

8 FOCUS
Una strategia
per i beni culturali

98 QUADRO INTERNAZIONALE
Structural analysis of
historic constructions

104 PUNTO E CONTROPUNTO
Tecnologie
e beni culturali

Energia ambiente e innovazione

ENEA magazine

N. 4/2016
eai.enea.it

ISSN: 1124 - 0016

Intervista

Dario Franceschini,
*Ministro dei Beni
e delle Attività Culturali
e del Turismo*

Patrimonio Culturale

dal bello al possibile



Editoriale



di Federico Testa

Oggi più che mai i temi della tecnologia e della cultura, in tutte le sue forme espressive, risultano intimamente legati. Infatti, se un tempo, l'innovazione scientifica e tecnologica svolgeva un mero ruolo di supporto alla conoscenza, conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale, oggi si tratta di un elemento essenziale.

In questo contesto e in una realtà caratterizzata da un'evoluzione sempre più rapida di materiali, forme e strumenti realizzativi, la sfida che si pone ENEA è di riuscire sempre più a valorizzare e a trasferire con successo le competenze tecnologiche e metodologiche avanzate di cui dispone in questo settore grazie all'impegno dei suoi ricercatori e tecnologi.

L'ENEA vanta una lunga tradizione di ricerca e innovazione nella diagnostica e conservazione, nella prevenzione e protezione, nella valorizzazione e fruizione, recentemente rinnovata e ampliata con la partecipazione e il coinvolgimento in progetti particolarmente sfidanti di utilizzo al servizio del patrimonio culturale di metodologie e di tecniche fisiche, chimiche, biologiche e nucleari ideate nei suoi laboratori e centri di ricerca.

Dedicare questo numero della rivista interamente alle tematiche del patrimonio culturale vuole quindi dare il segnale e la misura dell'impegno ENEA non solo a livello di strumentazioni e tecnologie innovative, ma anche di capacità propositiva e di attenzione a nuovi settori come quello dell'efficienza e del risparmio energetico e della protezione sismica e ambientale per musei ed edifici storici.

In questa direzione va ad esempio la stipula di protocolli d'intesa nazionali ed internazionali come quelli siglati con numerose istituzioni e con il Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo *in primis*, nel giugno 2016. Le tematiche che saranno congiuntamente approfondite in questa intesa sono illustrate dallo stesso Ministro Dario Franceschini nell'intervista di seguito pubblicata, in un'ottica non solo di conservazione e fruizione dei beni esistenti, ma di ampliamento dell'offerta culturale per raccogliere le sfide proposte da settori in costante evoluzione

quali, ad esempio, il digitale e la realtà virtuale e aumentata, i nuovi materiali, le nanotecnologie, la diagnostica.

I contributi raccolti in questo numero della rivista evidenziano inoltre come il connubio cultura-tecnologia contribuisca non solo ad arricchire e a diversificare l'offerta culturale e turistica, superando barriere fisiche e temporali, ma consenta di creare ulteriori opportunità di coinvolgimento di ampi settori sociali, sia attraverso attività di formazione verso gli studenti di ogni ordine e grado, sia attraverso attività di trasferimento tecnologico verso il mondo imprenditoriale e professionale con la collaborazione tra Istituzioni, Centri di Ricerca e mondo accademico. Tutto ciò anche per dare compiuta attuazione alla cosiddetta "Terza Missione" per favorire engagement e 'titolarità' individuale e collettiva sul patrimonio e sull'eredità culturale, in un contesto sociale di una cittadinanza sempre più consapevole e attenta ai temi della sicurezza, dell'efficienza e della sostenibilità.

In questa più ampia prospettiva si inserisce anche il possibile contributo dell'Agenzia lungo il percorso che ci porterà prima verso il 2018, designato "Anno europeo dedicato al Patrimonio Culturale" e poi, nel 2019, alla costituzione del Consorzio Europeo per la European Research Infrastructure for Heritage Science (E-RIHS) e poter quindi contribuire attivamente, soprattutto nell'attuale momento di crisi, a creare le condizioni per portare la cultura a diventare il motore trainante di una nuova fase di integrazione sociale e di crescita economica del Paese.

Cobalto, zafferano, smalto dall'antichità al XVIII secolo

di Claudio Seccaroni e Jean-Pierre Haldi

ENE A
Cobalto, zafferano, smalto
dall'antichità al XVIII secolo

Claudio Seccaroni - Jean-Pierre Haldi



Gli agenti coloranti a base di cobalto per tingere di azzurro i vetri sono stati utilizzati sin dall'antichità. Nel corso del tempo sono mutate le tecnologie per ottenere questi coloranti, ma il cobalto è stato sempre più impiegato per colorare in azzurro anche smalti, ceramiche e porcellane. In aggiunta, a partire dal XV secolo, un semilavorato vetroso contenente forti concentrazioni di cobalto (azzurro di smalto) è stato usato direttamente come pigmento nelle varie tecniche pittoriche.

Il cobalto può essere associato a vari elementi chimici che, secondo il minerale, la provenienza e i metodi di lavorazione, possono in parte rimanere nei prodotti finiti. La loro determinazione, pertanto, può fornire indicazioni preziose per la datazione, l'individuazione dell'origine dei materiali o delle tecnologie di produzione.

Questa monografia è frutto di un'approfondita ricerca sui siti di origine dei minerali di cobalto, sulla loro estrazione, sulla produzione dei pigmenti e il loro commercio. Per la ricerca si è resa necessaria l'integrazione di competenze diverse, quella scientifico-sperimentale di Claudio Seccaroni - ricercatore ENEA - e quella storica sul commercio e le vie di comunicazione di Jean-Pierre Haldi - già conservatore e direttore di musei in Svizzera.

Il volume è liberamente disponibile su:
www.enea.it

N. 4/2016

Direttore Responsabile

Gaetano Borrelli

Comitato di direzione

Gian Piero Celata, Tullio Fanelli, Roberto Moneta, Roberto Morabito, Aldo Pizzuto

Comitato tecnico-scientifico

Paola Batistoni, Ilaria Bertini, Paola Carrabba, Sergio Cappucci, Roberta Fantoni, Andrea Fianza, Aurelio La Barbera, Sergio La Motta, Michele Marrocco, Laura Maria Padovani, Giovanni Puglisi, Roberta Roberto

Coordinamento editoriale

Giuliano Ghisu

Collaboratori

Luciano De Martino, Paola Del Nero, Marina Fortuna, Maria Grazia Oteri

Revisione lingua inglese

Carla Costigliola

Progetto grafico

Paola Carabotta

Edizione web

Antonella Andreini, Serena Lucibello, Concetta Manto

Promozione e comunicazione

Paola Giaquinto

Impaginazione

Del Gallo Editori D.G.E. Greenprinting srl
Via Dei Tornitori, 7 - 06049 Spoleto (PG)
info@delgalloeditori.com

Stampa

Laboratorio Tecnografico
Centro Ricerche ENEA Frascati
Numero chiuso nel mese di dicembre 2016

Registrazione

Tribunale Civile di Roma
Numero 148 del 19 aprile 2010 del registro - Stampa



8 Il progetto COBRA

01 Editoriale

INTERVISTA

06 a Dario Franceschini, Ministro dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo

FOCUS

- 08 Il progetto COBRA e il recupero degli affreschi nel cupolino di san Costanzo a Ronciglione
- 14 I beni culturali tra retorica e modernità
- 20 Studio e monitoraggio del quadro fessurativo e del comportamento sismico del Duomo di Orvieto
- 24 Archiviazione di dati digitali nell'infrastruttura Cloud ENEA
- 30 Gli effetti dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale monumentale, la conoscenza dello scenario nel bacino Mediterraneo per possibili azioni di mitigazione
- 36 Un progetto di valorizzazione della scienza nell'arte: le rappresentazioni botaniche nei festoni rinascimentali della scuola di Raffaello
- 42 Inquadramento storico dell'area archeologica di Sinuessa in Campania

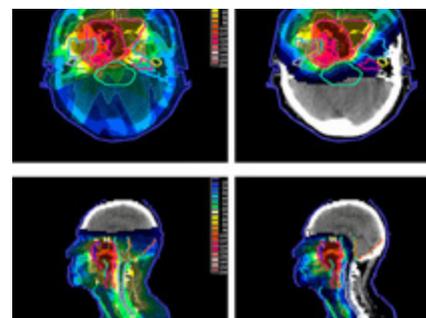
Sommario



42 Inquadramento storico dell'area archeologica di Sinuessa



84 Conservation of garden sculptures



108 Confronto socio-economico protonterapia-radioterapia

- 48 Assetto geomorfologico dell'area marina di Sinuessa e ipotesi di fruizione sostenibile
- 54 Elaborazione di un itinerario subacqueo sul banco roccioso di Sinuessa
- 60 Biotecnologie in gioco verso processi e prodotti sostenibili per i beni culturali
- 66 La nuova prestazione energetica dell'edilizia storica e monumentale
- 72 La riqualificazione dei centri storici
- 76 L'uso dei composti di cobalto dall'antichità al XVIII secolo
- 80 Un nuovo modo di comunicare l'arte: i musei virtuali

QUADRO INTERNAZIONALE

- 84 How to support the conservation of garden sculptures: A case study in Romania
- 88 How to evaluate and mitigate vulnerability of historical buildings. A Spanish project experience
- 94 E-RISH: l'infrastruttura di ricerca europea per la scienza del patrimonio culturale e naturale
- 98 Structural analysis of historic constructions: Some notable examples

PUNTO & CONTROPUNTO

- 104 Marco Bussagli (Accademia di Belle Arti di Roma) e Cecilia Frosinini (Opificio delle Pietre Dure di Firenze)

SPAZIO APERTO

- 108 Considerazioni sull'impatto socio-economico della protonterapia
- 114 Cibo come farmaco naturale nell'era della nutrie-pigenomica

Intervista a cura di Gaetano Borrelli



a **Dario Franceschini**,
Ministro dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo

Signor Ministro, sono in molti a ritenere che dalla conoscenza, conservazione, protezione, valorizzazione del patrimonio culturale possano derivare benefici di vasta portata, non soltanto in una prospettiva di tutela di beni di valore inestimabile per il nostro Paese. È possibile sintetizzare le strategie del Ministero su questo fronte?

Questo Governo si è mosso lungo due principali direttrici. In primo luogo, ha profondamente riformato la *governance* dei musei statali, che da semplici uffici delle Soprintendenze sono diventati realtà autonome, affidate a un direttore con funzioni dirigenziali selezionato tramite un bando internazionale per le realtà più significative o rette da funzionari che rispondono al direttore del polo museale di ogni singola regione. I musei ora godono di un proprio statuto, hanno un consiglio di amministrazione e un consiglio scientifico e gestiscono il proprio bilancio. I risultati sono stati immediati. Nel 2015 i musei hanno raggiunto il record assoluto di 43 milioni di visitatori, un risultato straordinario che le tendenze di quest'anno sembrano confermare: nel primo semestre del 2016 i visitatori dei musei statali sono aumentati del 4%, mentre gli incassi sono cresciuti del 10%. In secondo luogo, ha aperto in maniera significativa ai privati introducendo l'Art Bonus, un'agevolazione fiscale senza eguali in Europa per chi investe in cultura. Nei primi due anni di applicazione sono stati raccolti oltre 120 milioni in favore di 714 progetti di tutela del patrimonio culturale pubblico e di sostegno alle attività dei teatri e delle fondazioni liriche, soprattutto da parte di imprese e fondazioni bancarie.

La ricerca scientifica ha prodotto tecnologie sempre più avanzate per il patrimonio culturale. Oggi

esistono strumentazioni e procedure di eccellenza, ma non sempre sono note a chi potrebbe utilizzarle "sul campo". Che cosa si può fare per facilitarne il trasferimento e l'utilizzo dai "laboratori di ricerca" ai "laboratori di restauro"?

Permettere la diffusione e l'utilizzo di queste nuove tecnologie alle scuole di alta formazione del restauro del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo: l'Opificio delle Pietre Dure di Firenze, l'Istituto Superiore di Conservazione e Restauro e l'Istituto Centrale per il Restauro e la Conservazione del Patrimonio Archivistico e Librario. Ciò potrebbe avvenire attraverso il coinvolgimento del corpo docente di queste istituzioni in corsi specifici presso l'ENEA o la donazione a questi istituti di tecnologie e il relativo trasferimento di know-how: un investimento dai sicuri ritorni.

È stato di recente firmato un Protocollo d'Intesa tra il suo Ministero e l'ENEA incentrato su Ricerca e Innovazione per la tutela del patrimonio culturale italiano, incentrato sulle tematiche dell'efficientamento energetico dei musei, della diagnostica e della protezione sismica. Quali interventi sono a suo giudizio prioritari in questi diversi settori?

Il terremoto che ha colpito il Centro Italia a solo sette anni dal sisma dell'Aquila pone inevitabilmente in cima alla lista gli interventi di protezione sismica. Le vite umane e il patrimonio culturale dei tanti borghi storici che costellano le aree a più elevato rischio sismico del nostro Paese sono sottoposti a una costante minaccia, è doveroso mettere in campo tutte le capacità tecniche, scientifiche e tecnologiche per evitare il più possibile il ripetersi di simili conseguenze.

Si dice che gran parte del patrimonio museale del Paese sia “conservato” negli scantinati dei grandi poli museali, si parla di oltre il 50%. Se è vero come pensa sia possibile “tirarli fuori”, e quindi valorizzare, queste opere d’arte e quale può essere il ruolo che oggi si definisce come “museo diffuso”?

Il termine scantinati è improprio e svilisce la grande cura con cui le opere sono conservate nei depositi, veri e propri polmoni che permettono a ogni museo di rinnovare la propria esposizione nel tempo e di offrire al pubblico percorsi sempre nuovi. Oltre all’alternanza fisica delle opere tra spazi espositivi e depositi, deve però essere immaginato anche un approccio che, tramite le nuove tecnologie e la rete, possa rendere visibili dipinti, sculture e reperti archeologici quando non sono esposti. Inoltre, tramite un’oculata politica di prestiti, è possibile far conoscere al grande pubblico questi tesori facendoli esporre in mostre temporanee anche in altri musei.

Le tecnologie di elaborazione delle immagini sono entrate prepotentemente nella nostra vita e anche, ovviamente, nei musei. Il MAV di Ercolano, tanto per fare un esempio, accoglie sempre più visitatori. Non c’è il rischio che i visitatori “si accontentino” e non vadano poi a visitare gli scavi “reali”? In altre parole quale è, a Suo parere, il giusto equilibrio tra “virtuale” e “reale”?

Il giusto equilibrio sta nella corrispondenza tra reale e virtuale: ciò che si vede in rete o grazie alla realtà aumentata non può discostarsi troppo da ciò di cui si può godere dal vero. L’esperienza virtuale deve invogliare alla visita, non sostituirla. L’esperienza dal vivo è imparagonabile, ma il visitatore deve essere messo nelle condizioni di viverla al meglio, accompagnato nel percorso da ogni strumento che possa facilitare la comprensione di ciò che si sta ammirando.

Un tema di crescente rilievo è quello del rapporto tra comunità locali e beni culturali presenti sul territorio, talvolta vissuti come un onere e non come

una opportunità. A suo giudizio come è possibile migliorare questo rapporto?

La determinazione con cui le comunità colpite dal sisma del 24 agosto chiedono che il patrimonio culturale messo in sicurezza dai tecnici del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo rimanga nel territorio smentisce questa sensazione. Abbiamo dovuto fornire ogni assicurazione al riguardo quando le opere sono state trasportate nei depositi dove verranno allestiti dei laboratori di pronto intervento. Certo, esistono situazioni in cui apparentemente lo sviluppo del territorio e delle sue infrastrutture entra in contrasto con la tutela dei beni culturali e paesaggistici, ma le semplificazioni che il Governo ha introdotto per le autorizzazioni paesaggistiche sono destinate a contemperare le diverse esigenze in un armonico percorso di crescita economica, civile e sociale delle comunità che hanno la fortuna di possedere un patrimonio culturale di una qualche entità.

Mi permetta un’ultima domanda che traggo da due constatazioni: alcune nazioni basano gran parte del loro reddito sul turismo e lo incrementano migliorando i servizi. Crede che sia possibile anche in Italia compiere un salto di qualità mettendo al centro dello sviluppo economico del Paese la fruizione e la valorizzazione del patrimonio culturale?

Certo, ma ciò deve andare di pari passo allo sviluppo delle infrastrutture e della ricettività alberghiera del territorio che si promuove. Questi sono i principi ai quali è ispirato il Piano Strategico per il Turismo, realizzato insieme alle diverse realtà del settore attraverso un percorso partecipato, sottoposto al comitato nazionale del turismo e alle commissioni parlamentari competenti e ora in procinto di essere presentato al consiglio dei ministri per l’approvazione finale. In termini concreti, è quello che stiamo cercando di fare a Pompei, dove insieme a FS e RFI abbiamo messo in campo un progetto per un *hub* ferroviario dell’alta velocità in prossimità degli scavi che rivoluzionerà la mobilità e l’accoglienza in uno dei siti archeologici più visitati al mondo.

Il progetto COBRA e il recupero degli affreschi nel cupolino di San Costanzo a Ronciglione

Il progetto COBRA, promosso dall'ENEA e finanziato dalla Regione Lazio, ha come obiettivo lo sviluppo e la diffusione di metodi, tecnologie e strumenti avanzati per la conservazione dei beni culturali, basati sull'applicazione di radiazioni e di tecnologie abilitanti.

Nell'articolo viene illustrato il primo caso di studio, che riguarda gli affreschi sulla cupola di San Costanzo a Ronciglione, in provincia di Viterbo

DOI 10.12910/EAI2016-050

di Roberta Fantoni, Luisa Caneve, Massimo Francucci, Massimiliano Guarneri, Valeria Spizzichino, Franca Persia, Angelo Tati, ENEA
Maria Fernanda Falcon Martinez, Chiara Giuffrida, Francesca Scirpa, Adriana Adelmann, Restauratrici
Alessandro Zanini, Laura Bartoli, El.En. SpA

Un popolo senza la conoscenza della propria storia, origine e cultura, è come un albero senza radici
(Marcus Garvey)

Il titolo di questo numero della Rivista, che ho avuto l'onore e l'onere di coordinare insieme al collega Andrea Fidanza, è stato scelto per sottolineare il passaggio epocale da una fruizione passiva, la contemplazione distaccata del “bello”, ad una interattiva in cui il bene

culturale viene vissuto nella realtà contemporanea entrando a farne parte al punto da diventare “possibile”. A questo passaggio danno un contributo particolarmente significativo le nuove tecnologie che offrono opportunità rilevanti per la conservazione e la fruizione dei beni culturali: dalla diagnostica su materiali e sugli effetti di degrado dovuti all'ambiente, al monitoraggio strutturale per prevenire danni sia ai beni che agli utenti.

D'altra parte il patrimonio culturale identifica la cultura di un popolo attraverso canoni estetici che si sono formati nel corso dei secoli. La distruzione del patrimonio culturale corrisponde, quindi, ad un tentativo di distruggerne l'anima. Dalla distruzione delle grandi biblioteche dell'antichità ai recenti fatti di Palmira, le furie iconoclaste hanno sempre avuto lo scopo preciso di operare un “genocidio” culturale che spesso, e purtroppo



po, precede il genocidio fisico. Conservare il patrimonio culturale diventa allora un dovere per chi vuole trasmettere i propri valori di civiltà alle generazioni future, ma la conservazione pura e semplice, oltre a non essere tecnicamente facile e spesso costosa, può non bastare. Un'attenta conservazione deve implicarne una altrettanto corretta fruizione, fondamentale per tramandarne i valori che la cultura esprime. Questo è già possibile anche cambiandone la destinazione d'uso: le Terme di Caracalla, ad esempio, da lussuosi bagni pubblici sono diventati un incomparabile scenario per il teatro lirico estivo. Attraverso strumenti ITC, ormai di

larga diffusione e particolarmente graditi alle nuove generazioni, esistono alternative alla fruizione diretta sia in forma remota che virtuale. Benché risulti difficile considerarle una valida sostituzione all'incomparabile impatto della visita *in situ*, ne va sottolineata l'importanza nei casi legati ad opere poco accessibili per l'ambiente ostile in cui si trovano (parchi sottomarini) o per la loro intrinseca fragilità (ambienti ipogei). La possibilità di visite virtuali, in questi casi, è da considerarsi come una opzione di notevole importanza per la diffusione della cultura. La fruizione digitale in rete resta inoltre l'unico accesso alle opere, quando non esposte in appositi

spazi musivi o mostre temporanee. Non solo. La possibile integrazione del reale con il virtuale, infatti, in un sito archeologico, per una vera e propria immersione nel passato, è un modo di fare cultura, sempre più apprezzato, che sta introducendo con successo tecniche di spettacolo multimediale nella fruizione del patrimonio culturale. Il *Viaggio nei Fori - Foro di Augusto e Foro di Cesare - 2 storie e 2 percorsi* a cura di Piero Angela e Paco Lanciano, realizzato a Roma nell'estate del 2016, ne è un esempio considerevole. La fruizione, sia nella forma diretta che nella forma virtuale, produrrà di conseguenza un aumento della consapevolezza del cittadino, sia

esso turista o residente, della importanza di possedere un patrimonio culturale così rilevante come quello presente nel nostro Paese, anche come volano della economia. Ad esempio la conservazione di un intero borgo medievale, nel rispetto dei moderni criteri antisismici e di risparmio energetico, può fare da traino ad un turismo responsabile che valorizzi anche gli aspetti intangibili della cultura ad esso associabili, dalla musica e le rappresentazioni storiche agli eventi popolari e la cucina tradizionale.

Tecnologie e patrimonio culturale non sono quindi corpi estranei in quanto la tecnologia del domani, usando le parole di Edward Teller, altro non è che la scienza di oggi.

In questo articolo, che apre la sezione Focus, si vuole anche parlare del contributo che le nuove tecnologie possono offrire sia alla conservazione sia alla fruizione dei beni culturali, così come è avvenuto nel caso di studio degli affreschi sulla cupola di San Costanzo a Ronciglione, una battaglia contro il degrado vinta grazie alla tecnologia laser.

Possiamo quindi affermare che il progetto regionale COBRA è una scommessa per l'innovazione tecnologica nel settore dei Beni Culturali.

Nell'ambito della Legge regionale 13/2008 nel 2014 la Regione Lazio ha presentato un bando per l'innovazione tecnologica al quale l'ENEA ha partecipato con successo proponendo il progetto COBRA, dedicato allo sviluppo e diffusione di metodi, tecnologie e strumenti avanzati per la Conservazione dei Beni culturali, basato sull'applicazione di Radiazioni e tecnologie Abilitanti¹. I principali

obiettivi di questo progetto riguardano lo sviluppo di dimostratori per gli end user nel settore della conservazione dei beni culturali e la dimostrazione e promozione delle tecnologie innovative su cui questi dispositivi si basano. Fra le tecnologie proposte dall'ENEA, in COBRA rientrano quelle basate sull'impiego della radiazione laser sia per le diagnostiche non invasive su superfici dipinte sia per il restauro delle medesime mediante tecniche di pulitura selettiva. Per quest'ultima tipologia di azioni all'ENEA si è affiancata la El.En. SpA con la sua riconosciuta esperienza nella realizzazione di sistemi laser dedicati.

Fin dal suo inizio, il 21 luglio 2015, il progetto si è posto il problema di affrontare casi di studio reali nel Lazio sui quali dimostrare l'efficacia di interventi possibili solo a fronte dell'innovazione tecnologica. La diffusione dell'innovazione tecnologica nel settore dei beni culturali soffre di due importanti colli di bottiglia, uno legato al costo proprio delle tecnologie, per cui le indagini diagnostiche sui materiali e sulle strutture vengono eseguite solo raramente nella fase preliminare prima di giungere al progetto definitivo appaltabile, e l'altro alla necessità di formazione di personale specializzato. Il progetto ha tentato di superare entrambi questi ostacoli mettendo a disposizione dimostratori di tecnologie replicabili a costo contenuto, il supporto tecnico del proprio staff e formando i restauratori per il loro utilizzo. Per realizzare significativi casi di studio sono state stimulate proposte da parte di operatori nel settore, Sovrintendenze e restauratori, invitandoli a presentare problemi

conservativi rilevanti avuti con i mezzi tecnici a loro disposizione e per cui si sia ritenuto utile l'ausilio di tecnologie diagnostiche. Il primo caso di studio sul quale il progetto COBRA è stato chiamato a confrontarsi riguarda un intervento dimostrativo di tecnologie laser per il recupero degli affreschi cinquecenteschi nella cupola della Chiesa di San Costanzo a Ronciglione, in provincia di Viterbo. Il caso di studio è risultato particolarmente complesso e quindi molto stimolante dal punto di vista delle applicazioni tecnologiche. Gli affreschi, affioranti a tratti sotto due strati di successive scialbature, risultavano in pessimo stato di conservazione e la loro completa ripulitura con tecniche tradizionali appariva impossibile. Le tecnologie optoelettroniche per le quali l'ENEA ha messo a punto sistemi compatti trasportabili, utilizzati anche sui cinque piani di impalcature già presenti nel cantiere, sono state in primo luogo utilizzate per documentare lo stato della superficie, caratterizzandone sia la morfologia che la composizione. Nello specifico le principali questioni aperte hanno riguardato:

- la caratterizzazione dei leganti degli strati policromi sovrapposti agli affreschi;
- la presenza di biodeteriogeni, localizzazione e identificazione;
- la mappatura e riconoscimento delle aree in cui si conservava ancora l'affresco;
- l'efficacia e la penetrazione dei consolidanti utilizzati;
- la presenza di umidità, i distacchi degli intonaci, i rifacimenti e le fessurazioni
- l'applicabilità e l'efficacia della pulitura laser.



L'ENEA ha utilizzato le proprie tecnologie, in particolare due sistemi di indagine ottica e spettroscopica e una termocamera, che hanno fornito risposte immediate, anche preliminari, ai suddetti quesiti. In particolare è stato utilizzato un sistema di scansione laser tricromatica (RGB-ITR), brevettato da ENEA [1, 2], che consente di analizzare e digitalizzare remotamente sia le componenti colorimetriche che strutturali dell'opera investigata, al fine di individuare, ad esempio, alterazioni pigmentali e micro-fessurazioni.

Il prototipo ENEA di sistema laser a scansione di fluorescenza (LIF scanning) [3] è stato impiegato in selezionate aree, permettendo l'individuazione del bio-degrado e lo studio della diffusione dei consolidanti utilizzati nel restauro in corso. È stato inoltre impiegato un sistema laser Raman portatile per la caratterizzazione degli strati di ridipintura. Quest'ultima indagine puntuale ha permesso l'identificazione di alcuni pigmenti di uso comune e l'esclusione dell'utilizzo della tempera o di leganti organici, confermando l'ipotesi della stesura di una tinta a calce. L'applicazione della termografia ha inoltre per-

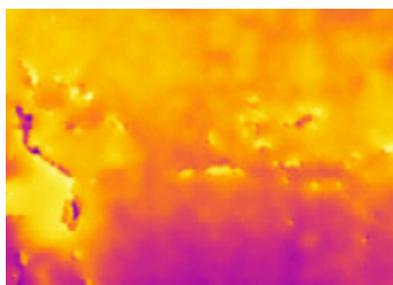


Fig. 1 Immagine termografica del settore ovest della cupola acquisita in alto, in prossimità del lucernario. In giallo le zone con maggiore presenza di umidità. Sono evidenti distacchi e fessurazioni (in basso a sinistra)



Fig. 2 Cupola di San Costanzo a Ronciglione, vicino Viterbo. Recupero di affreschi del tardo Cinquecento: il dettaglio del volto di un angelo musicante come era prima del restauro (a sinistra) e come è oggi (a destra)

messo di rilevare l'estrema disomogeneità dell'adesione dell'intonaco alla muratura con individuazione dei distacchi. In particolare le immagini riguardanti i livelli superiori della cupola (Figura 1) presentano uno stato di conservazione molto critico a causa delle infiltrazioni dell'acqua piovana, responsabili di cristallizzazione dei Sali e della presenza di fenomeni di attacco biologico. Le immagini ottenute con la termografia, combinate con quelle relative alle differenze di spessori sub-millimetrici, misurate mediante RGB-ITR, hanno contribuito a un efficace utilizzo della tecnica di pulitura laser, già presa in considerazione in seguito a tentativi non efficaci con tecniche chimiche e meccaniche. La pulitura laser è stata monitorata nei test iniziali tramite i sistemi di diagnostica laser ed immagini fotografiche (Figura 2). Nonostante sia stata messa in sicurezza grazie a importanti interven-

ti strutturali, la cupola presenta le pesanti conseguenze di una lunga storia di infiltrazioni, negligenza e abbandono che ha lasciato dietro di sé gravi conseguenze, come disgregazione degli intonaci, efflorescenze saline, distacchi e lacune con conseguente perdita di materiale originale (Figura 3). Lo strato pittorico si presenta molto deteriorato e sono evidenti diversi momenti decorativi sovrammessi. Al momento del restauro la superficie pittorica raffigurava un finto cassettonato, che costituisce il momento decorativo più recente. Dopo aver studiato la superficie è stato subito evidente che questa decorazione riprende un'altra fase decorativa antecedente perfettamente coincidente per decori e toni. La scoperta più significativa è stata il ritrovamento di un terzo strato pittorico ad affresco più antico, raffigurante una gloria di angeli musicanti sopra un cielo e nuvole. Il tutto poggia in maniera

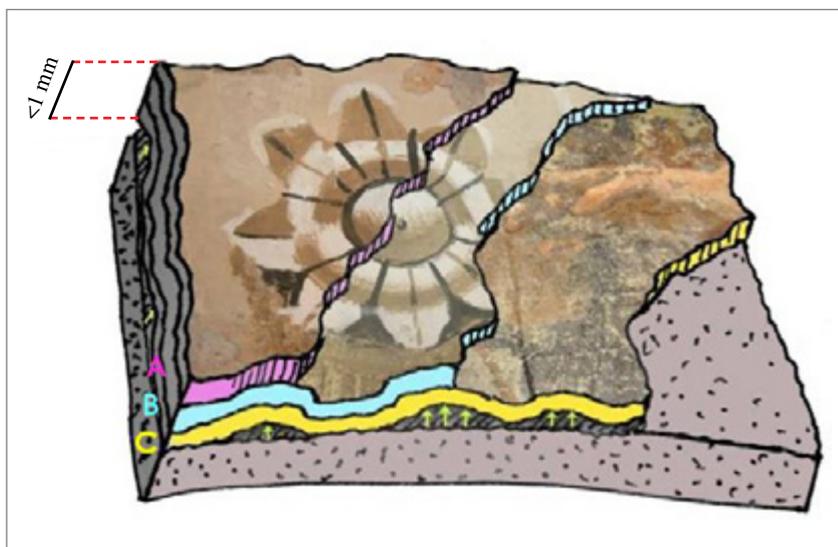


Fig. 3 Stratigrafia delle decorazioni della cupola di San Costanzo: A - Policromia con motivo a lacunari, finitura a calce che riprende il motivo decorativo sottostante; B - Policromia con motivo a lacunari eseguito a calce direttamente senza strato preparatorio e con incisioni delle geometrie direttamente sull'affresco; C - Affresco con gloria di angeli, presenta lacune, finiture a secco e forti stati di decoesione, in verde i diffusi distacchi anche di qualche cm

disomogenea, con distacchi a volte di notevole entità, su un substrato fortemente decoeso ed intriso di biodeteriogeni e sali.

Lo stato di conservazione degli intonaci vincola la tipologia d'intervento. Gli strati tenacemente carbonatati, ormai solidali ma fragili nell'insieme, non permettono una lavorazione con metodi tradizionali, chimici o meccanici. Il degrado è tale che lo strato policromo sollevato riesce a malapena a sostenere il proprio peso. In molte parti lo strato di affresco sollevato dalla malta di supporto è in realtà tenuto insieme dalle scialbature sovrastanti.

Le numerose problematiche emergenti, le difficoltà operative con metodi tradizionali hanno indirizzato gli operatori, in collaborazione con l'ENEA e l'El.En. SpA, alla prova della pulitura laser che si è dimostrata un ottimo alleato nella riscoperta degli affreschi originali. Il sistema laser utilizzato è un EOS

COMBO il quale combina due regimi temporali appositamente sviluppati per la pulitura di Beni Culturali: il regime *Short Free Running* (SFR), con durata dell'impulso variabile da 50 a 110 μ s, e il *Long Q-Switch* (LQS), con impulsi da 100 ns. Il sistema consente di poter variare, oltre alla durata dell'impulso, l'energia e la frequenza di ripetizione, permettendo di adattare la lavorazione alle numerose variabili di uno scenario così complesso. Il laser, in questo caso, ha agito tramite un effetto detto di "spallazione secondaria" che ha permesso il distacco puntuale di micro porzioni delle ridipinture.

A seconda della zona in lavorazione era possibile trovare: presenza di sali fra l'affresco e le ridipinture, strati pittorici tenacemente solidali fra loro, distacchi dei tre strati dell'ordine dei 3/4 cm, uno strato di intonachino già frammentario al momento della ridipintura, fino

al caso più problematico in cui si ritrovava solo pigmento allo stato di polvere.

Il laser nell'intervento di pulitura ha dimostrato la minima invasività (la pulitura viene facilitata a volte solo con l'assistenza di una vaporizzazione di acqua e alcool) e soprattutto la grande precisione in quanto il processo di pulitura interessa solo l'area illuminata dal fascio, regolabile per intensità e grandezza (1,5-6 mm).

D'altro canto l'utilizzo del laser, per quanto decisamente risolutivo, ha mostrato in questo contesto così particolare alcune criticità, in quanto la variabilità delle situazioni e del grado di conservazione del velo pittorico hanno costretto i restauratori a lenti e laboriosi aggiustamenti dei parametri operativi, lavorando peraltro a basse frequenze.

Per la presenza di policromie in tutti gli strati, sia in quelli da rimuovere che ovviamente in quelli da conservare, è stato difficile sfruttare la selettività cromatica propria del laser, anche perché non è stato possibile fissare o preconsolidare le superfici policrome, altrimenti la pulitura laser sarebbe stata ancora più difficoltosa e lenta per la presenza di consolidanti.

Grazie alla collaborazione fra restauratori e ricercatori del progetto COBRA, per la cupola di San Costanzo sono state trovate e applicate tecnologie e soluzioni altrimenti insostenibili per un ordinario intervento di restauro. COBRA, infatti, ha dato la possibilità alle restauratrici di essere supportate da una importante fase diagnostica e di essere addestrate all'utilizzo del sistema laser.

Quello della cupola e della chiesa di San Costanzo ha rappresentato un restauro "in progress", che ha



visto consolidarsi la collaborazione interdisciplinare, anche nelle successive fasi di intervento, attraverso un lavoro sinergico nel miglioramento degli obiettivi scientifici, nella formazione tecnica degli operatori e nella ricerca di nuove possibilità applicative degli studi fatti tra cui test sui materiali utilizzati, supporto alla catalogazione, divulgazione e calibrazione di immagini fotografiche, ampliamento della banca dati delle strumentazioni, apertura di nuovi campi di collaborazione con l'ENEA.

I lavori si concluderanno probabilmente entro il 2016, con la riscoperta dei bellissimi affreschi che la cupola come uno scrigno ha nascosto nei secoli.

Ringraziamenti

Si ringraziano: la Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio area metropolitana di Roma, provincia di Viterbo e Etruria Meridionale, in particolare il direttore dei lavori per il restauro della cupola, dott.ssa Luisa Caporossi, e

la progettista, dott.ssa Federica di Napoli Rampolla; l'architetto Pietro Lateano, direttore del cantiere di restauro della Chiesa di San Costanzo, e Don Silvio Iacomi, parroco della medesima.

Si ringraziano inoltre i tecnici ENEA Massimiliano Ciaffi e Gaetano Terranova per il supporto fornito durante la campagna.

*Per saperne di più:
roberta.fantoni@enea.it*

¹ L'attività dell'ENEA è stata interamente svolta nell'ambito del progetto COBRA (n. 1031 LR 13/2008) finanziato dalla Regione Lazio.

BIBLIOGRAFIA

Guarneri, M., Ferri De Collibus, M., Fornetti, G., Francucci, M., Nuvoli, M. and Ricci, R., "Remote colorimetric and structural diagnosis by RGB-ITR color laser scanner prototype", *Advances in Optical Technologies*, Vol. 2012, 1 – 6 (2012)

Guarneri, M., Danielis, A., Francucci, M., Ferri De Collibus, M., Fornetti, G., Mencattini A., "3D remote colorimetry and watershed segmentation techniques for fresco and artwork decay monitoring and preservation", *Journal of Archaeological Science*, 46, 182– 190 (2014)

Caneve, L., Colao, F., Fantoni, R. and Fiorani, L., "Scanning lidar fluorosensor for remote diagnostic of surfaces", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 720, 164–167 (2013)



I beni culturali tra retorica e modernità

In Italia il patrimonio culturale è soggetto a diverse pressioni che vanno dal dissesto idrogeologico alla fragilità del territorio, come dimostra il recente terremoto in Centro Italia.

Questo rende difficile la gestione e la fruizione dell'immenso patrimonio artistico culturale del Paese anche se i punti che seguono suggeriscono soluzioni

DOI 10.12910/EAI2016-049

di **Pietro Folena**, *Presidente di MetaMorfosi*

“fatti di Firenze”

Il quattro novembre di cinquant'anni fa, nel 1966, è stata una data-chiave della storia dell'Italia repubblicana. L'emozione mondiale per l'erosione dell'Arno e per i gravissimi danni al patrimonio culturale di Firenze mosse una generazione, già in grande fermento, in un'opera di solidarietà e di volontariato senza precedenti. Gli “angeli del fango” furono l'avanguardia di quelle generazioni che presero la parola con rumore due anni dopo, e che irrupero sulla scena della società col loro carico di domande e culture nuove. L'alluvione squadrò l'incredibile fragilità del territorio – che era già stato sottoposto allo stress di un'industrializzazione e di un'urbanizzazione rapide e incontrollate – e quella dei beni culturali, che così risultavano esposti a nuovi rischi di deterioramento o di distruzione. Ma questo anniversario, in qualche modo rinnovato dal “terremoto permanente”, coi danni gravissimi provocati a tutto il tessuto urbano e sociale delle aree colpite, ha riproposto il tema, sempre accantonato dopo la prima emozione in seguito a grandi sciagure naturali, della messa in sicurezza del territorio e, nel territorio, dei beni culturali. Questa è la vera e grande opera pubblica, a cui possono concorrere tanti privati, che può rilanciare l'economia e la credibilità del Paese.

La cultura è un bene universale

Il tema preliminare è quello di superare la visione angusta e retorica che da parte della politica e dei media vi è stata attorno a questo argomento. Si sente spesso usare l'espressione infelice della cultura come “petrolio” dell'Italia! Non c'è

parte politica, e neppure *opinion-maker* dei più gettonati che non abbia usato questo termine. Una sciocchezza grande come una casa, perché il petrolio si brucia, inquina e non si rinnova, a differenza della cultura che invece si moltiplica perché crea nuove opportunità. La cultura non si brucia. Anzi: i regimi e i fanatici hanno sempre bru-

E perciò la legge nei Paesi democratici, e in Italia con particolare attenzione, tutela questi beni, e li vincola. La cultura è anche una gigantesca opportunità per produrre ricchezza. Ricchezza spirituale, delle menti, dei cervelli, delle donne e degli uomini. E anche ricchezza materiale ed economica, che sappia pensare un modello di produzione



Il Battistero e il Duomo di Firenze durante l'alluvione del 1966

ciato i libri o distrutto le statue, fino ai Talebani che hanno distrutto i Buddha di Bamiyan, i militanti estremisti che hanno per fortuna compromesso solo qualche manoscritto della preziosissima raccolta di Timbuctù o i guerrieri del Califfato che hanno abbattuto le più antiche chiese cristiane in Siria. La cultura è un bene universale: è il bene comune per eccellenza, anche quando quest'opera o quel patrimonio appartengono a uno Stato, a un Comune, a una Chiesa, a un privato.

di beni e servizi e di organizzazione della società ad altissimo “tasso culturale”. Quello che oggi si chiama il modello della qualità, dopo quello quantitativo e consumistico che ha portato l'umanità nella crisi degli ultimi anni ed ha depredato e consumato risorse. Sei competitivo nel mondo globale solo se il tuo “tasso culturale” si accresce. Cosa sia il “tasso culturale” di una società, come si calcoli e quali risorse pubbliche e private alla sua crescita debbano essere destinate, è il tema



Il Cristo Portacroce Giustiniani presso la Chiesa di SanVincenzo di Bassano Romano

strategico che la politica si deve proporre.

La collaborazione tra pubblico e privato

Nei lunghi anni nei quali il pensiero unico è stato quello liberista e mercantile è emerso un orientamento, secondo il quale solo l'entrata senza mediazioni del privato potesse risolvere il problema di un pubblico che ha meno soldi per i Beni Culturali. Cosa è accaduto? Praticamente nulla. Infatti l'idea che bastasse impor-

tare le regole di mercato per rilanciare questo patrimonio, è un'illusione. Le ragioni sono molteplici. Non riguardano il fatto che il privato non possa avere un ruolo in questo campo, come qualcuno ancora pensa, ma il fatto che il privato che vuole avere un ruolo deve accettare e condividere regole e vincoli particolari; deve sapere che non sempre c'è profitto immediato, e questo per molti è un problema; e che comunque i margini, almeno nei campi della gestione e valorizzazione di beni, sono limitati e bassi.

Per dirla in modo semplificato: c'è poco spazio per chi vuole speculare, per chi vuole avere molta liquidità, per chi immagina operazioni finanziarie acrobatiche. C'è spazio per un'impresa artigianale e industriale della cultura che lavori nel tempo, che investa su progetti di medio-lungo periodo, che abbia una vocazione collaborativa. C'è quindi un grande problema di responsabilità sociale dell'impresa della cultura.

In realtà, quindi, il lavoro da fare è più complesso: si tratta infatti di creare una collaborazione fra privato e pubblico. Un'interazione tra un privato che accetti vincoli e regole, senza pensare ai Beni Culturali come a un settore in cui si fa business come in tanti altri settori. Applicare ai Beni Culturali le logiche del marketing come fossero un prodotto da vendere, usare l'opera d'arte da esporre senza programmazione, senza pianificazione e senza contropartite, spesso sbloccando le situazioni solo per mano politica, si è dimostrato un tentativo fallimentare. Gli stessi privati che hanno operato con questa filosofia sanno benissimo che i risultati sono stati molto critici.

Va superata anzitutto l'idea debole da parte della politica della cultura come evento, in quanto l'*eventismo* esasperato ha sottratto risorse ai beni culturali e a quella che io chiamo appunto una "politica industriale della cultura", e cioè un'azione sistematica, controllata e concordata di valorizzazione sostenibile dei giacimenti culturali.

Il reperimento delle risorse finanziarie

La domanda a cui né questa politica né i suoi detrattori mediatici rispondono è il cuore della discussione sulla conservazione e sulla valoriz-



zazione dei beni culturali: e cioè il reperimento delle risorse finanziarie, in un momento di crisi generale e di tagli in tutti i Paesi ricchi alla spesa pubblica, per conservare e valorizzare il patrimonio culturale italiano – il più grande del mondo – e i suoi giacimenti così diffusi, ricchi, importanti, talvolta sconosciuti. Non porsi questa domanda vuol dire trascinarsi nella polemica chi spettacolarizza per ragioni di consenso o di mercificazione dell'arte, e chi invece difende, finanzia, promuove un patrimonio.

C'è infatti, oltre ai difetti già indicati della politica, un'ottica di una parte di teorici duri e puri della conservazione del patrimonio come fatto preliminare in cui ritrovo un riflesso antico: la posizione elitaria di una parte di studiosi che consideravano le opere d'arte di loro esclusivo predominio. Per questo occorre rendere fruibile e accessibile il patrimonio culturale, nel pieno rispetto di tutti i criteri di conservazione. Forse si è aperta una nuova stagione: quella in cui è pensabile mettere in circuito un patrimonio culturale in modo pianificato nel territorio con un intento di crescita sociale, culturale e civile.

Qui c'è un tema strategico: conservazione e valorizzazione possono e debbono andare a braccetto, anzi la distinzione tra i due aspetti non ha più ragione di esistere. La prima sicurezza della conservazione e salvaguardia del patrimonio viene dal fatto che esso non si trovi in una condizione di abbandono.

Non è quindi vero che la conservazione la fai combattendo la valorizzazione. La politica della conservazione ha certamente bisogno di risorse pubbliche. Ma hai anche bisogno di capire, in forme innovative e usando le meravigliose potenzialità delle nuove tecnologie, come lo stes-

so patrimonio che stai conservando può portare reddito e produrre una ricchezza. Conservazione e valorizzazione sono due aspetti assolutamente inscindibili.

Il rapporto (benefico) tra investimenti in cultura e crescita del PIL

Vorrei che si dessero segnali di fiducia. Come ho scritto ne "Il potere dell'arte" (*Datanews*, 2013), c'è un dato assolutamente positivo. Viene da un'indagine, di matrice *keynesiana*, che studia la proporzione fra gli investimenti pubblici in cultura e il PIL del settore culturale. Racconta bene di una spesa in cultura nell'Italia di oggi corrispondente a 1 miliardo e 800 milioni, a cui corrisponde un PIL culturale di circa 40 miliardi. Quindi se si calcola il rapporto fra quanto si investe e quanto si produce, tra la spesa in cultura e il contributo espresso dal settore cultura, si ottiene un preciso moltiplicatore di spesa. Una formula, direi. Da un punto di vista *keynesiano*, le indicazioni sono impressionanti per l'Italia.

Secondo questa formula l'Italia ha uno dei più alti moltiplicatori delle grandi nazioni europee, pari a 21, perché spendendo 1,8 miliardi di euro se ne producono 40. In Francia si spendono 8,4 miliardi di euro e se ne producono 74. In Germania il rapporto è analogo alla Francia. In Gran Bretagna il rapporto è inferiore. In Spagna infine si hanno 5 miliardi di spesa e un PIL culturale di 25 miliardi di euro: il suo moltiplicatore è quindi il più basso. Ecco il grande *atout* italiano: quella che ho chiamato la *FORMULA XXI*, indicando un numero per un secolo, sul quale la nuova Italia dovrebbe puntare le sue carte.

Ne deriva una considerazione quasi ovvia: se l'Italia investisse, non dico quanto Francia e Germania, ma soltanto 6 miliardi di euro cioè la media dei Paesi europei, moltiplicando questa cifra per il nostro moltiplicatore che è 21, si produrrebbero tra i 120 e i 140 miliardi di euro di Pil culturale l'anno. Si ricorda che il settore metalmeccanico – in un Paese come il nostro dove il manifatturiero è ancora così importante – ha un Pil di circa 120 miliardi annui.

Unioncamere e *Fondazione Symbola* parlano addirittura di 76 miliardi di PIL, allargando molto le aree aggregate, fino al turismo e all'enogastronomia, che si mostra in crescita proprio da quando punta sulla qualità e sul *brand* italiano.

I 5 pilastri di una strategia per i beni culturali

La strategia che ho suggerito, che si trova in parte in alcuni provvedimenti e iniziative del Ministro Dario Franceschini, si fonda su cinque pilastri.

Il **primo**, e forse il più importante, è la realizzazione di un grande *database* dei beni culturali italiani. Penso, come è stato suggerito recentemente, ad un inventario digitale, che via via si arricchisca, divenendo l'enciclopedia in rete del patrimonio culturale italiano. È una necessità che è stata espressa da molti intellettuali anche negli anni passati e che forse rappresenta un vecchio sogno, un'aspirazione di tanti. Oggi con le tecnologie digitali, realizzare quella che fino ad ora era un'utopia, è finalmente possibile. È legittimo auspicare che una parte dei fondi destinati allo sviluppo delle politiche dei beni culturali siano utilizzati per questo lavoro che, oltre che da strutture pubbliche, può benissimo

essere fatto col concorso delle fondazioni bancarie, di imprese private, di associazioni e del terzo settore. Un progetto destinato ad essere un vero *work in progress*, destinato a non chiudere mai, non solo perché i beni culturali in Italia sono praticamente infiniti, ma anche perché via via si deve ampliare, arricchire, completare (con schede, documenti, immagini, apparati critici).

L'enciclopedia digitale del patrimonio culturale italiano, promossa dal Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, dovrebbe così divenire una sorta di Wikipedia della cultura italiana, con un'ossatura pubblica e una grande apertura al contributo di tutti e alla socializzazione delle informazioni. Anche dal punto di vista della sicurezza questo intervento è decisivo. Si tratta di immaginare un vero e proprio portale digitale del patrimonio culturale italiano. Ogni voce dovrebbe fotografare l'intera situazione del bene, la sua storia, le attuali condizioni, le competenze, la proprietà, l'eventuale stato di degrado, ove ci sia.

Il **secondo** pilastro a cui penso, che accompagna l'enciclopedia digitale, è la proposta pubblica di adozione o di affidamento, anche parziale, di beni catalogati. Occorre lanciare l'idea che il privato, *profit e no-profit*, tuttavia disposto ad accettare di essere sottoposto a vincoli e condizioni delle soprintendenze del ministero, cominci un lavoro di sostegno di un particolare bene culturale nel tempo. Non gli si chiede l'intervento-spot: avrà un ruolo e farà parte di un sistema pubblico, ma deve garantire che lo farà in forma continuativa, ovviamente sottoposto ai meccanismi di controllo da parte delle soprintendenze. Il meccanismo dovrebbe essere quello dei distretti culturali territoriali. Partendo dal *data-*

se generale e dalla ripartizione che corrisponde alle geografie delle soprintendenze, si può immaginare di costruire tavoli, conferenze distrettuali, in cui si mettono insieme Stato, Comuni, Regioni, università, centri di ricerca, istituzioni ecclesiastiche, banche, fondazioni privati e poi le forze sociali, imprenditoriali, sindacali, del volontariato. Si verrebbe a creare così un livello di concertazione territoriale capace di regolare con criteri chiari e sottoposti al vincolo delle soprintendenze, quella che io chiamo l'adozione o l'affidamento di beni culturali a privati che sotto la guida delle istituzioni e il controllo pubblico si facciano carico di restauri, valorizzazioni, esposizioni, gestioni. Si deve fare un appello a una nuova forma di partecipazione e di mecenatismo democratico, popolare, come chiave di una grande politica culturale.

Il **terzo** pilastro è di avere strumenti pubblici agili ed efficaci per agire. L'Italia ha a disposizione ALES SpA (la società in house del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo in cui è confluita la vecchia Arcus), per lo sviluppo dell'arte, della cultura e dello spettacolo. Credo che ALES con alcune trasformazioni, possa essere lo strumento societario operativo di carattere pubblico che, accanto al Ministero dei Beni Culturali, aiuti lo *start-up* di nuove imprese, la partenza di attività. Uno strumento capace di contribuire direttamente con denaro pubblico, o indirettamente grazie al rapporto con le fondazioni bancarie o con un nuovo sistema di erogazioni liberali, capace di attivare strumenti operativi di carattere territoriali. Una sorta di rubinetto che all'interno di questi distretti territoriali permetta una rapida attivazione di possibilità.

Il **quarto** pilastro è quello di un nuo-

vo regime fiscale per chi investe in cultura. Si deve assumere una filosofia più anglosassone. A cominciare dalla liberalità e dalle donazioni. Dario Franceschini si sta muovendo con determinazione su questo terreno, sia con strumenti nuovi, che vanno allargati, sia facendo rivivere norme dimenticate. Bisogna fare di più, e soprattutto non illudersi che la sola leva fiscale, fuori da un quadro di programmazione come quello disegnato prima, possa essere efficace. Lo impongono i tempi.

Il **quinto** e ultimo punto è lo sviluppo di una politica dei "brand" culturali. Se si moltiplicano le opportunità espositive e museali, si avrà conseguentemente un aumento di introiti dalla biglietteria, dai *bookshop*, dai prodotti culturali. Un indotto destinato a crescere, capace di aumentare le entrate nelle casse pubbliche della cultura. Però l'Italia può e deve fare una politica più coraggiosa sul versante dei *brand* culturali, cioè scegliere monumenti, artisti, città, territori e su questi investire, costruendo intorno a questi *brand* una politica sui diritti d'immagine e un raccordo con l'industria manifatturiera. Da questi *brand* possono arrivare proventi importanti da indirizzare, ad esempio nei restauri. L'esempio dell'intervento sul Colosseo è illuminante. Della Valle forse avrebbe potuto osare anche di più nell'utilizzazione dell'immagine del Colosseo. Benissimo ha saputo fare il Vaticano con il restauro della Sistina, affidandolo ad una società privata giapponese che ne ha avuto in cambio i diritti d'immagine per un lungo periodo. Se oggi si può godere delle bellezze della Sistina restaurata, lo si deve anche a questa operazione. Che io difendo. Ma non tutte le istituzioni sono capaci di gestire operazioni di questo genere. Di deve forse

aspettare che le grandi multinazionali del web si impadroniscano gratuitamente dei beni culturali italiani? Per esempio il Colosseo è dello Stato, invece il Ponte di Rialto o la Torre di Pisa sono dei rispettivi Comuni. Ciascuna di queste istituzioni potrebbe gestire con una filosofia imprenditoriale il proprio *brand* oppure affidare ad ALES o ad un suo dipartimento, la sua valorizzazione. Questo perché non tutti hanno gli strumenti per poterlo fare. Non tutti sono in grado di confrontarsi con le grandi imprese di produzione, fermo restando una proprietà che deve rimanere pubblica. ALES diventerebbe così il tramite tra le industrie capaci dello sviluppo del *brand* e lo Stato o il Comune che devono produrlo.

In Italia non si fa ancora questa politica per ignoranza. Perché nessuno ha ancora capito il valore nel mondo del diritto d'immagine. Che non

vanno pagati in senso tradizionale. Il punto è come valorizzarli. La creatività del passato deve essere trasformata in prodotto. E non solo nei prodotti da *bookshop* dei musei, dal manifesto al calendario, al Colosseo in miniatura. Ma dare la possibilità alle aziende che producono moda, giocattoli, tessuti, design, di sposare queste immagini e di legare anche la loro produzione alla valorizzazione di queste icone. Chiaramente questo riguarda soprattutto il campo degli artisti. Ma Venezia, Firenze, la Sicilia, sono potenzialmente patrimoni inestimabili da valorizzare.

Le sfide prossime

Un'operazione di questo tipo vuol dire riconoscere il lavoro culturale come importantissimo per l'Italia del futuro.

Bisogna lanciare una sfida della qua-

lità che passi attraverso lo Stato. Una sfida che esprima una via di mezzo tra lo spirito snobistico degli specialisti e quella più rozza e volgare degli ultimi anni. Quindi, come il numero magico è il XXI, la parola chiave è qualità: del lavoro, dell'impresa, dello sviluppo, della vita, della cultura. Qui c'è il senso del lavoro che sta facendo MetaMorfosi, che sta cercando di portare risorse ad istituzioni culturali importanti, come Casa Buonarroti, organizzando mostre e attività sotto una rigorosa guida scientifica di chi gestisce quei patrimoni. E c'è la sinergia in atto e potenziale con le realtà private, come chi si occupa di sicurezza del patrimonio artistico, che hanno accettato la sfida dell'innovazione e che svolgono anch'esse una funzione non solo privata, ma pubblica, attorno al più importante ed universale dei beni comuni.



Studio e monitoraggio del quadro fessurativo e del comportamento sismico del Duomo di Orvieto

Per monitorare il Duomo di Orvieto, l'ENEA ha utilizzato le sue più innovative tecnologie abilitanti, competenze interdisciplinari e strumentazione di eccellenza per la salvaguardia e per la conservazione del patrimonio culturale; grazie a queste indagini è stato possibile definire gli interventi per la messa in sicurezza e il contenimento dei rischi sismici

DOI 10.12910/EAI2016-051

di Gerardo De Canio, ENEA

L'ENEA già da diversi anni collabora con la Direzione Regionale del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo dell'Umbria e con l'OPSM (Opera del Duomo di Orvieto) per attività connesse alla salvaguardia del Duomo di Orvieto. Nell'ambito di questa collaborazione l'ENEA ha effettuato: il progetto e la messa in opera del supporto per il gruppo scultoreo *Maestà con Baldacchino ed Angeli Reggi Cortina* sulla lunetta del portale maggiore della Cattedrale; il progetto del basamento antisismico della statua bronzea di *S. Michele Arcangelo e Drago*; il progetto di fattibilità, con verifiche sperimentali su tavole vibranti, per la ricollocazione in duomo delle statue dei dodici Apostoli e del gruppo scultoreo dell'Annunciazione di Francesco Mochi, le cui due statue saranno posizionate sui basamenti dotati dei dispositivi antisismici in marmo dell'ENEA (Figura 1).

A seguito della crisi sismica iniziata ad aprile 2009 (poi terremoto de L'Aquila), la Direzione Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici dell'Umbria e l'ENEA hanno effettuato diversi sopralluoghi per le verifiche strutturali della Cattedrale. In tali occasioni è stato identificato un quadro fessurativo in larga parte nuovo, e solo in parte collegato a lesioni chiaramente storicizzate e tenute sotto controllo da diversi decenni. Pertanto, nel 2013 la Direzione Regionale Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo ha affidato all'ENEA l'incarico di effettuare lo studio ed il monitoraggio del quadro fessurativo e del comportamento sismico, ai fini della valutazione del comportamento strutturale e della vulnerabilità sismica della cattedrale, e di definire gli interventi per la messa in sicurezza e il contenimento



Fig. 1 Il gruppo scultoreo "Maestà con Baldacchino ed Angeli Reggi Cortina" sulla lunetta del portale maggiore della Cattedrale di Orvieto dopo la ricollocazione

dei rischi sismici. L'inquadramento generale dello studio corrisponde agli indirizzi emanati con la pubblicazione nella gazzetta ufficiale del 29 gennaio 2008 della Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri e con le *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*.

L'attività ha la durata di quattro anni e si articola in tre fasi:

1. indagini sulle condizioni attuali dell'opera per la determinazione dello stato di conservazione degli elementi strutturali e per la mappatura dettagliata delle fessure esistenti nelle colonne, negli archi delle navate e in tutte le altre superfici, comprese quelle affrescate;
2. uso integrato di tecnologie abilitanti e di competenze interdisciplinari per:

- indagini strutturali e di tomografia sismica delle colonne e delle zone del pavimento della navata intorno alle colonne;

- monitoraggio delle fessure alle connessioni navata-transetto e navata-facciata tramite sensori Fiber Bragg Grating (FBG) su fibra ottica;
- rilievo del quadro fessurativo delle volte affrescate con laser ITR-IRGB a colorimetria remota;
- sondaggi della zona absidale tramite Tomografia di Resistività Elettrica (ERT) per la ricostruzione della geometria delle murature di fondazione;
- monitoraggio a vibrazioni e sismico del duomo e dei suoi macro elementi strutturali;
- monitoraggio satellitare SAR (Synthetic Aperture Radar) con tecniche PS (Permanent Scatterers) degli spostamenti relativi navata-transetto-facciata;

3. determinazione della vulnerabilità sismica del Duomo ed indicazioni progettuali per eventuali interventi conservativi di riduzione del rischio sismico.

La configurazione architettonica della Cattedrale di Orvieto consiste di tre corpi principali: la facciata tricuspidale di Lorenzo Maitani, il corpo della navata centrale e delle due navate laterali, il massiccio transetto. Essi possono essere considerati tre corpi separati, con caratteristiche dinamiche diverse, che interagiscono tra loro durante l'evento sismico. La stima delle masse partecipanti sismiche associate ai modi di vibrare dei tre corpi separati viene fatta confrontando il contributo in frequenza all'accelerazione quadratica media (gRMS), ottenuta tramite integrazione numerica della funzione Power Spectral Density (PSD) dei segnali accelerometrici. Questa informazione, associata all'analisi della parte reale e parte immaginaria della Cross Spectral Density (CSD) tra i segnali in punti diversi, consente di identificare i modi principali di vibrazione e la stima delle masse sismiche partecipanti [1].

Il primo passo delle attività ENEA è consistito nel rilievo del quadro fessurativo dei tre corpi principali nelle zone di connessione, dove sono stati posizionati i sensori accelerometrici per la misura delle vibrazioni ed i sensori FBG per il monitoraggio delle fessure. In parallelo è stata effettuata la mappatura del quadro fessurativo delle colonne della navata centrale ed il monitoraggio nel tempo della sua evoluzione. Le indagini di tomografia sonora delle colonne mostrano come l'interno delle colonne risulta realizzato con muratura (blocchi di tufo o materiale incoerente) con caratteristiche meccaniche inferiori rispetto al rivestimento esterno in blocchi di travertino e basaltina. Per la valutazione della vulnerabilità sismica è applicato il metodo dei cinematici di collasso dei macro

elementi strutturali in accordo con il DPCM 09-02-2011 "Valutazione e riduzione del rischio sismico del Patrimonio Culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 14/01/2008", in accordo con il testo approvato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) il 30 luglio 2010. Il DPCM 2011, al Cap. 5.4.3 "Chiese, luoghi di culto e altre strutture con grandi aule, senza orizzontamenti intermedi", suggerisce la possibilità di studiare le chiese procedendo

ficati per il duomo di Orvieto ed il posizionamento della rete accelerometrica per il monitoraggio a vibrazioni delle connessioni tra macro elementi.

Ai fini della verifica sismica, la determinazione del Fattore di Confidenza (FC) per il calcolo delle accelerazioni di attivazione dei cinematici di collasso nelle analisi cinematiche lineari e non lineari è stata fatta in accordo con il DPCM 2011. Il materiale è ipotizzato come muratura rigida non

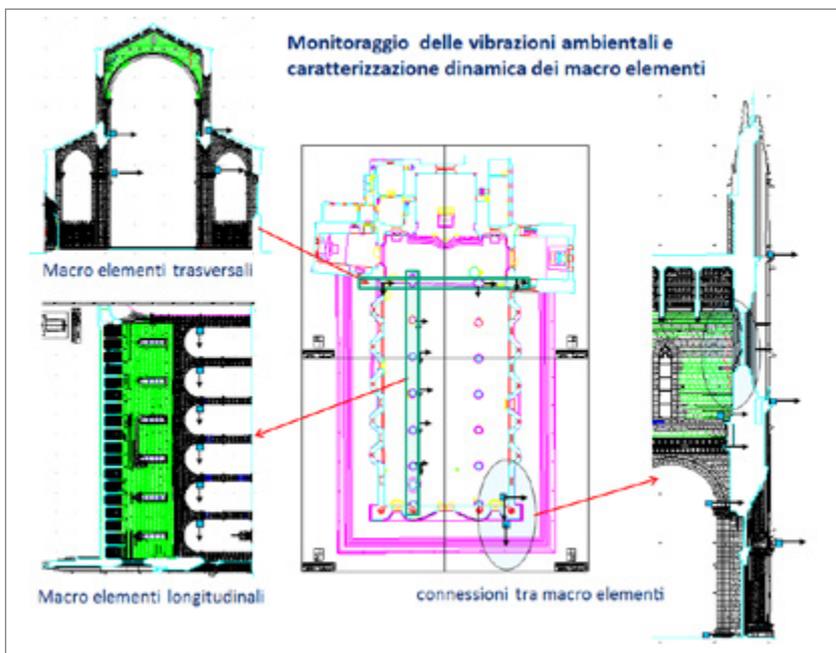


Fig. 2 Cattedrale di Orvieto: macro elementi trasversali e longitudinali e rete accelerometrica per il monitoraggio delle vibrazioni della facciata, della navata centrale e delle connessioni con facciata e transetto

con analisi locali che si riconducono allo studio della struttura per singole porzioni, aventi risposta autonoma, dette macro elementi. La distribuzione delle forze sismiche deve assicurare l'equilibrio rispetto alle azioni orizzontali. La Figura 2 mostra i macro elementi trasversali e longitudinali identi-

resistente a trazione ed il fattore di confidenza viene applicato direttamente alla capacità della struttura come fattore di riduzione del valore dell'accelerazione corrispondente ai diversi Stati Limite. L'identificazione delle frequenze critiche e la stima delle masse sismiche partecipanti M^* è stata

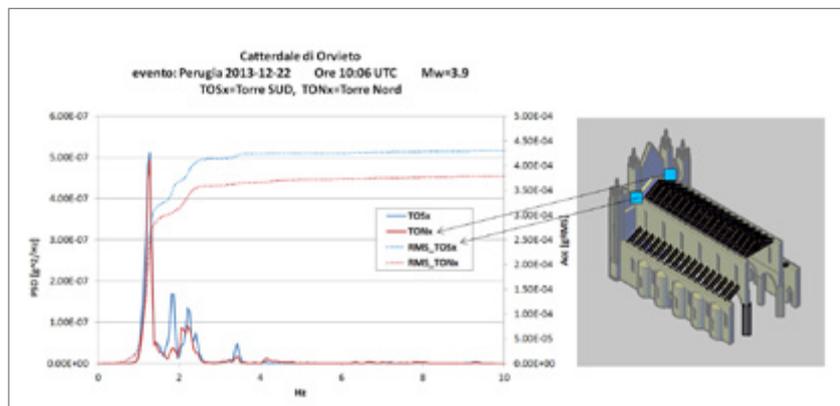


Fig. 3 Analisi in frequenza dei segnali accelerometrici registrati durante il sisma del 22 dicembre 2013 ore 10:06 UTC, Mw=3.9, epicentro prov. Perugia: grafici delle funzioni PSD e gRMS ai punti di misura TON (Torre Nord) e TOS (Torre Sud)

fatta tramite analisi dei dati della rete di monitoraggio strutturale.

In Figura 3 viene riportata l'analisi in frequenza dei segnali accelerometrici ai punti di misura TOS (torre sud) e TON (torre nord) della facciata del duomo, registrati durante il sisma del 22 dicembre 2013, ore 10:06 UTC, Mw=3.9, con epicentro in provincia di Perugia (latitudine 43.38, longitudine 12.50, profondità 9 km). Dai grafici della funzione Power Spectral Density (PSD) e del valore quadratico medio dell'accelerazione (gRMS) (Figura 3) è possibile identificare le frequenze critiche dei principali modi di vibrare e le associate masse sismiche partecipanti M_i , il cui valore è dato dal rapporto tra il contributo energetico alla frequenza critica, in termini di incremento dell'accelerazione quadratica

media gRMS, rispetto all'energia totale del segnale.

Sulla base dei rilievi per la mappatura dettagliata del quadro fessurativo, dell'identificazione dinamico-strutturale e dei risultati delle verifiche numeriche, sono stati messi a punto i progetti di massima degli interventi strutturali per il miglioramento sismico delle pareti e delle colonne della navata centrale:

- migliorare il comportamento sismico delle pareti tramite consolidamento delle buche pontate ed inserimento al loro interno di elementi scatolari con funzione di diatoni di collegamento tra i paramenti delle murature;
- collegare gli elementi scatolari per conferire maggiore duttilità nei confronti delle azioni fuori piano e

capacità portante ai maschi murari tra le monofore;

- inserire catene con elementi dissipatori lungo il pavimento del corridoio della navata centrale;
- rinforzare gli archi di collegamento navata-transetto tra le due colonne lobate della navata ed i due pilastri polilobati del transetto;
- cerchiare con diatono della colonna lobata della parete sud della navata;
- ancorare le travi delle capriate lignee di copertura della navata centrale alle pareti nord e sud tramite staffe metalliche collegate con elementi dissipativi ai capochiavi per ridurre l'effetto di sfilamento/martellamento. Si conferirebbe perciò alle travi del tetto anche la funzione di tiranti per l'incatenamento delle due pareti della navata e la riduzione della luce libera. Questi interventi risultano opportuni anche alla luce degli eventi sismici del 30 maggio e del 24 agosto 2016 (Terni Ml 4.1 e Rieti Mw 6.0).

Ricercatori ENEA che hanno contribuito alle attività sul Duomo di Orvieto: Flavio Borfecchia, Michele Caponero, Alessandro Colucci, Francesco Di Biagio, Giorgio Fornetti, Massimiliano Guarneri, Alessandro Giocoli, Salomon Hailemikael, Maria Luisa Mongelli, Dario Rinaldis, Ivan Roselli, Angelo Tati.

Per saperne di più: gerardo.decanio@enea.it

BIBLIOGRAFIA

- [1] De Canio G., Mongelli M., Tati A., Giocoli A., Roselli I., Rinaldis D., Borfecchia F., "Structural monitoring of the columns at the Cathedral of Orvieto", in Proc. of 7th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure (SHMII-7), July 1-3, 2015, Torino, Italy

Archiviazione di dati digitali nell'infrastruttura cloud ENEA

Una soluzione ENEA in tecnologia cloud per l'archiviazione e la salvaguardia a lungo termine di dati e risultati scientifici, sviluppata per il settore dei Beni Culturali e trasferibile a molteplici contesti applicativi

DOI 10.12910/EAI2016-052

di **Beatrice Calosso, Gabriele Giovanetti, Francesco Iannone, Samuele Pierattini e Andrea Quintiliani, ENEA**

Negli ultimi anni la rapidissima evoluzione delle ICT ha avuto un impatto estremamente rilevante su molti settori scientifici e produttivi. Il settore dei Beni Culturali non fa eccezione a questa regola: le *Information Technologies* giocano un ruolo sempre più di primo piano nella diagnostica, nei sistemi di analisi, nelle tecnologie per la conservazione ed il restauro, e nell'ampia varietà di applicazioni per lo sviluppo di nuove modalità di fruizione dei beni artistici e culturali. Questo stato di cose si riflette tanto negli orientamenti nazionali che in quelli comunitari, nei quali si evidenzia una crescita della domanda di nuovi *digital service* sempre più orientati

alle esigenze della comunità scientifica, della Pubblica Amministrazione e del mondo dell'impresa.

Fra gli argomenti di maggiore interesse resi accessibili dall'evoluzione tecnologica è senz'altro compreso il tema della preservazione digitale su larga scala di dati e documenti. Nella moderna Società della conoscenza è possibile l'accesso ad una grande quantità di informazioni (intese come dati strutturati, ossia forniti di significato) e avere a disposizione tecnologie sempre più sofisticate per consultare, condividere ed utilizzare tali informazioni è di fondamentale importanza. In ambito internazionale sono molteplici le iniziative volte alla preservazione digitale su larga scala (*Large-Scale digital preserva-*

tion initiatives, LSDI). I principali protagonisti di questa rivoluzione digitale sono istituzioni culturali, grandi imprese come Google e Microsoft, e gruppi no-profit, tra cui la *Open Content Alliance* (OCA).

Lo scopo principale è di espandere le possibilità di accesso alle risorse documentali in una visione a lungo termine. Molti enti culturali partecipano alla OCA così come al *Million Book Project* (MBP). I principali obiettivi che spingono le biblioteche alla partecipazione a programmi LSDI sono: **accesso, preservazione, ricerca e sviluppo**. Oltre che per garantire l'accessibilità ai testi per il futuro, le biblioteche prevedono di utilizzare copie digitalizzate come backup per le opere fuori stampa,



Cattedrale di Santa Maria Assunta a Rieti e Torre campanaria

deteriorate o danneggiate in maniera irreparabile.

In ambito nazionale si registrano importanti interventi di adeguamento e rafforzamento strutturale, quali ad esempio quelli intrapresi dal Gruppo Armonizzazione Reti di Ricerca (GARR) con il progetto GARR-X Progress. Va tuttavia sottolineato come su scala europea, il 57% del patrimonio culturale debba essere ancora digitalizzato e reso accessibile alla comunità della ricerca e, più in generale, al cittadino. [1]

La medesima esigenza è infatti condivisa anche a livello europeo. Ad esempio, l'iniziativa *Digital Research Infrastructure for the Arts and Humanities European Research Infrastructure Consortium* (DARIAH

ERIC), di cui l'Italia è capofila, è finalizzata all'allestimento di una rete di strumenti, informazioni, esperti e metodologie per la ricerca nel settore *Digital Humanities*. L'infrastruttura metterà a disposizione della comunità di ricercatori che lavorano per la fruizione digitale del patrimonio culturale, testi, ricerche, *best practices* e specialmente standard metodologici e tecnici. L'iniziativa vede la partecipazione, fra gli altri del MiBACT, del CNR e dell'ENEA, attraverso la *Divisione per lo Sviluppo sistemi per l'informatica e l'ICT del Dipartimento Tecnologie Energetiche* (DTE-ICT) di ENEA.

DARIAH gioca un ruolo importante e complementare a quello della

European Research Infrastructure for Heritage Science (E-RIHS): infrastruttura fisica distribuita per la scienza e le tecnologie applicate ai beni culturali. DARIAH ed E-RIHS lavoreranno nei prossimi anni affiancate a supporto della ricerca sul tema della conservazione e gestione dei dati e della documentazione, condividendo l'obiettivo primario di *standardizzare le modalità di storage dei dati*, oltre che di armonizzare la loro fruizione da parte delle due comunità di riferimento del settore: scientifica e culturale. L'operazione coinvolgerà un gran numero di infrastrutture, strumenti, metodologie e *repository* in tutta Europa.

Coerentemente, DARIAH IT, in cui

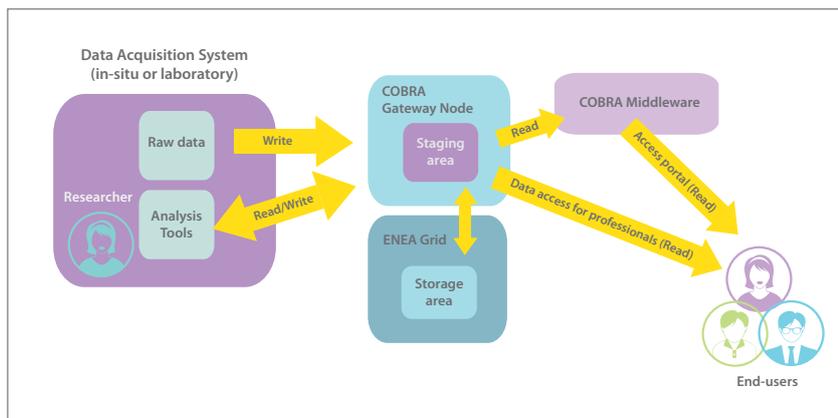


Fig. 1 Schema logico del Sistema Staging Storage Sharing (E3S)
Fonte: elaborazione ENEA

la Divisione DTE-ICT dell'ENEA è partner, mira a sviluppare una rete di *e-infrastructure* digitali di ricerca, per lo *storage* e la condivisione dei dati scientifici derivanti da applicazioni per il patrimonio culturale. [2] La Divisione DTE-ICT è in grado di rispondere alle esigenze finora descritte impiegando la propria *infrastruttura di supercalcolo scientifico*, fortemente integrata e supportata dall'insieme di risorse di rete, servizi di base, servizi *cloud*, strumenti di comunicazione e collaborazione a distanza: ENEA-GRID. È proprio questa interoperabilità di molte risorse e strumenti software e hardware a garantire non solo la qualità dei servizi, ma anche un'economia di scala del sistema. Il *cloud-storage* ENEA si appoggia sull'infrastruttura di calcolo ENEA-GRID che gestisce un sistema di *storage* distribuito e una specifica strategia di backup che ottimizza la conservazione e gestione dei dati [3].

Una significativa esperienza di *cloud-storage* è stata sviluppata nell'ambito del progetto COBRA - Sviluppo e diffusione di metodi, tecnologie e strumenti avanzati per la CONservazione dei Beni culturali, basati sull'applicazione di Ra-

diazioni e di tecnologie Abilitanti - finanziato dalla Regione Lazio (a valere sulla Legge Regionale 13 del 2008). Anche il progetto COBRA si avvale dell'infrastruttura ENEA-GRID per la creazione di un archivio digitale condiviso, denominato *cloud-storage* ENEA Staging Storage Sharing (E3S).

In ENEA-GRID i dati sono organizzati in due file system:

- AFS di ~ 40 TB
- IBM GPFS di ~1,3 PB.

AFS fornisce un ambiente di lavoro comune per l'accesso ai servizi e risorse informatiche, indipendentemente dalla posizione fisica degli utenti. Al contempo, GPFS è usato principalmente per applicazioni parallele e per sfruttare al meglio la potenzialità del cluster HPC CRESCO, la principale struttura di calcolo di ENEA-GRID.

AFS è un file system geograficamente distribuito che offre un'architettura client-server federata per il file-sharing; ciò significa che è possibile usufruire delle risorse presenti in diversi domini e gestite da più server. I principali vantaggi derivanti dall'utilizzo di AFS sono, oltre all'indi-

pendenza dalla posizione fisica e geografica dell'utente, la sicurezza e la capacità di migrazione trasparente.

La sicurezza dei file condivisi in AFS è salvaguardata dal meccanismo di autenticazione e autorizzazione Kerberos 5, ed il meccanismo di *access control list* (ACL) è molto più potente e flessibile rispetto ai permessi standard POSIX. Un'importante caratteristica di AFS è la sua capacità di mantenere un'istantanea (*snapshot*) di ciascun volume (unità logica), memorizzato in un apposito spazio di backup.

AFS è usato in ENEA-GRID perché costituisce uno spazio scalabile, distribuito e sicuro contenente i dati dei singoli utenti, e perché permette di condividere applicazioni e librerie ma anche aree per il lavoro collaborativo con i dati prodotti nei vari progetti.

La capacità di memorizzare e conservare è praticamente illimitata: i dati di AFS sono conservati in 10 file server per un totale di circa 10 Terabyte (TB) su 30 TB di capacità, strutturato in circa 3.000 volumi disponibili [4].

Il sistema AFS risponde in modo diretto e semplice alle esigenze di *data preservation* riguardanti il supporto fisico dei dati (backup, *disaster recovery* ecc.), e mette a disposizione dei laboratori gli strumenti necessari per rispondere facilmente anche a tutte le esigenze relative all'elaborazione dei dati e alla produzione dei metadati.

Mediante questi strumenti è stato progettato e realizzato da esperti ENEA l'archivio digitale COBRA, in grado di risolvere il problema della continuità della fruibilità dei dati archiviati nel tempo (*data preservation*). Questo è necessario a maggior ragione nel caso dei dati relativi ai beni culturali, siano essi provenienti



da laboratori o da campagne di misure in situ. In questo caso infatti l'analisi dei dati su tempi lunghi può essere cruciale per la valutazione degli interventi sui beni da pianificare (restauro, messa in sicurezza ecc.) e per il monitoraggio dello stato di conservazione delle opere.

Le soluzioni adottate comprendono, infatti, strategie di backup dei supporti fisici ed una corretta progettazione di procedure per il *disaster recovery*, ma non si limitano solo a questo. L'effettiva utilità nel tempo dei dati può essere messa in discussione anche dalla rapida obsolescenza delle tecnologie, che rende di fatto inintelligibili i formati, così come dalla carenza di informazioni circa i dati stessi. Per ovviare a questa problematica – che si manifesta a lungo e lunghissimo termine – i dati devono sempre essere accompagnati da meta-dati che comprendono la dettagliata specifica del formato, le informazioni relative alla strumentazione di acquisizione e all'eventuale processamento che i dati stessi hanno subito. Inoltre, è possibile conservare anche le informazioni sui software necessari ad elaborare e post-processare i dati.

Il progetto COBRA ha, inoltre, affrontato un'altra situazione peculiare del contesto ENEA. Nei decenni, molte delle tecnologie sviluppate all'interno dell'Agenzia hanno trovato applicazione nell'ambito dei beni culturali. Ciò ha dato origine a varie linee di ricerca di grande interesse raggruppate più in base ai dipartimenti di provenienza che non all'area di applicazione. Per questo motivo la grande mole di dati accumulata in decenni di lavoro nei diversi laboratori è affetta da una grande disomogeneità. Molto spesso i singoli ricercatori si sono dovuti affidare a soluzioni "fatte in casa" per



Fig. 2 Esempio di dato archiviato: modello 3D submillimetrico, ottenuto con scanner a luce strutturata, di un reperto archeologico rinvenuto negli scavi presso il sito di Santa Maria delle Mole (Parco Regionale dell'Appia Antica)

Fonte: elaborazione ENEA

l'archiviazione dei dati.

Il sistema di *cloud-storage* ENEA *Staging Storage Sharing* (E3S) vuole porre rimedio a tale situazione, offrendo un servizio centralizzato ma al tempo stesso personalizzabile e facile da usare per l'archiviazione dei dati prodotti dai laboratori coinvolti. Laddove necessario il sistema è stato integrato con soluzioni ad hoc per il trasferimento, l'elaborazione ed anche la presentazione dei dati all'esterno. Uno schema generale di E3S è riportato in Figura 1.

Il sistema E3S si basa sulla tecnologia open-source ownCloud, modificata per automatizzare lo storage dei dati, prevenendo errori da parte degli utenti. Comprende una *staging area* dove i dati vengono messi a disposizione per elaborazione ed analisi, ed una *long-term storage area* dove i dati sono immagazzinati e conservati. Offre, inoltre, servizi software sia per i ricercatori sia per gli *end-user*, in modo tale che il ricercatore possa avere accesso riservato ai

dati e al tempo stesso scegliere cosa condividere con gli utenti esterni (in particolare, i detentori dei beni e le imprese che vi operano). La *staging area* risiede su una macchina virtuale denominata *Gateway Node*, i cui servizi sono accessibili a tutti gli utenti di ENEA-GRID, dall'interno della rete ENEA. L'accesso mediante il sistema di *cloud-sharing* ai dati da parte di utenti esterni autorizzati è invece garantito dal nodo *middleware*, accessibile da qualunque posizione, sia agli utenti con credenziali per l'Accesso ai Servizi Informatici ENEA (ASIE), sia ad utenti appositamente definiti dai ricercatori responsabili dei dati. L'interfaccia, in tutto e per tutto simile a quella di ownCloud, permette al ricercatore di definire in modo semplice e sicuro le policy di condivisione dei dati. Questa architettura si adatta bene alle filiera dei beni culturali, dove i risultati degli esperimenti devono essere condivisi con soggetti numerosi e diversi, dalle soprintendenze

Trasferimento dei dati per il monitoraggio strutturale della torre campanaria della Cattedrale di Santa Maria Assunta a Rieti

I dati acquisiti dai sensori in fibra ottica posizionati sulla torre sono trasferiti quotidianamente attraverso la rete cellulare GSM mediante un sistema di monitoraggio dinamico e strutturale impiegante sensori in fibra ottica (referente: Michele

Arturo Caponero, email: michele.caponero@enea.it).

I dati così trasferiti sono automaticamente inseriti nel sistema E3S e resi quindi disponibili ai ricercatori attraverso il sistema di *sharing*. Sul *COBRA gateway node* è stata realizzata un'applicazione web riservata agli utenti del laboratorio di riferimento che consente di uniformare il formato dei dati grezzi. Una volta elaborati, i dati potranno essere resi disponibili per le diverse forme di utilizzo previste.

ai restauratori, dagli studenti alle imprese fino al pubblico più vasto, salvaguardandone però la proprietà intellettuale.

Un'altra delle esigenze comuni a molti laboratori ENEA impegnati nel campo dei beni culturali è quella di permettere la *fruizione da remoto degli esperimenti*, visto che non sempre è possibile la presenza fisica sul luogo dell'esperimento di tutti i soggetti interessati. Perciò, nel progetto COBRA è stato realizzato anche un sistema di remotizzazione degli esperimenti che permette il collegamento multimediale e in diretta dal laboratorio durante lo svolgersi dell'esperimento e, in alcuni casi, consente lo streaming in tempo re-

ale, non solo di audio e video, ma anche dei dati prodotti.

L'integrazione tra sistema di remotizzazione e archiviazione consente di rivedere gli esperimenti in tempo differito. Questa possibilità si presta bene anche ad un utilizzo didattico e divulgativo.

Nei prossimi mesi sul nodo *middleware* saranno implementati servizi rivolti non solo allo storage ed archiviazione dei dati, ma anche alla loro presentazione. Sarà, inoltre, possibile integrare nel sistema algoritmi e strumenti per l'analisi e l'elaborazione dei dati. È in programma anche l'integrazione del sistema E3S con dispositivi mobili *low-cost* per il monitoraggio della torre campa-

narica della cattedrale di Rieti (vedi riquadro).

Infine, un valore aggiunto dell'infrastruttura realizzata per il progetto COBRA è la sua trasferibilità ad altri contesti, diversi da quello dei beni culturali. È stata infatti progettata per essere facilmente replicata in qualunque altra disciplina o filiera che condivida le caratteristiche di eterogeneità dei dati prodotti e dei soggetti coinvolti, e la sua architettura flessibile consente l'integrazione con altri componenti e servizi per soddisfare esigenze nuove e in continua evoluzione.

Per saperne di più:
beatrice.calosso@enea.it

BIBLIOGRAFIA

[1] www.garrxprogress.it/utenti/beni-culturali

[2] www.iccrom.org/it/e-rihs-a-new-heritage-research-infrastructure; www.e-rihs.eu

[3] www.eneagrid.enea.it

[4] F. Ambrosino, G. Bracco, A. Colavincenzo, A. Funel, G. Guarnieri, S. Migliori, G. Ponti (2015), “Storage architecture and backup strategy of ENEAGRID/CRESCO systems”, in *High Performance Computing on CRESCO infrastructure: research activities and results 2014*

Gli effetti dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale monumentale, la conoscenza dello scenario euro-mediterraneo per possibili azioni di mitigazione

La pubblicazione del 5° Rapporto IPCC e i risultati della COP21 per la prima volta hanno portato l'attenzione anche sull'impatto provocato dal cambiamento climatico sul patrimonio culturale.

La ricerca studia alcune possibili azioni di mitigazione nello scenario euro-mediterraneo tramite la produzione di mappe climatiche relative a diversi periodi temporali in funzione del danno, del rischio e del multi-rischio

DOI 10.12910/EAI2016-053

di **Cristina Sabbioni** e **Alessandra Bonazza**, CNR - Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima

Le tematiche inerenti ai cambiamenti climatici hanno rivestito nel 2015 una particolare attenzione se si considera la pubblicazione del 5° Rapporto IPCC¹ e i risultati della COP21². In questo contesto le tematiche dell'impatto del cambiamento climatico sul patrimonio culturale hanno ricevuto per la prima volta attenzione e specifici riferimenti ed eventi³.

Lo studio dei possibili scenari futuri che riguardano la protezione del patrimonio culturale in un mondo in rapida evoluzione non solo per i cambiamenti climatici, ma anche per i cambiamenti globali che la nostra società sta vivendo e vivrà nel corso del secolo, è necessario per proporre efficaci strategie di salvaguardia e conservazione. L'impatto del clima e dell'inquina-

mento atmosferico subiranno nel corso del secolo modifiche cui la ricerca ha cercato di dare delle risposte che verranno sintetizzate nel presente lavoro.

Per produrre scenari futuri relativi all'impatto dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale costruito, sui siti archeologici e sul paesaggio culturale, sono stati utilizzati gli output dei modelli Generale e Re-



Fig. 1 Effetto sinergico di termoclastismo, erosione eolica e cristallizzazione salina sui monoliti del Tempio di Hagar Qim, Malta

gionale prodotti dall'*Hadley Center* (HadCM3 e HadRM3) riferiti agli scenari emissivi A2 (IPCC 2000).

Le proiezioni future sono state effettuate per tre periodi temporali: 1961-1990 (periodo di riferimento), 2010-2039 (vicino futuro) e 2070-2099 (lontano futuro) per l'HadCM3 e il lontano futuro (2070-2099) per HadRM3. L'area geografica selezionata su cui si è incentrato il nostro studio è l'Europa e ricopre una regione di longitudine 33.75°W - 67.50°E e latitudine 80°N - 25°N per il modello generale, e longitudine 30°W - 55°E e latitudine 72°N - 35°N per il modello regionale.

Sono stati identificati i principali fenomeni di degrado che avvengono sui materiali da costruzione e sulle strutture caratterizzanti il patrimonio culturale e i materiali sui quali effettuare le simulazioni. In particolare sono stati oggetto delle valutazioni effettuate marmi e calcari a bassa porosità, arenarie contenenti minerali argillosi, mattoni, metalli, legno e vetro. I materiali sono stati scelti in base alla rilevanza che rivestono dal punto di vista artistico, al loro diffuso utilizzo nel patrimonio costruito in Europa e alle tipologie di degrado che più interessano l'area europea.

Sono stati poi selezionati i parametri climatici che interagiscono maggiormente con i materiali e le strutture del patrimonio culturale e costruito, in particolare: i) parametri correlati alla temperatura, quali variazioni stagionali e annuali di temperatura, cicli di gelo e disgelo e shock termici (i.e. escursione termica giornaliera > 10, 15 e 20 °C); ii) parametri correlati alle precipitazioni, quali valore medio stagionale e annuale, giorni consecutivi di pioggia ed eventi estremi di pioggia; iii) parametri correlati all'umidità, quali cicli di umidità relativa e shock di umidità relativa (variazione tra 2 giorni con-

secutivi >25%); iv) parametri correlati al vento, quali valore medio annuale e stagionale, trasporto e deposizione di spray marino e rosa delle precipitazioni; v) parametri correlati all'inquinamento atmosferico, i.e. concentrazione di gas (SO₂, HNO₃ e O₃) e acidità delle precipitazioni.

È stato prodotto il data base degli output dei parametri sopra riportati su base europea e sono state utilizzate funzioni di danno esistenti in letteratura o prodotte nell'ambito del lavoro svolto e valutazioni qualitative di rischio. Questo ha consentito di produrre mappe delle medie trentennali relative al periodo di riferimento (1961-1990), al vicino futuro (2010-2039) e al lontano futuro (2070-2099) e mappe delle differenze tra le medie del vicino futuro e il periodo di riferimento e tra le medie del lontano futuro e il periodo di riferimento per valutare e quantificare l'entità delle variazioni avvenute.

Le mappe realizzate sono state classificate in funzione delle elaborazioni effettuate e sono state suddivise in mappe climatiche, di danno, di rischio e di multi-rischio⁴.

I risultati ottenuti hanno fornito uno scenario Euro-Mediterraneo dell'impatto che i cambiamenti climatici avranno sul patrimonio culturale costruito, i siti archeologici e il paesaggio culturale di cui si riportano alcuni esempi.

Le mappe di vulnerabilità prodotte per il XXI secolo per marmi e calcari a bassa porosità mostrano che in Europa la recessione superficiale cambierà prevalentemente per effetto della precipitazione e dell'aumento della concentrazione di CO₂. Nel periodo 2079-2099 nell'Europa centrale, Norvegia, regioni settentrionali della Gran Bretagna e della Spagna, la recessione superficiale risulta

variare fra 20-30 µm/anno, mentre nell'Europa meridionale, inclusa l'Italia, questo fenomeno decrescerà a un tasso di circa 1-4 µm/anno. La recessione superficiale si prevede sia più alta nelle aree maggiormente interessate dalle precipitazioni, in particolare le catene montuose, i.e. Alpi e Appennini, dove si raggiungeranno valori superiori ai 30 µm/anno, corrispondenti ad un aumento del 30% rispetto al periodo di riferimento 1961-1999. Nella Val Padana si avranno valori inferiori, i.e. 5 µm/anno⁵.

La presenza di sali solubili rappresenta la principale causa di degrado dei materiali lapidei naturali e artificiali. Il numero di cicli l'anno di umidità relativa intorno a 75,5%, che è il valore soglia in cui si passa dalla dissoluzione (UR > 75,5%) alla cristallizzazione (UR < 75,5%) del cloruro di sodio, è stato assunto come indicatore quantitativo degli eventi di cristallizzazione di sali: i dati ottenuti indicano che si avrà un aumento del numero di eventi l'anno in tutta Europa, inclusa l'Italia. In Italia centrale, in particolare, si prevedono oltre 45 cicli/anno di umidità relativa intorno al 75,5% nel periodo 2070-2099⁴.

Il termoclastismo è un processo di decoesione in seguito a cicli di espansione e contrazione termica differenziale di grani minerali superficiali in risposta alle variazioni di temperatura sulla superficie del materiale (Figura 1). Va ricordato che escursioni giornaliere di temperatura superficiale di 25-30 ° C si verificano normalmente durante i periodi estivi nell'area mediterranea.

Sono state prodotte mappe di vulnerabilità per i periodi 2010-2039 e 2070-2099 valutando il numero di eventi all'anno che causano tensioni interne nel marmo superiori a 20

MPa, valore adottato come il carico massimo sostenibile per questo specifico materiale. I dati dimostrano che le regioni mediterranee, in particolare la Sicilia, continueranno a sperimentare un alto livello di rischio da stress termico, con valori a volte superiori a 200 eventi all'anno alla fine del secolo. Va ricordato che queste regioni sono particolarmente ricche di monumenti e siti archeologici, una parte dei quali in marmo⁶.

La colonizzazione e il biodegrado dei materiali da costruzione, che implica sia processi chimici che fisici del supporto, sono legati alle condizioni ambientali, soprattutto umidità, temperatura e luce, nonché dalla natura chimica del substrato (Figura 1). Le proiezioni future indicano che, anche se i cambiamenti climatici non influiranno significativamente sulla quantità di biomassa presente sui monumenti in rocce silicatiche e graniti per il periodo 2010-2039 in Europa, maggiori differenze saranno rilevabili in alcune regioni europee per il periodo 2070-2099. A fronte di un aumento di carico di biomassa nell'Europa settentrionale, nel sud dell'Europa ne è prevista una diminuzione. In Italia, quindi, eccetto nella fascia alpina dove si avrà un incremento, la crescita di biomassa ad esempio su rocce silicatiche alla fine del secolo è prevista in diminuzione⁷.

Oltre agli esempi riportati, altri sono i fattori di danno per il patrimonio culturale negli scenari futuri:

- L'aumento in futuro dei cicli di gelo e disgelo in Scandinavia, Groenlandia e in tutte le zone di alta quota in Europa, mentre si avrà una diminuzione nel Bacino del Mediterraneo;
- l'aumento della corrosione dei



metalli nel nord Europa, effetto correlato alla temperatura media annuale che induce valori massimi di danno con temperature medie annuali di 10 °C;

- l'aumento delle precipitazioni che provoca danni strutturali sulle coperture e sugli elementi ornamentali degli edifici (guglie, pinnacoli) e favorisce la penetrazione dell'acqua nelle murature fino ad una loro completa decoesione;
- le precipitazioni intense e le alluvioni che causano danni irreversibili al patrimonio culturale sia mobile che immobile.

Per le istituzioni pubbliche e private preposte alla gestione del patrimonio culturale, il modo più efficace per rispondere all'impatto dei cambiamenti climatici è integrare le necessarie misure nei piani di gestione esistenti o in corso di definizione. In questo senso un caso di successo è rappresentato dalla "Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici" prodotta dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (MATT), in cui un'intera sezione è dedicata al Patrimonio Culturale.

Questo documento indica le seguenti azioni generali necessarie per produrre adeguati piani d'intervento per la conservazione del patrimonio culturale a fronte dei cambiamenti climatici in atto:

- diffusione delle conoscenze esistenti;
- monitoraggio continuo;
- manutenzione ordinaria;
- valutazione delle priorità in relazione allo stato di conservazione dei manufatti;
- valutazione dello stato di conservazione dei manufatti in relazione alle condizioni ambientali di con-



Fig. 2 Biodegrado sulle murature della Fortezza di San Lorenzo, Panama

servazione rilevate;

- valutazione delle priorità in risposta ai cambiamenti climatici;
- raccolta di dati per supportare le decisioni sia a livello nazionale che regionale;
- comprensione del contesto ambientale, economico e sociale del patrimonio culturale.

Si sottolinea l'importanza storicamente conferita agli interventi di manutenzione ordinaria del patrimonio culturale rispetto a sporadici interventi di restauro, che si renderanno particolarmente necessari in previsione dell'impatto dei cambiamenti climatici come fattore ulteriore di danno al patrimonio.

È inoltre necessario sviluppare strategie di finanziamento a lungo termine per rendere sostenibile la protezione del patrimonio culturale, quali ad esempio promuovere relazioni con il settore assicurativo o l'introduzione di agevolazioni fiscali. Il patrimonio culturale è un ambito

di ricerca estremamente complesso che può essere affrontato solo unendo le forze e massimizzando le sinergie.

Il patrimonio culturale è una risorsa non rinnovabile: va quindi favorito l'accesso ai cittadini e ai visitatori, ma al contempo è nostra responsabilità trasmettere questo patrimonio, che abbiamo ricevuto dal passato e che stiamo noi stesso creando, alle generazioni future.

È urgente inserire il patrimonio culturale nella catena dei valori dello sviluppo sostenibile che a sua volta rappresenta la principale sfida che si trova ad affrontare il mondo oggi.

L'Italia si è fatta promotrice di questa area di ricerca a livello europeo e attualmente il Ministero per i Beni e le Attività Culturali e il Turismo (MIBACT) e il Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca (MIUR) coordinano congiuntamente la *Joint Programming Initiative "Cultural Heritage and Global Change: a New Challenge for Europe - JPI CH*, che ha

raccolto l'adesione di 18 Paesi (Italia, Belgio, Cipro, Repubblica Ceca, Danimarca, Francia, Irlanda, Lituania, Moldavia, Paesi Bassi, Norvegia, Polonia, Portogallo, Romania, Slovacchia, Spagna, Svezia, Regno Unito). L'obiettivo della JPICH è promuovere programmi comuni di ricerca che

contemplino la ricerca scientifica e tecnologica applicata alla protezione e gestione del patrimonio culturale. Sono stati congiuntamente prodotti il Documento di Visione e l'Agenda Strategica di Ricerca e sono state lanciate 2 call nel 2013 e 2014 che hanno consentito di finanziare 16

progetti. La JPI CH ha aumentato la visibilità di questo settore in cui l'Europa e l'Italia hanno la leadership nel mondo⁸.

*Per saperne di più:
c.sabbioni@isac.cnr.it
a.bonazza@isac.cnr.it*

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Fifth Assessment Report (IPCC AR5)*, <http://www.ipcc.ch/report/ar5>

² Paris Agreement adopted under the United Nations Framework Convention on Climate Change, COM(2016) 110 final

³ International Scientific Conference “*Our Common Future Under Climate Change*”, Session “*Cultural Heritage facing up to Climate Change, Sea Level Rise and Pollution*”, UNESCO, Paris, 7-10 July 2015, <http://www.commonfuture-paris2015.org>

⁴ C. Sabbioni, P. Brimblecombe, M. Cassar (2010), “*Atlas of climate change impact on European Cultural Heritage*”, Anthem Press, ISBN 978-92-79-09800-0

⁵ A. Bonazza, P. Messina, C. Sabbioni, M.C. Grossi, P. Brimblecombe (2009), “Mapping the impact of climate change on surface recession of carbonate buildings in Europe”, *Science of the Total Environment*, 407, 2039-2050

⁶ A. Bonazza, C. Sabbioni, P. Messina, C. Guaraldi, P. De Nuntiis (2009), “Climate change impact: mapping thermal stress on Carrara marble in Europe”, *Science of the Total Environment*, 407, 4506-4512

⁷ A. Gómez-Bolea, E. Llop, X. Arino, C. Saiz-Jimenez, A. Bonazza, P. Messina, C. Sabbioni (2012) “Mapping the impact of climate change on biomass accumulation on stone”, *Journal of Cultural Heritage*, 13, 254-158

⁸ Joint Programming Initiative “Cultural Heritage and Global Change: a New Challenge for Europe – JPI CH”, www.jpiculturalheritage.eu

Un progetto di valorizzazione della scienza nell'arte: le rappresentazioni botaniche nei festoni rinascimentali della scuola di Raffaello

I dipinti floreali nei festoni rinascimentali della scuola di Raffaello costituiscono una testimonianza della numerosità e, potremmo dire oggi, della biodiversità delle specie e delle varietà botaniche presenti in Europa dopo la scoperta dell'America, che hanno suggerito l'avvio di una mostra dal nome emblematico: *I colori della prosperità*

DOI 10.12910/EAI2016-054

di **Giulia Caneva** e **Flavia Bartoli**, Università Roma Tre - Dipartimento di Scienze

La raffigurazione di piante e animali nella pittura e nella scultura risale all'epoca preistorica quando accanto a figure animali in scene di caccia si trovano stilizzazioni ispirate ad alberi, come rappresentazioni simboliche di ponti fra la terra e il cielo e di elementi cardine dei processi vitali. Quindi, soprattutto con lo sviluppo degli insediamenti stanziali e dell'a-

gricoltura, le piante vengono rappresentate non solo per il loro ruolo di caratterizzazione del paesaggio, ma anche per la funzione centrale che hanno nella sussistenza dell'uomo, oltre che per la valenza decorativa e fortemente connessa con la religiosità antica.

In generale, la presenza di elementi naturalistici nell'arte può essere collegata a diversi intenti, che si posso-

no collegare alla loro valenza magica e religiosa e più in generale simbolica, mentre solo raramente si può attribuire loro una valenza esclusivamente "mimetica" e decorativa.

La straordinaria biodiversità percepibile nelle sculture e pitture romane è un elemento emblematico del ruolo che le piante avevano nel mondo antico, e fra le rappresentazioni più significative spicca il paramento



dell'*Ara pacis* di Augusto. Qui l'ampio spazio dato alle immagini fitomorfe in un monumento di così grande rilievo storico e dal potente valore simbolico, eretto per rappresentare l'inizio di un'era di pace, non può essere considerato ispirato a intenti solo decorativi. Le centinaia di elementi vegetali combinati fra di loro in un quadro di eccezionale ricchezza portano, infatti, un messaggio che il popolo, seppur analfabeta e incapace di comprendere le iscrizioni latine, ma legato in un rapporto atavico e quotidiano con la natura, avrebbe facilmente saputo capire. Colori, forme e analogie avrebbero guidato l'interpretazione di uno schema dove l'insieme degli elementi botanici illustra il progetto augusteo di una rinascita di Roma, in un processo unitario ma molteplice nello stesso tempo, organizzato in schemi di armonia ed ordine, che si propagherà per l'eternità attraverso una metamorfosi continua.

Nelle rappresentazioni delle piante nell'arte, i festoni si ricollegano alla tradizione classica di intrecciare fasci di foglie, frutta e fiori e di legarli con nastri per poi appenderli con i

due capi agli altari, ai templi e agli archi in segno di devozione religiosa. I festoni sono quindi le piante delle feste che hanno un intento augurale di prosperità ed abbondanza. Di tale tradizione esistono ricorrenti esempi che veicolano questo significato augurale, in bassorilievi e sculture di altari, sarcofagi e in altri fregi architettonici.

Più tardi, con la riscoperta dell'antico che prende avvio nel Rinascimento, il tema dei festoni viene ripreso più volte grazie ad artisti di grande rilievo, quale in particolare il Mantegna o il Crivelli, che spesso ritraggono elementi vegetali singoli, ma più spesso intrecciati in festoni selezionati sulla base del simbolismo delle singole specie, trasposto poi in concetti della religiosità cristiana.

In tale contesto, dobbiamo però ricordare soprattutto il ruolo e l'importanza della scuola di Raffaello ed in particolare la figura di Giovanni da Udine, che nei primi anni del '500 riscopre lo stile delle grottesche antiche e degli stucchi romani. Questi artisti, pur non comprendendo la filosofia e religiosità pagana, ammiravano la bellezza e l'originalità

delle composizioni fantastiche e naturalistiche che ritrovavano nei monumenti antichi a partire dalla scoperta della Domus Aurea, che – interrata – appariva una grotta e non una reggia dorata e solare. Giovanni da Udine per primo rielabora quindi con lo spirito rinascimentale, fedele all'osservazione naturalistica, i modelli di ispirazione classica secondo un rigore scientifico avviato già da Leonardo.

Per motivi di composizione decorativa, il tema del festone trova la sua massima espressione nelle Logge romane dove Raffaello esprime la sua arte e, in particolare, nella Loggia di Psiche che costituiva l'ingresso alla villa trasteverina, allora suburbana, che Agostino Chigi aveva voluto come luogo di diletto (ormai nota come "La Farnesina", per la lunga storia che la legò poi alla famiglia Farnese che l'acquistò già alla fine del '500) e nel loggiato papale in Vaticano.

La nuova residenza voluta dal Chigi era ubicata appena a ridosso della città antica e del Tevere, in un'area ancora ineditata alle pendici del Gianicolo, e la decorazione della



Fig. 1 Loggia di Psiche: Pennacchio di Psiche che torna vittoriosa dal regno dei morti con l'unguento dell'eterna giovinezza, circondata da festoni ricchi di piante medicinali e rare



Loggia, dedicata al mito di Amore e Psiche, fu concepita da Raffaello per creare una sorta di illusione prospettica che non originasse un brusco passaggio fra i giardini e l'interno. Così la volta venne progettata come un ricco pergolato carico di fiori e frutti, costituito da 35 festoni disposti a formare una particolarissima cornice del racconto (Figura 1).

L'ammirazione per tale originale schema compositivo è efficacemente espressa dal Vasari, che descrive l'opera come: *“un recinto di festoni grossi a torno a torno gli spigoli e quadrature di quella volta, facendovi stagione per istagione di tutte le sorti frutta, fiori e foglie, con tanto artificio lavorate, che ogni cosa vi si vede viva e staccata dal muro e naturalissima; e sono tante le maniere di frutta e biade che in quell'opera si veggiono, che, per non raccontarle ad una ad una, dirò solo che vi sono tutte quelle che in queste nostre parti ha prodotto la natura”*. E come ulteriore segno di apprezzamento commenta: *“Ardisco d'affermare che Giovanni in questo genere di pitture ha passato tutti coloro che in simili cose hanno meglio imitata la natura, perciò che, oltre all'altre cose, insino i fiori del sambuco, del finocchio e dell'altre cose minori vi sono veramente stupendissimi”*.

Nella successiva opera di Giovanni da Udine nelle Logge vaticane, il tema botanico assume ancora un grande rilievo, mostrando però differenze rispetto alla precedente per la modalità di organizzazione dell'immagine e per una riduzione della diversità floristica, a fronte dell'incremento degli elementi fantastici nel tema delle grottesche. Que-



Fig. 2 Logge di Raffaello in Vaticano: particolare della V lunetta con festoni carichi di fiori e frutti

ste Logge, che formano un lungo camminamento, diviso in 13 arcate o campate, furono concepite come un loggiato privato per la nuova residenza papale voluta da Papa Giulio II, che ne affidò il progetto a Bramante,

sostituito poi da Raffaello dal nuovo Papa Leone X. Qui, nel lato contrapposto alle arcate che si affacciano sul piazzale Vaticano, altre tredici arcate specularmente disposte ricreano, con le decorazioni e con le pitture, la sensazione di uno spazio aperto all'esterno. Così, al contorno delle strutture architettoniche, all'interno di lunette e pilastri, nel cielo di un azzurro intenso, fiori e frutti riuniti in mazzi a formare i festoni danno infatti al lungo loggiato l'impressione di un camminamento aperto su due lati (Figura 2). L'impressione dell'artificio è annullata da una sensazione straordinaria di vitalità e di naturalezza a cui contribuisce la presenza al loro intorno di un variegato mondo animale. I frutti, frammisti a fiori e ortaggi, sono scanditi in mazzi di variegata composizione stretti da corde e nastri rosseggianti, rallegrati dalla presenza di variopinti uccelli, originando così un “tralcio” del tut-

to speciale, vario sia per l'opera della natura che per quella dell'uomo. L'eccellenza di questa rappresentazione botanica emerge anche dal punto di vista scientifico-naturalistico.



Sul piano qualitativo per la ricchezza delle specie rappresentate (quasi 170, ma notevolmente di più se consideriamo anche le varietà), fra cui spiccano in particolare frutti (quali mele, pere, pesche, melograni, zucche, uva ed agrumi) e fiori (come rose, narcisi, gigli, iris e vilucchioni), oltre a radici, bulbi, fusti e foglie, e perfino funghi.

Sul piano quantitativo per il grandissimo numero di varianti di ciascun gruppo di specie, che assommano a circa 1.200 elementi, e che arrivano a parecchie migliaia, se si considerano i singoli elementi.

Altro motivo di eccezionalità è poi determinato dalla presenza di specie rare ed esotiche provenienti da tutti i continenti allora noti e in particolare dalle specie americane ad appena 20 anni dalla scoperta del nuovo mondo. Ciò conferisce alle pitture il primato di essere il più antico documento che testimonia l'introduzione delle piante riportate da Colombo in Europa, fra cui *Zea mays* L. (granturco) (Figura 3), *Cucurbita pepo* L. (zucchini), *Cucurbita maxima* Duchesne (zucca maggiore), *Cucurbita moschata* Duchesne (zucca muschiata) e forse anche *Phaseolus vulgaris* L. (fagiolo comune).

In conclusione, numerosità, e potremmo dire oggi biodiversità, unitamente alla rarità e al suo valore di testimonianza storica di eccezionale valenza, sono elementi di spicco senza uguali che rendono l'opera un "libro di scienza", oltre che un "manuale d'arte", pronto ad essere letto e goduto dai visitatori di ogni tempo e di ogni nazione.

In generale si può sottolineare che il significato dell'iconografia botanica dei festoni è da interpretare come uno strumento di meraviglia e conseguentemente di ammirazione per



non solo fedele ma viva, con una ricchezza cromatica estremamente variegata, di cui dal basso si percepisce solo parzialmente la varietà, ha suggerito l'avvio di una mostra (a cura di Antonio Sgamellotti e Giulia Caneva) che sarà inaugurata alla fine del 2016 sotto l'egida dell'Accademia Nazionale dei Lincei ed il supporto di rilevanti Centri di ricerca scientifica operanti nel settore. Il nome emblematico - "*I colo-*

ri della prosperità" - vuole mostrare attraverso i cromatismi dei frutti, scelti come simbolo di meraviglia, amore e potere, l'immagine della straordinaria biodiversità di questo patrimonio vegetale e allo stesso tempo culturale che convergeva a Roma da tutto il mondo.

Tale percorso sarà quindi tracciato selezionando frutti provenienti da tutti i continenti (esclusa l'Australia, allora non conosciuta) in associazio-

ne al loro quadro cromatico, anch'esso ampio e variegato.

A tal fine è stata effettuata una campagna diagnostica per studiare e caratterizzare pigmenti utilizzati che ha previsto indagini spettroscopiche non invasive *in situ*, comprendenti una parte di imaging a diverse lunghezze d'onda (visibile, IR, UV ed XRF) ed una parte di analisi puntuali con strumentazioni portatili (XRF, IR, UV-Vis). Le indagini sono state condotte su alcuni soggetti

emblematici del tema decorativo della Loggia, dal laboratorio mobile MOLAB' della 'Joint Research Unit' (CNR-ISTM Pg, SMAArt UNIPg, LabDia Spoleto) in collaborazione con XGLab (spin-off del Politecnico di Milano) e con la consulenza dell'ENEA.

L'allestimento espositivo con pannelli esplicativi e tecniche multimediali è stato sviluppato in sinergia con il CNR-ISTI di Pisa.

Dopo l'esposizione romana, a rap-

presentare il contesto europeo di origine, si intende programmare un percorso itinerante della mostra nei luoghi di origine di alcune piante emblematiche provenienti dai diversi continenti e immortalate nella Loggia, sviluppato con la collaborazione degli Istituti Italiani di Cultura e delle Accademie delle Scienze dei Paesi coinvolti.

per saperne di più:
giulia.caneva@uniroma3.it

BIBLIOGRAFIA

Caneva G., 1992. *Il mondo di Cerere nella Loggia di Psiche*, Ed. Palombi, Roma: pp. 1-223

Caneva G., 2010. *Il codice botanico di Augusto*. The Augustus Botanical Code. (bilingue Italiano Inglese), Ed. Gangemi, Roma

Caneva G., Carpaneto G.M. (ed.) 2011. *Raffaello e l'immagine della natura*. Silvana Editoriale, Milano

Inquadramento storico dell'area archeologica di Sinuessa in Campania

I rinvenimenti archeologici nei Comuni di Mondragone e Sessa Aurunca, in Campania, hanno consentito di stabilire l'importanza dell'area di Sinuessa, località costiera abitata stabilmente fin dall'età del bronzo: nascita, sviluppo e declino della cittadina dalla conquista romana ai saccheggi dei Visigoti e dei Vandali

DOI 10.12910/EAI2016-055

di **Sergio Cascella**, Archeologo, e **Maria Grazia Ruggi d'Aragona**, Soprintendenza Archeologia della Campania

I recenti rinvenimenti archeologici effettuati nel Comune di Mondragone (Caserta), presso Rocca San Sebastiano, attestano che tra 50.000 e 25.000 anni fa, gruppi di uomini di *Neanderthal*, prima e di *Homo sapiens*, poi, trovarono ripari stagionali sui monti Petrino e Mascalubo i cui versanti si affacciavano su un paesaggio ricoperto da un fitto manto vegetazionale e caratterizzato da abbondanti riserve idriche costituite dai corsi dei fiumi Gariigliano e Savone, le cui foci, lungo le dune costiere, formavano ampi specchi lacustri e paludosi, ricchi

di selvaggina [1]. Ritrovamenti di utensili litici e frammenti ceramici attestano che nel periodo compreso tra l'età del Bronzo e quella arcaica [2], questi stessi rilievi montuosi furono abitati da gruppi umani la cui *facies* culturale rientra nel più vasto panorama della Cultura cosiddetta Appenninica. Contrariamente e per diverse ragioni, legate sia alla natura dei luoghi che all'incipiente antropizzazione, questa fase è quasi del tutto sconosciuta nell'area pedemontana, sebbene alcuni recenti ritrovamenti

[3] attestino che anche quest'area fu in qualche modo frequentata. Tuttavia, lo stato attuale delle ricerche non consente di chiarire gli aspetti caratterizzanti di questi stanziamenti, per il momento testimoniati unicamente da affioramenti superficiali.

A cominciare dalla fine del II millennio a.C., questo sostrato di popolazioni autoctone che durante tutta l'età del Bronzo (XVI-IX sec. a.C.) aveva occupato le coste e l'immediato retroterra campano, forse anche con l'apporto culturale di genti allogene, assunse una distinta

connotazione culturale che gli storici antichi e moderni identificano con un vero e proprio *ethnos*.

Si tratta di agricoltori Italici, noti con il nome di Ausoni-Aurunci [4], caratterizzati da una cultura eminentemente pastorale e arcaica che gradualmente occuparono il basso Lazio e la Campania settentrionale. Ciò che conosciamo degli Ausoni è molto confuso tanto che spesso la loro origine e la loro storia sfuma nel mito. Quale fosse l'organizzazione sociale degli Ausoni nel territorio in questione, è tutt'oggi oggetto di discussione tra gli studiosi giacché la scarsità di dati, dovuta alla cronica mancanza di ricerche e rinvenimenti, spesso non consente di avere un quadro sufficientemente chiaro delle loro dinamiche insediative.

La moderna ricerca archeologica può oggi affermare che queste popolazioni erano riunite in villaggi di tipo pseudo urbano sparsi su tutto il territorio. Tra questi, alcuni insediamenti, che la tradizione identifica con i siti di *Minturnae*, *Sinuessa*, *Suessa*, *Ausona* e *Vescia*, ebbero un ruolo più rilevante. Purtroppo, nessuno di questi centri è mai stato oggetto di un'indagine archeologica sistematica che riguardasse le fasi storiche che hanno preceduto l'età romana. A tutt'oggi, l'unico scavo di un abitato ausone è quello effettuato verso la metà degli anni 80 del Novecento nei pressi del Ponte Ronaco a Sessa Aurunca [5]. Questo sito ha rivelato il fondo di una capanna formata da uno zoccolo di fondazione su cui era fissata una palizzata di tronchi di legno che reggeva il soffitto. Si tratta quindi di un insediamento stabile, ma che non può certo definirsi "città" e che quindi ebbe un ruolo "politico" limitato, compito questo,



Fig. 1 Ex voto, frammentato, rappresentante un volto maschile. Da Falciiano del Massico (Caserta)

che invece fu delegato ai luoghi di culto sparsi nel territorio.

La natura federale dei santuari ausoni operò quindi da fulcro politico e culturale coagulante per un popolo che, come detto, abitava la regione secondo un modo che gli studiosi identificano con l'espressione "per pagi e vici" cioè, per insediamenti di tipo rurale cui sembra non potersi attribuire un'autonomia amministrativa.

I principali santuari erano disposti sulla costa, lungo una via litoranea che in seguito divenne la via Appia; precisamente a nord è collocato il santuario della dea Marica, vicino a Minturno e a sud quello in località Panetelle, presso Mondragone, lungo il corso del fiume Savone, l'antico *Savo* [6]. A questi santuari, che costituivano un presidio per il controllo del territorio sia da un punto di vista militare che commerciale,

data la loro posizione alle foci dei fiumi Garigliano e Savone, si devono associare una miriade di centri culturali minori localizzati lungo le principali direttrici viarie che dalla costa risalivano verso l'interno e la pianura campana (Figura 1).

Le divinità venerate erano femminili, principalmente legate alla sfera della fecondità e al mondo ctonio, come attestano i molti *ex voto* anatomici trovati nelle stipi di Panetelle.

Tra di esse spiccava la ninfa Marica, signora della natura selvaggia e protettrice dei neonati, caratteristiche, queste, che la assimilano al prototipo della dea Diana dei romani e, al pari di questa, aveva sulla sponda sinistra (Baia Domizia - Caserta) del Garigliano, l'antico *Liris*, il suo bosco sacro (*Lucus*).

La cultura materiale degli Ausoni è documentata proprio dai materiali votivi poiché i rinvenimenti riferibili ai contesti tombali sono assai scarsi. Le recenti analisi tipologiche e cronologiche di questi oggetti tracciano un quadro culturale degli Ausoni piuttosto arretrato rispetto al fermento che contrariamente caratterizza le colonie greche del Golfo di Napoli e la pianura campana, ove gli Etruschi avevano fondato diversi insediamenti tra cui Capua. Proprio con quest'ultima area i rapporti sembrano essere più intensi com'è testimoniato dalla famosa *Kore* o Afrodite di Sessa (Figura 2), oggi conservata al *British Museum*, che costituisce uno dei migliori esempi di bronzistica votiva di stile tardo arcaico rappresentante una giovane offerente, vestita con un chitone aderente, opera probabilmente di un artigiano etrusco di Capua.

Rilevanti cambiamenti culturali intervengono nel corso del V e IV sec.

a.C. quando gli Ausoni si trasformarono in Aurunci, uniformandosi gradatamente agli usi e costumi dei popoli campani che comunemente chiamiamo Osci. Ciò è testimoniato dalle iscrizioni che ci sono giunte, che attestano l'uso della lingua osca, dal rituale funerario e dalla tipologia delle tombe che sostanzialmente è simile a quella presente nelle comunità campane limitro-



Fig. 2 Kore di Sessa, databile al 480 a.C. ca.
Fonte: U. Zannini (ed.), *Isti (Aurunci) graece Ausones nominantur*, Atti del Convegno Sessa Aurunca, Marina di Minturno 2012, p. 170, fig. 1

fe determinando così una sorta di *koinè* culturale.

Alla fine del IV sec. a.C. gli Aurunci vennero inevitabilmente travolti dall'espansionismo romano che culminò con la guerra latina

(340-338 a.C.) e in quelle scaramucce che si conclusero nel 314 a.C. quando le terre degli Aurunci divennero *Ager Publicus Populi Romani*, territorio di Roma, che vi fondò, nel 313 a.C., una colonia di diritto latino che prese il nome di *Suessa*. Il processo di romanizzazione del territorio fu rapido e profondo, attuandosi nel 312 a.C. con la decisione di costruire la via Appia che avrebbe collegato Roma con Capua e con la deduzione, nel 296 a.C., delle colonie romane gemelle di *Sinuessa* e *Minturnae*. Queste ultime due città avevano lo scopo di difendere il territorio da poco annesso, l'accesso costiero alla pianura campana, il passaggio al *Latium adjectum* e il tracciato di questa grande via di comunicazione commerciale e militare che, appunto, fu la via Appia.

Per quel che riguarda *Sinuessa*, la mancanza di fonti storiche e archeologiche non ci permette di conoscere molto sui primi decenni di vita della città le cui vicende storiche sono, per noi, abbastanza oscure. Certamente un duro colpo *Sinuessa* lo ricevette con l'assedio che le fu posto nel 217 a.C. dalla cavalleria di Annibale, che saccheggiò tutto l'agro circostante provocando vittime ed enormi danni¹. La ripresa economica e sociale fu lenta ma costante tanto che l'abitato di *Sinuessa* crebbe anche al di fuori del perimetro delle fortificazioni e, nel 174 a.C., si rese necessario da parte dei censori Aulo Postumio Albino e Quinto Fulvio Flacco, ampliare le mura e ristrutturare il Foro, centro pulsante della vita commerciale della città².

L'importanza di *Sinuessa* nasceva non solo dalla sua strategica posizione geografica, ma anche dal ricco retroterra agricolo che fu sfrut-



tato intensivamente. Nacque in questo periodo un enorme numero di aziende agricole (le cd. *villae rusticae*) destinate principalmente alla produzione vinicola. La pianura che si stende ai piedi del vulcano spento di Roccamonfina e del massiccio calcareo del Massico era, ed è, formato da terreni impregnati di materiale vulcanico che rendono i suoli particolarmente fertili e adatti alla produzione del celebrato vino

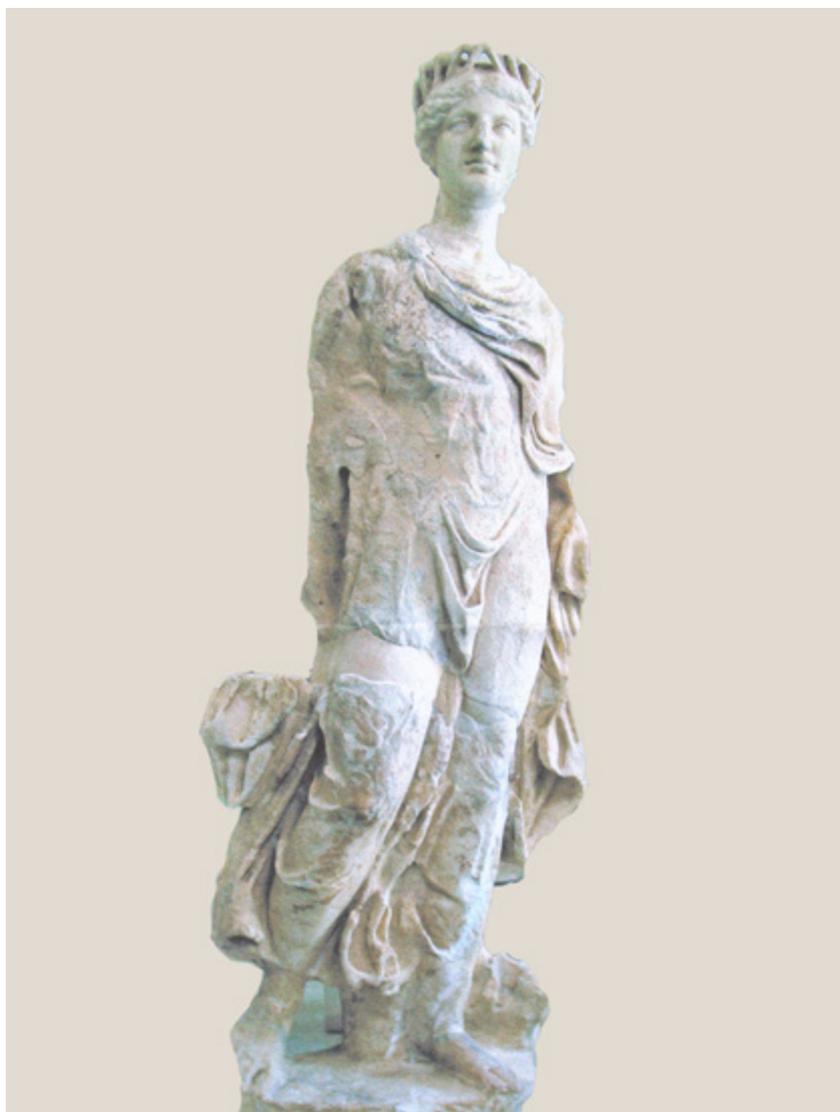
Falerno che proprio dalla data delle ristrutturazioni operate dai censori del 174. a.C. vide una significativa crescita di produzione.

Questo vitigno, famosissimo in tutto il mondo romano, era conservato ed esportato in anfore vinarie del tipo Dressel 1 e 2/4, prodotte in un grande numero di fornaci disposte sia nelle aziende agricole, ove si produceva il vino, che in un vero e proprio quartiere artigianale posto

lungo la costa a nord e a sud della città. Ovviamente una produzione vinicola, cerealicola e artigianale così massiccia, prevedeva l'impiego di una notevole massa di manodopera formata da migliaia di schiavi, concentrati nelle mani di pochi facoltosi appartenenti sia all'aristocrazia locale, ma soprattutto ai grandi proprietari terrieri provenienti da Roma. La localizzazione di un così gran numero di persone ridotte in schiavitù, in un territorio relativamente ristretto, produsse non poche tensioni sociali che, nel 133 a.C., sfociarono in una sanguinosa rivolta, domata da Roma con l'invio di una legione: furono catturati 4000 rivoltosi in seguito giustiziati con la crocefissione³.

Con la *Pax Augusta* inizia il periodo maggior splendore per *Sinuessa* che entrò a far parte della *Regio I Latium et Campania*. La città sotto divenne famosissima, oltre che per la produzione del Falerno, anche per le numerose ville che l'aristocrazia romana possedeva lungo la costa. Durante il periodo degli imperatori Flavi, l'economia di *Sinuessa* si avvantaggiò anche del passaggio della *via Domitiana* che dal 95 d.C. collegò la città con il grande porto commerciale di *Puteoli* (l'odierna Pozzuoli). Questo momento felice continuò ininterrotto sino al II sec. d.C. quando *Sinuessa* fu spesso visitata dai componenti della casa imperiale Antonina tra cui Matidia Minore, cognata dell'imperatore Adriano, che si rese benemerita verso i cittadini che le fecero delle pubbliche dediche⁴.

Il lungo e inesorabile declino iniziò del III sec. d.C. sino al saccheggio da parte dei Visigoti di Alarico all'inizio del V sec. d.C.. L'ulteriore saccheggio del 455 d.C., questa volta ad opera dei Vandali, dette il colpo di grazia a



Sinuessa che fu completamente e definitivamente abbandonata come il suo territorio che, disabitato, venne rapidamente occupato dalla selva e dalle paludi che resero impraticabili sia l'Appia sia la Domiziana.

Sul periodo antico di *Sinuessa* scese il buio sino al XII secolo, quando documenti scritti e tracce archeologiche testimoniano la ripresa della vita civile in un piccolo villaggio medievale chiamato *Rocca Montis*

Dragonis, il futuro abitato di Mondragone.

per saperne di più:
mariagrazia.ruggidaragona@beniculturali.it



¹ Liv., XXII, 13, 6-10

² Liv., XLI, 27, 11-13

³ Orosio, V, 9.

⁴ Cil. X, 3833

BIBLIOGRAFIA

[1] P. Arthur (1991), "Romans in northern Campania: Settlement and land-use around the Massico and the Garigliano basin", in PBSR, London, p. 23; p. 109

[2] C. Collina, I. Fiore, R. Gallotti, M. Pennacchioni, M. Piperno M., C. Santagata, N. Santangelo, A. Santo, A. Tagliacozzo (2005), "Scavi nella grotta in località Rocca San Sebastiano (Mondragone)", Atti della XLI Riunione Scientifica dell'Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria (Nov-Dic 2005), 2005, pp. 1-34

[3] A. Guidi, M. Saracini (2010), "Nuovi dati sul popolamento pre e protostorico del territorio di Mondragone (Caserta)", in Origini, XXXII, Nuova Serie IV, 2010, pp. 259-283

[4] S. Cascella (2012), "La fase preromana", in Memorie Aurunche di Matidia – Suessa: città e territorio dagli Aurunci all'età romana. S. Cascella, M. Grazia Ruggi D'Aragona (a cura di), BAR International Series 2445, Oxford, pp. 5-11

[5] P. Talamo (1987), "L'area aurunca nel quadro dell'Italia centromeridionale. Testimonianze archeologiche di età arcaica", in BAR Int. Series, Oxford

[6] P. Mingazzini (1938), Santuario della Dea Marica alle foci del Garigliano, MonAnt, XXXVIII, Roma; L. Falcone (2009), "Vasi di importazione e vasi di produzione locale dalle necropoli di Francolise: alcune riflessioni", in Testimonianze storiche, archeologiche e artistiche del territorio di Francolise. U. Zannini (a cura di), Dragoni (Caserta), pp. 21-28

Assetto geomorfologico dell'area marina di Sinuessa ed ipotesi di fruizione sostenibile

Studio geomorfologico dell'area costiera di Sinuessa (Golfo di Gaeta) che ha consentito di individuare l'approdo di epoca romana di Sinuessa; la ricostruzione dell'evoluzione geomorfologica e tettonica recente dell'area ha reso possibile l'individuazione delle cause della sommersione dell'approdo. L'intenso sviluppo insediativo che oggi caratterizza il tratto di litorale prospiciente l'area spinge a sviluppare un sistema di gestione integrato volto alla valorizzazione dell'area

DOI 10.12910/EAI2016-056

di **Micla Pennetta, Carlo Donadio e Corrado Stanislao**, *Università degli Studi di Napoli Federico II - Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse (DiSTAR)*,
Renata Valente, *Seconda Università degli Studi di Napoli - Dipartimento di Ingegneria Civile, Design, Edilizia, Ambiente*,
 e **Raffaella Nappi**, *Autorità di Bacino Nazionale Liri-Garigliano e Volturno*

Questo contributo è mosso dall'esigenza di comprendere l'ambiente marino-costiero dell'area di Sinuessa (Campania settentrionale), ricostruendone l'evoluzione geomorfologica e la tettonica recente, al fine di riqualificare e rendere fruibile un territorio in-

tensamente modificato dall'attività antropica.

L'area in oggetto di studio è ubicata in un tratto di mare del Golfo di Gaeta (Campania, Italia meridionale) (Figura 1) in corrispondenza della terminazione occidentale della dorsale carbonatica del Monte Massico. Il Golfo è delimitato nell'entroter-

ra dai rilievi carbonatici dei Monti Aurunci e dei Monti di Caserta, che attraverso sistemi di faglie dirette, creano le condizioni di sviluppo delle piane costiere del Fiume Garigliano, al cui margine sudoccidentale si individua l'area in studio, e del Fiume Volturno. Il Monte Massico rappresenta un *Horst* ad andamento antiap-

penninico che separa le due piane. Densi flussi ignimbritici emessi dai Campi Flegrei (circa 39.000 anni fa) si propagarono verso Nord colmando la Piana Campana. Questi flussi, ostacolati morfologicamente dalle dorsali bordiere, misero in posto l'Ignimbrite Campana fino al versante meridionale del Monte Massico, mentre una frazione subordinata ha aggirato il massiccio invadendo la piana del Fiume Garigliano.

La morfoevoluzione dell'intero litorale, dalla foce del Fiume Garigliano a Cuma, dall'epoca greco-romana fino all'incirca al 1950 è segnata da una generale fase di progradazione e stabilità della linea di riva, con sviluppo di un cordone dunare. Quest'ultimo era esteso senza soluzione di continuità e colonizzato da una fitta vegetazione a macchia mediterranea ad Ovest di una duna più antica d'età preromana. A partire dal 1950 circa e fino ad oggi [1], invece, l'impatto antropico dovuto anche all'incremento della domanda di territorio ha innescato ovunque un marcato arretramento della linea di riva, soprattutto nelle zone prossime alle foci fluviali del Garigliano e del Volturno, dell'ordine di decine di metri all'anno e la perdita di migliaia di metri cubi di sedimenti [2, cum bibliografia]. Il litorale è caratterizzato da una spiaggia sabbiosa alimentata dai sedimenti provenienti dal Garigliano e dalle aree più a Nord.

La morfologia della spiaggia sommersa nel complesso è caratterizzata dalla presenza di un fondale sabbioso regolare a bassa pendenza, interessato sotto costa, entro la profondità di 1,5 m, da un sistema di truogoli passante, intorno alla profondità di 2 m, ad uno di barre. Alla profondità di 7 m sino a 15 m la morfologia del fondo si modifica bruscamente per la presenza di un

banco roccioso costituito da Ignimbrite Campana.

La sommità del banco è dissecata talvolta da scarpate alte tra i 2 ed i 4 m da ascrivere agli effetti della fratturazione colonnare riveniente dal raffreddamento della massa ignimbritica dopo la sua deposizione in ambiente subaereo. Il banco tufaceo sommerso risulta notevolmente inciso da paleocanali in allineamento con gli attuali corsi d'acqua presenti nell'entroterra. Questi paleocanali interrompono la continuità della superficie topografica, conferendo alla fascia superficiale una morfologia articolata, espressa da scarpate anche di dimensioni metriche e da vaste aree depresse a scala plurimetrica. I paleocanali sono stati incisi in ambiente subaereo durante l'ultimo episodio glaciale (*Last Glacial Maximum*, LGM, 18 mila anni fa), quando il livello del mare nel Mar Tirreno è arretrato sino all'attuale isobata dei 110-120 m. La risalita post-glaciale del livello marino ha determinato un avanzamento verso terra della linea di riva, con retrogradazione delle *facies* di piattaforma e poi costiere, con fasi di stasi e con genesi di ambienti lagunari e palustri. Durante l'epoca greco-romana (3800-2300 anni fa) si verificarono le condizioni per la formazione del cordone dunare costiero e di retrostanti ambienti umidi. La retrogradazione determina uno spostamento verso terra e verso l'alto delle unità trasgressive più recenti, consentendo un'aggradazione della piattaforma interna crescente verso terra da correlare al consistente apporto sedimentario dei fiumi che ivi confluiscono, segnatamente il Fiume Garigliano.

In un periodo intorno ai 2300 anni fa è stata costruita la strada romana basolata in calcare, trasversale alla linea di riva e nella zona anti-

stante Monte Cicoli, tra questo e il mare, mediante il taglio della duna. La strada romana, attualmente in parte sepolta da depositi sabbiosi post-romani, prosegue lungo la stessa direttrice ed è ascrivibile ad una rete di strade costiere a servizio della zona portuale con attività sviluppate sulla parte di superficie deposizionale pianeggiante del banco roccioso tufaceo. La strada poteva essere di servizio alla spiaggia; quest'ultima in tale periodo era ubicata in corrispondenza dell'attuale batimetrica degli 11 m; a quella profondità è stata rilevata una paleospiegia ed una cava di una macina (a circa 1000 m dall'attuale linea di riva), che potrebbe risalire ad un periodo iniziale di suo impiego (a partire da 2500 anni fa).

Lentamente il livello marino è risalito fino ad una profondità pari all'attuale batimetrica degli 8 m circa; si sono sviluppate attività antropiche connesse alla portualità su un'area allora emersa, e naturalmente pianeggiante, fino probabilmente al III secolo d.C. Infatti, la storia della città sembra interrompersi intorno al III secolo d.C. insieme alle sue strutture portuali. Erroneamente si è sempre riferito di un probabile insabbiamento del porto, mentre in realtà è stato sommerso. In tale periodo (nell'intorno di 1700 anni fa) dovrebbe essersi verificato un innalzamento relativo di circa 1 m del livello marino; quest'ultimo per processi glacio-idro-isostatici, lungo la costa tirrenica dalla Toscana al Lazio meridionale, dall'epoca romana ad oggi si è innalzato di circa 1,25 m. Tutto ciò premesso, si è valutata una variazione complessiva e relativa del livello marino a partire da 1700 anni fa che ha raggiunto valori nell'intorno di -8 m, sommità delle *pilae* romane, coincidente con

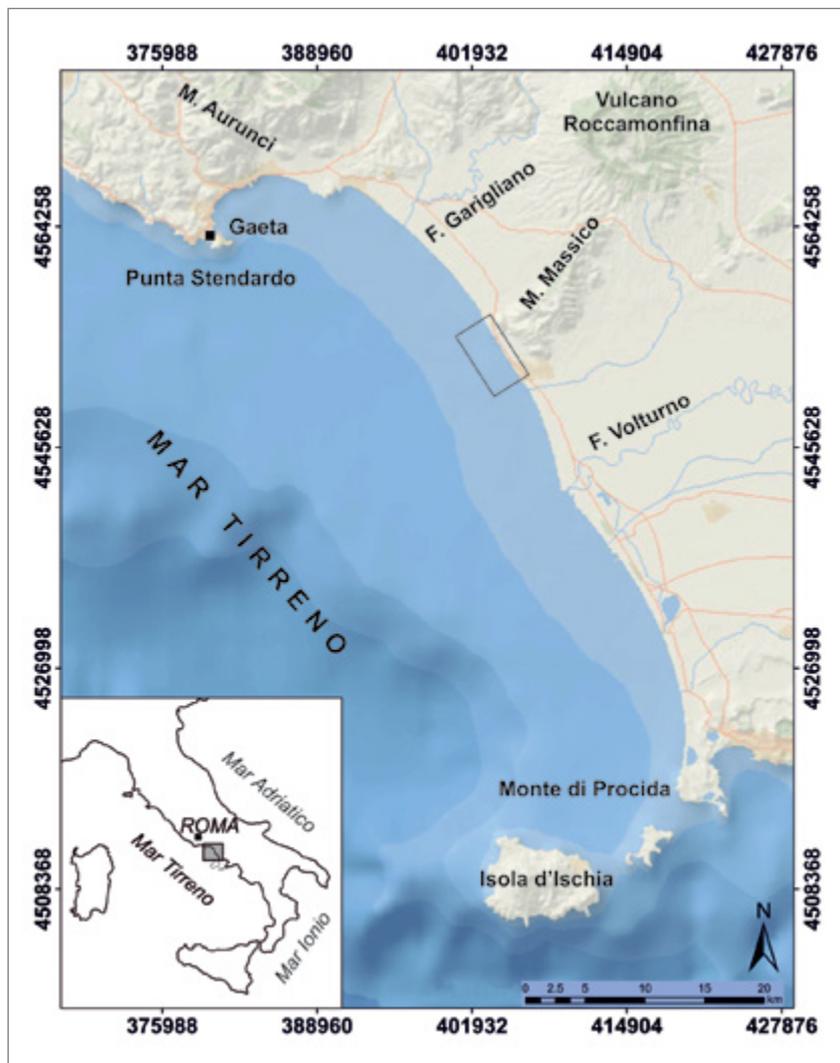


Fig. 1 Golfo di Gaeta: l'unità fisiografica è compresa tra Punta Stendardo e Monte di Procida. Il rettangolo nero indica l'area di studio; sistema di coordinate geografiche WGS84 UTM Zona 33T

il ripiano morfologico frequentato in epoca romana, rispetto all'attuale livello marino. Utilizzando nell'area in studio un valore possibile di sollevamento del livello del mare mediamente pari a +1 m, l'abbassamento tettonico del suolo insieme alla subsidenza complessivamente risulta di almeno -7 m. (Figura 2). Tali movimenti combinati del suolo si sono verificati in un periodo inferiore agli ultimi 1700 anni.

Tali processi sono testimoniati da evidenze riconducibili ad un ambiente di spiaggia caratterizzato da paleospiege e lembi di superfici di abrasione marina modellati sul banco tufaceo, con forme accessorie di ambiente marino (microfalesie, sgrottamenti, paleospiege ciottolose), tidale (pozze di scogliera, marmitte di evorsione) e continentale (*gullies*). In definitiva, si ritiene che le attività

legate a portualità all'epoca romana dovessero svolgersi sul banco tufaceo allora posto al massimo a +0,5 m sopra il livello del mare; nelle insenature lungo il paleoalveo verosimilmente attraccavano le grosse navi romane atteso che i canali e le insenature sono profondi dai 2 ai 3 m. Le evidenze archeologiche, espresse nei ritrovamenti di *pilae*, di una macina cavata, anfore e ceppi d'ancora a profondità incompatibili con l'attuale livello marino confermano l'ipotesi di un banco tufaceo emerso ed impiegato come area portuale o di transito di navi. Si ritiene plausibile che la linea di riva all'epoca romana corrisponda a quella presente alla attuale profondità di -6,5/-7 m.

L'urgenza di riqualificare e valorizzare territori di interesse e notorietà millenari¹ - nella convinzione di doversi opporre con forza a condizioni di degrado mortificante troppo frequenti nell'Italia meridionale - spinge a guardare verso luoghi notevoli per caratteristiche naturali e tracce di memoria storica. L'area di Sinuessa è sicuramente tra questi siti che sin dai tempi della Magna Grecia presidiava il passaggio più agevole verso il Sud della penisola italiana.

Oggi, dopo molti decenni d'intenso sviluppo insediativo, questo tratto di Litorale Domitio risulta depauperato dal punto di vista paesaggistico, eppure ancora affascinante e suscettibile di recupero ambientale. Pertanto, partendo dall'analisi dell'ecosistema litoraneo e dalla sua condizione di degrado, è possibile sviluppare un sistema di gestione integrato delle risorse per proteggere e valorizzare le peculiarità e le attrezzature del luogo, arricchendole con nuovi tipi per differenziare l'offerta ai residenti e turisti.

Si propone, pertanto, di strutturare un progetto ambientale in base al



concetto di riqualificazione dell'ecosistema, in questo caso costiero, inteso alla riorganizzazione armonica dell'uso delle risorse naturali e dello svolgersi dei processi antropici. La lettura delle componenti ambientali si struttura secondo l'analisi delle risorse naturali (acqua, suolo e vegetazione, aria, sole) ed in seguito dello svolgersi dei processi antropici (considerando energia, costruito, mobilità, gestione dei rifiuti, sistema dell'informazione).

La principale risorsa idrica presente nella zona è l'acqua del mare, che risulta di buona qualità fatta eccezione per le aree immediatamente prossime alle foci fluviali e dei canali. Dopo aver controllato l'adeguamento dei sistemi, per l'approvvigionamento idrico e la canalizzazione fognaria, affiancandoli oltre che a corretti sistemi di drenaggio al maggior numero possibile di impianti di fitodepurazione, si dovrà prevedere la realizzazione di sistemi che permettano il riciclo delle acque piovane, non trascurando la cura della progressiva permeabilizzazione delle superfici per consentire il ricarica della falda acquifera sotterranea. Tali considerazioni discendono anche dalle informazioni relative ai dati del regime pluviometrico. Potenziali inneschi di fenomeni alluvionali (*flash flood*) e dissesti idrogeologici (colate rapide, conoidi detritico-alluvionali, ristagno delle acque in zone depresse) che si ripercuotono sull'ambiente costiero, rendono indispensabile l'utilizzo di dispositivi progettuali sostenibili, quali impianti di drenaggio e lagunaggio, *bioswales* e *rain gardens*.

L'ulteriore risorsa presente, ossia le acque termali, le cui proprietà sono state decantate sin dall'antichità, può essere opportunamente potenziata sia per fini terapeutici,

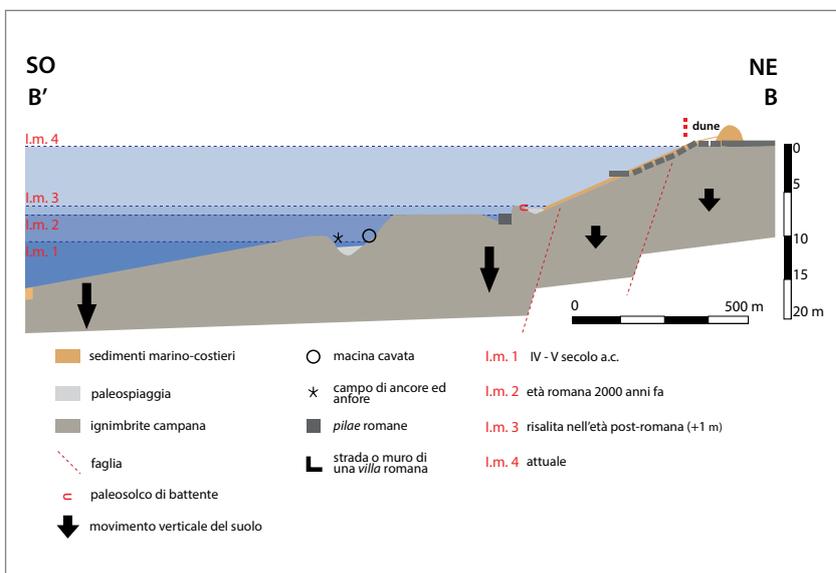


Fig. 2 Sezione geologica schematica da Nordest verso Sudovest dell'area di studio. Viene rappresentata la morfoevoluzione costiera durante gli ultimi 2.500 anni, desunta dai caratteri geomorfologici, sedimentologici ed archeologici

sia per lo sfruttamento dell'energia geotermica.

La risorsa suolo è in gran parte costituita dalla sabbia fine e chiara ed i fenomeni erosivi sono dovuti alla mancanza di apporto di sedimenti dai corsi d'acqua. Oltre ai rimedi che possono essere offerti dai ripascimenti artificiali, vanno attuate strategie per favorire i fenomeni di scambio osmotico tra spiaggia, duna e retroduna, attualmente impedito dalla radicata struttura antropica disposta sul cordone dunare.

Pertanto, i cordoni dunari esistenti devono essere salvaguardati con la sistemazione di passerelle sopraelevate per poterli attraversare, oltre che con strutture in legno per proteggerli e favorirne la stabilizzazione o nuova formazione. Il patrimonio vegetazionale dei luoghi, per lo più macchia mediterranea, inoltre, deve diventare l'ossatura della rete dei corridoi ecologici da costruire o rinforzare. Filari di alberi lungo i percorsi ne permet-

teranno il riequilibrio termoigrometrico e, quindi, una gradevole fruizione durante la stagione estiva, costituendo anche un indicatore visivo per un agevole orientamento durante la percorrenza, adottando sezioni stradali tipo, differenziate in funzione della gerarchia.

Mancanza di apporto di sedimenti fluviali al mare, opere di protezione incongrue e cementificazione nelle zone dunari e di spiaggia, agiscono sul degrado ambientale innescando il fenomeno dell'erosione costiera. Attualmente sono disponibili tecnologie sostenibili di intervento come il sistema *dewatering RSA*, in grado di contrastare il fenomeno dell'erosione e di riattivare il meccanismo naturale di progradazione del litorale sabbioso in tempi rapidi, stabilizzandolo. Questo sistema già applicato in Italia, con ottimi risultati in termini di progradazione della spiaggia, (Bibione, Alassio, Ostia, Procida e Metaponto), permette di interveni-

re sui litorali mediante piccoli impianti a basso impatto ambientale (tubi e pozzi di drenaggio), con costi inferiori nel medio termine rispetto alle tradizionali opere di difesa costiera quali barriere oppure ripascimenti artificiali morbidi o protetti al piede.

L'osservazione del clima meteomarino della fascia litorale di Sinuessa indica la vocazione della zona ad ospitare attività ludiche e sportive, quali vela, *kyte* e *windsurf* che, opportunamente potenziate con organizzazioni di *contest*, introdurrebbero altri elementi nel mosaico di offerte turistiche interconnesse. I dati relativi alle temperature ed alla radiazione solare, nel confermare la vocazione balneare dell'area, avvalorano l'opportunità di utilizzare l'energia del sole come principale fonte alternativa per la produzione di energia.

Il patrimonio storico-archeologico che interessa l'area di Sinuessa ed in

particolare la zona sommersa, suscita interesse e fascino che, tuttavia, devono essere valorizzati da un sistema di connessione in rete, interrogabile *online* e rintracciabile attraverso una cartellonistica aggiornata ed interattiva. La rete risulterebbe rafforzata, inoltre, dai rimandi a quella dei siti architettonici di pregio nell'entroterra, dalla Reggia di Caserta, al Real Sito di Carditello. Tra gli aspetti relativi ai processi di antropizzazione della zona vi è la necessità di applicare criteri di sostenibilità al sistema della mobilità, attualmente affidato esclusivamente al traffico carrabile privato. Nuovo *driver* di rilancio ecoturistico è sicuramente il progetto di una rete di percorsi ciclabili e pedonali integrati, raccordati con la rete ferroviaria e spostamento via mare. La stessa storia della via Appia (*regina viarum*), nei suoi tratti antichi e recenti, opportunamente attrezzata per ospitare in sicurezza i

fruitori, suggerisce un percorso che può presentare soste con offerte di qualità.

Una passeggiata in bicicletta lungo una nuova pista ciclabile, protetti da filari di alberi che ne ombreggiano anche il percorso, ascoltando via *smartphone* la guida virtuale georeferenziata, potrà condurre attraverso i ritrovamenti archeologici più prossimi alla zona sommersa e culminare, ad esempio, con la vista verso il litorale, dai ruderi sul piccolo rilievo del Casino di Transo. Il recupero ecocompatibile di una preesistenza edilizia contemporanea nelle vicinanze, con funzioni punto ristoro, permetterà ai futuri visitatori di ritempersi godendo di una straordinaria vista sul tramonto, secondo la sapiente indicazione dei nostri progenitori.

*per saperne di più:
pennetta@unina.it*

¹ Il testo a seguire è stato redatto da Renata Valente

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Pennetta, V.M. Brancato, S. De Muro, D. Gioia, C. Kalb, C. Stanislao, A. Valente, C. Donadio, (2016), “Morpho-sedimentary features and sediment transport model of the submerged beach of the “Pineta della foce del Garigliano” SCI Site (Caserta, southern Italy). *Journal of Maps*, DOI: 10.1080/17445647.2016.1171804
- [2] M. Pennetta, C. Stanislao, V. D'Ambrosio, F. Marchese, C. Minopoli, A. Trocciola, R. Valente, C. Donadio, (2016) “Geomorphological features of the archaeological marine area of Sinuessa in Campania, southern Italy”, *Quaternary International*
DOI: DX.DOI.ORG/10.1016/J.QUAINT.2016.04.019
- [3] R. Valente, (2006), “STRATEGIE PROGETTUALI PER UN PIANO DEL DEMANIO MARITTIMO NEL LITORALE DOMITIO (CE)”, COMPRESO NEGLI ATTI DEL PRIMO CONVEGNO INTERNAZIONALE BLU+VERDE ACQUA E VEGETAZIONE: RISORSE PER L'AMBIENTE COSTRUITO, A CURA DI M. BOTTERO E L. M. FABRIS, PAGG. 357-362, CLUP EDIZIONI MILANO
- [4] P. De Vita, V. Allocca, F. Manna, S. Fabbrocino, (2012), “Coupled decadal variability of the North Atlantic Oscillation, regional rainfall and karst spring discharges in the Campania region (southern Italy)”, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, pagg. 1389-1399
- [5] R. Valente, C. Donadio, (2007), “Beach drainage technologies for coastal landscape environmental recovery”, in *Medcoast Proceedings of the Eighth International Conference On The Mediterranean Coastal Environment*, a cura di E. Ozhan, Mid. East Techn., pagg. 1093-1104, Alexandria, Egypt
- [6] T. De Pippo, C. Donadio, F. Terlizzi, (2008), “Analisi critica della letteratura geomorfologica sulla dinamica evolutiva delle coste campane”, in *Le criticità delle aree costiere della Campania. Verso un progetto di monitoraggio integrato*, Conv. Naz. ARPAC, CoNISMa, pagg. 442, Napoli

Elaborazione di un itinerario subacqueo sul banco roccioso di Sinuessa

Analisi, metodologie e tecnologie utilizzate dall'ENEA in collaborazione con altre istituzioni per progettare l'itinerario archeologico subacqueo di Sinuessa come strumento divulgativo per stimolare l'osservazione del mondo archeologico sommerso e delle sue peculiarità naturalistiche come indica la Convenzione UNESCO del 2001

DOI 10.12910/EAI2016-057

di **Alfredo Trocciola**, **Carmine Minopoli**, **Raffaele Pica**, *ENEA*,
Maria Grazia Ruggi d'Aragona, *Soprintendenza Archeologia della Campania*,
Pasquale Sarao, *Comune di Sessa Aurunca (Caserta)*,
e **Rosario Santanastasio**, *Marenostrum di Archeoclub d'Italia*

Nell'ambito delle azioni messe in campo dall'ENEA per la valorizzazione dell'area marina di Sinuessa (Regione Campania) è stato elaborato un itinerario subacqueo geoarcheologico sul banco roccioso sommerso dove oggi è possibile osservare importanti testimonianze di questa antica colonia romana. Il turismo subacqueo con una connotazione archeologica può rappresentare una valida opportunità per le comunità locali per ampliare

l'offerta turistica sul territorio, in modo da rilanciare l'immagine e la valorizzazione del patrimonio storico ed ambientale. L'archeologia moderna infatti, laddove è possibile, suggerisce la lettura dei reperti archeologici nel loro contesto di giacitura, in quanto portatori di intrinseci valori.

In questi ultimi anni i ricercatori dell'ENEA, attraverso diverse attività e gruppi di lavoro, hanno fornito un contributo per connotare dal punto di vista scientifico iti-

nerari subacquei in alcuni siti. Ad esempio, si citano i percorsi, individuati all'interno dell'Area Marina Protetta delle isole Egadi ed in particolare nelle isole di Favignana nel 2012 e di Levanzo e Marettimo nel 2014. I percorsi finora studiati sono per lo più di tipo naturalistico ed incentivano un turismo sostenibile esaltando alcune peculiarità degli ecosistemi marini¹. Per l'area di Sinuessa, sono stati presi in considerazione anche alcuni particolari aspetti geomorfologici



ed antropici (geoarcheologici) che portano a classificare il sito come un geoarcheosito.

Inoltre la Convenzione UNESCO sulla Protezione del Patrimonio Culturale Subacqueo del 2001² indica che un bene culturale ritrovato sui fondali marini da chiunque e in qualunque modo appartiene allo Stato e, a seconda che si tratti di beni culturali mobili o immobili, fa parte del demanio o del patrimonio indisponibile (art. 822 e 826 del codice civile). La Convenzione ha rappresentato alle soglie del terzo millennio la più concreta risposta da parte della comunità internazionale al continuo saccheggio operato sul patrimonio culturale presente sui fondali, indicando come una valida prerogativa,

l'istituzione di percorsi archeologici subacquei.

La Convenzione, recepita in Italia nel 2010, dovrebbe favorire l'individuazione e la realizzazione di itinerari o aree archeologiche subacquee, attrezzate e fruibili da parte del pubblico, lungo gli 8.000 km delle nostre coste. Il percorso di attuazione è lento e faticoso; in Campania, a tutt'oggi, si rilevano itinerari nei parchi archeologici di Baia e Gaiola (parchi istituiti nel 2002) ed Ischia (2014).

Molte altre iniziative in Italia sono ancora in itinere o in fase embrionale (ad es. a Montalto di Castro, Pyrgi, Isole Tremiti ecc.). D'altro canto vi sono esempi di Stati rivieraschi del Mediterraneo (l'Egitto con Alessandria ed Assuan, la Spagna con

Emporion e Capo Finisterre, la Grecia con Corfù e Pavlopetri ecc.), che hanno fatto leva sulla Convenzione investendo molto nell'archeologia subacquea, in modo da tradurla in uno dei settori trainanti della loro filiera economica turistica. Nel nostro Paese solo la Regione Sicilia, dal 2004, ha istituito un'apposita Soprintendenza del Mare che, grazie alla conformazione geografica insulare ed autonomia di gestione, ha trasferito ingenti risorse economiche alle politiche di tutela dei beni archeologici sommersi.

L'esperienza dell'ultimo decennio ha mostrato chiaramente che la strada per la fruizione in loco del patrimonio culturale subacqueo è ancora lunga da percorrere. Oltre all'intrin-

seca difficoltà di raggiungere sul fondo del mare le bellezze naturali o i reperti, vi è una forte frammentazione delle responsabilità e degli ambiti di competenza ai quali si aggiungono, come nel caso della Campania, particolari fattori antropici. Ancor di più nelle aree del litorale domitico la presenza di ambienti particolarmente vulnerabili, che risentono della pressione di insediamenti massicci ed interetnici e di un turismo estremamente aggressivo e fortemente stagionale (cioè fluttuante nel tempo), rendono questa “sfida” di particolare interesse.

Il Comune di Sessa Aurunca ha scelto di coinvolgere l'ENEA per analizzare i possibili aspetti dello sviluppo sostenibile dell'area marina di Sinuessa. L'elaborazione di un itinerario subacqueo, che esaltasse i punti di forza del sito, *in primis* la geologia e l'archeologia, è apparso subito un valore su cui puntare. Per tale scopo sono state predisposte campagne di rilievi marini a partire dal maggio 2012 nel territorio comunale di Sessa Aurunca compreso tra rio San Limato e la Baia Azzurra.

Il banco sommerso dista 650 m dalla spiaggia, estendendosi in maniera parallela alla linea di costa lungo il litorale comunale di Mondragone, Sessa Aurunca e Celiole. La superficie complessiva della formazione tufacea è di circa 16 km² (8 km di lunghezza per circa 2 km di larghezza), ed affiora da un fondale sabbioso per circa 2-3 m. Il banco è costituito dalla formazione del Tufo Grigio Campano correlato alla parossistica eruzione avvenuta circa 39.000 anni fa ai Campi Flegrei. La torbidità delle acque di Sinuessa, dovuta alla sospensione dei sedimenti e al consistente apporto dei nutrienti dai corsi d'acqua fluviali del Garigliano e Volturno, ha scoraggiato l'esplora-

zione, ma ha anche preservato il sito dalla diffusa attività clandestina. Gli apporti fluviali, inoltre, riducono in modo significativo la luminosità delle acque dell'habitat del banco roccioso a causa di variazioni di torbidità, salinità e concentrazione dei nutrienti. Queste caratteristiche, insieme alla morfologia dei fondali, danno vita ad un ecosistema particolarmente ricco di biodiversità con

è verificata l'esistenza dei parametri ritenuti essenziali per procedere ad istituire il percorso sommerso:

- presenza di reperti in situ;
- praticabilità di immersione (profondità, sicurezza dello spazio di mare, agibilità ecologica dell'area);
- esistenza di guide subacquee individuate in strutture locali (diving, associazioni, club, riserve, condi-

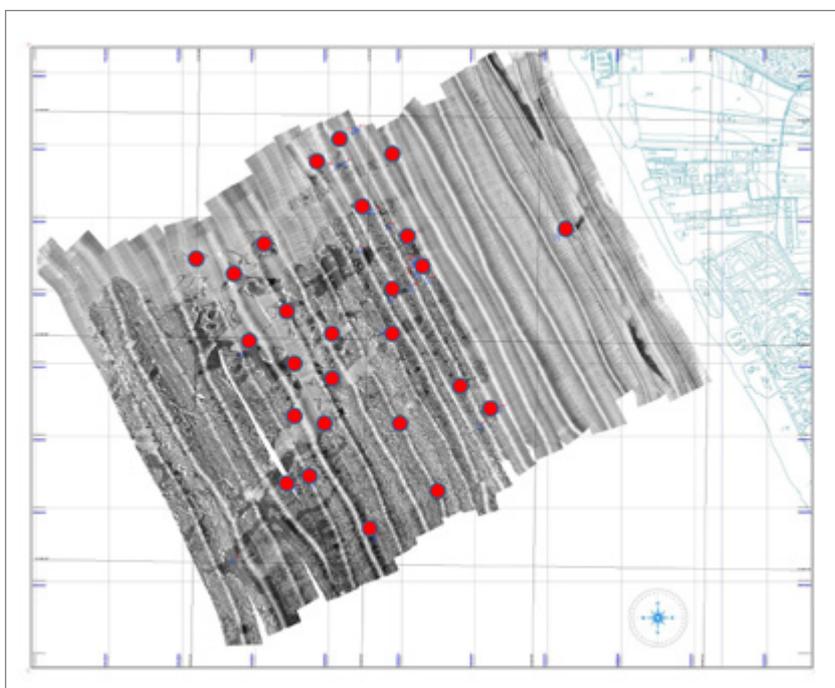


Fig. 1 Mosaicatura dei sonogrammi condotti dalla TEKNOVAR. I target ispezionati con immersioni dirette (ARA) sono evidenziati con il cerchio rosso

organismi biologici che generalmente sono presenti a profondità ben maggiori (*Axinella polypoides*, *Eunicella cavolinii*)

Nella elaborazione dell'itinerario archeologico subacqueo di Sinuessa si è fatto riferimento alla Soprintendenza del Mare della Sicilia, in modo da seguire le loro procedure metodologiche ed operative, nell'ottica del riconoscimento e della trasferibilità delle *best practices*. In prima istanza si

zioni di sicurezza per durata e tipologia delle immersioni ecc.).

Verificate le condizioni di partenza si è passati all'elaborazione dell'itinerario con l'obiettivo di definire un modello di valorizzazione, che prendesse in prospettiva l'oggetto archeologico come depositario di un messaggio storico, tipologico e contestuale ben preciso, in modo da offrire ad ogni visitatore opportunità



e mezzi per la ricostruzione storica. Una prima fase ha comportato l'analisi delle fonti classiche, bibliografiche e informazioni reperite dai locali per pianificare ed ottimizzare la fase della ricognizione, eseguita con indagini elettroacustiche e direttamente mediante immersioni con auto-respiratore. L'area investigata è stata delimitata prendendo a riferimento i dati georeferenziati, provenienti dalla campagna effettuata nel 2012 dall'ENEA, centrati sulle evidenze geologiche e sui resti archeologici di antiche strutture (*Pilae*) rilevate a circa 650 m dalla linea di riva sul fondale profondo circa 10 m. La tecnologia adoperata si basa sul sonar a scansione laterale ad alta risoluzione (*Side Scan Sonar*) già utilizzata in campo archeologico. Tale tecnica mediante la georeferenziazione delle immagini, rilevate con il sistema GPS Differenziale (*Differential Global Positioning System*), ha consentito di censire l'ubicazione dei reperti disseminati nell'area con estrema precisione. L'area di indagine, 1.000 x 1.500 m di lato, è stata oggetto di rilievo con Sonar in modalità operative atte a restituire la migliore precisione dei sonogrammi mediante *mosaicatura*.

In seguito è stata eseguita l'interpretazione delle strutture geomorfologiche e geoarcheologiche evidenziate dal Side Scan Sonar con dei rilievi di dettaglio in immersione anche per una verifica dei punti obiettivo (target), riconosciuti durante il rilievo geofisico (Figura 1).

Dopo le suddette indagini preliminari è stato elaborato un percorso subacqueo per evidenziare i reperti archeologici rinvenuti sui fondali e le peculiarità naturali sommerse del banco roccioso di Sinuessa. In tal modo i fondali dell'area investigata sono assimilabili ad un "museo dif-

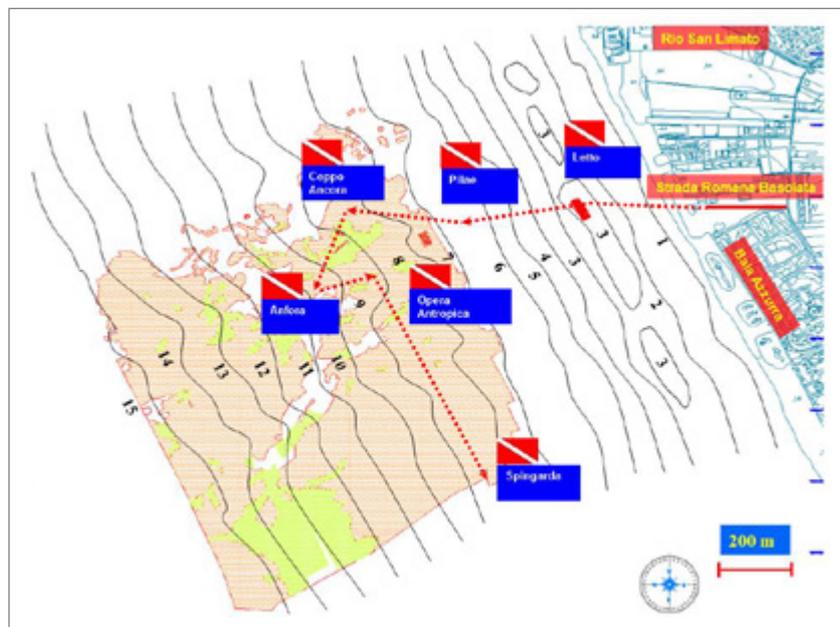


Fig. 2 Itinerario subacqueo su carta batimetrica dei fondali con ubicazione dei punti di maggiore interesse geoarcheologico

fuso" dove le testimonianze dell'uomo del passato convivono nel presente e vanno lette senza alterarne il contesto originario di giacitura.

Le principali evidenze archeologiche rilevate durante le campagne sono state segnalate con schede identificative predisposte da Ruggi d'Aragona, Sovrintendente di Mondragone-Sessa Aurunca.

Per l'area marina di Sinuessa si è scelto di elaborare un itinerario lineare con l'ausilio ed il supporto di esperti istruttori subacquei e sommozzatori locali (associazione "Vivere il mare" di Sessa Aurunca) e di Ischia ("Orizzonti blu diving"). Il percorso previsto ha una lunghezza di circa due chilometri e si sviluppa lungo sei punti di immersione (c.d. Blue Point, Figura 2); dove per ogni punto sono state redatte apposite schede, che illustrano le caratteristiche geomorfologiche, archeologiche e naturalistiche che si osservano in immersione sui fondali.

Inoltre, ogni scheda riporta per i "Blue Point" le seguenti informazioni:

- tipologia di immersione (autorespiratore ad aria o snorkeling);
- ubicazione del punto di immersione (coordinate GPS in WGS 84);
- profondità in metri;
- fattori di difficoltà dell'immersione;
- pregio archeologico e naturalistico.

L'ENEA insieme con il Comune di Sessa Aurunca (Caserta) ed altri organismi ha elaborato un primo itinerario subacqueo geoarcheologico nel tratto di mare antistante la costa del territorio comunale, tra rio San Limato e la Baia Azzurra. L'itinerario, consentirà al turista, al residente, al ricercatore, o più in generale al "fruitore", di conoscere le risorse marine presenti sui fondali della antica colonia di Sinues-

sa e di comprendere l'importanza della loro conservazione. Tutto ciò incentiva l'offerta culturale del Comune, stimolando comportamenti corretti e azioni consapevoli per la salvaguardia del territorio. Il percorso subacqueo, elaborato in base alla Convenzione UNESCO del 2001, fornisce indicazioni a chi vuole intraprendere attività di snorkeling e di immersioni subacquee in ARA e costituisce uno strumento divulgativo per stimolare l'osservazione del mondo archeologico sommerso e delle sue peculiarità naturalistiche.

Inoltre, gli aspetti scientifici e culturali dell'evoluzione geologica ed antropologica negli ultimi duemila anni di quel margine della Piana campana possono certamente contribuire a definire l'identità di un luogo ed esaltarne le potenzialità. In questo modo l'area archeologica esaminata, nella sua duplice dimensione marina e terrestre, si candida a promuovere una fruizione ad ampio spettro (turistica, culturale, museale e ambientale) in grado di favorire un rilancio sostenibile del turismo nell'intero territorio domotio.

Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento va all'istruttore subacqueo Pasqualino De Luca dell'Associazione "Vivere il mare" ed ai tecnici della TEKNO-MAR Srl per l'insostituibile aiuto fornito durante la fase di perlustrazione e rilievo dei fondali di Sinuessa.

*Per saperne di più:
alfredo.trocciola@enea.it*

¹ <http://egadi.santateresa.enea.it/>

² <http://www.unesco.org/new/en/culture/themes/underwater-cultural-heritage/2001-convention/official-text/>

BIBLIOGRAFIA

M. Melotti (2008), *Turismo archeologico. Dalle piramidi alle veneri di plastica*, Bruno, Mondadori, Milano

G. Lena (2009), “Geositi e archeologia”, *Geologia dell’Ambiente*, 2/2009, pp. 7-10

M. Salvatori (2010), *Architetture marittime nel Mediterraneo: problemi di conservazione e di restauro archeologico* - Tesi di dottorato Università degli Studi di Napoli Federico II, Facoltà di Architettura - Dottorato di ricerca in Conservazione dei Beni Architettonici (XX ciclo)

G. Purpura (2009), *Percorsi turistici e giacimenti archeologici subacquei: il caso di Ustica*, Convegno Internazionale “Il patrimonio naturale tra tutela, valorizzazione e fruizione. Il turismo sostenibile”, Ustica, 18-20 giugno

A. Trocciola, C. Minopoli, R. Pica, P. Sarao, M. G. Ruggi d’Aragona, P. Caputo, R. Santanastasio (2014), *Indagine geofisica per la comprensione dei fenomeni di sprofondamento di strutture costiere di epoca romana nell’area archeologica sommersa di Sinuessa del golfo di Gaeta. Atti del Workshop in geofisica, 6 dicembre 2013. Museo Civico di Rovereto*, Ed. Osiride, pp. 69-81

Biotecnologie in gioco verso processi e prodotti sostenibili per i beni culturali

La conservazione ed il restauro del patrimonio artistico possono avvalersi del contributo delle biotecnologie microbiche sia nel campo del biodeterioramento che in quello del biorestauro. Interessanti risultati sperimentali grazie a una felice combinazione di metodi chimici e biologici

DOI 10.12910/EAI2016-058

di **Anna Rosa Sprocati, Flavia Tasso, Chiara Alisi, Paola Marconi e Giada Migliore, ENEA**

L'Italia ha una posizione di leadership internazionale nel settore dei Beni Culturali, per l'entità del patrimonio, per le tecniche diagnostiche, per il *know-how* storico sul restauro e, più recentemente, anche per la ricerca di prodotti e processi innovativi per una strategia di restauro più sostenibile.

Il potenziamento di questa leadership è subordinato allo sviluppo di strategie di conservazione più sostenibili, secondo i principi di *compatibilità e ritrattabilità*¹ e all'attuazione di investimenti adeguati che le sostengano sul piano nazionale.

Le biotecnologie microbiche entrano in gioco a pieno titolo in questo processo con duplice ruolo: nel campo del *biodeterioramento* (vedi riquadro) e nel campo del *biorestauro*.

Naturalmente, l'individuazione di modalità innovative nel settore della conservazione dei beni culturali costituisce per il nostro Paese una sfida di immensa importanza alla luce di molteplici aspetti e, non ultimo tra questi, della possibilità di creare una nuova filiera per la *bioeconomia*.

È arrivato il momento di creare un ciclo virtuoso per colmare il divario tra ricerca e operatori del settore e tra ricerca e mercato, di creare start-

up per valorizzare i giovani esperti e per mettere sul mercato prodotti prontamente disponibili, innocui e facili da usare.

Opere d'arte e operatori sono esposti a comuni rischi potenziali a causa dell'utilizzo di prodotti nocivi, per la maggior parte impiegati in situazioni *indoor*. Questi prodotti possono provocare una vasta gamma di effetti tossici negli operatori e danneggiare le opere stesse per la loro aggressività. Il loro smaltimento, inoltre, se non è effettuato in modo appropriato, può danneggiare l'ambiente e interferire con ambiti e persone non correlati al settore del restauro.

Il settore dei Beni Culturali richiede un'innovazione tecnologica in grado di sviluppare prodotti ecocompatibili, da un lato, per rispondere all'esigenza di rispettare e conservare il patrimonio culturale a disposizione, dall'altro, per prospettare strategie di conservazione che possano essere sostenibili non dal solo punto di vista ambientale e della salute, ma anche da quello economico. L'esigenza che emerge è quindi di identificare metodi che possano garantire ottimi risultati sull'opera e al tempo stesso non costituiscano un rischio per i restauratori, sfruttando le potenzialità della ricerca e dell'innovazione. Tale compito rappresenta una grande sfida per il mondo dell'Arte, per ricercatori, scienziati e politici, data l'entità e la diversità degli oggetti coinvolti e l'enorme varietà di materiali utilizzati.

Gli studi pionieri finora eseguiti in Italia sono stati rivolti a un numero

ristretto di problematiche e all'applicazione di pochissime specie microbiche. Come risultato, dopo circa quindici anni di ricerche, sono disponibili sul mercato solo tre prodotti microbici per la conservazione del marmo (biopulitura di croste nere e bioconsolidamento) [2, 3]

Partendo da questo contesto e in risposta alla sfida lanciata al mondo produttivo, scientifico e della Conservazione, le ricerche sviluppate in ENEA si sono poste l'obiettivo di verificare a più ampio spettro la fattibilità delle soluzioni biotecnologiche, dimostrandone la praticabilità.

La nostra ricerca è finalizzata a esplorare e valorizzare il potenziale microbico spontaneo per lo sviluppo di nuove procedure e nuovi prodotti con i vantaggi desiderati di: *selettività*, e quindi bassa aggressività per l'opera; *innocuità*, per tutela della salute dell'operatore; *compatibilità* ambientale;

bassi costi di applicazione; *assenza di problemi etici*. La sperimentazione finora ha interessato diciassette diverse specie microbiche immobilizzate in diverse matrici di supporto per la rimozione di sedici diversi depositi su sei diverse tipologie di manufatti.

Obiettivi finali sono:

- creare nuovi posti di lavoro per diagnostici, restauratori e biotecnologi (Start-up o Spin-off);
- mantenere saldo il ruolo di capofila dell'Italia nel campo del biorestauro;
- espandere l'approccio "bio" per un mercato mondiale.

Perno delle procedure sviluppate sono i microrganismi della collezione di ceppi ambientali "ENEA-Lilith". Alcuni dei più significativi e recenti casi studio di biopulitura condotti su problematiche di difficile soluzione proposteci dai restauratori

Il biodeterioramento delle opere d'arte: di chi è la colpa?

La diagnosi precoce delle patine microbiche presenti sulle superfici di monumenti e opere d'arte è un fattore chiave per l'attuazione di una strategia di conservazione adeguata per il nostro patrimonio culturale. Diversi studi hanno evidenziato la difficoltà di definire in modo esauriente la complessità delle comunità microbiche presenti sulle superfici monumentali e nel distinguere i veri biodeteriogeni (i colonizzatori primari), che innescano il processo di degrado, dai colonizzatori secondari, che non arrecano direttamente un danno strutturale, ma sono responsabili di un deterioramento estetico superficiale, crescendo a spese dell'azione metabolica e dei detriti dei colonizzatori primari. Ciò comporta un serio problema nell'individuare trattamenti efficaci verso gli effettivi biodeteriogeni, che siano duraturi nel tempo, poco invasivi e ambientalmente più compatibili rispetto ai biocidi commerciali a largo spettro. L'integrazione di tecniche microbiologiche e biotecnologiche (tecniche culturali classiche, tecniche molecolari, osservazione in

microscopia a fluorescenza) può fornire una conoscenza approfondita e una diagnosi delle cause primarie del degrado [1]. Inoltre, attraverso saggi di colonizzazione su provini, è possibile stabilire se l'alterazione sia ascrivibile ad uno o più microrganismi isolati e, quindi, individuare trattamenti selettivi per il controllo a più lungo termine. Il biodeterioramento è stato oggetto di alcuni interessanti casi studio a cui l'ENEA ha contribuito per gli aspetti di diagnosi (Tomba della Mercareccia nella Necropoli di Tarquinia, Casa di Augusto sul Colle Palatino, Tomba dei Rilievi nella Necropoli di Cerveteri, Area archeologica di via della Lega Lombarda a Roma, Domus Aurea sul Colle Esquilino, Documento Notarile Capitolino del 1624, presso l'ICRCPAL), per prove di trattamento con prodotti alternativi, di origine microbica o vegetale (Terme di Caracalla, Giardini Vaticani) e per il monitoraggio dopo trattamenti fisici e biologici. Di particolare interesse è la combinazione di tecniche biotecnologiche con tecniche fisiche, come la fluorescenza LIDAR, che si integrano molto bene per una diagnosi del biodeterioramento.

vengono di seguito brevemente raccontati.

Il termine *biopulitura*, come molte altre parole di origine aspecifica, può assumere significati diversi. Per chiarezza semantica, parleremo di biopulitura solo se l'agente pulente è biologico e definiremo biopulitura una procedura che usa microrganismi, enzimi, estratti vegetali, etc. come agenti per rimuovere depositi o substrati indesiderati di qualunque origine.

Una *diagnosi analitica* dei substrati da rimuovere, *la ricerca in laboratorio* dei microrganismi competenti, l'allestimento da parte dei restauratori di *provini* che riproducano il più fedelmente possibile le condizioni del manufatto da trattare, rappresentano la sequenza corretta delle fasi di lavoro, attraverso le quali si arriva a definire una procedura su misura per *l'applicazione sull'opera* con alta probabilità di successo, senza lasciare residui indesiderati. Non sempre, tuttavia, occorrono le condizioni che permettono di seguire fedelmente uno schema *step-by-step*, spesso a causa dei ritmi che un cantiere di restauro impone e dell'urgenza di individuare una procedura efficace. In tali situazioni abbiamo verificato come l'integrazione delle reciproche esperienze possa guidare il lavoro per un'applicazione di successo eseguita direttamente sull'opera, quando le condizioni lo permettano senza rischio. E' questo il caso della prima applicazione che abbiamo eseguito sulle pareti dipinte delle logge esterne della *Casina Farnese* sul Colle Palatino, che ha rappresentato per noi un'esperienza particolarmente fruttuosa sotto molti aspetti, non ultimo la realizzazione di un brevetto di proprietà dell'ENEA (Brevetto europeo WO 2015040647 A1), che

definisce una procedura per la rimozione di depositi, anche sovrapposti, su pareti verticali e soffitti, senza lasciare residui dopo il trattamento [4,5]

Presso la *Galleria Nazionale d'Arte Moderna*, in collaborazione con il laboratorio marmi, sono state trattate con impacchi di batteri alcune statue destinate alla mostra "D'après Rodin". "La Lupa", una statua di G. Graziosi rimasta esposta all'esterno per quaranta anni, presentava ampie zone completamente annerite da depositi di smog penetrato nella matrice marmorea. Queste alterazioni risultavano impossibili da pulire con i metodi tradizionali senza conseguenze per l'opera. La biopulitura è stata eseguita con una formula microbica composta da tre diversi ceppi batterici degradatori di idrocarburi. I ceppi provenivano dall'ex sito industriale di Bagnoli ed erano stati impiegati in un precedente lavoro sperimentale per la bonifica di un suolo contaminato da idrocarburi. Alcuni impacchi con la formula microbica inglobata in gel di Laponite®RD sono stati applicati in successione ognuno per la durata di una notte (*overnight*) portando ad un significativo schiarimento della matrice marmorea, grazie alla capacità dei batteri di solubilizzare gli idrocarburi e di utilizzarli come fonte di energia per la loro crescita (Figura 1).

Una diversa problematica riguardava la rimozione di residui persistenti di cere e materia grassa, sopravvissuti alla pulitura tradizionale. Attraverso impacchi di ceppi batterici selezionati ad hoc, inglobati in Laponite®RD o in Vanzan®NF, sono state trattate con successo rispettivamente le sculture "Testa di Donna" di E. Quadrelli e, di recente, "Idealità

e Materialismo" di G. Monteverde e "Cleopatra" di A. Balzico. In collaborazione con il *Centro di Conservazione e Restauro La Venaria Reale*, dopo pulitura convenzionale dell'opera "Bacco con cesto", una statua romana in marmo greco, sono stati testati diversi ceppi batterici per la rimozione di alcune sostanze residue, tra cui uno strato di Paraloid B72². Il Paraloid non era stato rimosso per la scelta dei restauratori di mantenere stratificazioni diverse, al fine di testare metodi di pulitura innovativi e ottenere risultati di maggior leggibilità. Un unico impacco "*overnight*" di un gel di Vanzan®NF contenente un ceppo batterico con spiccate capacità degradative (Z-Cont), è stato sufficiente a degradare lo strato di Paraloid, permettendone la rimozione completa con un breve passaggio di un tamponcino bagnato in acetone. In ogni caso di biopulitura su marmo, i restauratori hanno comunemente riferito, come valore aggiunto del metodo, il rispetto verso la materia originale, che conserva la sua patina nobile, a differenza di altre procedure più aggressive, che la alterano in parte.

In occasione del restauro della *Galleria dei Carracci a Palazzo Farnese* concluso di recente, abbiamo avuto l'opportunità di sperimentare soluzioni per diverse problematiche, di cui riportiamo le due più significative. Le pareti e la volta affrescate della Galleria presentavano diffusamente macchie opache di piccole dimensioni, dovute a precedenti iniezioni di un consolidante (resina PRIMAL a parere dei restauratori) usato nella seconda metà del secolo scorso, a seguito di un precedente smottamento del terreno, che aveva causato numerosissime crepe. La rimozione della resina con prodotti

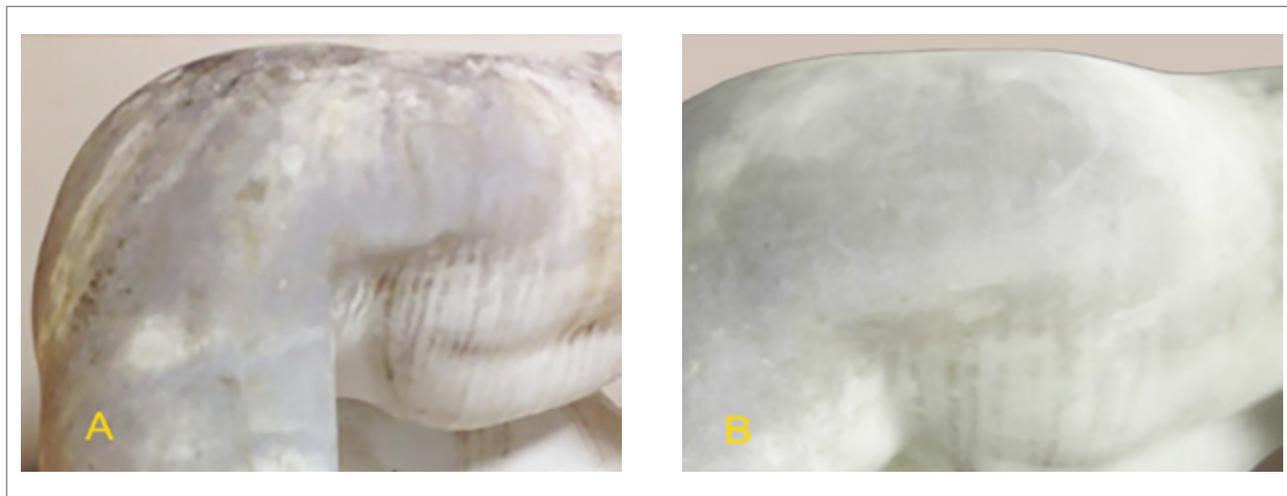


Fig. 1 Biopulitura della statua "La Lupa" di G. Graziosi (GNAM). Zone annerite da smog urbano penetrato nella matrice marmorea (A); particolare del fianco dopo il trattamento con impacchi di Laponite®RD aventi batteri degradatori di idrocarburi (B)
Fonte: foto ENEA

chimici si era rivelata inefficace, per cui i restauratori hanno cercato una via alternativa, attraverso biopulitura. In via sperimentale è stato quindi testato su piccoli tasselli un ceppo batterico che si era dimostrato particolarmente vorace verso alcune resine, durante i test biochimici in laboratorio. Un solo impacco del ceppo in Laponite®RD, della durata di una notte, si è rivelato sufficiente nel permettere ai restauratori di rimuovere completamente la resina. Sempre a causa dello smottamento del suolo i portali cinquecenteschi in marmo di Carrara erano stati ancorati con staffe di ferro, che avevano formato sull' architrave macchie di ruggine. Inoltre, presentavano macchie brune diffuse, attribuibili a ossidi di ferro liberatisi all'interno della matrice del marmo, probabilmente in conseguenza a trattamenti precedenti con acidi combinati all'uso di cere. In entrambi i casi, per l'applicazione di biopulitura è stato scelto un ceppo batterico isolato dall'acqua reflua di una galleria di miniera e selezionato per la capacità di produrre molecole

in grado di interagire con gli ioni ferro. Sulla quasi totalità della superficie dei portali sono stati applicati *overnight* impacchi di Vanzan®NF contenenti il ceppo batterico associato ad un composto chimico, ottenendo un grado di pulitura molto soddisfacente sia nei punti di ruggine superficiale che sulle macchie all'interno della matrice cristallina del marmo.

In collaborazione con il Gabinetto per le ricerche scientifiche dei Musei Vaticani, nell'ambito dell'Accordo tra ENEA e Musei Vaticani, è stato condotto uno studio sperimentale focalizzato alla ricerca di un sistema di biopulitura di un deposito persistente, costituito da *colletta in olio*, ricetta ricostruita nei laboratori dei musei. Il manufatto è rappresentato da un dipinto su tavola cinquecentesco dei Musei Vaticani, "La Madonna della cintola". Sull'opera è in corso una sperimentazione metodologica a largo spettro da parte dei Musei, che sarà oggetto di una pubblicazione dedicata. Lo studio sulla biopulitura è stato condotto *step-by-step*, ricer-

cando dapprima i microrganismi competenti nella degradazione dei singoli ingredienti della colletta in olio e selezionando quello più efficace. Il ceppo prescelto è stato poi testato in laboratorio su provini riproducenti la ricetta pittorica antica, preparati e invecchiati presso i Musei, al fine di definire le modalità di impacco più compatibili con le condizioni dell'opera. In seguito ai risultati positivi, in vista del passaggio sull'opera, sono stati considerati molteplici problemi. Di particolare importanza è stato risolvere la compatibilità tra le esigenze dei batteri (tempi metabolici e micro-habitat umido) e quelle del dipinto, particolarmente degradato e fragile, che temeva invece un contatto prolungato con l'impacco umido. L'uso di Vanzan®NF come supportante è stato di aiuto per la sua caratteristica di trattenere internamente l'umidità, senza un significativo rilascio. La soluzione che ha permesso infine di procedere all'applicazione su piccoli tasselli del dipinto, con esito positivo, è passata attraverso una felice

combinazione di metodi chimici e biologici [6].

In ambito internazionale, e rimanendo in tema di antiche ricette, è in corso il progetto grande rilevanza Italia-Messico dal titolo *Recupero di antiche tecnologie messicane per lo sviluppo di prodotti sostenibili per il restauro dei beni culturali*, in collaborazione con il Colegio de Michoacán (PGR00205, 2015-17 MAECI). È noto che il popolo Mexica utilizzava un estratto vegetale (Nopal) ricavato da *Opuntia ficus indica*, con proprietà tali da migliorare la buona conservazione di antichi dipinti murali e di altre tipologie di opere d'arte, come le costruzioni in *adobe*. Obiettivi sono: *i*) definire una metodologia scientifica per la valutazione delle proprietà adesive e antimicrobiche della mucillagine di nopal, finora

note e tramandate solo per esperienza empirica; *ii*) definire la formulazione di un prodotto reversibile per il restauro (bio-malta), *iii*) verificare la trasferibilità di questa applicazione, limitata finora al Messico, al contesto italiano del restauro. I primi risultati hanno evidenziato che la bio-malta presenta un aumento di compattezza rispetto alla malta non additivata; che la composizione degli estratti di *Opuntia* provenienti dai due Paesi presenta spettri molto simili e che l'aggiunta della mucillagine di nopal non promuove né favorisce l'attacco dei microrganismi.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano tutte le Istituzioni citate e le Soprintendenze di riferimento, i co-autori degli articoli

citati, la dott.ssa Flavia Pinzari per aver condiviso il lavoro sul documento notarile, i restauratori Adele Cecchini e collaboratori, Rodolfo Corrias, Cesare Poderosi, Marianna Fonzo, Lorenza D'Alessandro, Paolo Pastorello e collaboratori di ATI-Farnese, Ulderico Santamaria, Maria Pustka, Marco Pratella dei Musei Vaticani. Inoltre ringraziano tutti gli studenti che hanno realizzato le tesi di laurea o di dottorato, contribuendo ai lavori descritti.

per saperne di più:
annarosa.sprocati@enea.it

¹ Negli ultimi 50 anni i criteri di conservazione sono stati reinterpretati, rivisitando una serie di principi fondamentali. I principi di reversibilità e/o replicabilità sono stati sostituiti da principi di compatibilità e ritrattabilità, che rappresentano una strategia di conservazione più sostenibile

² Il Paraloid B72 è una resina acrilica utilizzata nel campo del restauro come consolidante o come collante, è persistente su lungo periodo e difficoltoso da rimuovere

BIBLIOGRAFIA

1. Saiz-Jimenez C., (1997) Biodeterioration vs Biodegradation: the Role of Microorganism in the Removal of Pollutants Deposited on Historic Buildings, *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol 40, n° 24, p. 225-232
2. <http://www.micro4you.eu/it/micro4art>
3. http://www.amonit.fr/fr/calcite_biopatine
4. Anna Rosa Sprocati, Chiara Alisi, Flavia Tasso. Biotechnology process for the removal of cohesive deposits of organic and inorganic origin from materials and works of historical and artistic interest. Brevetto europeo WO 2015040647 A1. 2014
5. Matteo Mazzoni, Chiara Alisi, Flavia Tasso, Adele Cecchini, Paola Marconi and Anna Rosa Sprocati. Laponite micro-packs for the selective cleaning of multiple coherent deposits on wall paintings: The case study of Casina Farnese on the Palatine Hill (Rome-Italy). *International Biodeterioration & Biodegradation* 94 (2014) 1:11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.06.004>
6. Crisci, L.; Santamaria, U.; Alisi, C.; Sprocati, A. R.; Pustka, M. L., Breda A., Pratelli, M. Preliminary assessment of innovative cleaning methods combining laser, chemical and biological means on hygroscopic surfaces of a wood painting. *5th International Conference YOCOCU 2016* 21st-23rd September 2016 Madrid, Spain

La nuova prestazione energetica dell'edilizia storica e monumentale

Come la riqualificazione energetica può contribuire al rilancio del settore dei beni culturali ed allo sviluppo di nuove forme di finanziamento e di gestione intelligente ed integrata

DOI 10.12910/EAI2016-059

di **Massimo Poggi**, *ENEA*

I beni culturali sono e continueranno ad essere un elemento di estremo rilievo per la crescita della cultura e della qualità della vita dei cittadini e le politiche mirate alla loro conservazione, valorizzazione e fruizione possono rappresentare un volano per lo sviluppo dell'industria culturale, turistica e dell'intrattenimento e favorire lo sviluppo di alcune iniziative economiche sul territorio di riferimento. Politiche in grado di generare programmi di recupero, anche energetico, che pongono l'edilizia storica e monumentale come risorsa utile per un modello di economia sostenibile e innovativa, in grado di:

- attuare interventi di recupero, ma-

nutenzione e rifunzionalizzazione del patrimonio culturale finalizzati alla valorizzazione, anche con lo scopo dichiarato di sfruttarne l'impatto economico derivante dalla loro fruizione;

- contribuire allo sviluppo delle industrie sussidiarie a quella culturale, mettendo così in collegamento il settore dei beni culturali con altri settori produttivi;
- puntare sulla razionalizzazione e sull'efficientamento energetico dell'edilizia storica, accrescendo così l'offerta di servizi, la loro fruizione e riducendone i costi unitari di gestione;
- operare una profonda trasformazione istituzionale, tecnologica e organizzativa del patrimonio im-

mobiliare pubblico (come archivi, musei, edifici governativi e territoriali, biblioteche).

Sono proprio i costi energetici degli edifici di pregio a pesare sui bilanci della Pubblica Amministrazione in misura rilevante e crescente, a livello di costo unitario del vettore energetico ma anche per il decadimento della performance dell'edificio nel tempo, a scapito della conservazione, valorizzazione e fruizione degli stessi. Alla stessa Pubblica Amministrazione e ai Sistemi territoriali nazionali l'Europa ha conferito il ruolo di esemplarità in materia di efficienza energetica negli usi finali dell'energia, ruolo esercitato attraverso



il decentramento amministrativo, con specifiche politiche energetiche territoriali (emanazione, diffusione, gestione e presidio), senza dimenticare quello di importante consumatore, obbligato ad adottare (e far adottare) virtuosi comportamenti nella gestione ed uso delle risorse energetiche.

Le indicazioni sui tempi e con quali misure e/o provvedimenti affrontare queste emergenze energetiche le trovano all'interno del Decreto Legislativo n. 102 del 2014, recepimento nazionale della Direttiva Europea 27/2012 sull'efficienza energetica, che stabilisce il quadro di misure per la promozione e il miglioramento dell'efficienza energetica che concorrono al conseguimento dell'obiettivo nazionale di risparmio. Per incentivare tali misure, sono stati stanziati circa 800 milioni di euro di cui, quasi la metà, saranno destinati alla riqua-

lificazione degli edifici pubblici, proposte valide e fattive che contribuiranno:

- all'emanazione di nuove norme sul rendimento energetico degli edifici esistenti, in grado di definire requisiti e metodologia di calcolo energetico di edifici con differenti caratteristiche, compresi quelli vincolati dalle leggi di tutela;
- all'adozione di ulteriori linee guida e/o buone pratiche, nonché procedure e modalità tecnico-economiche per progetti esecutivi di miglioramento energetico ad elevata compatibilità ambientale e sul design del manufatto architettonico. Tutte misure che dovrebbero contribuire al raggiungimento dell'obiettivo fissato dall'EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), riguardo l'obbligo di riqualificazione annua pari al 3% della superficie coperta totale, a

partire dal 2015 (immobili sia occupati che di proprietà);

- alla promozione dei meccanismi d'incentivazione e l'adozione di nuovi modelli di finanziamento degli interventi di riqualificazione energetica.

Le politiche dell'Unione Europea sono state recepite a livello nazionale senza significative modifiche rispetto agli indirizzi europei e l'adeguamento legislativo non pone differenze sostanziali in termini di prestazioni richieste tra la nuova costruzione e l'edilizia esistente, ad eccezione dell'edilizia storica e monumentale, per la quale si può ricorrere allo strumento della deroga.

Questo senza considerare che in Italia moltissime sono le Amministrazioni Pubbliche che hanno i loro uffici all'interno di edifici a carattere storico-monumentale; diventa così più difficile riqualificare energeti-



camente gli immobili di proprietà pubblica perché la normativa, che disciplina l'efficienza energetica, deve andare necessariamente a compenetrarsi con quella dettata, in materia di tutela dei beni culturali, dal Decreto Legislativo n. 42 del 2004 "Codice dei beni culturali e del paesaggio". Ma è proprio leggendo tra le righe del Codice che troviamo alcuni spunti sugli interventi ammessi in caso di recupero o riqualificazione:

carne le esigenze. La Repubblica favorisce e sostiene la partecipazione e dei soggetti privati, singoli o associati, alla valorizzazione del patrimonio culturale".

Così negli ultimi anni, proprio per aggirare le difficoltà normative, economiche e tecnologico-impiantistiche, che implicano gli interventi di recupero energetico dell'edilizia di pregio, si è preferito:



Museo Barracco di Roma

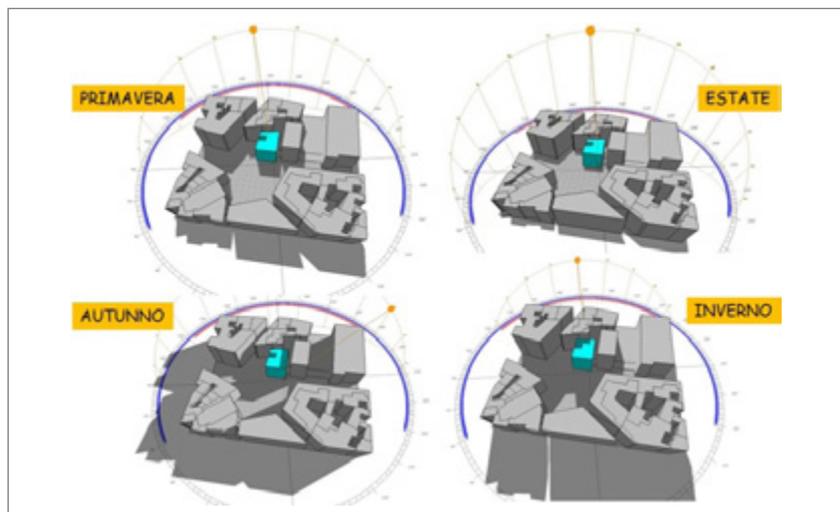
“La valorizzazione consiste nell'esercizio delle funzioni e nella disciplina delle attività dirette a promuovere la conoscenza del patrimonio culturale e ad assicurare le migliori condizioni di utilizzazione e fruizione pubblica del patrimonio stesso. Essa comprende anche la promozione ed il sostegno degli interventi di conservazione del patrimonio culturale. La valorizzazione è attuata in forme compatibili con la tutela e tali da non pregiudi-

- “non affrontare” le evidenti emergenze legate alla conservazione, valorizzazione e fruizione di questi edifici che, molto spesso, sono invece immersi in un contesto urbano in continua trasformazione;
- oppure “non soddisfare” esigenze e fabbisogni, attuando discutibili misure che, con un'impiantistica a forte carattere d'invasività, hanno vanificato i principi della corretta conservazione.

Eppure, secondo le stime ENEA, è possibile ridurre del 40% questi consumi di energia con azioni di risparmio, misure ed interventi di efficienza, partendo speditamente da un cambio di comportamento (per gestori ed utenti) che, sommato agli interventi sull'involucro di pregio (laddove possibile e consentito) e sui sistemi impiantistici, permetterebbero un risparmio di circa 73 milioni di euro. Inoltre la creazione di una vera e propria filiera del recupero dei beni culturali, mirata alla conservazione, valorizzazione e fruizione, permetterebbe lo sviluppo del mercato di riferimento, con nuovi prodotti, sistemi e tecnologie e la creazione di almeno 600mila posti di lavoro entro il 2020, attraverso lo sviluppo di figure professionali riferite alla bioedilizia, alla certificazione energetica, alla progettazione e produzione di materiali e sistemi a basso impatto ambientale, alla fornitura ed alla gestione ottimizzata dei servizi energetici.

Le note del *Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo* e i contenuti del recente Protocollo d'Intesa, sottoscritto con ENEA, vanno proprio in questa direzione, incoraggiando ed abilitando ad *“intervenire sull'edilizia storica con opere di efficientamento energetico a carattere sostenibile, cioè compatibile con i caratteri culturali dei manufatti, quale primo significativo passo per una reale conservazione di quel patrimonio così diffuso, così fragile e così costoso da conservare”*.

ENEA, che in materia di sostenibilità ambientale mette da anni a disposizione il proprio know-how consolidato attraverso la ricerca e la sperimentazione applicata finanziata dalla Comunità Europea,



Museo Barracco di Roma: simulazione con Ecotect e confronto tra le diverse maschere di ombreggiamento nelle 4 stagioni, prodotte in funzione del tempo, dell'ora e del giorno per cui viene calcolata l'incidenza solare (azimuth ed altitudine)

Fonte: ENEA

propone ai soggetti interessati, pubblici e privati, tavoli di condivisione mirati a far luce su soluzioni innovative in grado di armonizzare le criticità che nascono dalle esigenze di riqualificazione degli impianti e dell'involucro in rapporto ai vincoli di conservazione. Intervenire sull'edilizia storica e monumentale con una progettazione energeticamente consapevole significa fornire delle soluzioni concrete per il contenimento dei consumi e la protezione dell'ambiente, sia esso edificio, contesto urbano che paesaggio.

Le scelte, partendo dalla conoscenza e dall'analisi delle esigenze e delle prestazioni energetiche (fabbisogni e consumi), dovranno definire interventi tecnologici per il ripristino o il miglioramento del comfort *in-door* (illuminazione, qualità dell'aria ed acustica), nel pieno rispetto delle caratteristiche storico-artistiche ed architettoniche e della destinazione d'uso, molto spesso delicata e strategica (edificio pubblico, scuola, mu-

seo, sede governativa ecc.).

Non dimentichiamo che questo complesso di provvedimenti e misure di miglioramento energetico sono anche quelle in grado di garantire la necessaria sicurezza nell'uso degli edifici storici ma anche pubblici, affrontando tutte le problematiche connesse con la fruizione degli ambienti, quali: affollamento, barriere architettoniche, illuminazione, rumore, impianti tecnologici di servizio, impianti antintrusione, distribuzione gas, condizionamento, idrico-sanitario, per le comunicazioni, reti informatiche, servizi aggiuntivi ed ovviamente il risparmio energetico.

I Progetti di ricerca europei ed i Demonstratori si rivelano sempre più utili allo sviluppo di metodologie e tecnologie di recupero e di supporto alla progettazione che considera prioritarie le interazioni tra il contesto, l'edificio, l'impianto e l'utente. L'Agenzia infatti, per la valutazione ed il possibile miglioramento del-

la performance energetica dell'involucro di pregio e degli impianti, promuove Programmi fondati su provvedimenti, misure di efficienza e strumenti propedeutici come la "Diagnosi energetica o audit energetico". Quest'ultima prevista dal Decreto Legislativo 115/2008 per gli edifici esistenti o per l'edilizia storica corrente, ma comunque d'indirizzo ai programmi di caratterizzazione energetica dell'edilizia soggetta a vincoli.

L'applicazione della sistematica procedura messa a punto, consente:

- La definizione del profilo energetico dell'edificio, attraverso la determinazione dei consumi, contesto, tipologia d'uso ed utenza, caratteristiche climatiche, qualità dell'involucro, microclima, dotazione impiantistica ed adeguatezza.
- La determinazione della capacità dell'edificio di saper sfruttare il contesto ambientale, espressa dall'architettura dell'involucro, che varia in funzione dell'orientamento.
- La composizione di un audit energetico sull'edificio con valutazione dei risultati (qualitativi e quantitativi) della performance energetica, capace d'influenzare fortemente il progetto di fattibilità architettonica, energetica ed economica, per il raggiungimento degli obiettivi di efficienza energetica e di riduzione dell'impatto ambientale. Diagnosi energetica sul manufatto architettonico, articolato in:
 - analisi climatico-ambientali a scala di contesto;
 - analisi qualitative per la definizione del comportamento energetico dell'involucro, monitoraggi am-

bientali su aree espositive distintive (individuazione delle criticità dal punto di vista del comfort termico, visivo, acustico e qualità dell'aria *indoor*);

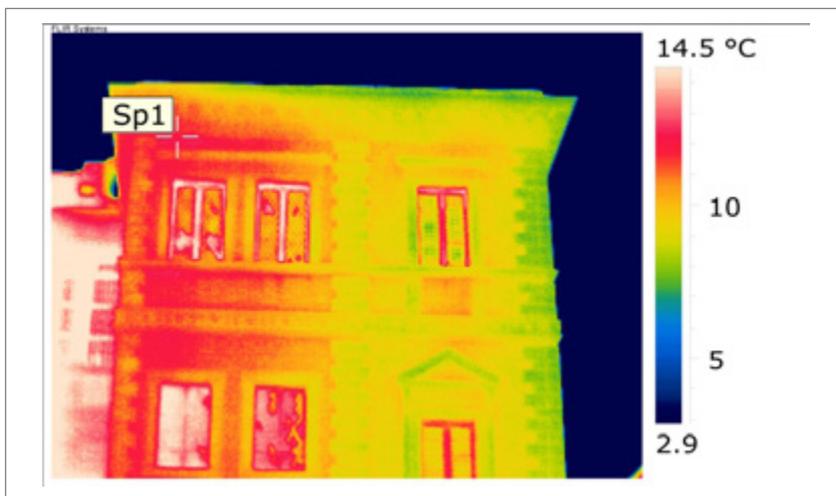
- indagini termografiche per la determinazione della performance energetica dell'involucro di pregio e degli impatti sulla superficie architettonica, compreso lo stato di conservazione delle strutture e dei materiali;
- simulazioni, con *tool* dedicati, delle prestazioni energetiche dell'edificio nel proprio contesto ambientale, graficizzate e modellate tridimensionalmente, per evidenziare gli effetti dell'incidenza solare sull'edificio in base all'orientamento ed all'influenza del contesto.

- Ottimizzazione delle modalità di gestione del sistema edificio-impianto (contratti di fornitura di energia, modalità di conduzione ecc.) ai fini di una riduzione dei costi di gestione.

- L'individuazione di misure di *energy-saving*, per il miglioramento della prestazione energetica in relazione alle soluzioni tecniche proponibili, ai rapporti costi-benefici ed ai tempi di ritorno degli investimenti necessari a realizzarli. Integrazioni e sostituzioni, ad elevata efficienza, nella dotazione impiantistica, relativamente all'illuminazione e climatizzazione degli ambienti, ma anche ricorso a fonti rinnovabili di energia, prodotta in *situ o nearby*, salvo impedimenti di natura tecnico-ambientale o economica, per una maggiore disponibilità di energia primaria.
- L'inserimento della domotica nello schema di funzionamento dell'edi-

ficio pubblico e storico "smart", ad esempio un museo, basato sull'ottimizzazione ed il controllo delle prestazioni energetiche dell'involucro, dove verrebbe garantito non solo il corretto funzionamento dei fenomeni fisici e del comfort termico, ma anche il controllo dei fattori correlati: comfort visivo,

consumi, con provvedimenti e misure a basso costo in grado di garantire un risparmio pari all' 8% della spesa totale. È proprio attraverso i risparmi annui di bilancio, ottenuti con buone pratiche comportamentali e di gestione/manutenzione dei sistemi e degli impianti, che sarà possibile finanziare i successivi in-



Museo Barracco di Roma: campagna termografica, individuazione dei due sistemi tecnologico-strutturali del 1500 e del 1900 e delle dispersioni termiche derivanti dai ponti termici e dal degrado dei materiali
Fonte: ENEA

acustico e qualità dell'aria negli ambienti.

- La determinazione della nuova classe energetica dell'edificio in funzione degli indici di prestazione, con conseguente rilascio dell'APE, Attestato di Prestazione Energetica, anche per il patrimonio immobiliare classificato come bene culturale.

Non contemplata dalla procedura, ma comunque strategica, l'adozione di comportamenti corretti nella gestione (proprietà-gestore) ed uso delle risorse (utente-visitatore), che contribuiscono al contenimento dei

interventi di riqualificazione energetica, urgenti e/o obbligatori per legge.

È oramai acclarato che le principali "barriere" all'attuazione dei Programmi di Riqualificazione energetica dell'edilizia pubblica e vincolata sono quelle di natura:

- normativa: legata all'esclusione dei beni culturali dagli obblighi di riqualificazione energetica, indicata nei recenti recepimenti legislativi nazionali;
- conoscitiva: legata alla ridotta consapevolezza, in termini di vantaggi ed opportunità;

- finanziaria: legata alle difficoltà di reperimento delle risorse finanziarie;
- realizzativa: legata alla difficoltà di coinvolgimento, da parte della Pubblica Amministrazione, dei soggetti necessari per la realizzazione degli interventi, vale a dire imprese, fornitori di servizi e soluzioni per l'efficienza energetica (in primis le ESCO) e di soggetti finanziatori.

Parliamo di complesse iniziative e d'interventi di genere da affrontare caso per caso, che richiedo-

no non solo la formazione di un partenariato pubblico-privato, ma anche il supporto di modelli di finanziamento degli interventi, l'adozione di meccanismi d'incentivazione e detrazione ed il ricorso al mercato delle ESCO, società che effettuano interventi finalizzati a migliorare l'efficienza energetica, assumendo su di sé il rischio dell'iniziativa, liberando il detentore da ogni onere organizzativo e d'investimento.

Crediamo quindi sia importante continuare a lavorare in questa direzione, mantenendo aperto e

prioritario il dibattito sull'importanza dell'accesso alle varie forme di finanziamento degli interventi e dell'integrazione con le nuove tecnologie, oramai necessari per affrontare le evidenti emergenze energetiche di questo patrimonio culturale, così diffuso, fragile e fortemente energivoro. Un patrimonio che nella sua funzione viene utilizzato e visitato da milioni di persone, spesso quale *hub* socio-culturale, territoriale e di sviluppo che, nel caso dell'uso pubblico o governativo, dovrebbe esprimere un grande potenziale dimostrativo.



La riqualificazione dei centri storici

Un quadro di sintesi delle principali questioni riguardanti la riqualificazione dei centri storici per promuovere interventi di riqualificazione, da realizzare rispettando e valorizzando questo patrimonio attraverso l'utilizzo dell'innovazione tecnologica

DOI 10.12910/EAI2016-060

di Bruno Baldissara e Gaetano Fasano, ENEA

Questo articolo¹ non ha la pretesa di essere esaustivo dei problemi riguardanti la riqualificazione dei centri storici ma si pone l'obiettivo di dare un quadro di sintesi e porre l'attenzione sulle principali questioni sul tema. Si forniranno alcuni spunti propositivi su cui aprire una riflessione per la riqualificazione dei centri storici, di cui il nostro Paese è tra i più ricchi al mondo, considerando anche l'innovazione e la *green economy*.

I recenti drammatici eventi che hanno colpito le zone dell'Italia centrale ci danno l'opportunità, oltre che trarre i dovuti insegnamenti dalla lezione subita, di poter promuovere interventi con approcci innovativi che utilizzino le competenze professionali e gestionali di cui dispone il nostro Paese.

In questo articolo faremo riferimento alla prima definizione ufficiale di centro storico definito nel 1964 dalla Commissione d'indagine per la tutela e la valorizzazione del patrimonio storico, artistico e del paesaggio (detta Commissione Franceschini dal nome del suo presidente), come "quelle strutture insediative urbane che costituiscono unità culturale o la parte originaria e autentica di insediamenti, e testimoniano i caratteri di una viva cultura urbana...".

Comunque si voglia definire il centro storico è necessario che lo si consideri con la più ampia visione possibile bene culturale, economico e sociale, integrando i diversi fattori per definire una coerente e corretta soluzione per un intervento operativo e, possibilmente, ad alto grado di replicabilità.

Il problema della riqualificazione energetico-sostenibile delle città è tra i temi che si stanno affrontando con sempre più attenzione da parte di tutte le Istituzioni a livello inter-

nazionale e nazionale. La riduzione dei consumi, delle emissioni di gas climalteranti ed il miglioramento della vivibilità dei centri urbani è tra le sfide più importanti che il nostro tempo deve affrontare in modo sistematico e integrato.

Bisogna tener conto che il concetto di città si è evoluto nel corso degli anni e si è passati dalla "città murata", dei primi anni del millennio, all'area metropolitana e alle Smart City degli anni contemporanei. La città si configura come una struttura urbana correlata ed integrata con il territorio circostante, interconnessa con servizi e *facilities* in continua evoluzione. Anche le tecnologie ed i mezzi di collegamento si sono modificati e innovati, per cui ora la "città" si interfaccia e collega con il resto del mondo per via fisica (vie di comunicazione, scambi commerciali, movimento di persone ecc.) e concettuale-virtuale (informatizzazione, informazioni, centri direzionali, produzione, conoscenze ecc.). Non è possibile pensare di definire e proporre soluzioni che si possano rigidamente applicare indistintamente a tutti gli ambiti urbani né progettare o confezionare ricette da applicare freddamente senza considerare il contesto urbanistico – territoriale, socio-culturale e politico in cui si va ad operare.

Il centro storico va inquadrato come "*strutture insediative urbane che costituiscono unità culturali o la parte originaria e autentica di insediamenti che testimoniano i caratteri di una viva cultura urbana*".

Nello sviluppo delle aree urbane e nelle politiche di governo delle città, nella definizione e nell'applicazione di progetti per la riqualificazione energetico-ambientale, è sempre più importante l'acquisizione, la conoscenza e lo scambio

dell'informazione oltre alla comunicazione orizzontale e verticale: l'innovazione tecnologica ICT e le reti acquisiscono importanza strategica fondamentale.

Le reti informali e formali delle città stanno vivendo un forte periodo di crescita. Questa è sostenuta dall'esigenza di scambiare idee ed esperienze accumulate nei settori dello sviluppo e del marketing territoriale, nelle politiche urbane dei governi e delle agenzie internazionali che stanno coinvolgendo Enti, Istituzioni ed Autorità Locali per poter partecipare e collaborare in una visione di globalizzazione di fenomeni e di esigenze, richieste ed offerte.

Nuovi orizzonti si stanno affermando e nuove esigenze si devono risolvere nella riqualificazione urbana (ciclo acqua, rifiuti, mobilità, comfort, qualità dell'aria ed altro).

Il tema si declina in maniera differenziata quando si affrontano interventi in contesti urbani non soggetti a particolari vincoli o in complessi nuovi da insediare. Gli obiettivi da raggiungere sono comuni, ma le modalità e le tecnologie da utilizzare divergono fortemente. In questo articolo si inquadra il problema dei centri storici che per loro connotazione e particolarità necessitano di approcci e studi del tutto particolari e "personalizzati", che devono tener conto anche dell'importanza e grandezza della città a diversi livelli.

I centri storici sono caratterizzati da un'elevata complessità ed esigenze, soprattutto nel momento in cui si interviene in progetti di riqualificazione energetico-strutturale-ambientale-sociale, con un approccio integrato, in cui si riscontra una pluralità di funzioni (residenziale, terziario, urbanizzazioni primarie

e secondarie ecc.) e interventi (restauro, recupero, riqualificazione, ristrutturazione, manutenzione ecc.) di tipo sociale (spopolamento, impoverimento, coesione, economia ecc.) e culturale (valorizzazione, conservazione, identità, vocazione, tessuto sociale, tradizioni ecc.).

Nell'ambito della riqualificazione urbana possiamo definire due tipologie di aspetti che condizionano la sua evoluzione:

- il primo si riferisce alla capacità e volontà politica di pianificazione e gestione, da parte della classe politica, ed alla vocazione, alle caratteristiche e alle risorse sia del territorio urbano che di quello territoriale al suo intorno;
- il secondo si riferisce ad interventi che investono e riguardano la città; come attività cittadine (politiche, economiche, finanziarie e sociali) ed aspetti urbanistici (mobilità, edifici, infrastrutture, spazi urbani, servizi ecc.) calati in un contesto storico-culturale.

In pratica la riqualificazione dovrà richiedere due ordini di intervento: uno comprende la gestione integrata della città con il territorio circostante e limitrofo, per superare quei fenomeni tipici della concentrazione eccessiva degli effetti delle diverse attività e per pervenire ad una migliore ottimizzazione della gestione delle risorse lungo tutto il loro ciclo di vita fino allo scarto finale; un altro riguarda gli aspetti strettamente urbani e porta a soluzioni che coinvolgono direttamente la città.

In questo contesto la valenza della riqualificazione delle città storiche assume un ruolo determinante e gli interventi per renderle sostenibili risultano essere molto complessi e avere tutta una serie di difficoltà,

ostacoli e vincoli che investono i molti aspetti precedentemente enunciati.

In Italia ci sono circa 13 milioni di edifici residenziali di cui circa il 27% si trova in uno stato, strutturale e di conservazione, molto critico e di questi circa il 3% vengono considerati edilizia ricadente nei centri storici.

Qualsiasi intervento di trasformazione del costruito storico presuppone una completa conoscenza ed analisi dell'ambito urbano considerato, delle sue condizioni attuali e del contesto nel quale si inserisce, a partire dalla ricostruzione storica della sua evoluzione morfologica-urbanistica, elementi da rispettare per il riconoscimento del suo valore storico e per la necessaria comprensione delle sue funzionalità. Spesso, infatti, la semplice valutazione delle caratteristiche tecnico-costruttive, fisiche, impiantistiche e urbanistiche del contesto non risultano sufficienti a far emergere le complesse interazioni che lo configurano.

L'analisi e la profonda conoscenza degli interventi avvenuti nel tempo, contestualizzati nel periodo storico di riferimento, può infatti portare alla luce tecniche tradizionali e accorgimenti molto efficaci, che, originariamente presenti nel contesto, sono stati poi persi o tralasciati nel corso delle successive modificazioni. La profonda conoscenza del centro storico risulta, quindi, fondamentale per l'individuazione delle sue potenzialità intrinseche che, in fase progettuale, dovranno servire da linee guida nel perseguimento di una corretta e appropriata strategia d'intervento.

In questo senso questi ambienti urbani vanno considerati, come eco sistemi, micro e macro, in cui le specifiche caratteristiche e proprietà de-

vono essere integrate e sviluppate in una organizzazione di città efficiente e green.

D'altra parte non si può non riconoscere che rendere sostenibili le città è un progetto molto complesso e di difficile attuazione. Le componenti che entrano in gioco sono molto diversificate ed articolate e spesso l'applicazione di una strategia sostenibile diventa di difficile applicazione, non per problemi tecnici ma per quelli economici e politici ben più difficoltosi da rimuovere!

È in questi contesti che si devono concentrare maggiormente gli sforzi, in quanto il miglioramento della qualità della vita urbana, nelle città storiche, può essere attuato con una serie di misure che vanno dalla riduzione dell'inquinamento urbano alla soluzione dei problemi relativi alla mobilità urbana, fino all'aumento della fruizione del verde, all'adeguamento e al miglioramento delle infrastrutture in un'ottica di sostenibilità *green*. In questo quadro strategico è necessaria la partecipazione dei cittadini ai processi decisionali, alle necessità di abitazione e servizi per la riduzione di povertà urbana ed alla creazione di possibilità di lavoro. Questi sono i temi che inquadrano la pianificazione urbanistica, sociale della città sostenibile ed alla green economy: fattori che assumono un ruolo chiave per poter impostare e riqualificare la città del futuro. I nuovi modelli di sviluppo urbano devono essere impostati, pertanto, in una visione sistemica ed integrata che mira al riuso e adeguamento tecnologico degli edifici e del contesto urbano.

Si potrebbero promuovere interventi di riqualificazione da realizzare rispettando e valorizzando questo patrimonio attraverso l'utilizzo, in

modo adeguato, dell'innovazione tecnologica.

I risultati potrebbero essere molto significativi e dovrebbero essere integrati con la promozione di meccanismi e incentivi finanziari e, in collaborazione con le comunità locali, con la messa a punto di strategie che affrontino i temi sui cambiamenti climatici, sulla riduzione delle emissioni di carbonio, sull'inquinamento urbano e sulla sostenibilità.

Quanto sopra esposto necessita anche di un approccio innovativo in fase progettuale che disponga di un team di progettazione, di alto profilo, che valuti in maniera integrata tutte le componenti, tra cui i parametri tipologici, distributivi, funzionali e di servizi del contesto costruito, al fine di identificare le migliori soluzioni per l'efficienza energetica, l'uso di fonti rinnovabili, ciclo dei rifiuti e mobilità, rispettando i caratteri storici, tipo-

logici, morfologici del complesso di edifici e del suo contesto urbanistico-ambientale. Team che, sulla base di una diagnosi energetico-ambientale approfondita del centro storico, sappia utilizzare le nuove tecnologie.

Questo approccio dovrà tener conto di alcuni aspetti, tra cui si evidenziano:

- il fatto che le modifiche effettuate dovranno essere facilmente reversibili senza alcun danno per l'esistente;
- l'importanza dell'uso di nuovi materiali e tecnologie innovative per l'efficienza energetico-ambientale;
- l'applicazione di una procedura in grado di consentire il confronto integrato e la valutazione di tutti i parametri in gioco, ad esempio il metodo AHP (Analytic Hierarchy Process), a supporto delle scelte di interventi che non devo-

no alterare il carattere storico e morfo-tipologico-urbanistico del complesso.

Un ultimo aspetto da tener presente è l'importanza del coinvolgimento degli utenti e degli *stakeholder* che dovrà essere promosso tramite azioni di educazione e formazione delle collettività riguardo i temi del recupero sostenibile degli edifici e dei centri storici, al fine di favorire l'adozione di politiche ed azioni necessarie per la riduzione globale delle emissioni di CO₂.

La comprensione degli ostacoli e il loro superamento permettono nuove opportunità a tutto un settore in difficoltà: un *driver* per consentire ai centri storici di divenire una risorsa sempre più partecipativa allo sviluppo del Paese.

*per saperne di più:
gaetano.fasano@enea.it*

¹ In questo breve articolo non abbiamo trattato il quadro legislativo, aspetto sicuramente importante, che merita uno spazio ed un approfondimento con una trattazione ad hoc



L'uso dei composti di cobalto dall'antichità al XVIII secolo

Storia, tecnologia e commercio delle materie coloranti blu utilizzate per vetri, ceramiche e pitture dagli antichi Egizi all'alba dell'era industriale. Il tema, trattato in questo articolo, viene approfondito in una originale monografia recentemente pubblicata da ENEA

DOI 10.12910/EAI2016-061

di Jean-Pierre Haldi e Claudio Seccaroni, ENEA



Nel corso degli anni 90 analizzando mediante la tecnica della spettrometria di fluorescenza di raggi x (XRF) una serie di mosaici e vetrate medievali, di ceramiche rinascimentali e di affreschi e dipinti su tavola rinascimentali, in presenza del cobalto sono state riscontrate alcune situazioni nettamente diversificate ma ricorrenti nel pattern degli elementi chimici ad esso associati. Tale caratteristica per essere compresa a pieno necessitava di un'approfondita ricerca, oltre che di un allargamento della casistica relativa alle occorrenze [Moioli 1995; Agosti 1997; Bandini 1997; Ferretti 2000]. Il punto di arrivo di questa ricerca è un volume monografico sul cobalto e sui prodotti ad esso associati (minerali e coloranti da essi ottenuti), responsabili della colorazione azzurra intensa di vetri, smalti, e pigmenti da usarsi su maioliche, ceramiche e porcellane o nelle tecniche pittoriche su tela, tavola o muro [Seccaroni 2016]. Le possibili casistiche relative agli elementi e alle impurezze associate al cobalto sono indagate a fondo in relazione agli sviluppi cronologici e geografici, alle possibili fonti di approvvigionamento e alle tecnologie di produzione e di impiego. La ricerca bibliografica alle spalle è stata vasta, comportando lo spoglio di molto materiale manoscritto anche totalmente inedito; uno dei fronti più battuti è stato quello relativo ai testi in lingua tedesca, perché a partire dal medioevo l'estrazione e la lavorazione dei minerali di cobalto è avvenuta nei Paesi germanici o che politicamente, in maniera diretta o indiretta, sottostavano al controllo imperiale.

L'uso dei coloranti a base di cobalto

Il cobalto è stato utilizzato per colorare i vetri nell'antichità, ad esempio



Fig. 1 Vasetto con coperchio, Cina, dinastia Tang (618-907 d.C.), VII secolo, terracotta con invetriatura blu al cobalto. New York, The Metropolitan Museum of Art, Accession Number: 2006.520.a,b [www.metmuseum.org]

da celti, egizi o assiri, o, in maniera più estesa nei mosaici paleocristiani, ma è solo dal medioevo che i coloranti a base di cobalto sono stati impiegati in maniera più pervasiva nel mondo occidentale, in quello islamico e in Cina (Figura 1).

Gli studi precedenti erano infatti stati più circoscritti; in particolare quelli più importanti sono frutto del lavoro di Wilhelm Ganzenmüller e di Bernard Gratuze e del suo gruppo, che a partire dal 1992 ha prodotto una serie di articoli, tra i quali il più innovativo e interessante è stato il

primo [Ganzenmüller 1939; Gratuze 1992].

Sulla base delle testimonianze scritte e dei risultati delle analisi condotte su manufatti abbiamo cercato di mettere a fuoco le tecnologie associate all'estrazione, al trattamento, allo smercio e all'uso dei prodotti coloranti a base di cobalto.

Sono stati scelti come estremi cronologici di riferimento l'antichità preclassica, in cui per la prima volta è stato impiegato il cobalto per ottenere degli azzurri, e la fine del XVIII secolo, quando il cobalto vie-



Fig. 2 Andrea Della Robbia, *Madonna del cuscino* (1475 circa). Palermo, Galleria Interdisciplinare Regionale della Sicilia – Palazzo Abatellis [su concessione del Ministero per i Beni e le Attività Culturali e del Turismo – Opificio delle Pietre Dure di Firenze – Archivio dei restauri e fotografico]

ne scoperto come elemento chimico, in coincidenza con la nascita della chimica come disciplina scientifica moderna; si è scelto pertanto di non addentrarsi nell'epoca industriale, durante la quale si assiste comunque ad ulteriori sviluppi nella tecnologia associata al cobalto.

Per quanto attiene all'ambito geografico il campo d'interesse, pur essendo concentrato sull'Europa, è stato esteso all'Oriente, poiché è unanimemente riconosciuto il ruolo che per tutto il medioevo tale area ha svolto in relazione all'arricchimento tecnologico dell'Occidente; d'altra parte alcune delle testimonianze più antiche e interessanti relative al cobalto concernono la cultura egizia e quelle che si svilupparono in area mesopotamica, mentre a partire dal medioevo sono ampiamente documentati scambi commerciali relativi

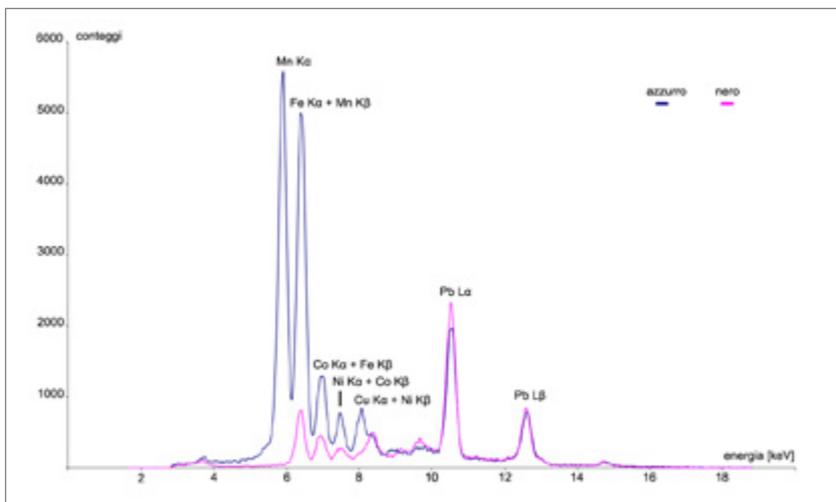


Fig. 3 Confronto di due spettri XRF relativi a misure effettuate su una terracotta invetriata di Andrea Della Robbia, ove si riscontra una forte variabilità nel rapporto tra i contenuti di cobalto e quelli di nichel, a favore di quest'ultimi nello spettro relativo alla misura eseguita su colorazioni nere

a prodotti coloranti a base di cobalto tra Europa, Persia e Cina.

Riguardo all'antichità il dato fondamentale delle recenti ricerche concerne la conferma definitiva in merito all'utilizzo degli allumi cobaltiferi estratti dalle oasi occidentali del Nilo e alla circolazione di semilavorati da essi ottenuti in tutto il Mediterraneo e nell'Europa centrale e settentrionale, come attestato da numerosi rinvenimenti archeologici effettuati negli ultimi decenni. Alla luce di queste più recenti scoperte è dunque possibile rileggere alcune ricette vetrarie trascritte con scrittura cuneiforme su tavolette di argilla in cui è citato un "allume rosso" quale agente colorante impiegato per l'azzurro, dato passato sinora inosservato alla letteratura tecnica.

Per la tarda antichità e per l'alto medioevo gli indizi che si hanno fanno supporre che l'estrazione dei coloranti a base di cobalto derivasse invece dal riciclo delle scorie di purificazione dell'argento; anche in questo caso è possibile identificare nelle fonti a

noi giunte una serie di indicazioni tecniche sinora mai prese in considerazione in quest'ottica¹.

La derivazione del cobalto direttamente dalla metallurgia dell'argento, in particolare dalle scorie vetrose ottenute dalla purificazione del metallo, è stata probabilmente praticata sino al tardo medioevo e oltre: in Europa, infatti, la cronologia tradizionale e ufficiale concernente l'estrazione dei minerali di cobalto e il loro impiego parte in pratica dal 1400 circa, quando minerali di cobalto sono usati dai vetrai del nord della Boemia. Gli studi e le ricerche sinora condotti non hanno tuttavia prodotto risultati che consentono di stabilire con precisione il momento in cui sono stati riconosciuti l'utilità e il valore commerciale di minerali o scarti contenenti cobalto. La prima fonte che evoca questi minerali col nome di *Kobelt*, non per il loro uso ma perché inquinano il piombo, è un progetto di regolamento del 1499/1500 concernente le miniere d'argento di Schreckenber



vicino Annaberg, nell'Erzgebirge (Monti Metalliferi, al confine tra la Sassonia, in Germania, e la Boemia, nella Repubblica Ceca).

Le indagini effettuate hanno inoltre chiarito che la varietà indicata dalla trattatistica rinascimentale come "zaffera nera" si caratterizzava rispetto a quella azzurra per maggiori concentrazioni di nichel (Figure 2 e 3). Attraverso gli studi siamo riusciti a meglio definire alcune delle figure mitiche associate alla messa a punto e al perfezionamento dell'impiego dei coloranti a base di cobalto (qua-

li Peter Weidenhammer, Christoph Schürer e Bernard Swerts/Schwarz) nonché rilevare che prima di queste figure pionieristiche molte altre anonime (i cosiddetti *Wahlen* e *Venezianern*) conducevano in segreto la ricerca di minerali e scorie contenenti cobalto dando luogo a un commercio sommerso.

Abbiamo inoltre raccolto quanto più materiale possibile riguardo alle officine/fabbriche (*Blaufarbenwerke*) cercando di mettere a fuoco il ruolo delle prime *Blaufarbenwerke* nel nord della Boemia tra il XVI e l'ini-

zio del XVII secolo e, alla fine dello stesso secolo, il loro declino a favore di quelle sassoni distanti soltanto pochi chilometri.

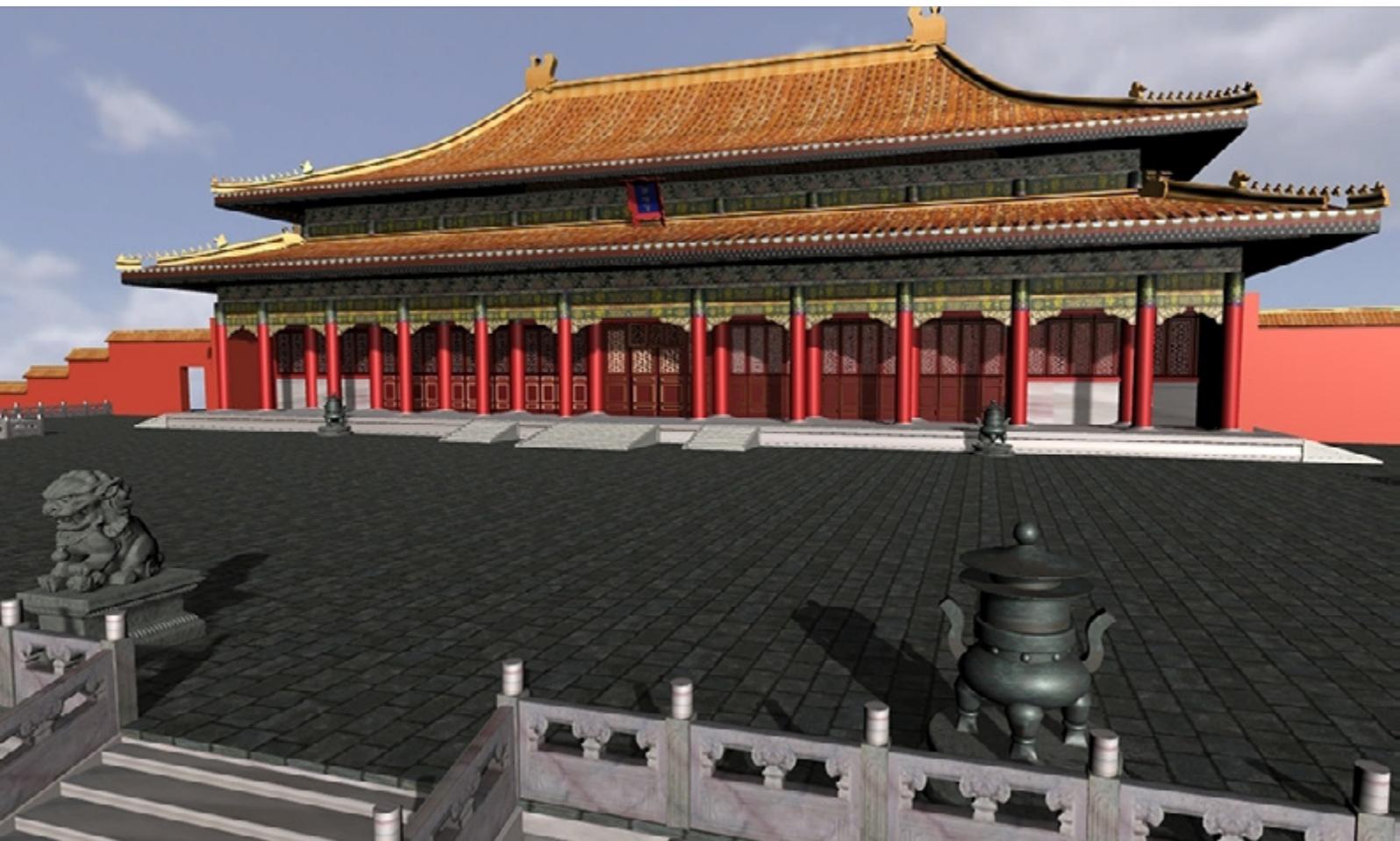
Si è infine cercato di definire in maniera più accurata possibile il mercato di questi prodotti e, in particolare, il ruolo che ebbero le Fiandre e, dopo il XVII secolo, le Province Unite di Olanda riguardo al miglioramento e alla diffusione commerciale dello smalto.

per saperne di più:
claudio.seccaroni@enea.it

¹ In particolare ci si riferisce ai seguenti testi: *Mappae cluavicula*, *Compositiones ad tingenda musiva*, *De diversis artibus* e a una ricetta contenuta trascritta in un manoscritto della seconda metà del IX secolo conservato nella Biblioteca Universitaria di Leida (Ms. Voss lat. 4° 33, c. 173r)

BIBLIOGRAFIA

- G. Agosti, A. Andreoni, B. Fabbri, F. Kumar, G. Lanterna, C. Mingazzini, P. Moioli, R. Moradei, C. Seccaroni, M.G. Vaccari (1997), "Una pala in terracotta invetriata di produzione robbiana: metodi integrati di indagine e restauro", *OPD Restauro*, 9, pp. 73-90
- G. Bandini, P. Moioli, R. Scafè, C. Seccaroni (1997), "Studio sulle decorazioni policrome mediante fluorescenza X di alcune maioliche rinascimentali ritrovate in Roma", *Faenza, Bollettino del Museo Internazionale delle Ceramiche in Faenza*, LXXXIII, nn. 4-6, pp. 235-252
- M. Ferretti, P. Moioli, C. Seccaroni (2000), "The apsidal stained-glass window of Orvieto Cathedral: characterization of the materials", atti del 2nd International Congress on "Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin" (Parigi, 5-9 luglio 1999), vol. I, pp. 625-628, Parigi, CNRS
- W. Ganzenmüller (1939) "Über die Verwendung von Kobalt bei den Glasmachern des Mittelalters", *Glastechnische Berichte*, 17, pp. 133-138
- B. Gratuze, I. Soulier, J.N. Barrandon, D. Foy (1992) "De l'origine du cobalt dans les verres", *Revue d'Archéométrie: Bulletin de Liaison du Groupe des Méthodes Physiques et Chimiques de l'Archéologie*, 16, pp. 97-108
- J.-P. Haldi, C. Seccaroni (2016), *Cobalto, zaffera, smalto dall'antichità al XVIII secolo*, ENEA, Roma
- P. Moioli, R. Scafè, C. Seccaroni, A. Tognacci (1995), "Studio delle paste vitree utilizzate nei mosaici della cappella del Sancta Sanctorum", *Sancta Sanctorum*, pp. 280-290, Electa, Milano, 1995



Un nuovo modo di comunicare l'arte: i musei virtuali

Un settore in continua crescita ed evoluzione, al passo con le nuove tecnologie che anche in Italia ha registrato casi esemplari su cui investire ancora di più per lo sviluppo economico e culturale del Paese

DOI 10.12910/EAI2016-062

di Ester Palombo, ENEA



La definizione di *museo* accettata dall'intero mondo scientifico è quella dettata dall'International Council Of Museums – UNESCO (ICOM):

“A museum is a non-profit, permanent institution in the service of society and its development, open to the public, which acquires, conserves, researches, communicates and exhibits the tangible and intangible heritage of humanity and its environment for the purposes of education, study and enjoyment”¹.

Il museo ha il compito non solo di acquisire e conservare le opere patrimonio dell'umanità ma anche quello di *comunicare* le opere. È forse questo l'aspetto finale ma anche estremamente delicato del processo. Una comunicazione efficace è non solo auspicabile ma assolutamente necessaria in ogni aspetto della vita umana. Allo stesso modo è oramai impensabile rapportarsi alla comunicazione attuale escludendo le nuove tecnologie e il web 2.0.

La comunicazione attraversa spazi e distanze, temporali e fisiche, prima inimmaginabili, raggiungendo un pubblico sempre più vasto ed eterogeneo. Si è scardinato il concetto di esclusività di pubblico per aprirsi sempre di più al concetto di *fruibilità totale*. Se dal 1600 in poi solo pochissimi membri fortunati dell'élite avevano la possibilità di aprire i propri orizzonti culturali attraverso il Grand Tour, ora fasce sempre più ampie della popolazione mondiale possono usufruire di strumenti tecnologici all'avanguardia per accedere a un patrimonio comune e vastissimo.

Così facendo siamo approdati da qualche anno al nuovo concetto di *museo virtuale* (che può essere denominato in vari modi focalizzando diversi aspetti e sfumature:

museo on-line, hypermuseo, museo digitale, cybermuseo o museo web), ossia una diversificazione del concetto basilare di museo che non si configura come mero sostituto di quello reale, bensì come complementare ad esso. Basti pensare, ad esempio, alle nuove tecnologie di scansione 3D che permettono ri-

solo a tutelare e conservare ma a catalizzare e diffondere la cultura in tutte le sue forme, anche attraverso piattaforme condivise con migliaia di utenti. Questa è una delle tendenze oramai diffusasi negli ultimi anni. Si pensi al progetto Google Art & Culture⁴ che ha l'ambizioso obiettivo di riunire in un unico luo-

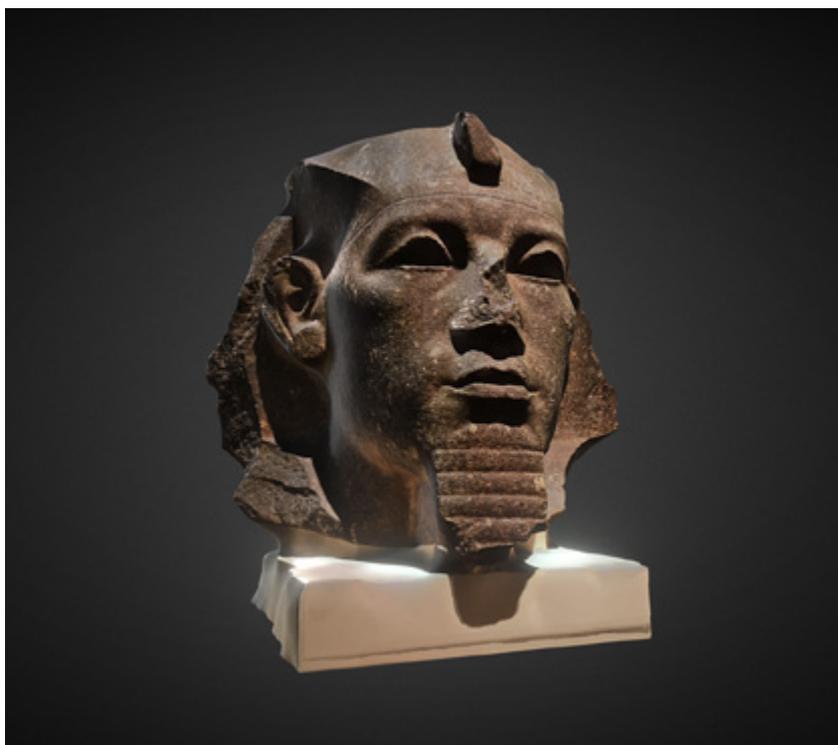


Fig. 1 Testa in granito del faraone Amenemhat III

Fonte: Sketchfab

<https://sketchfab.com/models/64d0b7662b59417986e9d693624de97a#download>

produzioni fedelissime delle opere presenti nel museo e che il visitatore può scaricare sul proprio *device* in modo da poterle ammirare in una maniera completamente diversa² (Figura 1) o al fatto che si può visitare virtualmente l'Acropoli di Atene³ al di là degli inevitabili ostacoli architettonici.

Il museo diventa sempre più un luogo vivo e in evoluzione, pronto non

go virtuale migliaia di siti visionabili attraverso la tecnologia Street View. Il nuovo concetto di museo prevede non solo l'uso delle tecnologie più avanzate in tutti i processi (dalla conservazione alla fruizione) ma anche il costruire reti sempre più vaste di musei ed istituzioni per avvicinarsi a degli utenti più informati ed esigenti rispetto al passato. L'Italia, in cui si concentra un pa-

trrimonio culturale inestimabile, ha iniziato a muovere passi importanti grazie a iniziative portate avanti non solo da grandi realtà museali ma anche da piccoli musei che spesso rimangono fuori dai circuiti turistici più richiesti. Abbiamo, ad esempio, la mostra temporanea del MAO, Museo d'Arte Orientale di Torino⁵, in cui è stato possibile vivere un'esperienza immersiva esplorando la Città Proibita di Pechino o il MAV, Museo Archeologico Virtuale di Ercolano che si va ad affiancare ai principali siti archeologici della zona per offrire una ricostruzione fedele di spazi e vita del passato. La realtà virtuale permette anche la fruizione di opere d'arte situate altrove come è avvenuto per l'esposizione temporanea Uffizi Virtual Experience⁶ presso la Fabbrica del Vapore a Milano.

Sono sempre di più le collaborazioni fra imprese di ICT e i luoghi d'arte per creare allestimenti multimediali

che prevedono anche applicazioni dedicate e adattabili alle diverse categorie di utenti. Si pensi alla recente collaborazione fra Samsung e le Gallerie dell'Accademia di Venezia⁷. Esempi virtuosi che andrebbero senz'altro replicati e sviluppati su larga scala, ma che si scontrano con costi di progettazione e realizzazione elevati nonché con normative restrittive riguardanti la riproduzione delle opere d'arte.

Dal punto di vista economico si potrebbe ricorrere non solo ai classici sistemi di finanziamento ma anche al *crowdfunding* che ha dato risultati estremamente positivi nel campo dell'arte: dall'acquisto di opere d'arte come è avvenuto per "Le Tre Grazie" di Lucas Cranach del Louvre⁸ all'allestimento di mostre multimediali come nel caso di "Piero della Francesca". *Il disegno tra arte e scienza*⁹. Il sistema richiede, però, un investimento su forti e ben strutturate campagne di comunicazione in

cui si fidelizzi il pubblico già prima dell'inizio del progetto. È necessario sottolineare l'impegno della ricerca nel *trasferire le nuove tecnologie* a imprese, tecnici del settore, istituzioni e musei in modo da superare le barriere esistenti puntando anche ad instaurare un dialogo fra gli end-user. Su questa linea si colloca il *progetto COBRA* portato avanti da ENEA grazie ad un finanziamento erogato dalla Regione Lazio.

In conclusione, possiamo dire che i musei virtuali dovranno necessariamente diffondersi perché si tratta di un processo evolutivo inarrestabile, ma si renderà necessaria sempre di più una stretta collaborazione fra i vari protagonisti della filiera in modo da concentrare le risorse e ridurre i costi, anche mettendo in conto eventuali rischi di rotture di equilibri esistenti così come teorizzava Schumpeter parlando di *distruzione creatrice* nel processo di innovazione [1].

- ¹ <http://icom.museum/the-vision/museum-definition/>
- ² <https://sketchfab.com/britishmuseum>
- ³ <http://acropolis-virtualtour.gr/>
- ⁴ <https://www.google.com/culturalinstitute/beta/>
- ⁵ <http://www.gallerieaccademia.org/news/samsung-e-venetian-heritage-insieme-per-lallestimento-delle-nuove-gallerie-dellaccademia-di-venezia/>
<http://www.maotorino.it/it/eventi-e-mostre/la-citt%C3%A0-proibita-vr-oculus-rift>
- ⁶ <http://uffizivirtualexperience.com/it/home/>
- ⁷ <http://www.gallerieaccademia.org/news/samsung-e-venetian-heritage-insieme-per-lallestimento-delle-nuove-gallerie-dellaccademia-di-venezia/>
- ⁸ <http://www.louvre.fr/acquisition-des-trois-graces-de-lucas-cranach>
- ⁹ <https://www.eppela.com/it/projects/5758-piero-della-francesca>

BIBLIOGRAFIA

[1] S. Bowles, R. Edwards, F. Roosevelt (2011), *Introduzione all'economia politica: le dinamiche del capitalismo*, pagg. 84-85, Springer Verlag, Milano

How to support the conservation of garden sculptures: A case study in Romania

The Centre of Restoration through Optoelectronic Techniques CERTO, from the National Institute of Research and Development for Optoelectronics (Magurele, Romania), puts into practice valuable scientific results of physico-chemical investigations, documentation-digitization, applied archaeometry, and imagistic laboratories

DOI 10.12910/EAI2016-063

by **Roxana Radvan, Laurentiu Angheluta, Alexandru Chelmus, Lucian Ratoiu, Luminita Ghervase and Ioana Maria Corcea**, *National Institute of Research and Development for Optoelectronics*

The strongest challenge for research is to validate results by offering solutions to societal problems and implicitly by offering the information needed for optimal intervention. Researchers' responsibility is all the higher when the field of application involves valuable materials and objects, when there is no question of sampling the materials for analysis, or the analysis cannot be repeated, when the method sensitivity and superior resolution are mandatory. Restoration of cultural heritage ob-

jects is such a domain. Be it either for preventive or curative conservation, questioning the mobile or immobile cultural heritage objects in order to characterize or diagnose an incipient and often subtle degradation represents an entire project and implies choosing the non-contact, non- or micro-invasive techniques with maximum priority, revealing data from surface but also from hidden layers. Involving advanced research is needed, especially in the case of highly valuable items, even masterpieces, objects and

monuments, which require maximum care and responsibility even for restorers. Exploitation of research means, in practice, can only be based on the results of extensive laboratory research, often over many years and through experience built on a vast casuistry.

The Centre of Restoration through Optoelectronic Techniques CERTO, from the National Institute of Research and Development for Optoelectronics (Magurele, Romania), puts into practice valuable scientific results of physico-chemical inves-



tigations, documentation-digitization, applied archaeometry, and imagistic laboratories. Undoubtedly, numerous fields of natural sciences and engineering are involved in the cultural legacy domain. The field of optoelectronics holds some major advantages: it proposes ecological methods and techniques, develops methods that always respect the original material by applying principles which do not entail sampling or that are micro-invasive. There are even techniques that can be versatile, operated remotely, and most equip-

ment are transportable if not even portable. All these features are indisputably those that offer functionality both in field and laboratory operations. Interrogation of the object without moving it, without taking it out from its storage or display environment is the biggest relief for gallerists, curators, restorers, etc. Likewise, the possibility to extract useful information until recently considered the appanage of laboratory work, in direct connection to the immobile patrimony, is a technical performance, which

radically changes the quality of research services. The experience gained through direct collaboration with restoration-preservation practitioners has shown that optoelectronics is not only functional but it also respects the most severe rules in this field.

Since 2007, ART4ART - Advanced Research Techniques for Art and Archaeology - a mobile laboratory, which carries out research, measurements and services - functions as an ambulance. It distinguishes itself from the other few mobile

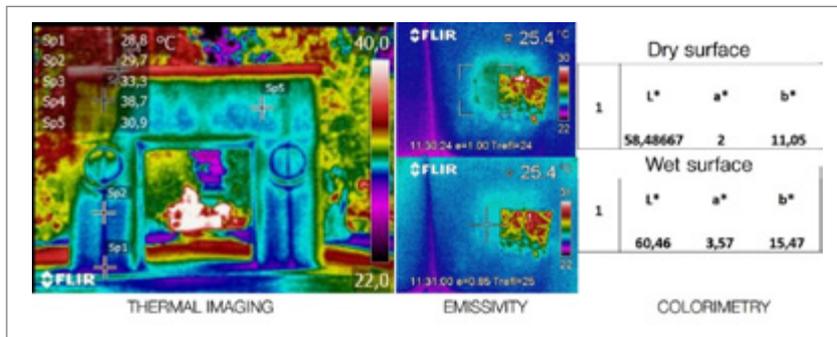


Fig. 1 Thermogram indicating the influence of the unseen metal part over the transversal stone block – under known environmental conditions

laboratories since it was conceived to ensure the needed information on field and as just a collection of techniques. The auto-laboratory project itself has aimed to close the circle of truly useful information in the field for decision-making. It follows major interdependent stages: monitoring, physico-chemical investigations, diagnosis, intervention, post-intervention monitoring. It is worth mentioning that knowing the vulnerabilities of a work of art also leads to establishing a correct and efficient intervention program, which is extremely useful for conservators. Another major advantage of optoelectronic techniques is that they have allowed to transform the auto-laboratory into an “installation” accessible on-line [1].

The first “broadcasts” were achieved in March 2010 from the Roman Mosaic Edifice in Constanta, Romania. If there is still skepticism regarding its usefulness, advantages such as long-distance assistance to a team for educational and training purposes, ensuring on-line mandatory training programs (laboratories and/or seminars), soliciting the best on-line guidance for difficult situations, extending the duration of the work season, or reception of works, etc., are arguments which support

the continuation of the project.

Since 2015, the ART4ART auto-laboratory is the main instrument in a wide project aimed at characterizing and monitoring an exceptional monument – the Heroes’ Path Ensemble from Tg. Jiu, Romania. The project is exceptional from at least 2 points of view – the ensemble, the only public forum work of Constantin Brancusi, extends over a city, and its monitoring must be understood in an extended way.

Constantin Brancusi (1876- 1957) is a Romanian sculptor [2], with an intense activity in France, considered to be the patriarch of modern sculpture with works of stone, metal, wood, who has been appreciated throughout his lifetime and

has drawn the attention of collectors. In his workshop, permanently open at the Pompidou Centre, he has emphasized that the works of art are bound and not sheltered, it is a space which must be *read* as a work of art itself.

The only monumental art Brancusi has created, the Heroes’ Path Ensemble from Tg. Jiu, is in Romania and is composed as a path, with specific elements, which unfold along 1.2 km [3]. The ensemble has been created between 1937-1938 and is the first in Romania to benefit, starting from 2015, from complex monitoring through a multiannual program. The monitoring program must be coherent and must ensure information useful for both characterizing and establishing the intervention protocol, and also to complete the gaps in the information databases regarding the construction and history of interventions.

As the ensemble is in the middle of a city, monitoring of air quality, wind speed, type and level of precipitations must be performed continuously and followed on-line, aiming to establish the pre-signaling scheme of the risk factors levels. The importance of this activity has been emphasized especially by cor-

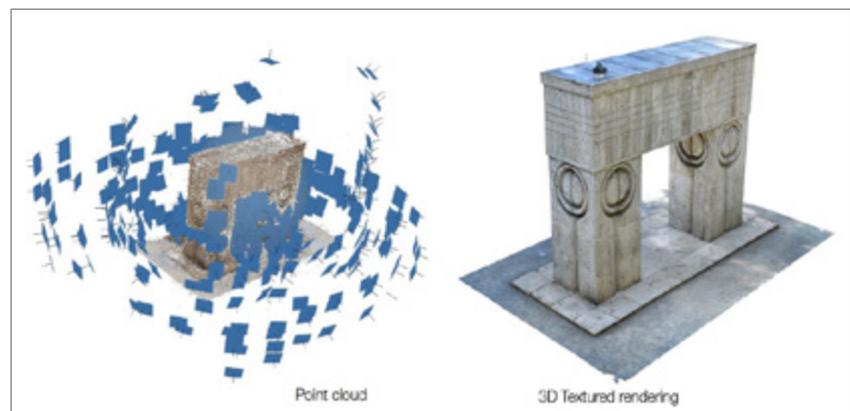


Fig. 2 Digital backbone - detailed photogrammetry model

roborating it with the thermal distribution, which reveals the thermal stress (Figure 1).

Meanwhile, measuring environmental factors and the immediate impact on the ensemble's pieces, the physico-chemical analyses of the base materials, the degradation products, and the eventual contaminations compose the comparative data package reported every 6 months.

To serve his artistic message, the sculptor has created *The Gate Kiss* out of Banpotoc travertine – a material known to be not a porous sedimentary rock, not a very resistant one, yellowish to brown in color. This material can raise great issues for restorers when it comes to the technique and degree of cleaning, realizing and integrating the esthetic of restoration materials (mortars, grouts). Also, the natural „leopard” aspect is accentuated when the surface humidity changes or when there are fine pollutants on the surface. Research has cre-

ated an evaluation method of the color parameters based on which pertinent primary comparison can be done. As such, measuring the CIELab coefficients is associated with determination of thermic emissivity at the moment of measuring, and the punctual chromatic values can be compared if they are collected in similar thermic emissivity conditions.

The degree of adherence of sealants and mortars used in different restoration stages is controlled through laser Doppler vibrometry and has not indicated major detachments so far between filler and support materials, but has drawn attention on the areas in which the filler has superficial cracks.

As there were doubts regarding the structure of *The Kiss Gate* – part of the ensemble – from the very first campaign the ground penetrating radar control has been performed, applied in an innovative manner on the vertical plane.

It is very important for the results that have been mentioned and those

obtained through FTIR and XRF to be rigorously positioned in order to correctly evaluate the whole information package. The digital model has been partially created in the first stage through laser scanning, which also requires rigorous photographic texturing, that is why we have opted for the periodic detailed photogrammetry model for all elements. As such, we have not only the volumetric description, but also the backbone to which all measurements report to [4], as well as information to be used as reference for any intervention, or for an unwanted deterioration (Figure 2).

Of course, we have not gone into the scientific details of the project, but we must draw attention on the way in which research can be validated. Moreover, as in most states, the budget for cultural projects is never comprehensive but, as partnership, is perfectly functional, generating added value to the scientific research and efficiency growth of the investment in scientific infrastructure.

REFERENCES

- [1] <http://certo.inoe.ro/watch>
- [2] <https://www.guggenheim.org/artwork/artist/constantin-brancusi?gclid=CP-Ui96wic8CFVQaGwodBUkLfA>
- [3] <http://360.inp.org.ro/index.php/en/obiective/ansamblul-monumental-calea-eroilor-din-targu-jiu-jud-gorj-tur-virtual-video>
- [4] <https://sketchfab.com/certo/models>



How to evaluate and mitigate vulnerability of historical buildings. A Spanish project experience

RIVUPH and ART-RISK projects implemented new approaches based on multidisciplinary analysis of environmental hazards and vulnerability in order to develop global conservation strategies. Such strategies can both minimize the deterioration of monuments and reduce the cost of isolated interventions, contributing to the preservation of cultural heritage

DOI 10.12910/EAI2016-064

*by **Rocío Ortiz Calderón** and **Pilar Ortiz Calderón**, University Pablo de Olavide, Dpt. Physical, Chemical and Natural Systems (Seville, Spain)*

How should we preserve historical heritage against floods, earthquakes or human actions? Images of Louvre museum during the flood in Paris in 2016 have shown the need of being prepared to know which monuments could suffer these types of accidents and which monuments are more vulnerable. In fact, our cultural heritage is continuously threatened by hazards of different kinds and intensity. Against those threats, we should know how to prioritize our actions and face emergencies. Studying hazards and vulnerability of our cultural heritage is one of the ways that we have to evaluate, and possibly mitigate, those threats to our historical heritage.

Introduction

Monuments and their artworks are elements that belong to the history and tradition of a country. They are also a high source of economical income and represent the level of social-economic development of a region. However, most of the historical infrastructures endure continuous deterioration. This is caused by the steadily increasing atmospheric contamination, management problems and severe damage caused by natural accidents or the lack of respect by people. Therefore, the knowledge of vulnerability of our monuments against exceptional (floods, earthquakes, fires, vandalism, wars, etc.) or continuous (contamination, climate change, thermohygro-metric conditions, etc.) threats allows the analysis of risk probability and intensity in order to take the needed awareness-rising measures for the conservation of historical heritage.

Reducing risk to cultural heritage

is a wide-ranging field that includes the analysis of threats at different scales and scenarios, from a country to a statue. Most studies are carried out on archival materials or well-known artworks in museums, due to the fact that insurance costs have risen dramatically in the last decade. But what happens to the monuments of our cities? This is one of the questions that we are trying to answer with our research. Whole monuments or cities are rarely studied under a risk methodology and their analyses are usually based on the assessment of main risks. New approaches are currently being developed to analyze multi-scenario risks for monuments in a city [1], with a huge bulk of data and scenarios that demand simplified models for decision-makers.

Risk versus vulnerability: Two concepts linked

Concepts regarding risk and vulnerability were defined, in 1993, by the European committee for the defense of cultural heritage [2]. Vulnerability is the level of tenacity or weakness of a monument that faces outside hazards, even if these threats have a different origin: natural disasters, actions caused by meteorological agents, and human actions. Risk depends on both factors, because an ill monument is more vulnerable, and increases the probability of infection with an illness (threat). In summary, the degradation of monuments could be due to the effects of: structural damages, weathering affection, pollution agents or other anthropogenic factors; whereas the conservation degree of each monument is vulnerability, its evaluation is an indirect function of the level of deterioration.

Preventive conservation implies knowing the risks that a monument is subject to and acting over the causes of these risks (hazards and level of vulnerability). Considering the great number of non-desired events that could cause damage to a monument, the difficulty resides in the possible need of classifying and prioritizing, as well as being prepared to face a range of extreme situations.

The knowledge of risks and hazards are based on experience and the archive of past and ancient episodes and disasters. Risk management tries to use this information to decide the best strategies for preventive conservation. The current crisis leads to prioritize strategies in a town, as the urban unit where territorial policies could be applied, and moreover in a region where the restoration budget is distributed. For this reason our aim is to analyse a list of monuments in a city and give the order of intervention [1, 3-4]. Rivuph (start-end) and Art-Risk (start-end) are two Spanish projects developed to face this challenge:

RIVUPH (https://www.upo.es/tym/en_rivuph.html) is a project of the Andalusian government (Spain) based on the analysis of environmental risk in historical cities in order to develop conservation strategies that can minimize the deterioration of monuments. With this purpose, multi-scenario risk maps of several towns have been drawn with Geographic Information System (GIS) software to provide information about the probability of the main hazards in a neighborhood. Hazards have been classified in three categories: 1) Static-structural hazards, that include

seismic factors, landslides, floods, coastal dynamics, avalanches, volcanic activity, underground water, geotechnical factors, etc. 2) Environmental-air hazards as erosion (wind, rain, sea, or river), pollution (vehicle congestion, traffic roads, industry, etc.), weather (rain, temperatures, dew points, etc.); and vibrations. 3) Anthropogenic factors (fires, accessibility to the monument,

have the following questions: how to carry out an accurate evaluation on different buildings in the same city? Have different technicians the same opinions about the vulnerability? Is the citizens' opinion different from experts' considerations? Guess that you have the responsibility to maintain all the building of a city and your budget is not enough (real situation stressed during this crisis), which

to simulate their reasoning and knowledge. As different experts have different opinions, this is the base of value of a DELPHI methodology. We combine this methodology with a double entrance matrix that allows to evaluate the conservation degree, that is vulnerability.

- **Fuzzy logic.** This method allows to evaluate the range of opinions of each expert. In contrast with

	Town/City (Inhabitants)	Carmona (28,679)	Estepa (12,397)	Osuna (17,800)	Marchena (19,768)	Seville (702,355)	Mitigation Action
	Monuments studied	19	17	20	11	30	All monuments must be under yearly surveillance and global maintenance plan
Vulnerability Evaluation	Very low damage (<10%)	6	6	8		1	Preventive maintenance plan and periodic inspections
	Low (10-25%)	11	9	10	9	13	Preventive maintenance plan and periodic inspections with minor interventions
	Moderate (25-50%)	1	2	2	2	15	Further studies and likely intervention in a long period
	High (50-75%)	1 (Alcazar)				1 (Sagrario)	Intervention is recommended in a short period of time (6-12 month)
	Catastrophic/ Very High damage (>75%)						Urgent Intervention (<3 month)
	Methodology applied	[1]	[1]	[1]	[1]	[3]	

Tab. 1 Evaluation of monument vulnerability and mitigation action proposal

tourist pressure, population, etc.). On the other hand, factors with potentially positive effects on reduction of monument deterioration have also to be considered; these elements can include town-planning protection. ART-RISK (<https://www.upo.es/investiga/art-risk>) is a project of the Spanish government based on the analysis of vulnerability, as the degree of a monument weakness. This evaluation needs the opinion of experts. But, after years of diagnosis for cultural heritage, you may

must be the first buildings to be restored or reinforced? Under this frame of questions, we proposed two different approaches based on artificial intelligence tools:

- **DELPHI Methodology.** This method is based on the prediction of experts, its name comes from the Greek sanctuary of Delphi, an oracle that was consulted on important decisions. Similarly, we consult a multidisciplinary group of 7-8 experts about their opinion of vulnerability and try

Boolean logic that only has two values (well or bad, yes or not), our diagnosis language has plenty of possibilities between a well- and a bad-conserved monument, for instance the roof is well conserved but we have problems of capillarity. Fuzzy logic allows us to evaluate these differences and, as an artificial intelligence tool, try to imitate the rationalization of experts.

Weighted factors were obtained consulting the multidisciplinary group

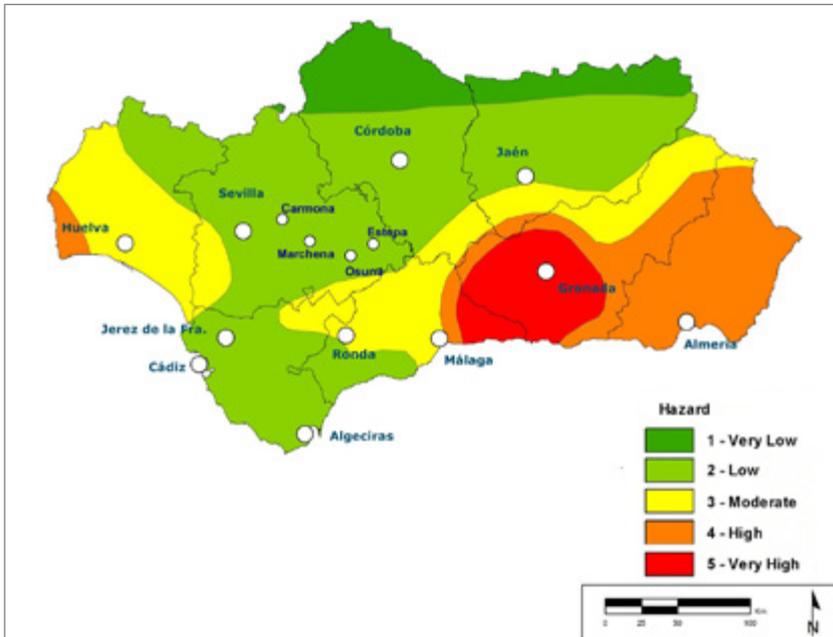


Fig. 1 Seismic hazard map of Andalusia (Spain)

Evaluation of vulnerability in Monuments of Andalusia (Spain)

Vulnerability has been evaluated in more than two hundred monuments in Andalusia (South Spain). This diagnosis has allowed to develop a cognitive diagram of the relationships between different variables and the vulnerability index to improve the method of risk analysis. Conditions of foundation, structure and constructive systems have the highest weight when evaluating vulnerability according to experts' opinion, as these variables could produce a partial or total loss of monuments and their artworks, especially in seismic zones. Physical-chemical characteristics, texture and fire-resistance define the conservation degree of materials and have a medium influence, which is mainly dominated by nature and quality of materials. Aesthetic appearance has the lowest influence in the opinion of experts and citizens. Other variables as simplified building, urban planning protections and level of usage have to be also assessed, according to the type of construction, local and/or regional law and data of tourism office and owners [3].

As an example, Table 1 summarizes the evaluation carried out in well-known monuments of Marchena, Osuna, Estepa, Carmona and Seville. These five cities have historical centers, and the monuments chosen belong to the Roman, Muslim or Christian periods.

75% of the monuments assessed exhibited a very low or low degree of vulnerability, which means a vulnerability evaluation of less than 25%, so they would need a preventive maintenance plan and periodic inspections with minor interventions. Two monuments (Alcazar in Car-

of experts to evaluate the influence of each hazard and to overlap the factors in the risk map, and to evaluate the illness of the buildings. Under this objective, it is clear that risk analysis following from the evaluation of cultural heritage needs experts from different countries and specialties, as well as opinions of citizens that enjoy, use the monuments, or simple live near them. Consequently, we are using the social network to validate the opinions of experts and to improve the methodology (http://www.upo.es/tym/rivuph/en_encuestas.php or <http://www.ecomimesis.com/ analisis-vulnerabilidad-patrimonio-historico>). Expert consultations and social network analysis have allowed to develop a new validated criteria based on the Delphi method, that forecasts the evolution of a provided situation asking their opinion to a limited number of experts [1]. This methodology has been used to consider the hazards and/or vulnerabil-

ity of several monuments of historical cities.

These assessments of threats imply collecting, georeferencing, weighting according to Delphi results and overlapping data from local, regional and national institutions of weathering, risk, environment, urbanism, territorial governance, sociology statistics, tourism, geology, hydrogeology, etc.. On the other hand, vulnerability needs an on-site study, where the frequency and weathering degree were taken into account. Although it is not possible to have every hazard in the same city, this general approach allows us to know the main risk and compare the results obtained in different cities for regional decision-makers. Meanwhile, each hazard has a frequency and intensity that varies according to the environmental conditions in the different districts of the city. This data is useful for local decision-makers.

mona and Church of Sagrario in Seville) have the highest vulnerability evaluation, due to important structural problems, which means they must be the first to be restored or reinforced against structural threats. Intervention is recommended in a short period of time (6-12 month). First floor and basement of Sagrario are now under restoration study due to their collapse.

Twenty-two of the monuments present moderate vulnerability, which according to the uncertainty associated with this methodology implies further studies.

In general, the vulnerability evaluation stressed that these cases were mainly affected by impacts associated to continuous erosion (humidity, change of temperature and wind pressure), anthropogenic interventions, vandalism and pollutants.

About pollution, it is worth emphasizing that the most common stones in these five cities are calcareous sandstones, calcarenites and limestones that are especially vulnerable to road-traffic pollutants.

The overlap between vulnerability and the main threats provides further information at the regional or local level. As an example, Figure 1 shows the risk map due to earthquake in Andalusia: the cities studied have low risk of earthquake, but repetition of episodes as the earthquake of Carmona (1504) and Lisbon (1755) could have important consequences for the buildings with medium or high vulnerability, so it is important to reinforce structures at least in the Church of Sagrario. In fact, some weathering forms detected during vulnerability evaluation in Monuments of Seville, Carmona and Estepa highlighted stability influence. In any case, vulnerability evaluation and mitigation strate-

gies must be updated in the case of changes or interventions, and it is advisable to repeat the analysis at least every three years or after disasters such as floods, fires, earthquakes, etc.

At the local scale, the multiscenario analysis of the cities showed that the maps of risk in Estepa and Carmona were dominated by landslide hazards, due to the presence of clay minerals around the edge of the hills. In Carmona, this risky area is just where the Alcazar is located, the

and 2c show, respectively, a zoom of the georeferenced map of static-structural hazards and the hazard map for road-traffic in the area of Sagrario and Cathedral of Seville.

Figure 2b shows, in orange and yellow, that the block of Sagrario/Cathedral has a medium-high risk of floods and damage due to capillarity humidity [5]. Meanwhile other monuments, such as Church of Santa Ana (STA), have a high vulnerability due to the effect of capillarity and they must have an evacu-

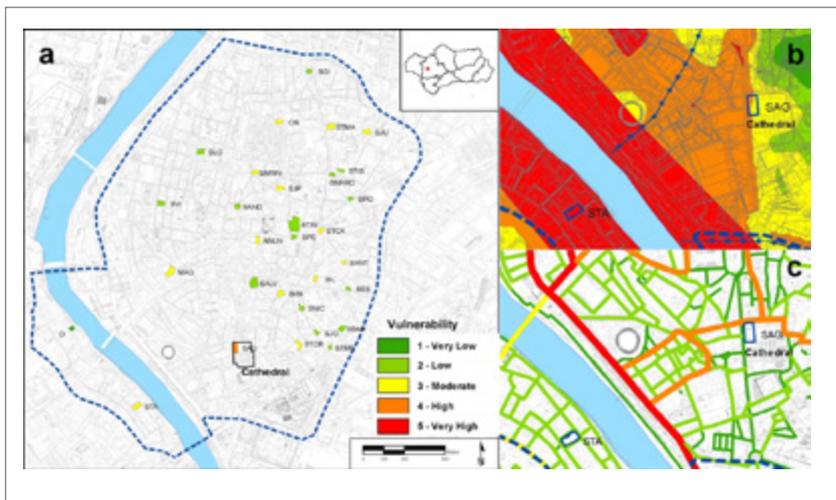


Fig. 2 Map of vulnerability of the monuments studied in Seville (a); a zoom of the georeferenced map of static-structural hazards (b); the hazard map for road-traffic in the area of Sagrario and Cathedral of Seville (c)

risk of landslides added to its high vulnerability index, and earthquake possibilities worsened the situation and demonstrated the necessity of interventions and special conservation with inspections and checking in the Alcazar.

The study of hazard maps, overlapped with vulnerability of Seville, has been chosen as an example of local study (Fig. 2). Figure 2a shows the map of vulnerability of the monuments studied in Seville. Figures 2b

and 2c show, respectively, a zoom of the georeferenced map of static-structural hazards and the hazard map for road-traffic in the area of Sagrario and Cathedral of Seville. Figure 2b shows, in orange and yellow, that the block of Sagrario/Cathedral has a medium-high risk of floods and damage due to capillarity humidity [5]. Meanwhile other monuments, such as Church of Santa Ana (STA), have a high vulnerability due to the effect of capillarity and they must have an evacu-

calcareous stones employed in both buildings.

To mitigate this effect, the five cities require an urban plan for vehicle traffic control to avoid driving near the main monuments, in order to decrease the weathering due to traffic pollution.

Another factor to analyze is the adoption of urban protection measures. As an example the detailed evaluation of urban planning in the city of Marchena [6], theoretically a positive factor, evidences the loss of buildings that should have been protected. The public administrations were informed of this irregular situation in 2012, but unfortunately we do not have evidence that any action has been taken since then. So it is necessary to improve the instruments of control and the inspections over the local authorities.

Conclusions

In summary, the vulnerability evaluation methodology is an artificial intelligence tool that reproduces the opinion of experts to evaluate the conservation degree of a monument and allows to prioritize future interventions to mitigate the damage. This methodology, based on the overlapping of hazards and vulnerability elements, is very useful to identify, evaluate and prioritize the restoration interventions in a city and to address preventive conservation also in the region by using a scientific approach.

This procedure provides protocols to develop policies for decision-making when preservation of historical centers is needed. This methodology allows to compare risks between different cities to ana-

lyze strategies for cultural heritage conservation in a region, or inside a city, and evaluate the hazards of different zones in order to establish mitigation plans.

Acknowledgments

This paper has been supported and based on the Methodology developed by two Projects: RIVUPH, an Excellence Project of Junta de Andalucía (code HUM-6775), and Art-Risk, a RETOS project of Ministerio de Economía y Competitividad and Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), (code: BIA2015-64878-R (MINECO/FEDER, UE)).

For further information, please contact:
mportcal@upo.es

REFERENCES

1. P. Ortiz, V. Antunez, J.M. Martín, R. Ortiz, M.A. Vázquez, E. Galán (2014). "Approach to environmental risk analysis for the main monuments in a historical city", *Journal of Cultural Heritage*, Vol. n. 15, 432-440 pp.
2. Consejo de Europa (1993). "Recomendación (93)9. Recomendación relativa a la protección del Patrimonio Arquitectónico contra las catástrofes naturales"
3. R. Ortiz, P. Ortiz (2016). "Vulnerability Index: a New Approach for Preventive Conservation of Monuments", *International Journal of Architectural Heritage*, published online, 1-23 pp. <http://dx.doi.org/10.1080/15583058.2016.1186758>
4. A.J. Prieto, J.M. Macías-Bernal, M.J. Chávez, F.J. Alejandro (2016). "Expert system for predicting buildings service life under ISO 31000 standard. Application in architectural heritage", *Journal of Cultural Heritage*, Vol. n. 18, 209-218 pp.
5. R. Ortiz, P. Ortiz, J.M. Martín, M.A. Vázquez (2016). "A new approach to the assessment of flooding and dampness hazards in cultural heritage, applied to the historic centre of Seville (Spain)", *Science of the Total Environment*, Vol. n. 551-552, 546-55 pp.
6. R. Ortiz (2012). "La (des)protección del patrimonio histórico de Marchena". MSc Thesis, Universidad de Sevilla

E-RIHS: l'infrastruttura di ricerca europea per la scienza del patrimonio culturale e naturale

Il patrimonio culturale e naturale è componente chiave dell'identità europea. Lo studio e la conservazione di tale patrimonio rappresentano una sfida per la scienza e la società. L'infrastruttura di ricerca europea per la scienza del patrimonio fornirà alla comunità multidisciplinare di studiosi del settore (archeologi, storici dell'arte, restauratori, scienziati della conservazione ecc.) strumenti e servizi all'avanguardia per promuovere la conoscenza del patrimonio e migliorare le strategie per la sua conservazione

DOI 10.12910/EAI2016-065

di **Luca Pezzati**, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e **Vania Virgili**, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN)

Il 10 marzo del 2016 lo *European Strategy Forum for Research Infrastructures* (ESFRI)¹ ha presentato ad Amsterdam la nuova Roadmap delle Infrastrutture di Ricerca (IR) considerate strategiche per il progresso scientifico europeo. Dopo una rigorosa selezione durata quasi un anno, l'unica IR ammessa tra quelle per la *Social and Cultural Innovation* (SCI, già *Social Sciences and Humanities* nella Roadmap precedente) è la *European Research*

Infrastructures for Heritage Science (E-RIHS)². Il riconoscimento della scienza per il patrimonio culturale e naturale come strategica per lo sviluppo europeo, ancorché tardivo e scollegato da significativi strumenti di finanziamento della stessa, è qualcosa che i ricercatori del settore attendevano da decenni – tradizionalmente, nei programmi quadro di ricerca e sviluppo della Commissione europea, il patrimonio culturale è incluso in *environment* risultando in

una considerazione solo parziale della complessità delle tematiche a esso legate. La collocazione di E-RIHS nella Roadmap 2016 è un evento che può accelerare la crescita del settore fortemente multidisciplinare, da troppi ritenuto una scienza minore, a tutto vantaggio della salvaguardia del patrimonio culturale e naturale internazionale.

Il patrimonio culturale e naturale sono componenti chiave dell'identità europea. Il loro studio e la loro

conservazione rappresentano una sfida per la scienza e la società. L'infrastruttura di ricerca europea per la scienza del patrimonio (E-RIHS) fornisce alla comunità multidisciplinare di studiosi del settore strumenti e servizi all'avanguardia per promuovere la conoscenza del patrimonio e migliorare le strategie per la sua conservazione. La creazione dell'infrastruttura E-RIHS in Europa è un obiettivo comune perseguito dalle diverse comunità scientifiche – archeologi, storici dell'arte, paleoantropologi, restauratori, scienziati della conservazione solo per citarne alcuni – che riconoscono la necessità di un approccio integrato, attuabile sviluppando insieme la scienza del patrimonio (heritage science). Alcune di queste comunità operano da molti anni, integrando infrastrutture nazionali in progetti sovranazionali come EU-ARTECH (6° PQ), CHARISMA (7°PQ) e ARIADNE

(7°PQ)³; altre sono importanti infrastrutture che operano a livello di un singolo Stato membro ma che hanno una rilevanza che ne supera i confini, come ad esempio CENIEH (ES)⁴. L'ultima iniziativa in ordine di tempo, IPERION CH (H2020)⁵, è stata la promotrice di E-RIHS e sta lavorando per la creazione di una rete mondiale di organizzazioni affiliate, allo scopo di far evolvere E-RIHS in un'infrastruttura di ricerca globale. La scienza del patrimonio è una disciplina fortemente trasversale e abbraccia una vasta gamma di settori di ricerca che si occupano dei vari aspetti legati allo studio e alla conservazione del patrimonio tangibile, alla sua documentazione, interpretazione e gestione. E-RIHS integra le strutture nazionali riconosciute come d'eccellenza nel settore della scienza del patrimonio. Lo scopo è fondare un'unica infrastruttura di ricerca, con strutture distribuite in

tutta Europa che offrano accesso a strumenti di alto livello scientifico, metodologie all'avanguardia e dati. Tutto allo scopo di promuovere la conoscenza e l'innovazione scientifica e tecnologica per lo studio e la conservazione del patrimonio, ed elaborare metodologie e strumenti innovativi per la sua conservazione. E-RIHS unisce studiosi e professionisti delle scienze umane e naturali e promuove una cultura trans-disciplinare di scambio e di cooperazione. L'integrazione delle strutture europee a livello mondiale è un altro degli obiettivi di E-RIHS per creare un'entità coesa e riconoscibile che possa giocare un ruolo chiave di raccordo, di servizio e di leadership nella comunità globale della scienza per il patrimonio. Nei prossimi anni, tutte le comunità nazionali coinvolte potranno adoperarsi per soddisfare le condizioni necessarie per stabilire E-RIHS sotto la forma legale prefe-



renziale di un *European Research Infrastructur Consortium* (ERIC)⁶. Parallelamente, si apriranno collaborazioni e negoziati con le comunità extraeuropee interessate per arrivare alla definizione di un adeguato contenitore giuridico per la creazione dell'infrastruttura globale per la scienza del patrimonio, aperta alla partecipazione dei migliori centri di ricerca in tutto il mondo.

E-RIHS mette a disposizione degli scienziati del patrimonio strumenti scientifici e competenze all'avanguardia attraverso quattro piattaforme di accesso integrate:

- ARCHLAB: accesso alle conoscenze specialistiche e informazioni scientifiche – tra cui immagini tecniche, dati analitici e documentazione – organizzate in *dataset* e in gran parte inedite, contenute negli archivi di prestigiosi musei, gallerie e istituti di ricerca europei.
- MOLAB: accesso a strumentazione analitica portatile per misure non invasive su oggetti del patrimonio mobile difficilmente o assolutamente non misurabili in laboratorio, siti archeologici e monumenti storici. Il MOLAB permette agli utenti di implementare complessi progetti di diagnosi che coinvolgono numerose tecniche complementari, permettendo indagini *in situ* di grande efficacia.
- FIXLAB: accesso alle grandi infrastrutture di ricerca (sincrotroni, sorgenti di neutroni, acceleratori) con specifica esperienza di diagnostica del patrimonio, per sofisticate indagini scientifiche su campioni o – ove possibile – interi oggetti, rivelando la loro microstruttura e composizione, dando informazioni essenziali alla comprensione delle antiche tecnologie di realizzazione, come i materiali e

le specie, le loro cronologie, alterazioni e fenomeni di degrado.

- DIGILAB: accesso ad archivi digitali di dati scientifici sul patrimonio: risultati delle analisi scientifiche, biblioteche digitali specializzate, collezioni di campioni di riferimento, e altro ancora.

E-RIHS offre un supporto senza precedenti a eccellenti progetti di ricerca accademici e di imprese innovative. È stato progettato per consentire ai ricercatori di condurre esemplari studi scientifici sul patrimonio: tecniche analitiche complementari e non invasive per ridurre al minimo il campionamento (MOLAB), seguite da caratterizzazioni più approfondite (FIXLAB), in combinazione con la consultazione di dati comparativi da un gran numero di studi precedenti (ARCHLAB), e con l'accesso diretto a informazioni sull'oggetto disponibili in archivi di dati e biblioteche digitali (DIGILAB). I bandi di gara *peer-reviewed* per i servizi di accesso sono aperti con cadenza semestrale. I progetti di ricerca possono così beneficiare della disponibilità di una vasta gamma di metodi e strumentazioni, e gli utenti sono incoraggiati a fare domande per accessi multipli a diverse piattaforme, a sostegno della complessa ricerca multidisciplinare sviluppata dalla scienza per il patrimonio.

E-RIHS nasce come un'infrastruttura distribuita paneuropea oggi sostenuta da 15 Stati membri UE più Israele – potenziali fondatori del consorzio E-RIHS – e partecipata da altri Paesi dell'UE e Paesi terzi associati, il cui numero è in continuo aumento. E-RIHS ha una struttura a stella con *Central Hub* e sede amministrativa a Firenze e *National Hubs* distribuiti tra i Paesi aderenti – organizzati in un ulteriore livello di *Hub*

regionali in Paesi di grandi dimensioni. E-RIHS integra conoscenze specializzate, *facilities* fisse e mobili, archivi e librerie digitali e altre strutture nazionali di eccellenza.

Mantenere la leadership che l'Unione Europea detiene in questo settore di ricerca, fino ad oggi sostenuta in modo assai discontinuo da un insieme non coordinato di misure nazionali e comunitarie, richiede uno sforzo congiunto e risolutivo.

La proposta di fondare una *Global Research Infrastructure* (GRI) a partire dal partenariato europeo di E-RIHS fu avanzata dall'Italia al *Group of Senior Officials* (GSO) nel 2014. Un'iniziativa coordinata a livello internazionale sarà portata avanti in parallelo con la fase preparatoria di E-RIHS per la progressiva connessione delle strutture operanti al di fuori dell'UE, fino al raggiungimento dello status di un'infrastruttura di ricerca distribuita globale, di cui E-RIHS potrebbe essere il partner principale. L'organizzazione intergovernativa ICCROM (International centre for the study of preservation and restoration of cultural property) sostiene l'iniziativa e si è impegnata a collaborare alla realizzazione del futuro soggetto giuridico dell'infrastruttura globale.

Infine, E-RIHS sta lavorando in stretta collaborazione, all'interno del progetto cluster PARTHENOS⁷ con l'Infrastruttura di ricerca europea digitale per le arti e le scienze umane, DARIAH ERIC⁸, su tutti gli aspetti riguardanti l'uso e la conservazione dei dati digitali sul patrimonio.

La frammentazione, la duplicazione degli sforzi, l'isolamento di piccoli gruppi di ricerca mettono a rischio il margine competitivo che la ricerca europea del patrimonio detiene, la cui nascita è stata favorita in passato dal suo patrimonio cultu-

rale unico. La tradizione di lungo termine di questo campo di ricerca e la capacità di coniugare l'innovazione e l'integrazione rappresentano il background di E-RIHS. E-RIHS promuove la cooperazione tra università, centri di ricerca, centri di conservazione, musei e istituzioni culturali. L'importanza per la *social innovation* della scienza del patrimonio è oggi evidente, anche se l'esatta valutazione del suo impatto economico – assolutamente rilevante, ma con riflessi importanti e imprevedibili nel lungo o lunghissimo termine – è ancora un problema di difficile soluzione. La comunità di ricerca europea ha raggiunto la maturità necessaria, attraverso la serie di progetti di successo sopra citati, per fare il salto verso un'infrastruttura di ricerca permanente che promette di avere un forte impatto sulla società e l'economia.

Oltre a servizi di accesso e importanti azioni di networking, E-RIHS promuoverà ad alto livello la formazione, la diffusione, la comunicazione e il trasferimento di conoscenze/tecnologie finalizzate alla salvaguardia del patrimonio, con particolare attenzione per la competitività e la crescita delle Piccole e Medie Impre-

se e per l'innovazione sociale e culturale. Per una più efficace diffusione dei risultati delle attività di ricerca e promozione delle capacità dei servizi di accesso, E-RIHS implementerà una politica di comunicazione di altro impatto coinvolgendo *stakeholder* globali e comunità locali.

ERIHS.it, nodo italiano di E-RIHS, rappresenta un'estensione della precedente *Italian Research Infrastructure for conservation and analysis of Cultural Heritage* (IRICH), coordinata dal Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, già presente nella Roadmap Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca 2010 delle infrastrutture di ricerca italiane di interesse pan-europeo.

ERIHS.it è, dal 2013, un progetto finanziato dal Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca e attuato dal CNR-Dipartimento Scienze Umane e Sociali, Patrimonio Culturale, con la partecipazione di enti e istituzioni del MIUR e di altri due Ministeri: Ministero dello Sviluppo Economico e Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo. Per guidare efficacemente la costruzione del nodo italiano di ERIHS.it, il CNR sta costituendo una rete distribuita nazionale assie-

me ad ENEA e INFN, con l'obiettivo di raccordare sul territorio le università e tutti gli attori locali dei tre ministeri coinvolti. La rete conta al momento undici nodi regionali e macro-regionali.

La fase preparatoria di E-RIHS, supportata dal progetto E-RIHS PP recentemente approvato, avrà inizio nel gennaio 2017 e avrà una durata di tre anni (2017-2019). Nel corso del progetto saranno discussi e approvati importanti assetti di E-RIHS quali la *governance*, il piano economico, i regolamenti e la logistica. Alla fine del 2018 avremo un *business plan* completo per richiedere alla Commissione Europea l'attivazione di E-RIHS in forma di consorzio europeo infrastruttura di ricerca (ERIC). Il 2019 sarà dedicato ai negoziati con tutte le parti interessate, e con i potenziali nuovi partner, basato sugli strumenti concordati. Dopo una fase ulteriore di pianificazione, si prospetta l'avvio formale delle attività dell'ERIC nel 2021, con l'inizio della fase di implementazione dell'infrastruttura a livello europeo e globale.

*Per saperne di più:
luca.pezzati@cnr.it*

¹ www.esfri.eu

² www.e-rihs.eu

³ www.ariadne-infrastructure.eu

⁴ www.cenieh.es

⁵ www.iperionch.eu

⁶ <http://bookshop.europa.eu/en/eric-practical-guidelines-pbKl0114480/>

⁷ www.parthenos-project.eu

⁸ www.dariah.eu



The minaret in Jam, in Afghanistan

Structural analysis of historic constructions: Some notable examples

The preservation of historic constructions passes through the analysis of the actions that can affect the structure and a suitable structural modeling. This is based on the knowledge of the geometrical and mechanical characteristics, also with reference to foundations and soil. Past experiences are good lessons for future studies

DOI 10.12910/EAI2016-066

by **Farhad Ansari**, *University of Illinois at Chicago*,
Giovanni Bongiovanni, **Giacomo Buffarini**, **Paolo Clemente**, **Guido Martini**, **Fernando Saitta**
and **Sandro Serafini**, *ENEA*

The preservation of architectural heritage is a delicate task, especially for structures exposed to relevant seismic risk, and requires a balance between the structural safety needs and the respect for the architectural and cultural values. Most of the historical and architectural heritage is made of ancient masonry constructions, characterized by a wide range of uncertainties and high seismic vulnerability.

The first step in the structural analysis is the evaluation of actions that can affect the construction. The correct and complete description of the seismic input for structural design at a given site is given by the acceleration components along three orthogonal axes, recorded on-site during a suitable number of real events or selected in world-wide accelerometric databases. In practical applications, when using linear analysis, the horizontal and vertical on-site response spectra can be used to determine the maximum seismic effects on structures.

The second step refers to the structural modeling, which requires a good knowledge of the geometrical and mechanical characteristics (De Stefano et al., 2016). The elastic and inelastic ranges influence the value of the behavior factor assumed in the analysis, which is a measure of the inelastic capacity of the building, i.e., its capacity to dissipate energy. Often the analysis is quite hard because of the little knowledge of the geometry of the structures and their materials, especially with reference to the foundations and soil characteristics, but often also to the elevation structure. As a matter of fact, the visible elements and materials do not correspond to the effective ones, so detailed analyses are fundamental

and should be done preferably using non-destructive testing (De Stefano & Clemente, 2009). Among these, the experimental dynamic analysis represents a suitable tool for dynamic characterization and a first diagnosis (Clemente & Buffarini, 2009), and traffic-induced vibrations represent a suitable free source of excitation.

With reference to the interventions, it is well known that traditional techniques, based on the increase in strength and ductility, are not suitable for the seismic rehabilitation of cultural heritage structures. For these, using new technologies is advisable: seismic isolation, for example, is based on a terrific reduction of the seismic actions affecting the structure, instead of relying on its strength. In the following, some relevant cases in the field of structural analysis and preservation of cultural heritage structures are shown. Different structural types are considered: towers, monuments, bridges, religious and historic buildings. For each of them a different structural aspect is analysed.

Stability of a masonry tower

The leaning Minaret of Jam, one of the tallest in the world, was declared as the Afghanistan's first World Heritage Site by UNESCO in 2002. The global stability analysis of the tower against soil collapse was evaluated in its present configuration, in the hypothesis of increasing bending moment at the base section, assuming an elastic-perfect plastic behaviour for the soil. Then a finite element model was set up and used for the modal analysis and then for the seismic push-over analysis, based on both single and multi-modal approaches, assuming an elastic-perfect plastic behaviour in compres-

sion and no tension strength for the masonry.

The study showed that Minaret is stable under dead loads. However, the stability check is very sensitive to soil properties, which should be investigated in more detail, as well as the foundation depth. If the soil strength would be lower than the assumed value, a wide portion of the soil under foundation could be yielded. This implies that the structure could be closer to the collapse point than it appears.

The seismic check based on rigid tower modelling and deformable soil showed that the maximum acceleration value requested to reach the soil collapse is much lower than the spectral amplitude on site coming from seismic hazard assessment of the area, demonstrating the high vulnerability of the Minaret. Obviously, also the possible seismic loads are very sensitive to soil characteristics, which can significantly modify the amplitude and frequency of local likely expected ground-motion.

The push-over analysis, also based on a multi-mode approach and for two values of masonry strength, allowed to take into account the mass distribution along the height and the "weight" of each mode. The pseudo-acceleration spectra and the modal analysis highlight the major spectral amplitude of the second mode with respect to the first. The non-linear analysis shows that, depending on the soil-masonry strength ratio, the failure under seismic loads can occur for soil collapse or the collapse of the masonry in the top part can happen before.

Traffic-induced vibrations in a monumental structure

The Colosseum is the largest amphithe-

theater ever built (Fig. 1). Concentric annular walls connected by a series of radial walls and vaults compose the structure. The outer wall is 48 m high and is composed of travertine blocks, originally connected by iron pins and cramps without mortar. The foundation consists of an elliptical ring, approximately 13 m thick, composed by a paving of about 1 m and two concrete layers with different characteristics, of about 6 m each.

The structure suffered extensive damage over the centuries, with collapses due to earthquakes, especially those having epicenter in the Abruzzo's Apennine. Important structural interventions were made in the 19th century, such as on the buttresses that support the remaining part of

the external wall at the eastern side, designed by Stern, and that on the western-end wall, designed by Valadier.

In 1955, the first underground line in Rome, now called line B, was completed. It passes very close to the Colosseum and the extrados of the pipe is just below the present pavement. Furthermore, on the north side a new underground, the line C, is under construction.

The Colosseum was one of the monuments in Rome investigated by ENEA in the mid-'80s. The structure was instrumented to study the effects of the traffic-induced vibrations at different times of the day, as well as the vibrations from the near underground, and to determine its dynamic characteristics. The results

allowed to point out the vibration amplitudes at different locations in the monuments as well as some of its resonance frequencies. More recently, in 2014, another experimental campaign was carried out, which interested the northern wall and also the hypogeum. The results pointed out some interesting features of the foundations.

Thermally-induced cracks in masonry arches

The Brooklyn Bridge in New York City is the only long-span suspension bridge of its kind that was built in the nineteenth century and is still in service. It took 14 years to construct the bridge, finally opened to the public in 1883. At the time the



Fig. 1 The Colosseum, in Rome

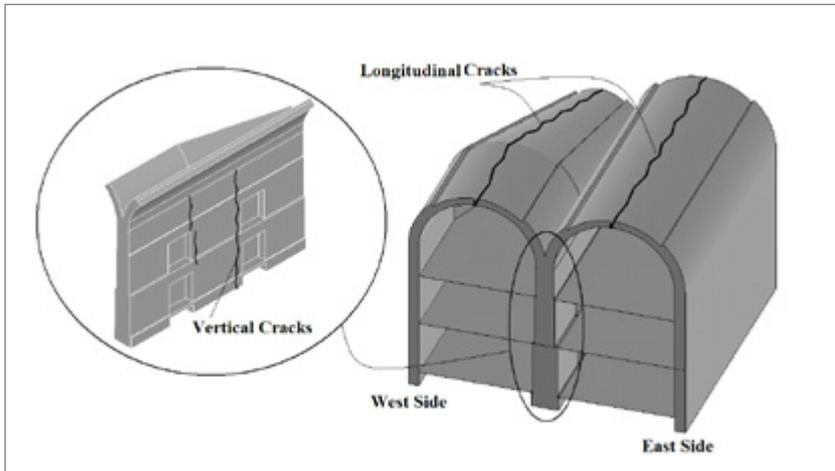


Fig. 2 Longitudinal cracks in the vaults and the supporting wall of the Brooklyn Bridge approach structures

Source: University of Illinois

bridge was constructed, the caissons used in the construction of the towers, the hybrid suspension/cable-stay system, and the air spinning of the suspension cables were innovative in size and method. Its span was also twice longer than any other previously built suspension bridge in the world (Talebinejad et al., 2011). A routine investigation of the approach structures that consist of masonry double vaults with span lengths of 10 and 10.5 m revealed large crown cracks covering the entire lengths of these cylindrical vaults (Fig. 2).

The cracks were large, with a nominal width of 1.5 to 2 cm. It seemed that these cracks took many years in making. From the structural point of view, crown cracks in arches are generally developed due to support movements. The question was why the cracks had occurred in these vaults, since the near surface bedrock on the Manhattan side of the bridge provided a very rigid foundation for the vaults. Subsequently, a structural health monitoring approach based on fibre optic Bragg Grating (FBG) sensors was employed in order to

investigate the problem (Ansari, 2007). The FBG sensors consisted of tilt meters, displacement, crack, and temperature sensors. The tilt meters were placed along the height of the wall supporting the two vaults in order to detect the wall movements. The crack and displacement sensors were used along the length of the vault cracks for monitoring the crack movements. Temperature sensors were placed next to the other sensors. The structure was remotely monitored over a period of 12 months. While the structure did not indicate any significant daily and or weekly movements, the results of the investigation revealed that the over the twelve months period of study, the wall and vault crack movements were in direct correlation with the seasonal changes in temperature, i.e. winter through summer. The long-term monitoring results depicting the crack opening displacements and the thermal variations are shown in Fig. 3. It was concluded that the vaults had gone through thermal cyclic fatigue since the time of their construction in 1883, result-

ing in gradual growth. The vaults were consequently repaired.

Experimental vibration analysis of a religious building

Orvieto's Cathedral is a Gothic-Romanesque style church, built between 1290 and 1320. The very famous façade is a mix of marble and mosaics. The 59 m long nave is covered by a wooden truss roof, supported by masonry walls. Each wall is supported by six arches stemming from circular masonry pillars, which separate the nave from each aisle. The Duomo was interested by the 1997 Umbria-Marche seismic crisis. Three main shocks were recorded on September 26th, the first at 2:33 a.m. (Italian time, $M_I=5.5$), the other two at 11:40 ($M_I=5.8$) and 11:46 a.m. ($M_I=4.7$), respectively, with epicentral area about 70 km far from Orvieto. The first shocks caused the opening of cracks in the structure. ENEA was involved in the experimental analysis of the structural behaviour, in order to evaluate the health status and locate any damage. The structures of the Corporale's Chapel were particularly studied.

The structure showed a good performance both during ambient vibration and forced tests. The velocity amplitudes due to ambient vibrations were very low if compared to that obtained in other cases or suggested as allowable ones. The analysis of the recorded data relative to ambient vibration tests allowed to identify the resonance frequencies of the structure. The behaviour of the vaults was also analyzed by means of forced vibrations. The main structure of the nave showed a good performance, even though there was no rigid connection between the longitudinal walls. Horizontal constrains between the

wooden roof and the masonry walls are missing. Several structural resonance frequencies related to different modal shapes were identified.

Forced tests of the vaults showed resonance frequencies slightly different from those pointed out by ambient vibration tests. More significant differences were observed in the records obtained on the vaults of the choir and on that of the transept during earthquakes, probably due to the mechanical non-linearity of ma-

catates the famous arch in Ctesiphon and the building's brick-works recall the Persian tradition of brick constructions. At the present time, the Museum building is part of the historical and cultural heritage of the city of Tehran and contains lots of rests of Persepolis.

The seismic vulnerability of the Museum in its present state was analysed by means of a simplified procedure, which allowed to evalu-

aiming at its seismic rehabilitation (Clemente et al., 2009).

The retrofitting strategy was organized in two steps. The first one consisted in improving the seismic performance of the structure using traditional systems; the second one in designing a suitable base isolation system. The traditional works proposed, i.e. the placement of steel bracing systems in the courtyards and the realization of rigid horizontal diaphragms, should guarantee a good seismic performance respecting the architectural and functional requirements.

Obviously, the consolidated building presents a higher seismic resistance, which was evaluated accounting for the dynamic behaviour of an isolated building. The analysis was carried out by using a finite element model, taking into account the combination rule for the seismic actions and the torsional effects due to variable loads. The value of the spectral amplitude, which causes the onset of damage to the structure, resulted to be equal to $S_{ei} = 0.15g$. This value has been used as limit value for the check of the superstructure in its ultimate limit state.

For the insertion of the isolation devices two beam systems were designed at the foundation level, one placed directly by the soil, the other just under the masonry. The isolation devices were accommodated between them. The proposed isolation system was composed of 100 lead elastomeric isolators and 247 sliders, deployed in order to optimize the dynamic behaviour of the structure. The fundamental period of the isolated structure was $T_{is} = 2.40 s$, the damping factor was 25% and the maximum seismic displacement was $d_e = 400 mm$.

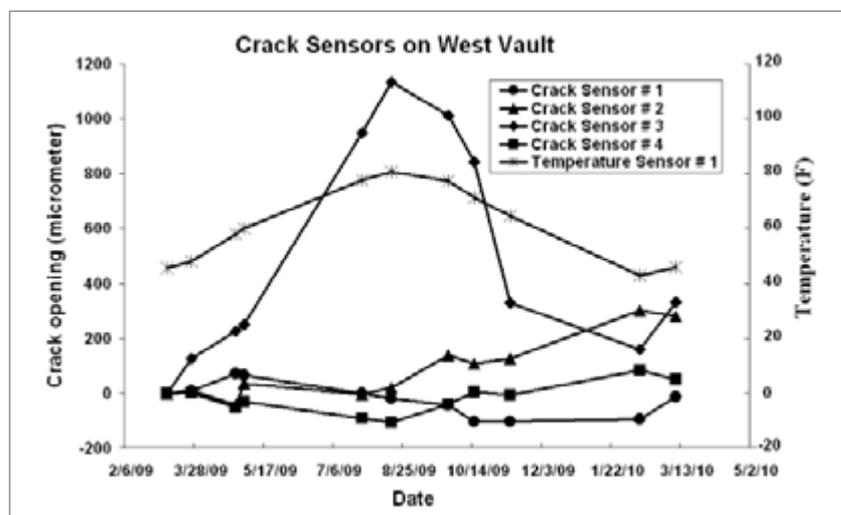


Fig. 3 The crack temperature and sensor readings, west vault
Source: University of Illinois

sonry. The presence of some cracks in the vaults also played an important role.

Application of seismic isolation to a historic building

The Iran Bastan Museum, designed by André Godard and completed in 1936, was conceived as a modern building with a traditional façade inspired by the pre-Islamic architecture of the Sasanian period. The large main entrance archway repli-

ate a seismic vulnerability index. This index was then used to estimate the peak ground acceleration values $a_{gi} = 0.024g$ and $a_{gc} = 0.240g$, corresponding to the onset of damage and to the collapse, respectively. These values are much lower than the maximum peak ground acceleration expected at the Museum site, equal to $a_g = 0.5g$ for an exceedance probability of 10% in 50 years. So the building presents a very high seismic vulnerability, which calls for urgent and comprehensive remedial works,

REFERENCES

- Ansari F. (2007). " Practical Implementation of Optical Fiber Sensors in Civil Structural Health Monitoring", *J. of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 18, No. 8, 879-889
- Clemente P., Buffarini G. (2009). "Dynamic response of buildings of the cultural heritage". In Boller C., Chang F.K., Fujino Y. (eds), *Encyclopedia of Structural Health Monitoring*, 2243-2252, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK
- Clemente P., Santini A., Ashtiany M.G. (2009). "The proposed isolation system for the Iran Bastan Museum". In Mazzolani F.M. (ed), *Protection of Historical Buildings*, Vol. 1, 575-682, Taylor & Francis Group, London
- De Stefano A., Clemente P. (2009). "Structural health monitoring of historic buildings". In Karbhari V.M. & Ansari F. (eds) *Structural Health Monitoring of Civil Infrastructure Systems*, Cap. 13, 412-434, Woodhead Publishing Ltd.
- De Stefano A., Matta E., Clemente P. (2016). "Structural health monitoring of historical heritage in Italy: some relevant experiences". *J. of Civil Structural Health Monitoring*, 6(1), 83-106, Springer
- Talebinejad, I., Fischer, C., Ansari, F. (2011). "A hybrid approach for safety assessment of the double span masonry vaults of the Brooklyn Bridge". *J. of Civil Structural Health Monitoring*, Vol. 1, No. 1-2, 3-15

Marco Bussagli

Accademia di Belle Arti di Roma



Cecilia Frosinini

*Opificio delle Pietre Dure di
Firenze*

.....
Punto & Contropunto è mediata da una tradizione anglosassone. In molte riviste, ma anche in testi divulgativi, si mettono a confronto sullo stesso argomento le opinioni di personalità provenienti da approcci empirici e culturali differenti. Anche la nostra rivista intende proporre questa modalità
.....

In quale misura secondo lei l'attuale ampia offerta di tecnologie utilizzabili per caratterizzazione di Beni Culturali ne modifica le possibilità di conservazione? I beni culturali ne avranno un sicuro vantaggio o potrebbero soffrire di un eccesso di restauro?

B: Per la mia personale esperienza – per altro maturata proprio con l'ENEA che ha realizzato, in occasione di due mostre da me curate (“Il '400 a Roma” e “Il Rinascimento a Roma”), la scansione col laser con l'RGB-ITR, inventato da Giorgio Fornetti e dal suo staff, di monumenti importantissimi come la Cappella Carafa e la Cappella Sistina – l'ampia offerta delle attuali tecnologie permette un'acquisizione duratura del bene. In questo modo, si potrà avere a disposizione una matrice 1:1 in grado di permettere addirittura la sua riproduzione (non sostituzione, se non nel malaugurato caso della distruzione dell'originale). Al di là di questo impiego, per così dire estremo però, i dati acquisiti consentiranno di migliorare enormemente le conoscenze dell'opera, con la possibilità di memorizzarle con modalità immediatamente fruibili. I vantaggi per i beni culturali sono indubbi e tali da consentire uno studio accurato del bene sull'immagine virtuale, altrimenti impossibile se non sull'originale.

F: Come in ogni campo dell'attività umana, lo sviluppo tecnologico, di per sé, può essere solo foriero di miglioramenti. Così è per la medicina, per i trasporti, per la vita quotidiana nei suoi molteplici aspetti (da quello della gestione della casa a quello del semplice divertimento), per la comunicazione ecc. Avere paura degli sviluppi tecnologici è solo un atteggiamento psicologico destinato ad essere superato in breve, anche per il palese miglioramento che questi apportano alla nostra quotidianità. Non diversa è la situazione nel campo dei beni culturali: il progresso in termini di benefici è sotto gli occhi di tutti coloro che lavorano nel settore. La possibilità di conoscere le tecniche di esecuzione delle opere d'arte, i meccanismi del degrado e, d'altra parte, la possibilità di sviluppare nuovi materiali, sono tutti fattori che assicurano la possibilità di avviare qualsiasi decisione con un bagaglio di informazioni maggiore e, soprattutto, di tipo oggettivo, misurabile nell'immediato e monitorabile nel tempo.

Naturalmente, come in tutti i settori sopra menzionati, anche nel campo dei beni culturali il pericolo di fidarsi esclusivamente di questi sviluppi tecnologici e di innamorarsi acriticamente delle loro potenzialità è sempre un fattore di rischio da tenere in considerazione. Come assistiamo a eccessi tecnologici che possono aggravare gli equilibri

ecologici del nostro sistema, o come deploriamo accanimenti terapeutici in medicina e vere e proprie dipendenze dalla tecnologia applicata alla comunicazione interpersonale o agli aspetti ludici della vita, così dobbiamo porre attenzione a evitare che la tecnologia per i beni culturali diventi l'unico o il prevalente criterio di giudizio durante il processo decisionale della conservazione.

È favorevole o contrario ad una digitalizzazione intensiva di beni culturali per scopi di conservazione, in appositi archivi informatici, eventualmente con accesso riservato ai detentori dei beni culturali?

B: Sono assolutamente favorevole a un processo di digitalizzazione intensivo dei beni culturali; ma mi permetto di fare due osservazioni. Vorrei precisare che lo scopo non dovrebbe essere solo quello relativo alla conservazione e che l'accesso non dovrebbe essere riservato solo ai detentori dei beni culturali. Mi spiego meglio. La digitalizzazione dei beni culturali, soprattutto se realizzata con uno strumento straordinario come l'RGB-ITR, permette delle possibilità di studio altrimenti inimmaginabili. Al di là delle capacità già rese possibili dall'apparecchio, come quella di leggere il tessuto pittorico agli ultravioletti con una semplice variazione di parametro, la macchina può essere implementata con altri strumenti. Per questo, il materiale digitale dovrebbe essere aperto agli studiosi per la creazione di banche dati condivise.

F: Favorevole: tutto quello che contribuisce a creare un archivio relativo alla determinazione di un "punto zero" conservativo dell'opera d'arte, oggettivo, misurato e verificabile, cui poter fare riferimento per ogni controllo e monitoraggio nel tempo, sia sistematico che relativo ad una occasione specifica (evento traumatico, spostamento, concessione di prestito, incidente ambientale), non solo è da considerarsi utile, ma dovrebbe diventare una necessità della corretta conservazione preventiva. Per archivio informatico vorrei precisare che intendo un database interattivo, cui il conservatore possa accedere non solo in via di consultazione ma anche per inserire nuove osservazioni

e dati; e che contenga una o più immagini ad alta risoluzione, su cui localizzare e referenziare anche dati diagnostici di varia natura.

Avendo acquisito modelli digitali accurati di beni culturali, è favorevole o contrario alla loro fruizione virtuale a livello di studio, tenendo conto che con i sistemi informatici disponibili è possibile collegare al modello una grande mole di dati?

B: Ho anticipato la mia risposta positiva nella risposta alla domanda precedente. La fruizione virtuale a livello di studio va considerata un arricchimento straordinario che permette un'analisi accurata dell'opera e l'interconnessione fra centri di ricerca distanti fra loro favorisce lo scambio di opinioni e di proposte. Un aspetto, però, va precisato: non si pensi che tutto questo possa sostituire l'indagine diretta dell'originale.

F: Sono favorevole, in linea di principio. Credo che una fruizione allargata di questi archivi possa contribuire anche alla crescita di una coscienza relativa alla conservazione nel mondo accademico, spesso interessato solo a dati conoscitivi in senso lato. Ritengo anche che per motivi legati alla concessione dei diritti di immagine e alla riservatezza di alcuni tipi di dati, regolati per legge e diversificati a seconda del tipo di proprietà di essi, un database di questo tipo debba essere dotato di livelli di accesso differenziati.

Avendo acquisito modelli digitali accurati di beni culturali, è favorevole o contrario alla loro fruizione virtuale per scopi turistici (visite remote o in realtà aumentata), in ricostruzioni per spettacoli, o per promuoverne la conoscenza in rete?

B: Una delle possibili applicazioni legate all'impiego di un'apparecchiatura come l'RGB-ITR, può essere proprio quella dello 'sfruttamento' dell'immagine digitale per scopi pubblicitari, turistici e di tipo commerciale in genere. Personalmente, mi sono adoperato per la realizzazione di un programma di tipo editoriale che coinvolgeva l'ENEA,



il Ministero dei Beni Culturali, e case editrici di livello come la Mondadori e la De Agostini che non sono, purtroppo, andate a buon fine per le difficoltà burocratiche messe in campo dal Ministero stesso.

F: Sono favorevole, sempre fatti salvi i livelli di accesso di cui parlavo sopra, riservando la scelta delle informazioni da condividere agli organismi della tutela e agli enti proprietari. Certamente un database costruito su modelli digitali accurati potrebbe essere molto utile per la fruizione in remoto di beni archeologici, spesso scarsamente protetti o addirittura chiusi al pubblico; per la ricostruzione dell'assetto originario di edifici da cui i beni mobili sono stati rimossi per criteri di sicurezza, ecc. Nulla osta, na-

turalmente, al loro utilizzo anche per spettacoli o eventi effimeri. La creazione di un grande archivio digitale può essere utile, quindi, anche alla conservazione del bene, che a certi livelli non necessita di essere fruito o utilizzato direttamente, risparmiandone quindi la vita materiale.

Trova corretto l'approccio di utilizzare le tecnologie più innovative per il restauro con lo scopo di contrastare i primi segnali di degrado che appaiono su un'opera? In altri termini, per uno storico dell'arte è corretto che si tenda a qualsiasi costo a rendere fruibile un'opera nella sua (presunta) forma "originaria" che la tecnologia ci può permettere di riportare alla luce cancellando i segni del tempo?

B: L'impiego dell'RGB-ITR era stato da chi scrive proposto all'allora Dicastero per i beni culturali della Chiesa che aveva trovato l'interesse del Prof. Francesco Buranelli, a quel tempo Segretario del suddetto. Un'azione più decisa avrebbe permesso di sfruttare un'apparecchiatura del genere come mezzo per monitorare periodicamente lo stato di conservazione dell'opera stessa, senza il dispendio degli attuali costi. Voglio ricordare che l'RGB-ITR non ha bisogno né d'impalcature né di parchi lampade per produrre immagini efficaci ad altissima definizione. Per quanto riguarda la seconda parte della domanda, si sa bene che un'idea della forma originaria del bene può essere recuperata solo parzialmente. La teoria del restauro messa a punto da Cesare Brandi, ormai alla metà del XX secolo, ha messo a punto tutti i dispositivi per evitare "il falso". Negli stessi termini, va inteso l'uso delle tecniche digitali e quelle della cosiddetta realtà aumentata.

F. Non sono d'accordo circa un approccio troppo meccanicistico alla valutazione del degrado delle opere d'arte e a far discendere da esso la scelta se restaurarle o meno.

Il restauro, comunque, non è un'azione scevra da effetti negativi sull'opera ed è necessaria una valutazione critica circa i costi-benefici dell'intraprendere un intervento, che consideri i tempi che sono intercorsi dall'ultimo restauro, i materiali che sono stati utilizzati, la loro stabilità nel tempo e il risultato che si vuole raggiungere. Nell'utilizzare la tecnologia digitale per rilevare i primi segni di degrado, la domanda da porsi è cosa un sistema automatico intenda per "degrado", quali siano i parametri che rileva come "critici", se tali segnalazioni non siano piuttosto da considerare un elemento di monitoraggio invece che un campanello di allarme. Dal punto di vista umanistico, l'atto della conservazione implica il mantenimento in vita dell'opera d'arte, la trasmissione dei suoi valori materiali e immateriali, ma non il ripristino di un presupposto stato originario, non ottenibile in alcun modo, sia per ragioni chimico-fisiche (irreversibile invecchiamento dei materiali) sia per ragioni storiche (mutate condizioni culturali e sociali di fruizione). Non si confonda l'operazione di restauro con il mito faustiano dell'eterna giovinezza!

Considerazioni sull'impatto socio-economico della protonterapia

Utilizzo di un indicatore aggregato costo-utilità nella valutazione di investimento in impianti di radioterapia e protonterapia per la cura di malattie oncologiche

DOI 10.12910/EAI2016-067

di **Marco Rao e Monia Vadrucci**, ENEA

Questo articolo propone alcune valutazioni utili al decisore pubblico in merito alla comparazione di scelte di investimento in impianti di protonterapia e radioterapia nella cura di patologie oncologiche. In particolare, si utilizza un indicatore aggregato di costo-utilità, basato sul medesimo tipo di analisi operato per la scelta di trattamenti alternativi nella cura di neoplasie e su alcuni dati di letteratura sui tipici costi di costruzione ed operativi dei suddetti impianti.

La radioterapia basata sull'uso di protoni, o protonterapia, rappresenta una delle più promettenti metodologie di cura per una vasta gamma di

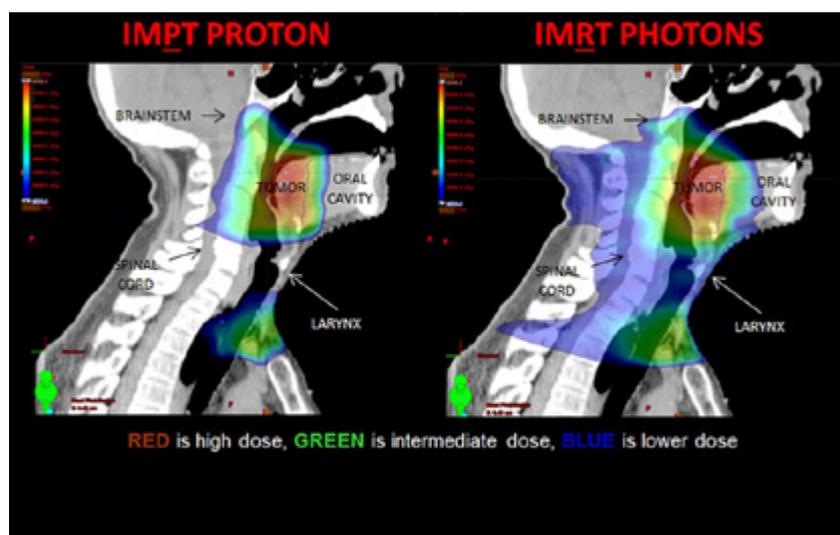


Fig. 1 Confronto tra tessuti irradiati con protonterapia (sinistra) e con radioterapia a fascio esterno a raggi X (destra)

neoplasie, sia in termini di sopravvivenza che di qualità della vita per i pazienti (Trofimov, Nguyen, Coen, Doppke, Schneider, & Adams, 2007): tale tecnica è spesso più efficace (in alcuni casi è l'unica alternativa) e meno invasiva della chirurgia quando si deve intervenire in zone prossime ad organi vitali o così importanti da creare, se rimosse, un'invalidità inaccettabile per il paziente. Il grande vantaggio dell'uso di protoni rispetto alle radiazioni convenzionalmente utilizzate (gli elettroni o i raggi X), è dovuto alla loro superiore selettività: i protoni, per via della loro migliore "capacità balistica", riescono a colpire con grande precisione la zona da trattare, risparmiando al contempo i tessuti sani circostanti.

	Protoni	Fotoni
Costi di costruzione (€)	62.500	16.800
Costi operativi (€)	15.300	6.400
Costi di trattamento su 30 anni (€/prs)	792	605
Utilità del trattamento su 30 anni (€/prs)	25	30

Tab. 1 Principali parametri di costo-utilità dell'analisi

La Figura 1 fornisce un'evidenza visiva immediata delle differenze nella quantità di tessuti sani risparmiati con il trattamento basato su protoni rispetto a quello basato su fotoni.

Tra i tumori trattabili ricordiamo:

- cordomi e condrosarcomi
- meningiomi atipici, e meningiomi maligni e recidivanti
- melanoma uveale

- sarcomi del tessuto osseo
- sarcomi dei tessuti molli retro peritoneali.
- tumori delle ghiandole salivari tumori pediatrici
- tumori della regione testa-collo
- carcinomi dei seni paranasali, carcinoma adenoideo cistico, alcuni selezionati tumori del rinofaringe, sarcomi dell'osso e dei tessuti molli attualmente oggetto di studio.



I centri di protonterapia presenti in Italia sono: il Centro di Adroterapia Oculare di Catania (Càtana, realizzato sfruttando un ciclotrone superconduttore dedicato alla fisica nucleare), il Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica a Pavia (Fondazione CNAO, che opera con un sincrotrone appositamente progettato), e più recentemente è stato avviato anche il Centro di Protonterapia di Trento (APSS, che utilizza un ciclotrone commerciale). In corso di realizzazione, vi è inoltre l'impianto relativo al progetto TOP IMPLART.

Il progetto TOP IMPLART, finanziato dalla Regione Lazio, è frutto di una collaborazione fra ENEA e ISS (Istituto Superiore di Sanità). Il nome è l'acronimo di Terapia Oncologica con Protoni - Intensity Modulated Proton Linear Accelerator. Obiettivo del progetto è realizzare il primo impianto di radioterapia oncologica ad intensità modulata e scansione attiva basato su un acceleratore lineare di protoni.

In Italia si contano circa 160.000 pazienti che ogni anno si sottopongono a radioterapia e di questi circa il 10%, affetto da tumori collocati in sedi difficili (prossimi ad organi a rischio), trarrebbe benefici maggiori se trattato con adroterapia. Si stima che il centro di protonterapia basato sull'impianto TOP IMPLART potrà trattare circa 750 pazienti in un anno con tre sale di trattamento.

Il cuore di un centro di protonterapia è costituito dall'impianto che eroga il fascio di protoni e dagli edifici, i locali, adeguati al trattamento con radiazioni ionizzanti di alta energia.

La valutazione tipica è quella di costo-efficacia, o costo-utilità, poiché è la salute umana il fattore principale da considerare. In questo qua-

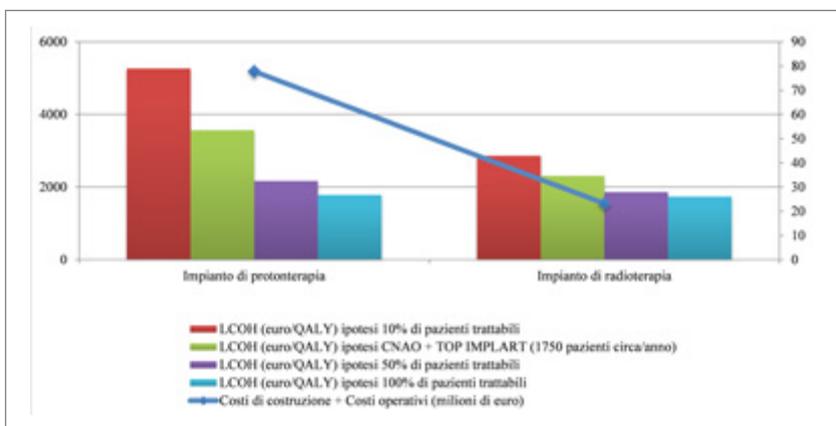


Fig. 2 - Costi ed LCOH di un impianto di protonterapia e uno di radioterapia
Fonte: Goiten e Jermann per costi di costruzione ed operativi, Vadrucchi et al. per analisi costo-utilità

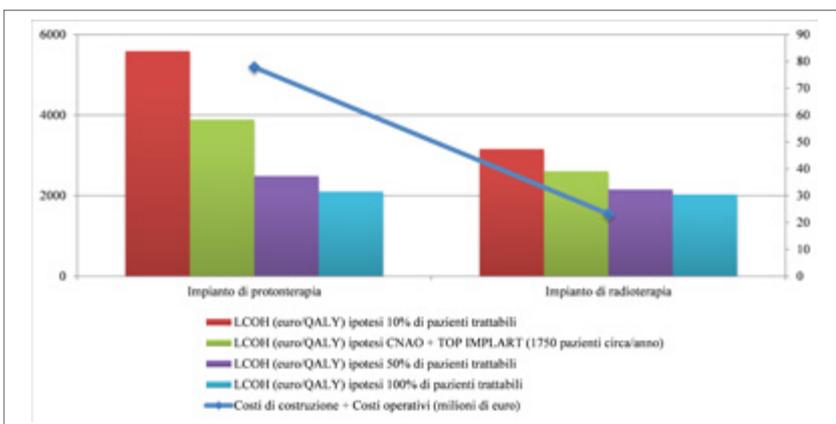


Fig. 3 Costi ed LCOH a confronto, incluso il costo delle cure al paziente, per un impianto di protonterapia e uno di radioterapia
Fonte: Goiten e Jermann per costi di costruzione ed operativi, Vadrucchi et al. per analisi costo-utilità

dro assume particolare rilevanza il concetto di QALY (Quality Adjusted Life Years), che rappresenta un indicatore standard accettato dalla comunità medica per *graduare* il livello di salute umana mediante un indicatore compreso tra 0 (morte) e 1 (perfetta salute), in modo da fornire una traduzione quantitativa dello stato clinico dei pazienti considerati (Weinstein, 2009).

L'indicatore impiegato nel presente studio è ispirato all'indice LCOE (Levelised Cost of Energy o Costo

Livellato dell'Energia)¹ ed è stato denominato LCOH (Levelized Cost of Health): è stato calcolato con i dati di lavori di letteratura inerenti al trattamento di una delle più diffuse neoplasie, in particolare il tumore alla prostata con rischio di secondo tumore radioindotto. Si tratta di una evidente limitazione, essendo gli impianti di protonterapia in grado di trattare un numero ben più elevato di patologie: l'esperimento di analisi qui condotto si propone quindi solo di fornire un primo ordine di valu-

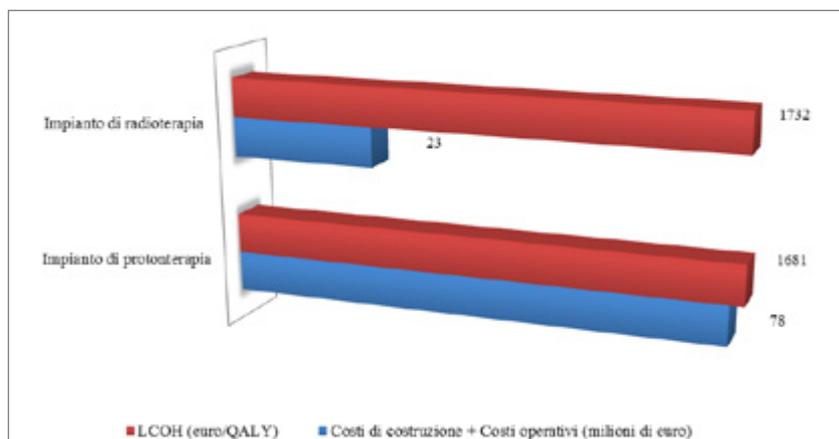


Fig. 4 Costi ed LCOH a confronto per un impianto di protonterapia e uno di radioterapia per il totale dei pazienti trattabili

Fonte: Goitein e Jermann per costi di costruzione ed operativi, Vadrucci et al. per analisi costo-utilità

tazione.

È stato calcolato il numero medio annuo di pazienti considerando separatamente quelli affetti da una lesione vicina ad organi a rischio, in seguito sono stati impiegati i dati di costo e di utilità ricavati sia dalla letteratura sia da precedenti studi di valutazione costo-utilità effettuati dagli autori per calcolare l'indicatore di costo livellato su un orizzonte di 30 anni, presupponendo che gli impianti siano realizzati in un tempo medio di 3 anni.

I parametri di costo di costruzione ed operativi utilizzati per il calcolo derivano dalla letteratura (Goitein & Jermann, 2003) e sono stati integrati con le misure costo-utilità effettuate per un precedente studio qui usato come riferimento (Vadrucci, et al., 2015). La Tabella 1 riporta i dati del calcolo.

L'indicatore utilizzato fornisce² il costo in euro per QALY guadagnato da un paziente che possa essere trattato con terapia a base di protoni o fotoni. In base ai dati dell'Associazione Italiana per la Ricerca sul Cancro sono stati stimati circa 9.800 pazienti l'an-

no da curare per tumore alla prostata nel Centro Italia. Il numero totale di pazienti malati di tumore è diverso dal numero di coloro che sono eleggibili per un trattamento radioterapico o protonterapico quindi i calcoli effettuati mirano solo ad evidenziare il legame tra la particolare misura di costo scelta e il numero di pazienti trattati.

Le metodiche di trattamento considerate sono:

- RT Conformazionale Tridimensionale (3D-conformal radiotherapy, 3D-CRT) selezionata per la sua larga diffusione e le caratteristiche generali di economicità/efficacia;
- Single Field, Uniform Dose (SFUD, T. Lomax AJ (2007), per la protonterapia, in virtù della particolare efficacia stimata nello studio di riferimento.

In Figura 2 viene mostrato il confronto tra i costi e il LCOH di un impianto di protonterapia e uno di radioterapia per una singola patologia osservata su un orizzonte temporale di 30 anni (neoplasia prostata + ri-

schio seconda neoplasia radioindotta), calcolati per frazione di pazienti trattabili sul totale dei malati annui stimati per il centro Italia.

I costi di costruzione sommati ai costi operativi dell'impianto di protonterapia sono circa 2,5 volte superiori rispetto all'impianto di radioterapia. Tuttavia, quando andiamo ad osservare la differenza nel LCOH tra le due tipologie di impianto, osserviamo come essa sia stretta funzione del numero di pazienti, passando dal 84% nel caso di trattamento del 10% del numero annuo stimato (circa 1000 pazienti), al 54% nel caso di operatività potenziale di CNAO + TOP IMPLART (circa 1750 pazienti), a meno di un quarto di tale scarto (17%) se i pazienti trattati sono la metà del totale generale. Se ipoteticamente tutti i pazienti fossero curati con adroterapia, il divario tra LCOH dei due impianti si ridurrebbe a circa il 3%. Nonostante l'incertezza sui parametri di calcolo, l'indicatore fornisce in ogni caso una misura della dinamica di costo rapportata alla diffusione del trattamento, un'informazione che in presenza di informazioni crescenti può senza dubbio fornire un supporto utile al decisore pubblico. Sommando nel calcolo LCOH il costo delle cure al paziente sostenuto dalla sanità pubblica, monitorato nell'orizzonte di tempo considerato, la situazione si modifica in favore dell'impianto di protonterapia, come illustrato in Figura 3.

In questo caso la differenza nel LCOH passa dal 77% nel caso di trattamento del 10% del numero annuo stimato (circa 1000 pazienti), al 49% nel caso di operatività potenziale di CNAO + TOP IMPLART (circa 1750 pazienti), per finire a un sesto circa di tale scarto

(16%) se i pazienti trattati fossero la metà del totale generale. Se ipoteticamente tutti i pazienti fossero trattati con adroterapia, il divario tra LCOH dei due impianti si ridurrebbe al 3,5%.

È possibile effettuare un'ulteriore valutazione utilizzando il totale dei dati potenziali (16.000 pazienti circa, come detto sopra) per evidenziare come, all'aumentare dei pazienti trattati, l'indicatore LCOH possa diminuire sensibilmente. In questa valutazione, limitata ai parametri costo-utilità della sola patologia considerata nello studio di riferimento, si ipotizza che sia conservato il rapporto favorevole ai trattamenti con protoni rispetto alla radioterapia convenzionale dello studio di riferimento.

Come mostrato in Figura 4, il costo in valuta per anno di vita guadagnato si rivela essere sostanzialmente identico per i due impianti, (in realtà l'indicatore è addirittura lievemente

favorevole all'impianto basato su protoni, nella misura del 3% circa) stante la profonda differenza nell'effetto sulla salute tra di essi espressa in QALY. In pratica gli indicatori sono di fatto uguali laddove i QALY guadagnati sono per il 34% a favore dell'impianto basato su protoni.

L'analisi effettuata, limitata ad una sola patologia trattabile con gli impianti considerati, evidenzia che misure aggregate di costo, derivanti dagli indicatori classici usati nella analisi costo-efficacia e costo utilità, sembrano suggerire una notevole competitività degli impianti basati sul trattamento radioterapico con protoni. In particolare, a fronte di costi di costruzione e operativi sfavorevoli agli impianti a protoni nei termini di 2,5 a 1, se confrontati con gli impianti di radioterapia, gli indicatori di costo livellato dei medesimi impianti sono differenziati per percentuali variabili tra il 50% e il 3%, mentre il guadagno in termini

di salute espresso dagli anni di vita misurati in QALY è favorevole agli impianti di protonterapia nella misura del 34%.

Al crescere del numero di pazienti trattati, ipotizzando una costanza del vantaggio in termini di efficacia dei trattamenti, la differenza tra gli indicatori LCOH continua a livellarsi (si può ipotizzare anche un rovesciamento della gerarchia tra i medesimi). Questo risultato evidenzia che anche la considerazione di misure di costo omnicomprensive (dalla progettazione degli impianti fino al termine della loro vita utile) possa risolversi in favore di impianti basati sull'uso di protoni, se consideriamo tutto lo spettro delle patologie con essi trattabili, pur tenendo conto che per esse solo una frazione dei pazienti esistenti potrà ricevere tale trattamento.

*Per saperne di più:
marco.rao@enea.it*

1 O anche costo livellato dell'energia elettrica, in quanto normalmente si parla della medesima. Esistono numerosissime pubblicazioni sul tema, tra quelle di natura metodologica si segnala (IEA/NEA, 2015)

2 L'espressione è quella del LCOE sostituendo il parametro di produzione elettrica con il QALY:

$$LCOH = CAP + (OP * (1 + i)^t) / QALY$$

dove CAP rappresenta i costi di costruzione, OP quelli operativi, i è il tasso di sconto scelto, t il periodo e QALY è il guadagno annuo di salute dei pazienti considerati

BIBLIOGRAFIA

Goitein, M., & Jermann, M. (2003). The Relative Costs of Proton and X-ray Radiation Therapy. *Clinical Oncology*, 37-50.

IEA/NEA. (2015). *Projected Cost of Generating Electricity*. Paris: IEA/NEA

Trofimov, A., Nguyen, P., Coen, J., Doppke, K., Schneider, R., & Adams, J. (2007). Radiotherapy treatment of early-stage prostate cancer with IMRT and protons: a treatment planning comparison. *International Journal of Radiation Oncology Biology and Physics*, 444-453

Vadrucci, M., Rao, M., Ferrari, P., Fracchiolla, F., I. G., Mariotti, F. P., et al. (2015, maggio). Cost-effectiveness analysis for proton-therapy versus advanced radiotherapy treatment in prostate cancer. San Francisco, California, USA: PTCOG

Weinstein, M. C. (2009). QALYs: The Basics. *Value In Health*, Supplement I, S5-S9



Cibo come farmaco naturale nell'era della nutriepigénomica

Alcune molecole bioattive contenute negli alimenti di cui ci nutriamo sono in grado di modulare l'espressione dei nostri geni attraverso meccanismi epigenetici interferendo in tal modo nei processi di cancerogenesi e di senescenza

DOI 10.12910/EAI2016-068

di **Laura Teodori**, ENEA, **Felicia Carotenuto**, Università di Tor Vergata, Ricercatore ospite presso il Centro ENEA Frascati, **Maria Cristina Albertini**, Università di Urbino "Carlo Bo", Dipartimento di Scienze Biomolecolari e **Luigi Campanella**, Università Sapienza di Roma, Dipartimento di Chimica

F a che il cibo sia la tua medicina e che la Medicina sia il tuo Cibo (Ippocrate)

Non è passato molto tempo da quando le conoscenze classiche sul metabolismo consideravano l'alimentazione dal punto di vista della trasformazione chimica del cibo in energia e materia. Eppure, da allora, la scienza ha fatto passi da gigante arrivando a capire che l'alimentazione determina un ambiente che, a sua volta, influenza, anzi modella, le attività del genoma e la fisiologia degli organismi viventi. Studi clinici ed epidemiologici, infatti, stanno dimostrando sempre più che stili di vita non sani e soprattutto un'errata alimentazione sono correlati a una maggiore insorgenza e progressione di tumori e altre malattie degenerative. È questo un fenomeno su cui bisogna porre massima attenzione e ne sono ben consapevoli la Commissione Europea e la comunità scientifica internazionale, che stanno orientando molti dei programmi di ricerca in questo senso.

La nutrigenomica e, ancora più recentemente, la nutriepegenomica sono le nuove scienze che studiano la relazione tra le sostanze nutritive e i geni e come i vari geni interagiscono con gli alimenti e le abitudini alimentari modulando per ogni individuo il rischio di insorgenza di patologie. Il termine epigenoma (dal greco "sopra il genoma") si riferisce all'insieme dei meccanismi di regolazione che consentono l'espressione dei geni utili nei diversi tessuti senza modificarne la sequenza. A differenza del genoma, l'epigenoma può essere modificato per mezzo di farmaci, dieta, esposizioni ambientali e diversi stili di vita. Tra questi fattori è stato evidenziato come la nutrizione possa indurre

importanti modifiche epigenetiche con effetti a lungo termine sulla salute e sul rischio di incidenza di alcune patologie, tra le quali le malattie cardiovascolari, il diabete di tipo 2, l'ipertensione, l'obesità, il cancro, e più in generale le malattie associate all'invecchiamento. Studi dimostrano, infatti, che alcuni fattori nutrizionali sono in grado di contrastare la senescenza cellulare [1]. Infatti, gli alimenti contengono molte sostanze che hanno dimostrato la capacità di determinare cambiamenti epigenetici.

Negli ultimi tempi è cresciuto l'interesse sulla comprensione dei meccanismi epigenetici regolati da fattori nutrizionali, in particolare i composti bioattivi di origine vegetale (presenti in frutta, verdura, spezie e legumi), per i quali la capacità di modulare l'espressione genica è stata dimostrata.

Si è visto che le modificazioni epigenetiche avvengono attraverso almeno tre modalità comprendenti la metilazione o de-metilazione del DNA (l'aggiunta o la rimozione di gruppi metili $-CH_3$ al DNA), le modificazioni chimiche istoniche (gli istoni sono proteine basiche che interagiscono strettamente con il DNA) e l'espressione di microRNA (piccole molecole di RNA non codificante capaci di legarsi agli RNA messaggeri generalmente silenziandoli).

Attraverso questi tre meccanismi di interazione con il genoma, i fattori nutrizionali svolgono un ruolo importante nell'"accensione/spengimento" dei geni, regolando quindi l'espressione genica e influenzando, in primis, la funzione delle nostre cellule e, successivamente, la funzionalità dei nostri organi e il nostro stato di salute.

Ci sono dei componenti della dieta

capaci di influenzare direttamente o indirettamente lo stato di metilazione del genoma modulando la trascrizione genica e in particolare i donatori di metili (come la metionina, folato, colina e betaina), che possono trasferire un gruppo metile al DNA e agli istoni.

Anche la disponibilità di alcuni cofattori, come zinco e selenio, di vitamina B6 e B12, essenziali per l'attività di enzimi che partecipano al ciclo del folato, incidono in maniera dose-dipendente sullo stato di metilazione del genoma.

Tra gli acidi grassi a corta catena, l'acido butirrico, prodotto dalla flora batterica in seguito alla ingestione di fibre alimentari, è un inibitore dell'attività dell'istone deacetilasi.

Gli acidi grassi polinsaturi n-3 PUFA, conosciuti anche come omega-3, possono influenzare lo stato di metilazione del DNA, la chimica degli istoni e l'espressione dei microRNA. Queste modifiche chimiche si traducono in benefici effetti sulla salute dell'organismo. Una vasta letteratura scientifica documenta che gli omega-3 prevengono malattie cardiovascolari e muscolari [2,3,4], rallentano la crescita tumorale e sono inversamente correlati con il rischio di disturbi neurologici (es. Alzheimer). Hanno inoltre proprietà anti-infiammatorie e anti-aggreganti, favoriscono la lipolisi e inibiscono la lipogenesi.

Diversi minerali sono legati a cambiamenti nei meccanismi epigenetici che regolano l'espressione genica, come il magnesio, i cui bassi livelli sono associati a numerose condizioni patologiche caratterizzate da uno stato di infiammazione cronica, come l'aterosclerosi, l'ipertensione, l'osteoporosi, il diabete e l'obesità. Il cromo è un altro elemento la cui carenza è stata correlata allo sviluppo

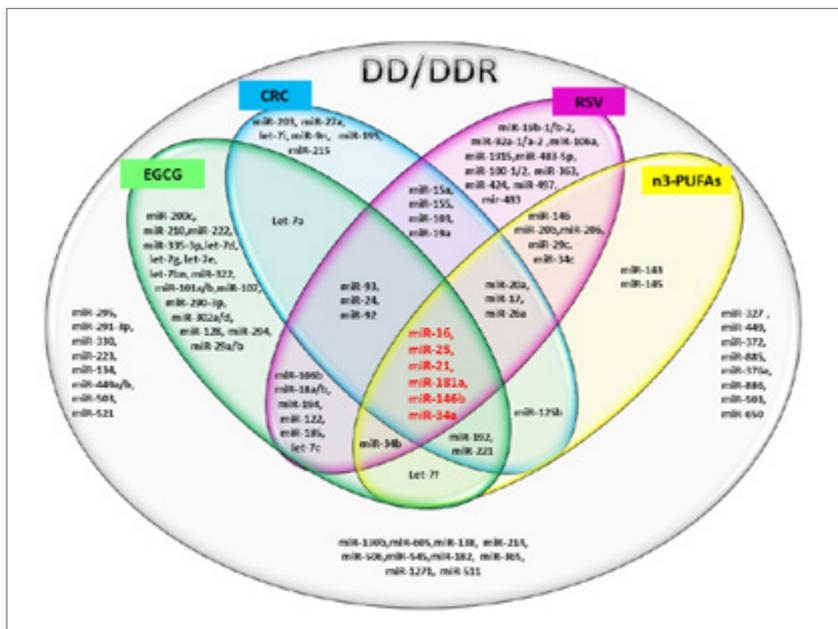


Fig. 1 Composti bioattivi efficaci nel contrastare l'invecchiamento e il cancro modulando i microRNA coinvolti nella risposta al danno al DNA (DD/DDR)
 Fonte: [1] Carotenuto et al., 2016, Int J Mol Sci. 19;17(5)

dell'obesità. Il calcio sembra avere un ruolo nella regolazione del peso corporeo.

Altri micronutrienti, come vitamina C, vitamina E e carotenoidi, sono in grado di diminuire i livelli circolanti di marcatori infiammatori e ossidativi. La vitamina A (acido retinoico) è in grado di influenzare il ciclo cellulare, la vitamina D esplica oltre ad effetti calcemici, anche effetti che includono l'apoptosi, l'antiangiogenesi, l'antiproliferazione, la pro-differenziazione e l'immunomodulazione cellulare.

Numerose ricerche condotte *in vitro* e su modelli animali hanno evidenziato l'efficacia di composti bioattivi di origine vegetale nel trattamento di vari disordini metabolici. Tra questi vi sono la genisteina della soia, la curcumina della curcuma, l'epigallocatechina-3-gallato (EGCG) del tè verde, la quercetina (presente in cipolle, vino), il resveratrolo dell'u-

va, il sulforafano delle piante crucifere, il diallil-disolfuro dell'aglio, il lycopene dei pomodori, la luteolina (presente in carote, finocchio, peperoni e sedano), l'apigenina (presente nelle foglie di sedano e prezzemolo), il garcinolo (*Garcinia indica*), la buteina (*Rhus verniciflua*), l'acido rosmarinico (presente in rosmarino, origano, salvia, etc), l'acido anacardio (oli di guscio di anacardi). Questi composti bioattivi di origine vegetale sono inoltre associati alla capacità di modificare l'espressione di alcuni geni coinvolti nella risposta infiammatoria. Essi inoltre, migliorano i parametri relativi allo stress ossidativo, il profilo lipidico e la sensibilità all'insulina, diminuiscono l'adipogenesi, sono associati a minor rischio di obesità e mostrano effetti positivi nella prevenzione e nel trattamento del cancro [1]. In particolare tè verde, resveratrolo, curcumina e n3-PUFA sembrano

avere una potente azione attraverso i microRNA nel proteggere le cellule dal danno al DNA, considerata la principale causa dell'invecchiamento cellulare e la predisposizione alla trasformazione tumorale [1,5]. Il Diagramma di Venn in figura 1 mostra i microRNA coinvolti nella riparazione del danno al DNA (DD/DDR) e modulati dai composti bioattivi, tè verde (EGCG), curcumina (CRC), resveratrolo (RSV) e acidi grassi omega-3 (n3-PUFAs), in cellule umane. I microRNA in rosso nella figura sono modulati da tutti e quattro i composti e sono fondamentali regolatori della espressione di geni coinvolti nei processi di invecchiamento e tumorigenesi..

In conclusione questi nutrienti, soprattutto PUFA, minerali, vitamine e polifenoli, in futuro potrebbero essere usati come nuovi trattamenti terapeutici personalizzati per combattere e prevenire l'insorgenza di patologie.

La ricerca sperimentale ha dimostrato, su modelli di laboratorio costituiti da colture cellulari e su modelli animali, che la nutrizione ha un effetto molto più rilevante di quanto ipotizzato fino ad ora nel modulare alcuni meccanismi cellulari associati ad infiammazione, senescenza e, perfino, carcinogenesi. Sebbene meno numerosi, gli studi clinici sull'uomo hanno anch'essi dimostrato che l'alimentazione è in grado, attraverso la modulazione dell'espressione genica, di interferire sull'insorgenza e decorso della malattia.

Ciò che rende tutto il settore dell'epigenetica e, in particolare, della nutrieigenetica così promettente per la cura di alcune malattie, è la possibilità di agire su quanto è alterato attraverso la modulazione dei meccanismi che regolano l'espres-

sione del DNA, piuttosto che agire sul DNA stesso. Il cibo, insomma, può modulare l'espressione dei nostri geni e orientarli in modo da recuperare l'attività corretta che compete loro. Questo settore di ricerca è, tuttavia, appena agli esordi. C'è necessità di aumentare, attraverso la ricerca, le conoscenze di base e la comprensione del ruolo dei nutrienti, o delle componenti bioattive del cibo, nelle alterazioni dei meccanismi epigenetici, dei target cellulari e di altro ancora. Allo stato attuale, infatti, è difficile delineare i precisi effetti dei nutrienti del cibo, o delle componenti bioattive, su ciascuna modifica epigenetica, ed è complicato ricostruire la loro associazione con i processi fisiologici, perché essi interagiscono con geni, altri nutrienti e vari fattori ambientali. Inoltre, ogni fenomeno epigenetico interagisce con altri fenomeni epigenetici, aggiungendo complessità al sistema.

Le ricerche sulla relazione tra ambiente, alimentazione e geni, e sulla possibilità che i cambiamenti epigenetici possano essere trasmessi alla progenie, aprono poi un importante capitolo sull'ereditarietà delle malattie. Non sono, infatti, solo le sequenze scritte nel DNA, sulle quali l'individuo non ha possibilità di intervento, a determinare il rischio di



malattia di figli e nipoti, ma anche l'ambiente in cui si vive e gli stili di vita che si adottano.

Infine, lo sviluppo di biomarcatori/biosensori per delineare le differenze tra i vari regimi alimentari e la variabilità individuale, sarebbe di grandissimo aiuto, anche al fine di stabilire marker predittivi per poter testare l'efficacia di un intervento nutrizionale sull'insorgenza o il decorso di malattie quali il cancro, il declino cognitivo, le alterazioni me-

taboliche ed altre ancora. Se si dovessero confermare i risultati degli studi che identificano nelle modulazioni epigenetiche l'origine di patologie come il cancro o l'attivazione (disattivazione) di importanti fattori della longevità innescati dai nutrienti, ogni individuo avrà una responsabilità in più nel condurre la propria vita in modo sano.

*Per saperne di più:
laura.teodori @enea.it*

BIBLIOGRAFIA

1. F. Carotenuto, M.C. Albertini, D. Coletti, A. Vilmercati, L. Campanella, Z. Darzynkiewicz, L. Teodori (2016), "How Diet Intervention via Modulation of DNA Damage Response through MicroRNAs May Have an Effect on Cancer Prevention and Aging, an in Silico Study", *Int J Mol Sci*, 19,17(5)
2. F. Carotenuto, M. Minieri, G. Monego, R. Fiaccavento, A. Bertoni, F. Sinigaglia, A. Vecchini, L. Carosella, P. Di Nardo (2013), "A diet supplemented with ALA-rich flaxseed prevents cardiomyocyte apoptosis by regulating caveolin-3 expression", *Cardiovasc Res*, 100,422-31
3. F. Carotenuto, A. Costa, M.C. Albertini, M.B. Rocchi, A. Rudov, D. Coletti, M. Minieri, P. Di Nardo, L. Teodori (2016), "Dietary Flaxseed Mitigates Impaired Skeletal Muscle Regeneration: in Vivo, in Vitro and in Silico Studies", *Int J Med Sci*, 13,206-19
4. F. Carotenuto, D. Coletti, P. Di Nardo and L. Teodori (2016), "Alpha-linolenic acid reduces TNF-induced apoptosis in C2C12 myoblasts by regulating apoptotic proteins expression", *Eur J Transl Myol*, In Press
5. F. Olivieri, M.C. Albertini, M. Orciani, A. Ceka, M. Cricca, A.D. Procopio, M. Bonafè (2015), "DNA damage response (DDR) and senescence: shuttled inflamma-miRNAs on the stage of inflamm-aging", *Oncotarget*, 6, 35509-21

La prossima rivista in uscita a marzo su

eai.enea.it

