brandt R., Groenewoudt B.J., Kvamme K.L., *An experiment in archaeological site location: modeling in the netherlands using gis techniques*. World Archaeology, Analytical Field Survey 2 vol.24 (1992) 268-282.

Canning S., *'BELIEF' in the past: Dempster-Shafer theory, GIS and archaeological predictive modelling*. Australian Archaeology 60 (2005) 6-15.

Chen F., Lasaponara R., Masini N., *An overview of satellite synthetic aperture radar remote sensing in archaeology: From site detection to monitoring*, Journal of Cultural Heritage (2015).

Christaller W., *Die Zentrale Orte in Sueddeutschland*, Jena (1930). Trad. It. Le località centrali della Germania meridionale, Angeli, Milano (1980).

Ciminale M., Gallo D., Lasaponara R., Masini N., *A Multiscale Approach for Reconstructing Archaeological Landscapes: Applications in Northern Apulia (Italy)*. Archaeol. Prospect. 16 (2009) 143-153.

Comer D.C., Harrower M.J. (ed.), *Mapping Archaeological Landscapes from Space*. Springer: New York 2013.

Crawford G.S., *Air Photography for Archaeologists*, Ordnance Survey Professional Papers, new series, 12, HMSO, Southampton, 1929.

D'Andrea A., Guermandi M.P., *Prevenire...per meglio combattere*. In D'Andrea A., Guermandi M.P. (eds.) *Strumenti per l'archeologia preventiva: esperienze, normative, tecnologie*. Archaeolingua, Budapest (2008).

De Caro S., *Archeologia preventiva, lo stato della materia in Strumenti per l'archeologia preventiva: esperienze, normative e tecnologie*. ISBN 978-963-8046-96-3 Published by Archaeolingua Budapest 2008.

De Caro S., *Archeologia preventiva, lo stato dell'arte*. In *Boll. Italia Nostra* 444 (2009).

De Laet V., Paulissen E., Waelkens M., *Methods for the extraction of archaeological features from very high-resolution Ikonos-2 remote sensing imagery, Hisar (southwest Turkey)*. Journal of Archaeological Science 34 (2007) 830-841.

Demoule J.P., *Rescue Archaeology: A European View*. Annual Review of Anthropology 41 (2012) 611-626.

Doneus M., Briese C., Fera M., Janner M., *Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning*. Journal of Archaeological Science, 4 vol.35 (2008) 882-893.

Forte M., *I Sistemi Informativi Geografici in Archeologia*, 2002.

Garcia A., *GIS-based methodology for Palaeolithic site location preferences analysis. A case study from Late Palaeolithic Cantabria (Northern Iberian Peninsula)*. Journal of Archaeological Science 40 (2013) 217-226.

Lasaponara R., Masini N. (Eds), *Satellite Remote Sensing: a new tool for Archaeology*, Springer, Verlag Berlin Heidelberg 2012.

Lasaponara R., Masini N., *Identification of archaeological buried remains based on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from Quickbird satellite data*, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 3 vol. 3, (2006) 325-328.

Masini N., Coluzzi R., Lasaponara R., *On the airborne lidar contribution in archaeology: from site identification to landscape investigation*, in: Laser Scanning, Theory and Applications, Chau-Chang Wang (Eds.), Publisher Intech, (2011) 263-290.

Niknami K.A., *A Stochastic Model to Simulate and Predict Archaeological Landscape Taphonomy: Monitoring Cultural Landscapes Values Based on an Iranian Survey Project*. Archeologia e Calcolatori 18 (2007) 101-120.

Opitz R., Dave C. (ed.), *Interpreting Archaeological Topography: 3D data, visualization and observation*. Oxbow, Oxford 2013.

Podobnikar T., Veljanovski T., Stanèè Z., Oštir K., *Archaeological Predictive Modelling. Cultural Resource Management*. In: Konečný, M. (ed): GI in EUROPE: integrative - interoperable - interactive. Proceedings of 4th Agile Conference on Geographic Information Science, April 19-21 2001, Brno (2001) 535-544.

Rowlands A., Sarris A., *Detection of exposed and subsurface archaeological remains using multi-sensor remote sensing*. Journal of Archaeological Science 34 (2007) 795-803.

Sever T.L., Irwin D.E. *Landscape archaeology: remote-sensing investigation of the ancient Maya in the Peten rainforest of northern Guatemala*. Ancient Mesoamerica 14 (2003) 113-122.

Stanèè Z., Kvamme, K., *Settlement Pattern Modelling through Boolean Overlays of Social and Environmental Variables*. In Barcelo, J.A., Briz, I., Vila, A. (eds.), New Techniques for Old Times, CAA 98, BAR International Series 757 (1999) 231-237.

Thünen J. H. von, *Isolated state; an English edition of Der isolierte Staat*. Translated by Carla M. Wartenberg. Edited with an introd. by Peter Hall, Oxford, New York, Pergamon Press (1966).

Tilley C., *The Phenomenology Of Landscape* 1994.

Trier Ø.D., Larsen S.O., Solberg R., *Automatic detection of circular structures in high-resolution satellite imagery of agricultural land*. *Archaeological Prospection* 16 (2009) 1-15.

Vaughn S., Crawford T., *A predictive model of archaeological potential: An example from northwestern Belize*. *Applied Geography* 29 vol.4 (2009) 542-555.

Verhagen P., *Testing archaeological predictive models: a rough guide*. In A. Posluschny, K. Lambers & I. Herzog (eds.): *Layers of Perception*. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Berlin, Germany, April 2-6, 2007. *Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte*, Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn, vol. 10. (2007) 285-291

Vita Finzi C., Higgs E.S., *Prehistoric Economy in the Mount Carmel Area of Palesine: Site Catchment Analysis*. Proceedings of the Prehistoric Society, vol. XXXVI, Cambridge (1970) 1-35.

Wilson D.R., *Air photo interpretation for archaeologists*. London, St. Martin's Press, 1982.

Zhongxuan L., Gang H., Cheng Z., *Multi-fractal analysis on Neolithic Sites around the Sanxia Reservoir Area*. *Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE)*, International Conference on, 24-26 June 2011.

## Modelli predittivi per un'archeologia preventiva operativa: note metodologiche e applicazioni

Maria Danese, Marilisa Biscione, Nicola Masini

### Riassunto

Il presente lavoro, nell'ambito della tematica *Analisi avanzate dell'informazione geografica per la gestione del patrimonio archeologico e del paesaggio*, mostra un insieme di tecniche utilizzate e casi di studio seguiti, relativi allo sviluppo di alcuni modelli applicati in ambiti territoriali diversi e con finalità diverse.

Più nello specifico tali esempi riguardano lo studio di dinamiche insediative nel bacino idrografico del rio Grande di Nazca, lo studio dell'epoca romana in Basilicata tramite tecniche di analisi spaziale applicate a scala regionale ed infine la costruzione di un metodo per l'individuazione di aree di sensibilità archeologica nel Tavoliere.

### 1 - Introduzione

Le analisi spaziali e la modellazione analitica in ambito archeologico offrono un contributo per l'individuazione di vulnerabilità territoriale nei processi di valutazione del rischio derivante da rischi naturali o antropici (Danese *et al.*, 2013, Danese *et al.*, 2014 a) pertanto diventano strumento non solo per la ricerca archeologica ma anche per la pianificazione urbanistica e territoriale.

Più nello specifico, nell'archeologia preventiva, dal punto di vista operativo, le fasi fondamentali per la realizzazione di modelli predittivi utili ed efficaci sono tre: 1) la creazione di un GIS strutturato *ad hoc*, contenente il database spaziale dei siti già noti in letteratura e i diversi strati informativi relativi ai parametri territoriali ed ambientali dell'area di studio (DEM, pendenze, esposizione, ecc.); 2) la scelta dei fattori "includenti"

ed "escludenti" la presenza di aree di sensibilità archeologica desunta tramite lo studio delle fonti, il calcolo di statistiche ambientali e la ricerca dei relativi parametri caratterizzanti e delle relazioni spaziali nella distribuzione dei siti conosciuti; 3) infine, il calcolo dei risultati e la validazione del modello.

In questo contributo, dopo aver introdotto alcune delle tecniche di analisi spaziale che è possibile considerare nella realizzazione di modelli predittivi, sono presentati degli esempi relativamente alla fase 2 di questo processo, ovvero relativamente alla scelta di parametri e alla creazione di modelli utili all'archeologia preventiva e alla lettura delle dinamiche territoriali negli insediamenti del passato.

I tre casi di studio presentati sono quelli affrontati durante le attività svolte nell'ambito del progetto PRO CULT - *Advanced Methodological approaches and technologies for protection and Security of Cultural Heritage*, finanziato dal programma operativo FESR Basilicata 2007-2013: 1) i *puquios* di Nazca (Perù), 2) l'epoca romana in Basilicata e 3) i siti neolitici del Tavoliere (Puglia).

## 2 – Metodi

I metodi di analisi spaziale sono basati sui concetti chiave di *Location*, *Distance*, *Direction*, *Pattern*, *Density* e *Dimension*, fondamentali per la lettura e la comprensione delle dinamiche insediative umane sia oggi, nelle città moderne, sia negli abitati del passato.

Esse consistono in metodi deterministici o tratti dalla statistica per comprendere: la distribuzione nello spazio del fenomeno o delle variabili analizzate, le eventuali forme di aggregazione spaziale presenti e le relazioni tra i diversi elementi.

Negli esempi mostrati in questo contributo sono state usate principalmente la *map algebra* e la *point pattern analysis*.

### 2.1 Map Algebra

La rappresentazione di dati con una componente spaziale viene distinta in due macroclassi di dati spaziali (Tomlin, 1990;

Couclelis, 1992; Laurini & Thompson, 1992; Longley *et al.*, 2001; De Mers, 2002):

1) dati di tipo vettoriale, utili a rappresentare entità ben definite e caratterizzati da una geometria, da una topologia e da attributi associati agli oggetti e gestiti in formato tabellare tramite relazioni;

2) dati di tipo raster, utili per descrivere grandezze che variano in modo continuo nello spazio e strutturati come una griglia di celle (pixel), ciascuna definita dalla sua posizione e da un terzo attributo che descrive il fenomeno oggetto di studio. Dalla risoluzione (o dimensione della cella), dipende il livello di dettaglio di rappresentazione di ciò che si vuole rappresentare con questo modello.

L'uso del formato raster permette di usare le funzioni di *map algebra*, cioè un linguaggio di modellazione spaziale di alto livello, che include elementi di base (operatori), elementi più complessi (funzioni) ed un linguaggio formale (istruzioni), insieme agli elementi necessari alla programmazione che consentono di sviluppare ed implementare modelli complessi (De Mers, 2002).

In letteratura (Tomlin, 1990) sono individuate tre famiglie principali di funzioni: le *local function*, in cui vengono effettuate operazioni algebriche o statistiche tra pixel corrispondenti di più raster; le *focal function*, in cui tali operazioni vengono effettuate nell'intorno di ciascun pixel di un solo raster; le *zonal function*, in cui i calcoli sono effettuati su zone predefinite di un raster, in base ad aree predefinite da un raster esterno.

Dalla combinazione delle tecniche elencate, è possibile eseguire diverse tipologie di analisi, tra cui le *Surface Analysis*, utili a studiare le caratteristiche geomorfologiche di un territorio.

## 2.2 Point pattern analysis

Nella *point pattern analysis* (PPA) i dati analizzati sono modellati in forma puntuale e sono considerati variabili aleatorie. Per convenzione è denominato "evento" il numero di occorrenze spaziali del fenomeno considerato, "punto" qualsiasi altra localizzazione arbitraria. Quando si analizza un evento si

considerano sia le coordinate geografiche, sia uno o più attributi legati alla natura dell'evento stesso.

Tali attributi ne determinano l'intensità, ossia di quanto è grande l'influenza nello spazio di ciascun punto in base ad un certo criterio selezionato.

Ad esempio, in un *dataset* puntuale contenente siti archeologici l'intensità potrebbe essere rappresentata dal numero di ritrovamenti effettuato in ciascuno di essi.

La distribuzione di un *point pattern* nello spazio può essere influenzata da effetti del primo ordine, in base alle proprietà della regione, o da effetti del secondo ordine, in base alle interazioni locali fra gli eventi e può essere di tre tipi (O'Sullivan e Unwin, 2002):

- distribuzione casuale, in cui la posizione di ciascun punto è indipendente da quella di ciascun altro punto (autocorrelazione nulla);
- distribuzione regolare, in cui i punti hanno una distribuzione uniforme nello spazio (autocorrelazione negativa);
- distribuzione raggruppata, in cui i punti sono concentrati in determinate zone dello spazio ed hanno intensità simile, costituendo dei *cluster* localizzabili e caratterizzabili (autocorrelazione positiva).

Lo studio dell'autocorrelazione è fondamentale per la conoscenza di un fenomeno spaziale, in base al primo principio della geografia secondo il quale "*Nearest things are more related than distant things*" (Tobler, 1970), ed è un fattore molto importante anche nella ricerca di un modello rappresentativo delle dinamiche insediative nei siti archeologici.

Le *Spatial Analysis* più usate negli esempi riportati in questo contributo sono:

**1) Nearest-Neighbour Index (NNI).** È una prima misura di autocorrelazione spaziale nel *dataset* e allo stesso tempo esplicita i rapporti di distanza tra di essi. L'NNI è definito dalla seguente espressione:

$$NNI = \frac{NNO}{NNE} \quad (1)$$

Il numeratore dell'equazione (1) rappresenta la *nearest neighbour distance* osservata (NNO) su N eventi ed è definita dall'espressione (2), in cui  $d_{\min}(S_i, S_j)$  è la distanza minima tra ciascun punto ed il suo vicino più prossimo ed n è il numero di punti della distribuzione.

$$NNO = \frac{\sum_{i=1}^n d_{\min}(s_i, s_j)}{n} \quad (2)$$

Il denominatore è espresso dall'equazione (3), in cui n è il numero di eventi della distribuzione e A è l'area del dominio spaziale. Questa equazione rappresenta la *nearest neighbour distance* attesa (NNE), calcolata su una distribuzione completamente casuale.

$$NNE = 0.5 \sqrt{\frac{A}{n}} \quad (3)$$

Possono verificarsi tre casi:

- NNO=NNE => NNI=1; la distribuzione è *random*.
- NNO<NNE => NNI<1; presenza di autocorrelazione positiva.
- NNO>NNE => NNI>1, presenza di autocorrelazione negativa.

**2) Kernel Density Estimation (KDE).** Rispetto alla densità "classica", permette di arricchire l'informazione poiché considera, oltre al numero di occorrenze dell'evento, la sua intensità. La KDE permette cioè di determinare la densità della distribuzione di un evento, considerando "una superficie mobile a tre dimensioni (eq. 4), che pesa gli eventi della secondo la loro distanza dal punto dal quale è stimata l'intensità" (Gatrell *et al.*, 1996),

$$\lambda(L) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} k\left(\frac{L-L_i}{\tau}\right) \quad (4)$$

dove  $\lambda$  è l'intensità della distribuzione dei punti misurata in  $L$ ,  $L_i$  è l'evento  $i$ -esimo,  $K$  è la funzione di Kernel,  $\tau$  è la larghezza di banda.

Il fattore che maggiormente influenza la densità è la larghezza di banda  $\tau$ : se  $\tau$  è grande si ha che la funzione  $\lambda$  tende alla densità "classica"; sono quindi perse le informazioni relative ai picchi; se  $\tau$  è piccola la superficie risultante catturerà singoli eventi, con densità prossime allo zero per gli elementi della griglia lontani da ogni evento. Si tratta di uno dei fattori più delicati, dalla cui scelta dipende in maniera decisiva il risultato dell'analisi. Le misure di distanza introdotte nel NNI sono spesso adottate come larghezza di banda nelle KDE.

Meno importanti sono la dimensione di cella, la scelta del tipo di kernel (Levine, 2004) e la classificazione ed interpretazione del grid di output (Danese, 2008).

### 3 - Esempi di modellazione per una archeologia operativa

#### 3.1 Metodi per lo studio di dinamiche insediative del passato: i *puquios* di Nazca (basato su Danese et al., 2013a).

I *puquios* di Nazca sono un efficiente sistema di captazione e convogliamento delle acque, costruito nel deserto nel bacino idrografico del Rio Grande di Nazca, nel sud del Perù (Figura 1).

Queste opere sono state particolarmente importanti per creare un ambiente più adatto all'uomo nel deserto dal 400-500 d.C., come ipotizzato da Schreiber e Lancho Rojas (2006). Infatti, a causa delle condizioni climatiche, parte dei fiumi durante l'anno sono completamente secchi, per cui i *puquios* rendono la terra produttiva ed arabile.

Secondo gli studi più accreditati (Schreiber e Lancho Roja, 2006) il fenomeno dei *puquios* sarebbe iniziato nel periodo Tardo-Nasca o Nazca 5 (450-550 d.C) e si sarebbe poi sviluppato fortemente nel periodo Tardo Intermedio (550-750 d.C.).

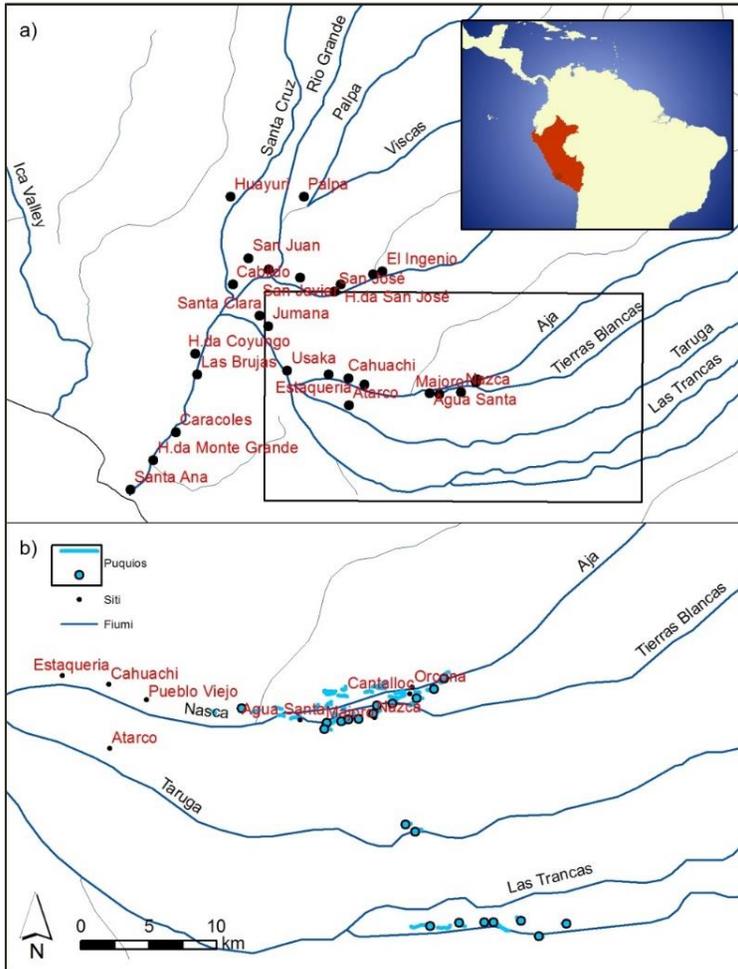


Figura 1. Mappa di inquadramento con i siti a) della zona in cui ricadono i puquios di Nazca b)

Con le analisi spaziali si è voluto verificare questa ipotesi confrontando la distribuzione spaziale di *puquios*, fiumi ed insediamenti (Figure 2-3-4).

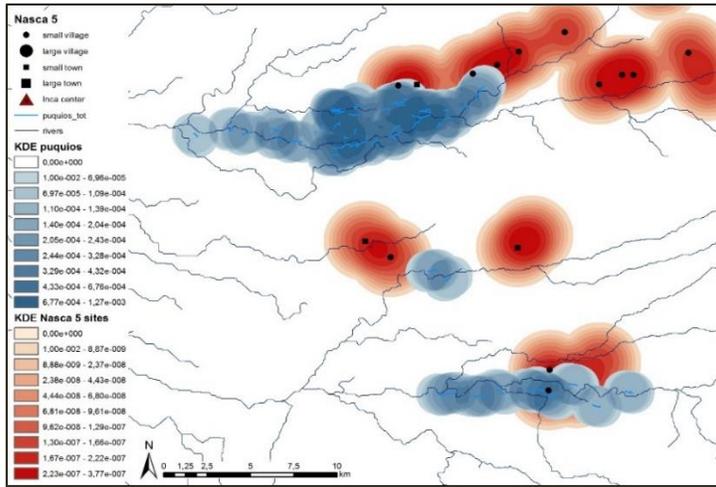


Figura 2. Overlay di KDE applicate ai siti e ai *puquios* del periodo Nasca 5 (450-550 d.C.)

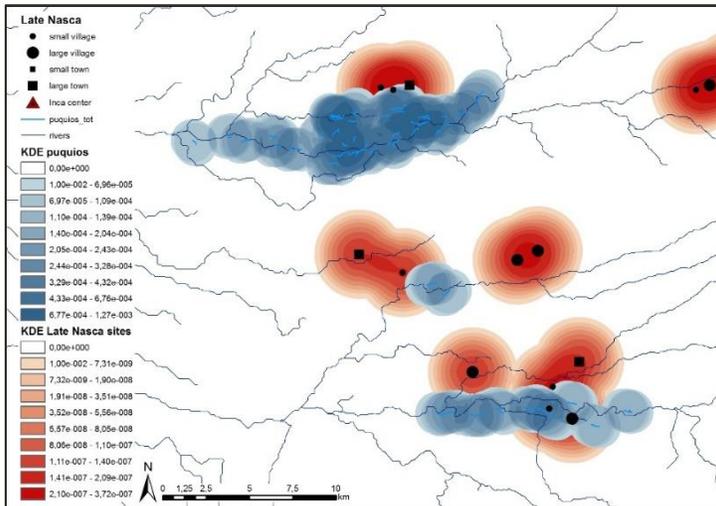


Figura 3. Overlay di KDE applicate ai siti e ai *puquios* del periodo Tardo-Nasca (550-750 d.C.)

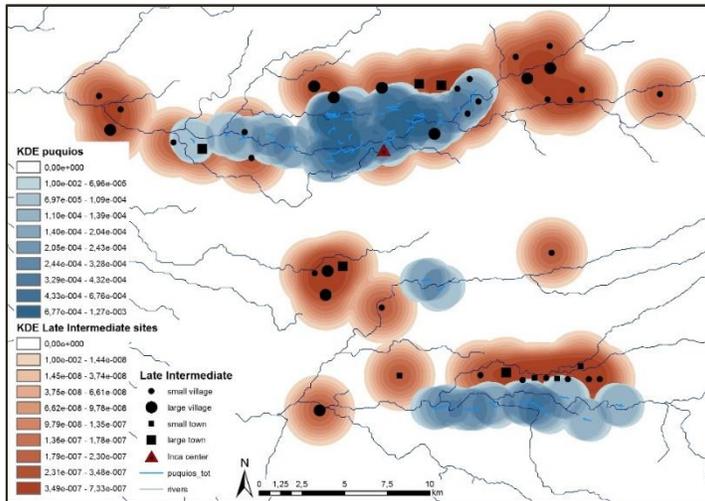


Figura 4. Overlay di KDE applicate ai siti e ai *puquios* del periodo Tardo-Intermedio

Lo *spatial overlay* delle KDE confermerebbe l'ipotesi di Schreiber secondo cui i *puquios* probabilmente appartengono al periodo Tardo-Intermedio, poiché solo in questo periodo è presente una forte correlazione tra alta densità di siti ed alta densità di *puquios*, mentre negli altri periodi ci sono solo alcuni piccoli picchi. Sono state individuate, inoltre, alcune aree ad alta densità insediativa dove invece non sono presenti al momento *puquios* rinvenuti, per cui sarebbe interessante effettuare indagini sul territorio per verificare la presenza di insediamenti antichi.

### 3.2 – Metodi per l'individuazione di parametri di sensibilità a scala regionale: studio dell'epoca romana in Basilicata

Un altro esempio di come le tecniche di analisi spaziale possono essere usate è la ricerca di parametri di sensibilità a scala regionale.

In questo esempio, che fa riferimento al lavoro di Danese *et al.* (2014) in cui sono state indagate anche le dinamiche insediative tramite PPA, per individuare i parametri includenti ed escludenti la presenza di nuovi siti a scala regionale, è stata utilizzata come area campione la Valle del Sinni in Basilicata, la

cui carta archeologica redatta da Quilici e Quilici Gigli (2001) è una preziosa fonte di informazioni in un'area poco conosciuta dal punto di vista archeologico (Figura 5).

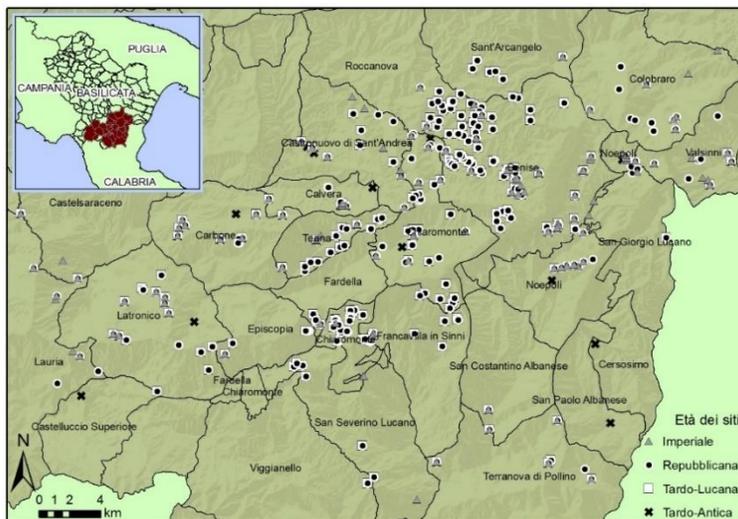


Figura 5 L'area di studio: la valle del Sinni (punti georeferenziati tramite il lavoro di Quilici e Quilici Gigli, 2001)

A questo scopo la distribuzione delle diverse tipologie di sito esistente (insediamenti, ville romane, necropoli e aree di frammenti fittili) è stata confrontata per mezzo della *map algebra* con la distanza euclidea dai fiumi, l'esposizione e la classificazione del territorio effettuata con l'aiuto di una *tool* per il calcolo di un indice di posizione geografica (Jeness, 2006). Ciò consente di classificare il paesaggio nelle seguenti categorie:

- 1) canyon, o zone incise profondamente dai fiumi,
- 2) zone di drenaggio con media pendenza, o valli profonde,
- 3) zone di altopiano, sorgenti,
- 4) valli a fondo piatto,
- 5) piane,
- 6) versanti aperti,
- 7) versanti superiori,
- 8) creste locali,
- 9) creste locali minori,
- 10) cime di montagna.

Le analisi spaziali sono utili, ad esempio, per notare alcune dinamiche insediative. Ad esempio si noti come soprattutto nel periodo Repubblicano, la posizione degli insediamenti e delle ville ponga più attenzione all'esposizione, rivolta verso Est, rispetto a quanto avvenga per le necropoli, in molti casi esposti a Nord.

I tre parametri ambientali sono stati sovrapposti allo scopo di capire quali possano essere i fattori includenti ed escludenti (Tabella 1) caratterizzanti il territorio e la sua compatibilità con la presenza di siti Romani.

Questi fattori sono poi stati considerati per eseguire una previsione sull'intera Regione Basilicata, anche al fine di avere un'indicazione relativa a quali possono essere le aree da indagare per effettuare nuove scoperte.

Parametro	Classe	Livello di probabilità
Distanza dai fiumi	0÷300m	Alta
	300÷600m	Media
	600÷1200m	Bassa
	>1200m	Molto bassa
Esposizione	Piatta	Bassa
	N-E	Alta
	S-W	Media
Forme del rilievo	1), 10)	Alta
	2), 4), 5), 7), 9)	Bassa
	3), 8)	Molto bassa
	6)	Media

**Tabella 1. Sintesi dei fattori includenti ed escludenti utilizzati**

La Figura 6 mostra la riclassificazione della Regione Basilicata in base a questi criteri. Come si può notare, risulta un'area piuttosto estesa da studiare ed indagare.

Il risultato offerto dal modello sviluppato in questo esempio non è da prendere in assoluto e senza verifica sul territorio, anche perché può essere ulteriormente integrato con altri dati e parametri ed essere quindi migliorato in senso predittivo. Tuttavia esso costituisce uno strumento di supporto alle decisioni per la ricerca archeologica, che può essere facilmente sovrapposto ad altri dati e informazioni di tipo bibliografico,

storico ed archeologico, allo scopo di aiutare a comprendere quali sono le aree prioritarie di indagine.

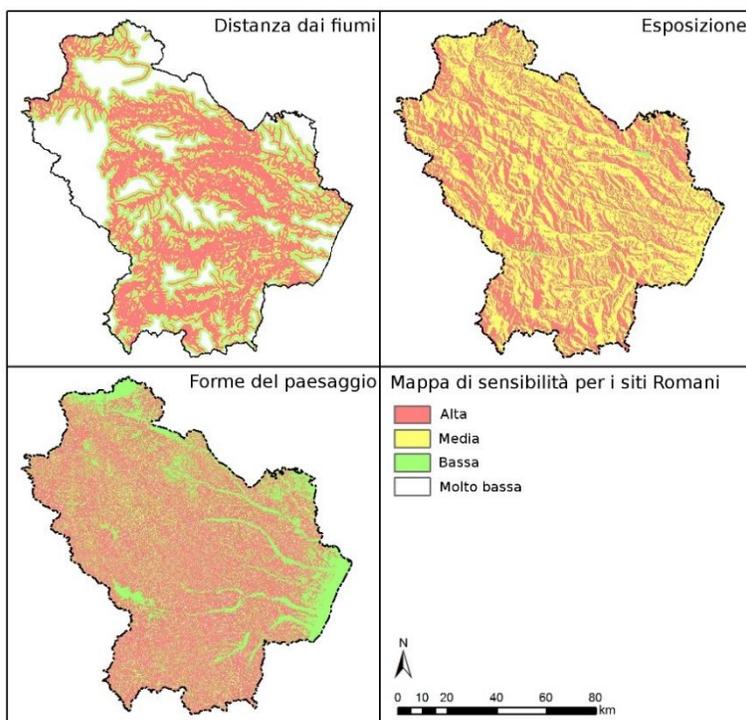


Figura 6. Classi di sensibilità alla presenza di nuovi siti in base a: 1) distanza dai fiumi, 2) esposizione, 3) classificazione dei versanti

### 3.3 - Costruzione di un metodo per l'individuazione di aree di sensibilità archeologica: i siti neolitici del Tavoliere

Un esempio abbastanza completo di uso delle analisi spaziali per la costruzione di modelli predittivi è quello relativo al metodo KRESLV, costruito per elaborare una mappa di sensibilità archeologica nel Tavoliere delle Puglie, in provincia di Foggia (Danese *et al.*, 2014).

Con questo modello si è provato a comprendere comportamentale motivazioni della localizzazione dei siti

archeologici già noti (Figura 7), individuandone le preferenze ambientali e spaziali riscontrabili nella posizione assunta da un sito nel territorio.

Per fare questo si è confrontato quanto si conosce sulle dinamiche insediative di quell'epoca con semplici statistiche, effettuate sovrapponendo il *point dataset* dei siti archeologici ad alcuni parametri ambientali. È stata inoltre studiata l'autocorrelazione spaziale del *dataset* considerato tramite il NNI e la KDE.

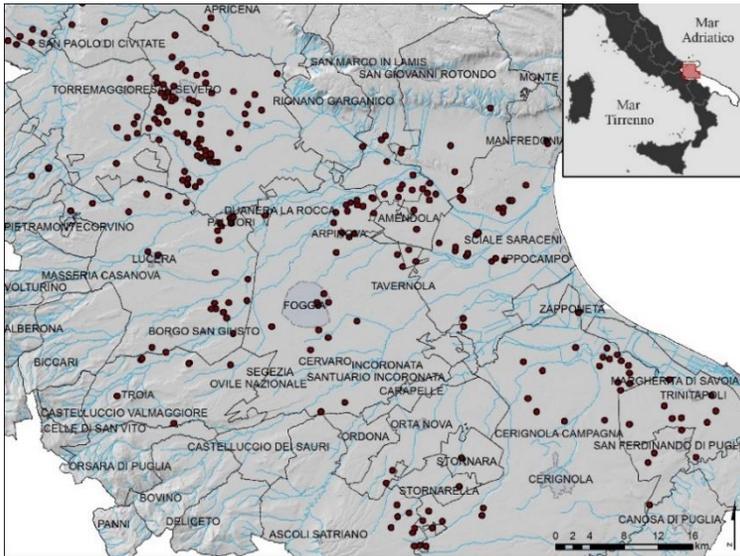


Figura 7. I siti neolitici del Tavoliere

La Figura 8 mostra i fattori includenti ed escludenti scelti, nonché la modellazione effettuata con tali parametri.

La KDE calcolata e i parametri ambientali sono stati prima riclassificati e combinati con l'aiuto della map algebra, assegnando il valore 1 ai fattori includenti e il valore 0 ai fattori escludenti. I diversi parametri sono stati combinati (eq. 5), in modo da ottenere le aree considerate compatibili con la presenza di nuovi insediamenti neolitici:

$$K*1000000 + R*100000 + E*10000 + S*1000 + L*100 + V*1 \quad (5)$$

Dove K è il risultato della KDE, R è la distanza dai fiumi, E è la quota, S è la pendenza, U è l'uso del suolo e V è la visibilità. Il risultato è un raster con un numero binario presente in ogni pixel. Questo numero binario è costituito da 7 cifre, come il numero di parametri usati nel modello. Ciascuna cifra rappresenta un parametro e mostra se il pixel è compatibile (cifra uguale ad 1) secondo quel parametro per i siti neolitici o se non lo è (cifra uguale a 0).

Il raster così ottenuto è stato chiamato KRESLV, allo scopo di ricordare l'ordine di lettura delle cifre e quindi anche dei parametri.

KDE+N NE	i.f. (1)	Fino al nono quantile	K*1000000
	e.f. (0)	Decimo quantile	
Idrogra- fia	i.f. (1)	Distanza<1500m & KDEN>0	R*100000
	e.f. (0)	Aree rimanenti	
DEM	i.f. (1)	Quota<350m	E*10000
	e.f. (0)	Quota>350m	
Slope	i.f. (1)	Pendenza<4°	S*1000
	e.f. (0)	Pendenza>4°	
Litolo- gia	i.f. (0)	- Unità prevalentemente calcarea o dolomitica - Unità a prevalente componente argillitica con un generale assetto caotico - Unità costituite da alternanze di rocce a composizione e/o granulometria variabile	L*100
	e.f. (1)	Classi litologiche rimanenti	
Uso del suolo	i.f. (0)	- Boschi - Rocce nude, falesie, affioramenti	U*10
	e.f. (1)	Classi di uso del suolo rimanenti	
Visibili- tà	i.f. (0)	Visibilità =0	V*1
	e.f. (1)	Visibilità>0	

Figura 8. Schema riassuntivo dei fattori includenti ed escludenti scelti e del modello di calcolo usato

Leggendo il raster KRESLV è possibile sapere quali e quanti parametri indicano una sensibilità alla presenza di siti neolitici. Ad esempio, se selezionando un pixel si trova il valore 101001, significa che (K=1, R=0, E=1, S=0, L=0, V=1) la KDE, la quota e la visibilità sono favorevoli alla presenza di siti archeologici, mentre non lo sono la distanza dai fiumi, la pendenza e la litologia.

Il raster KRESLV è stato inoltre classificato in 7 classi (ciascuna avente da 0 a 6 parametri favorevoli all'identificazione di nuovi siti) con probabilità crescente di trovare nuovi siti (Figura 9).

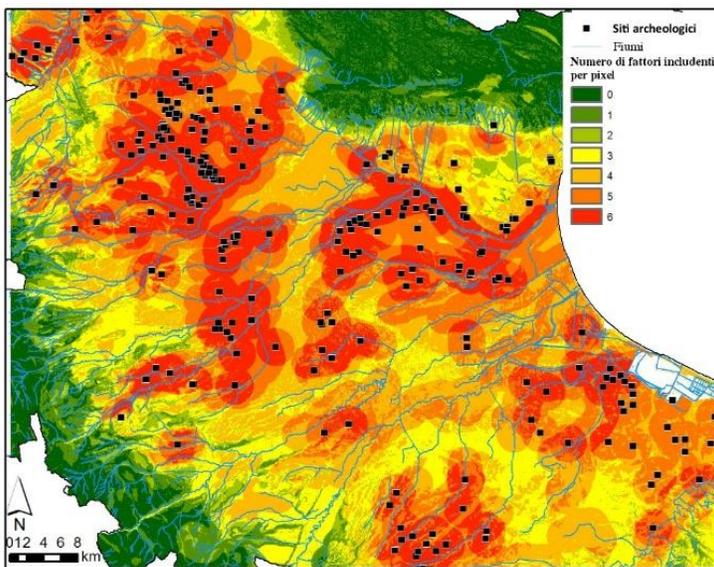


Figura 9. La mappa predittiva ottenuta

L'utilità del raster di output così ottenuto è di sapere, in ciascun pixel della mappa predittiva, quanti e quali parametri siano predisponenti o meno alla presenza di nuovi siti, per cui può essere uno strumento su cui l'archeologo può ragionare e sulla base del quale supportare le decisioni.

#### 4 - Considerazioni finali

Il punto di forza nell'uso delle analisi spaziali nei modelli predittivi in archeologia è la capacità di offrire nuove chiavi di lettura alle dinamiche insediative dei siti, la possibilità di considerare in un unico strumento riassuntivo, quali possono essere le mappe ottenute, più fattori e quindi la possibilità di avere uno strumento di supporto alle decisioni per le indagini territoriali utili per comprendere dove effettuare nuove indagini di sito.

Tuttavia innanzi tutto bisogna essere accurati nella realizzazione del modello, inserendo quanti più parametri possibile in modo da ottenere una conoscenza quanto più ampia possibile dei siti dell'epoca considerata.

Inoltre, essendo strumenti su cui verificare e ragionare non devono essere interpretate come "mappe di verità assoluta", ma ovviamente il giudizio conclusivo è da rimettersi alla valutazione esperta ed alla fase di verifica dei modelli mediante la verificare in campo dei risultati ottenuti con la modellazione considerando che non sono sufficienti test di verifica statistica dei risultati.

#### Bibliografia

Burt J. E., Barber. G.M., *Elementary Statistics for Geographers* (second edition). The Guilford Press, New York, 1996.

Couclelis, H., *People manipulate objects (but cultivate fields): beyond the raster-vector debate in GIS*, in: (FRANK U. et al. a cura di), *Theories and methods of spatio-temporal reasoning in geographic space*, Berlino (1992) 65-77.

Danese M., Gioia D., Biscione M., Masini N., *Spatial Methods for Archaeological Flood Risk: the Case Study of the Neolithic Sites in the Apulia Region (southern Italy)*, in Murgante B. et al. (Eds.) LNCS vol. 8579, ICCSA 2014, Part I. Springer-Verlag, Berlin (2014) 423-439.

Danese M., Lazzari M., Murgante B., *Kernel Density Estimation Methods for a Geostatistical Approach in Seismic Risk Analysis: the Case Study of Potenza Hilltop Town (southern Italy)*, in: Gervasi O., Murgante B., Laganà A., Taniar D., Mun Y., Gavrilova M., (ICCSA 2008) Lecture

Notes in Computer Science vol. 5072 (2008) 415-427. Springer-Verlag, Berlin. ISSN: 0302-9743.

Danese M., Masini N., Biscione M., Lasaponara R., *Predictive modeling for preventive Archaeology: overview and case study*. Central European Journal of Geosciences 6 vol.1 (2014) 42-55.

Danese M., Biscione M., Masini N., *Spatial analysis for archaeological predictive models. Preliminary results for the Roman Age in the Basilicata Region*, in: Rogerio-Candelera M.A. (Eds.) TecnoHeritage 2014. Science, Technology and Cultural Heritage. Proceedings of the TechnoHeritage International Congress on Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage II. 24-27 Giugno, 2014, Siviglia, Spagna. CRC Press (2014).

Danese M., Masini N., Lasaponara R., *Settlement pattern and the puquios of Nasca: a spatial comparison*. Geoitalia 2013, Le geoscienze per la Società. IX Forum Italiano di Scienze della Terra, 16-18 settembre 2013, Pisa (2013).

Danese M., Masini N., Murgante B., *Archaeological risk and spatial analysis. How to compare urban sprawl and archaeological sensibility maps*, EARSeL eProceedings x, issue/2013 (2013).

De Mers M.N., GIS. Modeling in raster, USA, 55, 2002.

Ebdon D., *Statistics in Geography* (second edition with corrections). Blackwell, Oxford, 1988.

Gatrell, A.C., Bailey, T.C. Diggle, P.J. Rowlingson, B.S., *Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology*. Transaction of institute of British Geographer, Royal Geographical Society 21 (1996) 256-271.

Hammond R., McCullagh P., *Quantitative Techniques in Geography: An Introduction*. Second Edition. Clarendon Press, Oxford, England 1978.

Jenness, J., Topographic Position Index (tpi\_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.2. Jenness Enterprises. Available at: <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm> 2006.

Laurini R., Thompson D., *Fundamentals of Spatial Information Systems*. London, 1992.

Levine N., *CrimeStat III: A Spatial Statistics Program for the Analysis of Crime Incident Locations*. Ned Levine & Associates, Houston, TX, and the National Institute of Justice, Washington, DC 2004.

Longley P.A., Maguire D.J., Rhind D.W., Goodchild M.F., *Geographic Information Systems and Science*. Wiley, London, 2001.

O'Sullivan D., Unwin D., *Geographic Information Analysis*. John Wiley & Sons, 2002.

Quilici L., Quilici Gigli S. (Eds.), *La Carta Archeologica della Valle del Sinni*. L'Erma di Bretschneider vol. II-VII, 2003.

Schreiber K., Lancho Rojas J., *Aguas en el Desierto. Los puquios de Nasca*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2006.

Tobler, W.R., *A Computer Model Simulating Urban Growth in the Detroit Region*. *Economic Geography* 46 (1970) 234-240.

Tomlin C.D., *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall 1990.

## Il paesaggio rurale tra tutela e vocazione

*Canio Alfieri Sabia*

### Riassunto

Il paesaggio è frutto dell'interazione nel tempo tra l'uomo e l'ambiente in cui vive, costituisce infatti l'ambito territoriale della cultura di ogni comunità che abbia contribuito alla produzione e alla stratificazione di un elemento fondante del "patrimonio identitario" di un territorio, costituito anche di valori e di significati simbolici, in parte peculiari e caratteristici di determinati luoghi. Ma la continua riorganizzazione delle forme d'uso del territorio, derivante dai ricorrenti mutamenti delle esigenze sociali ed economiche, può essere percepita come una minaccia o una evoluzione negativa a causa della conseguente possibile perdita di diversità, di coesione e di identità. Non è un caso, infatti, che già agli inizi degli anni duemila la Convenzione Europea del Paesaggio abbia sottolineato tale rischio, sottolineando con forza quanto sia ormai improrogabile che i territori si riappropriino della loro identità culturale e la riutilizzino come elemento su cui costruire strategie di tutela ma anche di sviluppo economico. Un ruolo fondamentale nel processo di difesa e valorizzazione del paesaggio è innanzitutto dato dall'agricoltura, o meglio dalla possibilità che le popolazioni trovino sostentamento economico dall'uso produttivo agricolo di un territorio che è alla base della sopravvivenza oltre che della tutela di un contesto territoriale.

### 1 - Introduzione

Ogni territorio racchiude e riflette la storia dei popoli che lo abitano e che lo utilizzano per il proprio sostentamento. Nel tempo la sua trasformazione è inevitabile. Nel corso dei secoli le diverse comunità umane che si sono susseguite in una determinata porzione di territorio hanno impresso spesso in

modo indelebile determinati caratteri che testimoniano l'uso produttivo, innanzitutto, che se n'è fatto di quella terra. Così, nel nostro tempo, agli occhi dell'osservatore il paesaggio si presenta con le proprie particolarità, con la propria vocazione produttiva, con il proprio carattere identitario. Pertanto conoscere, o meglio, riconoscere in modo approfondito questa identità può consentire di stabilire più efficaci strategie di valorizzazione e di tutela di un territorio, passando attraverso un adeguato "utilizzo" produttivo corrispondente il più possibile alle proprie effettive attitudini.

Il grave fenomeno del graduale spopolamento delle aree interne, soprattutto dei territori montani e collinari, è oggi una delle principali cause della progressiva ed inesorabile perdita dell'identità culturale di un territorio. La progressiva scomparsa nelle aree rurali più interne da parte delle popolazioni "custodi" del paesaggio rurale favorisce il crescente impoverimento della stessa struttura sociale ed economica delle comunità che popolano queste aree, innescando così un meccanismo a spirale negativa che incoraggia sempre più all'abbandono delle aree più svantaggiate.

Le aree interessate da queste problematiche mostrano, inoltre, altri segni visibili di degrado derivanti dallo spopolamento delle aree rurali interne che si traducono spesso in conseguenti drastici cambiamenti d'uso del suolo che non tengono più conto delle originarie vocazioni produttive e della storia evolutiva di quei territori. Così, ormai si assiste come testimoni quasi impotenti a trasformazioni di molti contesti rurali, ad opera di diverse forme di impermeabilizzazione di terreni originariamente ad uso agricolo o forestale (*soil sealing*), come l'inarrestabile urbanizzazione diffusa delle campagne o l'occupazione di suoli agrari da parte di diversi tipi di infrastrutture, come ad esempio impianti per la generazione di energie rinnovabili: parchi fotovoltaici o parchi eolici.

Negli ultimi decenni il paesaggio rurale sta quindi subendo una repentina trasformazione i cui effetti rischiano di compromettere definitivamente la funzione originaria che quel determinato territorio ha svolto nel tempo e che si colloca alla base della valenza ambientale e dell'identità culturale che lo contraddistinguono e che lo rendono non riproducibile, non replicabile (Sabia, 2014). Di conseguenza, azioni pianificatorie o

di intervento diretto sul territorio non possono pertanto prescindere dalla conoscenza della storia evolutiva di un determinato luogo, che nel contempo ha la funzione di incrementare quella consapevolezza condivisa delle reali risorse culturali, ambientali ed economiche che sono alla base dello sviluppo locale.

## 2 - Un richiamo alle norme sulla tutela del paesaggio

Con l'intento di contrastare quei fenomeni responsabili della perdita dei caratteri dell'identità culturale di determinate aree che ancora conservano un significativo valore ambientale, culturale e paesaggistico, i Paesi europei all'inizio del terzo millennio hanno stilato un documento noto come Convenzione europea sul Paesaggio (Firenze, 20.10.2000), nelle cui premesse si sottolinea come il paesaggio svolga *'importanti funzioni di interesse generale, sul piano culturale, ecologico, ambientale e sociale e costituisce una risorsa favorevole all'attività economica'*, inoltre *'concorre all'elaborazione delle culture locali e rappresenta una componente fondamentale del patrimonio culturale e naturale dell'Europa'*, venendo così a costituire un elemento di base per il riconoscimento ed consolidamento della identità territoriale.

In pratica, come riportato nel Paragrafo II della Relazione esplicativa della detta Convenzione, con tale provvedimento *'Le popolazioni europee chiedono che le politiche e gli strumenti che hanno un impatto sul territorio tengano conto delle loro esigenze relative alla qualità dello specifico ambiente di vita. Ritengono che tale qualità poggia, tra l'altro, sulla sensazione che deriva da come esse stesse percepiscono, in particolar modo visualmente, l'ambiente che le circonda, ovvero il paesaggio e hanno acquisito la consapevolezza che la qualità e la diversità di numerosi paesaggi si stanno deteriorando a causa di fattori tanto numerosi, quanto svariati e che tale fenomeno nuoce alla qualità della loro vita quotidiana'*, ossia si pone l'accento sul fatto che le stesse popolazioni avverto in merito ai rischi di perdita della del carattere identitario dei propri territori.

Tale Convenzione europea impegna quindi gli Stati membri che l'hanno adottata a promuovere politiche di salvaguardia, di gestione e di pianificazione territoriale e paesaggistica, con il

coinvolgimento delle popolazioni interessate nei rilevanti processi decisionali, imponendo agli Stati che vi hanno aderito di riconoscere giuridicamente il paesaggio, indipendentemente dal valore effettivamente attribuitogli, e di intraprendere delle azioni di salvaguardia, gestione, valorizzazione, restauro nell'ambito del proprio territorio nazionale.

In ambito nazionale il paesaggio, nei termini espressi dal D.Lgs. 42, del 22 gennaio 2004 (Testo Unico sui Beni Culturali e Paesaggistici), art. 2, quale unione di più 'Beni Paesaggistici', è considerato assieme ai 'Beni culturali' la componente di base del Patrimonio Culturale nazionale, riconosciuto e tutelato. Al comma 3 dello stesso articolo si legge che esso *'È l'insieme composto da immobili e superfici 'costituenti espressione dei valori storici, culturali, naturali ed estetici del territorio'* e, come recita il comma 1 dell'art. 6 del medesimo testo, la sua valorizzazione si esplica attraverso sia la conoscenza, la ricerca ed il recupero di ogni linea e profilo di quel particolare territorio che nel tempo possa aver rivestito un significato ed espresso la cultura e la capacità di adattamento della comunità che lo viveva; sia la diagnostica e le applicazioni tecnologiche volte alla *'riqualificazione degli immobili e delle aree sottoposti a tutela compromessi o degradati'*.

Inoltre, l'art. 131, comma 3 del detto decreto ribadisce che *'Per paesaggio si intende il territorio espressivo di identità, il cui carattere deriva dall'azione di fattori naturali, umani e dalle loro interrelazioni'* mentre al comma 4 afferma che *'La tutela del paesaggio, ai fini del presente Codice, è volta a riconoscere, salvaguardare e, ove necessario, recuperare i valori culturali che esso esprime...'*

In definitiva, nell'ultimo decennio, anche dal punto di vista normativo, sia esso nazionale che europeo, sono stati definiti fondamentali principi condivisi sul paesaggio e sulle sue funzioni, che proviamo a sintetizzare come di seguito:

- si definisce il Paesaggio come quella determinata parte del territorio il cui carattere, così come percepito dalle popolazioni, deriva dall'azione di fattori naturali e umani e dalle loro interrelazioni perpetuatisi nel tempo;
- si riconosce il ruolo fondamentale del paesaggio nella elaborazione delle culture locali, rappresentando esso

una componente fondamentale del Patrimonio Culturale e naturale di ogni territorio;

- si sollecitano le autorità pubbliche ad adottare politiche e provvedimenti a livello locale, regionale, nazionale ed internazionale per la salvaguardia, la gestione e la pianificazione paesaggistica che tenga conto dei caratteri identitari dei territori;
- vengono presi in considerazione tutti i paesaggi, sia quelli eccezionali, che quelli ordinari, e se ne riconosce il ruolo rilevante nel determinare la qualità della vita degli abitanti.

La Convenzione europea per il paesaggio tiene, quindi, nella dovuta considerazione la strettissima interazione esistente tra elementi naturali riferiti ai caratteri geomorfologici, all'idrografia, alla copertura forestale e quelli di origine antropica come le coltivazioni, gli insediamenti, le infrastrutture, che nel tempo hanno stabilito una diretta interdipendenza funzionale. Questa forte legame tra uomo e natura che si realizza nel paesaggio rende, di conseguenza, l'attività produttiva dell'agricoltura inscindibile dalla sua funzione paesaggistica. In altri termini, le attività agricole, pastorali e forestali generano una serie di effetti tangibili e non sul paesaggio che, prendendo a prestito la terminologia economica, possono essere definite "esternalità".

### 3 - Quale valore attribuire quindi al paesaggio

Partendo dalle molteplici definizioni di paesaggio è possibile indicarne una, che indicheremo come di tipo tradizionale, che consiste nel ritenere il paesaggio come la risultante dell'interazione avvenuta nel tempo tra attività antropiche, ambiente naturale e carattere fisico di un territorio (Figura 1.a), ad un'altra invece derivante direttamente dalla Convenzione europea che arricchisce tale definizione secondo una accezione percettiva (Figura 1.b), che di fatto ha influenzato le normative successive ed ampliato il concetto di paesaggio. In pratica, secondo quest'ultima definizione, la valutazione e la conoscenza

di un paesaggio implica la presenza di un elemento imprescindibile, ossia di un osservatore che percepisce, conosce

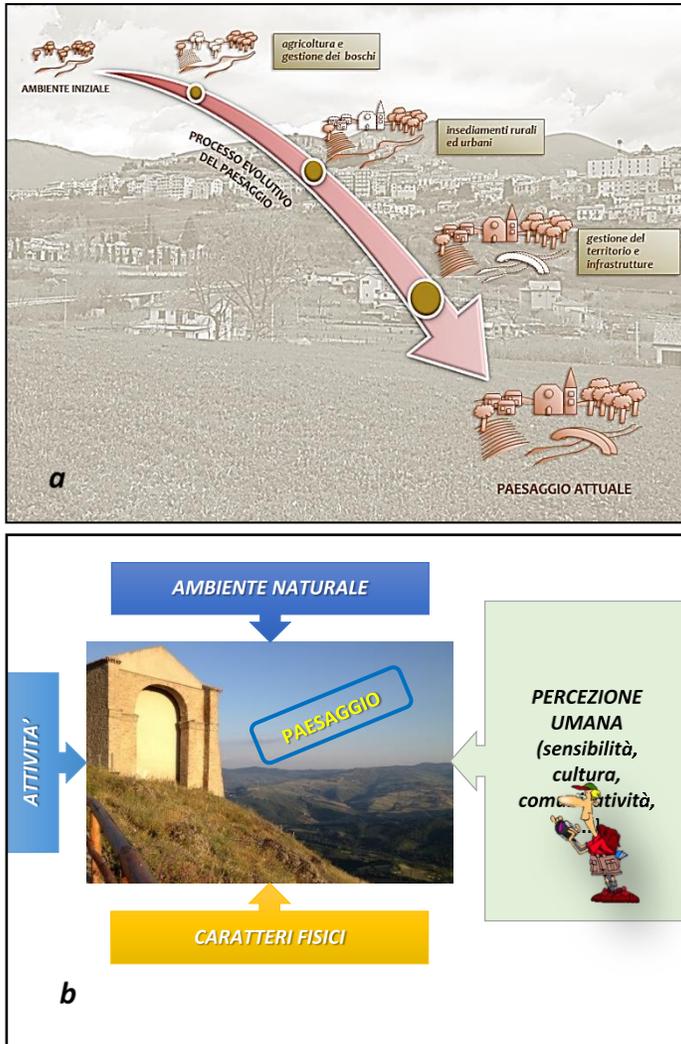


Figura 1. a) il paesaggio secondo l'accezione percettiva; b) Schema semplificato del processo evolutivo del paesaggio (Sabia, 2014)

e valuta ciò che gli si pone alla vista, in relazione alla propria sensibilità, alla propria cultura, alla propria capacità valutativa. Ma se da un lato con questo assunto si raggiunge lo scopo di offrire una definizione più ampia e completa del significato di "paesaggio", dall'altro, nel tentativo di stimarne il valore economico, si ottiene un ulteriore sostanziale allontanamento dalla possibilità oggettiva di valutazione di questo tipo di bene.

Pertanto, anche alla luce di tali definizioni occorre chiedersi: può essere attribuito un «valore» al paesaggio? Secondo l'Ocse (L'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico, operante a livello internazionale), il valore del paesaggio dipende dalle funzioni che esso è in grado di svolgere, cioè dal tipo di bisogni (tra cui quello di tipo culturale) che può soddisfare e, quindi, dai benefici che può produrre.

Cosicché il paesaggio assume un «valore» solo se in grado di soddisfare una determinata «domanda» (sempreché vi sia una «offerta» di paesaggio in grado di far sorgere e poi anche di soddisfare quella «domanda»). Di conseguenza, in una prima fase di un eventuale processo valutativo di un paesaggio, occorre comprendere quali siano i benefici che i diversi assetti paesaggistici riscontrabili in un ampio territorio siano in grado di produrre, sia in termini percettivi (funzione ricreativa dell'ambiente), sia in quanto bene storico e culturale (funzione culturale e scientifica dell'ambiente) (Marango & Troiano, 2006).

In altri termini, l'interesse nei confronti del paesaggio è dovuto al fatto che il suo valore non soltanto estetico ma anche intrinseco, culturale, legato alla propria storia e alle proprie tradizioni produttive e sociali, assume un significato economico tangibile in quanto, laddove apprezzato, esso determina una determinata "desiderabilità turistica o residenziale".

Dal punto di vista estetico, tale desiderabilità dipende ovviamente dalla capacità di mantenere il paesaggio e in proprio questo caso, ma non solo, l'agricoltura gioca un ruolo fondamentale. Un esempio è dato dalle aree a forte vocazione vitivinicola dove l'affermarsi nel tempo di questa specializzazione colturale e produttiva ha modellato il territorio con caratteristici filari e dove in alcuni casi sono visibili i segni storici di quella tradizione produttiva, come antiche cantine e palmenti ricavati in grotte (Figura 2).

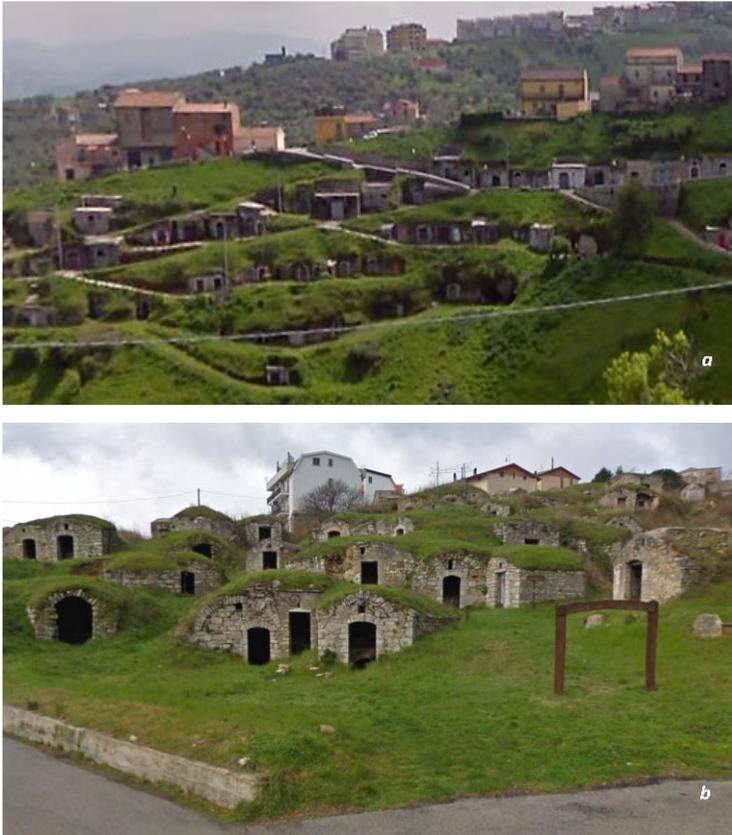


Figura 2. a) Grotte di Barile, caratteristiche cantine scavate nel tufo, usate da Pier Paolo Pasolini nel 1964 come sfondo naturale per alcune scene del film «Il Vangelo secondo Matteo»; b). Palmenti di Pietragalla, grotte scavate nel tufo al cui interno sono state ricavate vasche per la pigiatura dell'uva e per la fermentazione del mosto

Ma nell'eventualità che quelle stesse aree, per motivi legati allo spopolamento e all'emigrazione, fossero abbandonate e non fosse più praticata la viticoltura, allora perderebbero di valenza paesaggistica anche le caratteristiche strutture legate a quella tradizione produttiva (grotte, palmenti, ecc.) che pur rimanendo in quel territorio non ne fanno più parte attiva, costituendo al più semplici monumenti a testimonianza di un tempo ormai

lontano. In pratica non c'è paesaggio se non c'è l'uomo con la sua presenza operosa.

Ma anche in contesti territoriali dinamici può avvenire, anzi avviene spesso, che la perdita della memoria storica e culturale di un territorio costituisca un vero e proprio pericolo per la tenuta dei caratteri identitari del paesaggio, esponendolo ad un utilizzo non rispettoso delle vocazioni intrinseche e all'avvio di un graduale e spesso irreversibile processo di stravolgimento degli elementi distintivi frutto di secoli di evoluzione.

Pertanto, la ricostruzione e la valorizzazione dei caratteri storici e culturali del paesaggio rurale, dove si affiancano e convivono componenti paesaggistiche apparentemente distinte tra loro (aree coltivate, aree naturali, testimonianze archeologiche, infrastrutture, ecc.), anche attraverso lo studio dell'inclinazione o vocazione storica di un territorio allo sviluppo di determinate attività di tipo agrario, può contribuire efficacemente alla ricomposizione del puzzle dell'identità di quel territorio.

Lo scopo è quello di consentire la ricostruzione dei caratteri originari del paesaggio, dalle vocazioni agricole alla suddivisione dei poderi, dall'antica viabilità all'architettura tradizionale rurale, per far emergere l'originario scenario territoriale legato ad un attivo e dinamico uso agro-silvo-pastorale del territorio.

Ne deriva che il valore del paesaggio non può che derivare da un'approfondita conoscenza del territorio, delle sue dinamiche ambientali e della sua storia, ancor prima che dalla conservazione, oltre che dalla diffusa consapevolezza dell'intrinseca carica identitaria; ma anche da una concreta organizzazione dell'offerta paesaggistica generata non soltanto dalla capacità di organizzazione ricettiva ma anche e soprattutto dalla presenza attiva e dinamica delle popolazioni che vivono e prosperano in un determinato territorio.

#### **4 - Il paesaggio agrario e rurale: la componente fisica prevalente di un territorio**

Se è vero come è vero che il paesaggio, anche come lo si percepisce, è frutto dell'interazione secolare tra attività umane e fattori ambientali, si comprende facilmente come di conseguenza

le attività legate all'utilizzo agrario della risorsa suolo, come l'agricoltura, la pastorizia, la selvicoltura, costituiscano il principale fattore incidente sulla sua forma e sulla sua struttura. Non a caso, infatti, in molti contesti rurali è possibile riconoscere caratteri ben precisi (aree viticole o olivetate, zone cerealicole, ecc.) che derivano da tradizioni agrarie antiche di secoli, che sfruttano opportunamente le attitudini produttive di quei luoghi, che hanno influenzato non soltanto le scelte colturali ma anche quella determinata cultura agricola tramandata nel tempo e che oggi si traduce spesso in prodotti agroalimentari di pregio (Figura 3). Infatti, come riscontrabile in molte aree rurali del nostro Paese, la molteplicità di contesti territoriali e di relativi paesaggi agrari corrisponde spesso proprio alla grande variabilità di prodotti agroalimentari tipici, spesso certificati da denominazioni d'origine.

Pertanto è l'agricoltura il principale fattore costituente del paesaggio, dal momento che nei vari territori per mezzo del lavoro agricolo nel tempo si sono modificate le caratteristiche naturali originarie, secondo precise esigenze produttive, dalla scelta delle colture da praticare alla disposizione delle piante, dagli ordinamenti produttivi al controllo delle acque, fino alla costruzione di edifici e infrastrutture rurali utili per la migliore conduzione agricola dei fondi.

Paesaggio agrario e rurale, quindi, come componente principale del paesaggio stesso. Ma è proprio in questa caratteristica che risiede l'origine del problema della sua vulnerabilità: molti contesti paesaggistici rurali, a cui sono attribuibili valori di qualità ambientale oltre che culturale, si trovano oggi nella condizione di contesto economico-sociale fragile.

In Italia dagli anni '60 ad oggi, si è registrato un calo del numero di aziende agricole pari a circa il 60% ed un corrispondente calo della SAT<sup>1</sup> del 36%. Tale andamento è contemporaneamente causa e conseguenza di fenomeni legati, in senso generale, allo spopolamento delle aree interne, allo scarso ricambio generazionale e ad una crescente riduzione della remunerazione media, per unità di superficie utilizzata, dei capitali impiegati in questo settore.



Figura 3. a) Maestro Venceslao, Ciclo dei Mesi (XV secolo), Torre Aquila del Castello del Buonconsiglio, Trento - particolare dell'affresco raffigurante un vigneto al momento della vendemmia; b) scena di vendemmia nell'area vitivinicola del Trento DOC (foto da <http://www.ferraritrento.it>)

Di fatto le aree rurali sono chiamate ad affrontare oggi più che in passato nuovi problemi legati non soltanto all'invecchiamento progressivo della popolazione e al contemporaneo scarso ricambio generazionale, ma anche alla pressione esercitata sui territori da parte delle crescenti esigenze legate ai servizi di pubblica utilità, come le opere infrastrutturali, oltre che al fenomeno di una urbanizzazione quasi incontrollata del tessuto rurale che sta raggiungendo tassi insostenibili di occupazione di suolo.

Dal canto loro le politiche comunitarie e nazionali finalizzate allo sviluppo delle aree rurali si concentrano soprattutto su interventi di supporto all'attività agricola, senza riconoscerne peraltro il ruolo fondamentale nella gestione sostenibile del suolo, nella tutela della biodiversità e, non per ultimo, nella "manutenzione" del paesaggio, funzione questa che risulta alla

base dei fenomeni che favoriscono la fruizione turistica dei territori rurali (Trapasso, 2009). Inoltre nell'ampio quadro normativo comunitario non sembrano essere considerate nella loro giusta funzione quanto le attività legate all'agricoltura rappresentino come patrimonio di saperi e di culture e quanto questo influisca sulla qualità e sulla tipicità dei prodotti agroalimentari provenienti dai contesti territoriali di pregio, patrimonio che spesso è anche in grado di muovere interesse turistico verso quegli stessi territori.

In Italia, secondo i dati ISTAT, dal settore turistico deriva il 30% del prodotto interno lordo e gran parte delle attività legate al turismo risultano direttamente collegate alla fruizione del paesaggio, sia esso a prevalente carattere naturalistico-ambientale o storico-culturale. Inoltre anche il comparto delle produzioni agroalimentari affida gran parte del valore aggiunto di molte produzioni al territorio da cui derivano, basti pensare ai paesaggi evocati da prodotti come il vino o l'olio d'oliva e ai prodotti a marchio di denominazione d'origine come DOP, IGP e STG (regolamento CE n. 509/2006 che sostituisce il precedente n. 2082/92) (Sabia, 2014).

Il paesaggio rurale ed agrario può quindi costituire il principale volano di sviluppo economico del territorio, non soltanto per i benefici che implica in modo diretto con le produzioni agricole ma anche essendo in grado di generare esternalità di cui beneficiano anche altri settori produttivi (Tabella 1).

### 5 - Cosa può accadere al nostro paesaggio: i diversi scenari

*Scenario "semplificazione".* Soprattutto nelle aree interne l'attuale assetto paesaggistico è la risultante di tre determinanti Rovai *et al.*, 2007): le politiche agricole di garanzia (come, ad esempio, l'aiuto supplementare al grano duro introdotto con il Reg. 3103/76), il progresso tecnologico (meccanizzazione e fattori produttivi) e condizioni pedologiche ed orografiche "difficili".

La loro azione congiunta ha portato, nel tempo, ad una semplificazione degli ordinamenti colturali sempre più indirizzati verso i cereali autunno-vernini e ad una conseguente

estensione delle aree a seminativo, a discapito della diversificazione paesaggistica data dalla presenza contemporanea di colture diverse e dalla esistenza di elementi funzionali di un certo valore estetico (siepi, muretti e alberature, presenza di piccole aree boscate, vegetazione arborea e arbustiva diffusa, ecc.), e ad un accorpamento delle proprietà fondiarie. In tali contesti risultano evidenti diverse criticità ambientali, a partire dalla progressiva perdita di biodiversità floro-faunistica, passando da un aumento dei fenomeni di erosione e di dissesto dovuti alla presenza di grandi estensioni collinari completamente nude, nei periodi di maggior piovosità dell'anno, per finire con un potenziale impatto inquinante legato a fenomeni di facilitato trasporto superficiale dei nutrienti e dei pesticidi (*run-off*).

categorie di esternalità	Agricoltura tradizionale e piccola proprietà fondiaria	Agricoltura estensiva e grande proprietà fondiaria	
<i>difesa equilibrio idrogeologico</i>	+	-	TUTELA AMBIENTALE
<i>mantenimento biodiversità</i>	+	-	
<i>tutela dell'equilibrio ambientale</i>	+	-	
<i>presidio del territorio</i>	+	0	TERRITORIO
<i>valenza storico-culturale</i>	+	-	
<i>valenza estetica</i>	+	0	
<i>stimolo alla multifunzionalità aziendale (turismo, attività educative e ricreative, vendita diretta dei prodotti, ecc.)</i>	+	0	SVILUPPO ECONOMICO
<i>stimolo allo sviluppo di altri settori (artigianato, turismo, commercio)</i>	+	0	
<i>contrasto allo spopolamento</i>	+	-	

(simbologia della qualità potenziale delle esternalità: + positivo; 0 neutro; - negativo)

Tabella 1. *Principali esternalità generate attualmente dall'attività agricola e indicazione della loro qualità potenziale (Sabia, 2014)*

Scenario "cambio di destinazione d'uso". È possibile configurare un contesto paesaggistico, del resto già osservabile in

molti contesti rurali, direttamente dipendente dalla valutazione del costo-opportunità di un ipotetico cambio di destinazione d'uso del suolo agricolo, ossia della stima della perdita dei benefici monetari derivanti dall'impiego alternativo di una determinata risorsa (il territorio in questo caso), rispetto ad un suo utilizzo economico ottimale. In altri termini, laddove si verifici che i benefici economici derivanti dall'occupazione di suoli agricoli da parte di impianti eolici e fotovoltaici siano stimati come maggiori rispetto a quelli legati alla conduzione agricola di quei suoli, ecco che scatta il meccanismo che porta alla più o meno graduale denaturazione della vocazione originaria di quel determinato contesto rurale. Naturalmente questi processi di trasformazione del paesaggio determinano conseguenze inevitabili ed oggettive che attengono innanzitutto alla diminuzione della valenza estetica (Figura 4) in aree che magari si distinguono per caratteri paesaggistici di rilievo, con ripercussioni anche nei riguardi delle prospettive future dello sviluppo economico (abbandono ulteriore delle campagne e spopolamento) di un determinato territorio che evidentemente ha puntato sull'utilizzo energetico della risorsa suolo/paesaggio.

*Scenario (auspicabile!) "valorizzazione".* Nel nuovo scenario abbiamo, da un lato, un paesaggio rurale che è percepito come un elemento identitario della Val d'Orcia ed è un fattore di reputazione del territorio che la collettività locale ha interesse a mantenere e /o far evolvere verso una miglior sostenibilità ambientale e dall'altro, delle imprese agricole che, in relazione ai propri obiettivi privati e alle specifiche caratteristiche socio-economico e localizzative attueranno diverse strategie di risposta / adattamento al cambiamento delle politiche agricole (Rovai *et al.*, 2007). In questo caso, si rivela utile l'impiego di un DSS per valutare i possibili impatti sul paesaggio derivanti dai comportamenti aziendali ed informare gli *stakeholders* locali e il decisore pubblico affinché possano essere trovate le soluzioni più idonee a conciliare obiettivi pubblici; ciò anche in considerazione del fatto che nei prossimi anni i flussi di risorse finanziarie per le politiche di sviluppo rurale tenderanno a diminuire e, pertanto, dovranno essere messi a punti strumenti e metodologie in grado di aumentare l'efficacia degli interventi.



Figura 4. Daunia, impianti eolici diffusi in aree rurali

## 6 – Considerazioni conclusive

Il paesaggio, nei suoi elementi distintivi e nelle sue trasformazioni, costituisce la principale testimonianza della trasmissione di un Patrimonio Culturale, dei suoi mutamenti, della sua evoluzione, ma anche del suo possibile degrado; il paesaggio rappresenta l'esito visibile della storia di un territorio ed è un elemento essenziale nella produzione di una memoria condivisa. La consapevolezza del suo valore per la vivibilità e la "reputazione" dei luoghi oltre che per lo sviluppo di strategie di promozione di un territorio, deve essere il punto da cui partire nella formazione di una maggiore coscienza delle potenzialità di questa risorsa, partendo dalla conoscenza dell'elemento identitario. In questo processo la ricerca scientifica e storico-culturale che porti all'emersione dei caratteri identitari del territorio, oltre che al recupero delle sue vocazioni produttive originarie, può assumere un ruolo fondamentale e di supporto alle decisioni gestionali e pianificatorie.

Le funzioni svolte dal paesaggio sono quindi molteplici e risultano direttamente collegate alle diverse esternalità positive derivanti dall'uso che se ne fa del territorio. Appare però sempre più evidente come l'utilizzo di queste risorse, anche in termini di sviluppo economico per le comunità locali, dipenda dalla salvaguardia dei caratteri identitari del territorio che spesso è

legata alla funzione produttiva della sua componente principale, l'ambiente rurale. Circa la metà del territorio dell'UE è coltivata e ne deriva naturalmente che l'agricoltura rappresenta effettivamente un elemento molto importante per il nostro ambiente naturale. L'agricoltura infatti, quando è in grado di garantire il sostentamento delle popolazioni che vivono e modellano quel determinato territorio costituisce il principale baluardo di difesa nei confronti della perdita di valore del paesaggio e del conseguente possibile degrado. La politica paesaggistica deve quindi dettare le regole perché la pianificazione territoriale garantisca innanzitutto il sostegno concreto ed efficace al mantenimento del tessuto economico-produttivo agricolo e nel contempo tutti quei processi virtuosi che mirano alla produzione di conoscenza e al rafforzamento di una maggiore consapevolezza diffusa su come le dinamiche evolutive del paesaggio siano state in grado di modellare e custodire la nostra cultura e la nostra identità.

### Note

<sup>1</sup> Superficie Agricola Totale (SAT), è pari alla somma della superficie agricola utilizzata (SAU) più la superficie agricola non utilizzata.

### Bibliografia

Sabia C.A., *Il ruolo dell'agricoltura e della ruralità per la valorizzazione e la salvaguardia del paesaggio*. In Gabrielli G., Lazzari M., Sabia C., Del Lungo S., "Cultural Landscape. Metodi, strumenti e analisi, fra archeologia, geologia e uso del suolo in contesti del Lazio e della Basilicata (Italia)", OXFORD BAR International Series, Notebooks on Medieval Topography, (2014), pp. 265-279.

Marangon F., Troiano S., *La tutela e la valorizzazione del paesaggio nelle politiche di sviluppo rurale*, Notiziario ERSA 3-4 (2006) 22-26.

Trapasso R., *La politica rurale italiana, secondo la valutazione dell'Ocse*, Agriregionieuropa (2009) anno 5 n. 17.

Rovai M., Gorelli S., Santucci A., *Un modello di supporto alle decisioni per la definizione di politiche per il paesaggio rurale*, Agribusiness Paesaggio & Ambiente Vol. XI (2007) n. 3.





---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---





---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---





---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---





---

---

---

---

---

---

---

---

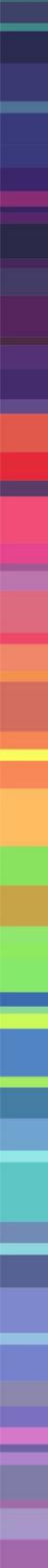
---

---

---

---





Questo volume è stato impresso  
nel mese di Novembre dell'anno 2015  
dalla tipografia Zaccara, Lagonegro (PZ)  
Stampato in Italia / Printed in Italy