



Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali

*Cantiere della sostenibilità*

*Position Paper n. 9*

**Salvaguardia e valorizzazione del  
patrimonio culturale artistico, storico ed  
architettonico**

### Iscritti al tavolo

Massimo Angelone<sup>1</sup>, Patrizia Aversa<sup>2</sup>, Giacomo Buffarini<sup>3</sup>, Angelo Camassa<sup>4</sup>, Elena Candigliota<sup>3</sup>, Bruno Carpani<sup>3</sup>, Massimo Cristofaro<sup>5</sup>, Paolo D'Atanasio<sup>6</sup>, Alessandra De Marco<sup>7</sup>, Roberto D'Imperio<sup>3</sup>, Giovanni Elmo<sup>8</sup>, Rosanna Gatti<sup>4</sup>, Salomon Hailemikael<sup>3</sup>, Francesco Immordino<sup>3</sup>, Agostino Letardi<sup>9</sup>, Sergio Lucretti<sup>10</sup>, Giuseppe Marghella<sup>3</sup>, Guido Martini<sup>3</sup>, Anna Marzo<sup>3</sup>, Domenica Masci<sup>4</sup>, Carmine Minopoli<sup>9</sup>, Daniele Mirabile Gattia<sup>11</sup>, Antonella Paciello<sup>3</sup>, Salvatore Paolini<sup>3</sup>, Andrea Peirano<sup>12</sup>, Alessandro Peloso<sup>3</sup>, Rocco Pentassuglia<sup>8</sup>, Franca Persia<sup>6</sup>, Raffaele Pica<sup>13</sup>, Fabrizio Poggi<sup>3</sup>, Alessandro Poggianti<sup>3</sup>, Luigi Quercia<sup>6</sup>, Antonio Rinaldi<sup>11</sup>, Ivan Roselli<sup>6</sup>, Fernando Saitta<sup>3</sup>, Matteo Scafè<sup>14</sup>, Sandro Serafini<sup>3</sup>, Augusto Screpanti<sup>3</sup>, Anna Rosa Sprocati<sup>9</sup>, Maria Vittoria Struglia<sup>15</sup>, Angelo Tati<sup>6</sup>, Concetta Tripepi<sup>3</sup>, Alfredo Trocciola<sup>9</sup>, Walter Vastarella<sup>9</sup>, Vladimiro Verrubbi<sup>3</sup>, Alessandro Zini<sup>3</sup>

### Gruppo di redazione

Chiara Alisi<sup>9</sup>, Giacomo Buffarini<sup>3</sup>, Elena Candigliota<sup>3</sup>, Bruno Carpani<sup>3</sup>, Daniele Mirabile Gattia<sup>11</sup>, Salomon Hailemikael<sup>3</sup>, Francesco Immordino<sup>3</sup>, Anna Marzo<sup>3</sup>, Andrea Peirano<sup>12</sup>, Franca Persia<sup>6</sup>, Raffaele Pica<sup>13</sup>, Ivan Roselli<sup>6</sup>, Matteo Scafè<sup>14</sup>, Anna Rosa Sprocati<sup>9</sup>, Angelo Tati<sup>6</sup>, Alfredo Trocciola<sup>9</sup>

### Rapporteur

Elena Candigliota<sup>3</sup>, Anna Marzo<sup>3</sup>

### Referente Dipartimento

Claudia Brunori<sup>16</sup>

### Affiliazioni

<sup>1</sup>SSPT-PROTER, <sup>2</sup>SSPT-PROMAS-MATAS, <sup>3</sup>SSPT-MET-ISPREV, <sup>4</sup>SSPT-BIOAG-SOQUAS, <sup>5</sup>SSPT-BIOAG-PROBIO, <sup>6</sup>SSPT-USER-SITEC, <sup>7</sup>SSPT-MET-INAT, <sup>8</sup>SSPT-USER-RISE, <sup>9</sup>SSPT-PROTER-BIOGEOC, <sup>10</sup>SSPT-BIOAG-BIOTEC, <sup>11</sup>SSPT-PROMAS-MATPRO, <sup>12</sup>SSPT-PROTER-BES, <sup>13</sup>SSPT-USER-R4R, <sup>14</sup>SSPT-PROMAS-TEMAF, <sup>15</sup>SSPT-MET-CLIM, <sup>16</sup>SSPT-USER

### Parole chiave

Beni culturali, biotecnologie, biorestauro, diagnostica, geoarcheologia, ingegneria sismica, microzonazione sismica, monitoraggio ambientale, sicurezza, telerilevamento, vulnerabilità.

## Sommario

<i>EXECUTIVE SUMMARY</i> .....	155
<i>1. Introduzione</i> .....	156
<i>2. Quadro nazionale e internazionale</i> .....	156
<i>3. Competenze, infrastrutture e risorse ENEA</i> .....	158
<i>4. Proposta ENEA: attività e obiettivi</i> .....	164
<i>4.1. Metodologia di approccio integrato</i> .....	164
<i>4.2. Trasferimento tecnologico e centri di formazione regionali</i> .....	169
<i>5. Posizionamento ENEA nei confronti dei competitori nazionali ed internazionali</i> .....	169
<i>6. Potenziali fonti di finanziamento</i> .....	169

## EXECUTIVE SUMMARY

Da un'analisi dello stato dell'arte emerge come una delle esigenze attuali nel campo della valorizzazione dei beni culturali (BBCC) sia quella di definire modalità/strategie sostenibili di fruizione del patrimonio culturale, sviluppando le potenzialità offerte dal settore della ricerca, sviluppo e applicazione di nuove tecnologie tenendo presente sempre che possono essere valorizzati solo i beni culturali ben conservati. Ciò assume un valore ancora più strategico per il Paese se si considera che la riqualificazione e messa in sicurezza dei beni culturali è il presupposto necessario per la loro valorizzazione economica e per la crescita del mercato del turismo culturale.

Purtroppo, a parte i grandi restauri che hanno grosse visibilità mediatica, le strategie individuate e spesso finanziate riguardano soprattutto singole tecnologie ICT legate alla fruizione del bene, (metodologie avanzate di rilievo, sensori, sistemi informativi, comunicazione per rendere smart centri storici, musei ed aree archeologiche) ma ancora poche iniziative sono finanziate per la riqualificazione e messa in sicurezza di aree archeologiche ed edifici storici e del loro contenuto, incluse opere d'arte e gli stessi fruitori.

A partire da una ricognizione di strumenti/procedure innovative, esperienze e applicazioni nell'ambito della tutela dei beni culturali da parte, si intende presentare le capacità scientifiche e operative del Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi (SSPT) dell'ENEA nell'ambito della *science conservation*, gli ambiti applicativi di utilizzo di metodologie, prodotti tecnologici e brevetti cercando di focalizzare problematiche ed esigenze attuali.

In questo quadro, infatti, il Dipartimento SSPT si propone con un team di esperti che, attraverso competenze multidisciplinari, metodologie, strumenti e infrastrutture avanzati e talvolta uniche nel loro genere sia a livello nazionale che internazionale, ha messo a punto un approccio integrato e multiscala che consente la soluzione di problemi conservativi e preventivi dei beni culturali. L'offerta SSPT va dall'analisi del territorio e del contesto in cui insiste il bene, all'analisi dei rischi (ambientale, statico strutturale e antropico) per arrivare alla caratterizzazione dei materiali costitutivi e dello stato di conservazione, fino al supporto in fase di recupero strutturale e restauro.

Le tecnologie e le conoscenze scientifiche presenti in SSPT permettono di intervenire sui beni culturali a vari livelli, in maniera trasversale e sinergica, applicando tecniche integrate e, laddove necessario, mediante collaborazioni interdipartimentali.

La metodologia di approccio integrato applicata per la salvaguardia di un bene storico comprende lo sviluppo completo ed esaustivo di **quattro macro-fasi: conoscenza, diagnosi, supporto agli interventi** (dalla scala territoriale a quella microscopica sul singolo bene) e **monitoraggio**.

## 1. Introduzione

L'ENEA, con le tecnologie e le competenze sviluppate a partire da circa il 1980, opera all'interno del settore della cosiddetta *science conservation* occupando in alcuni campi specifici un posto di rilievo e di riferimento nel panorama italiano. A partire dall'applicazione di tecnologie di origine nucleare per la caratterizzazione di materiali e tecniche esecutive e per il siting e la sicurezza strutturale, le attività si sono estese ad altri settori della conservazione (diagnostica, supporto tecnico-scientifico per il restauro, biotecnologie per la conservazione), prevenzione (rischi naturali ed antropici, monitoraggio ambientale) e valorizzazione (scansione 3D, sviluppo sostenibile del turismo). Inoltre il carattere interdisciplinare di tali competenze e la presenza di strumentazione non distruttiva ed innovativa hanno in questi anni qualificato l'offerta ENEA, rendendo concepibile l'idea di proporre l'Agenzia come un polo di riferimento per tecnologie sostenibili applicate al settore (Speciale EAI II, 2012).

Si riportano di seguito un quadro dell'attuale normativa sul tema e un'analisi di competenze, infrastrutture e risorse che l'ENEA, e in particolare il Dipartimento SSPT, può mettere in campo per un approccio di tipo globale e metodologico volto all'affermazione di una **"cultura della sicurezza"** del bene culturale.

Accanto alla presentazione di tecnologie che permettono ad oggi l'applicazione su diverse tipologie di beni, si sottolinea che l'ENEA è sempre impegnata in attività di ricerca, intesa proprio come volano di sviluppo economico per il Paese.

## 2. Quadro nazionale e internazionale

Al di là del quadro legislativo italiano, afferente al MiBACT, negli ultimi anni diverse leggi e provvedimenti, sia italiane che europee, hanno riguardato il settore dei BBCC: la Legge n. 77 del 20 febbraio 2006, per la prima volta, stabiliva normativamente i siti UNESCO. Si è così affermato il principio secondo cui gli interventi sui siti UNESCO abbiano priorità; un'asserzione importante che testimonia come la valenza del riconoscimento come Patrimonio Mondiale debba contribuire a definire percorsi particolari anche in ordine all'assegnazione delle risorse finanziarie<sup>149</sup>.

Il Dipartimento Tematico delle Politiche Strutturali e di Coesione del Parlamento Europeo ha presentato nel 2007 uno studio su *"La protezione del patrimonio culturale dalle calamità naturali"*. Detto studio analizza gli attuali strumenti e le attività condotte a livello nazionale e internazionale per proteggere il patrimonio culturale dalle calamità naturali, riportando esempi di buone prassi e illustrando problemi e carenze. Vengono definite le priorità di intervento sulla base dell'analisi dell'attuale e futura legislazione europea. Considerata la maggiore frequenza con cui si verificano i disastri naturali e il loro impatto sui beni culturali, gli autori invocano un'integrazione orizzontale della protezione del patrimonio culturale dalle calamità naturali nelle relative politiche dell'UE.

Anche con specifico riferimento alla sicurezza sismica, il 26 febbraio 2011 il Governo ha emanato la Direttiva P.C.M.<sup>150</sup> che testimonia l'alto livello della discussione sul tema della tutela del patrimonio storico.

<sup>149</sup> Legge n. 77/2006. Misure speciali di tutela e fruizione dei siti italiani di interesse culturale, paesaggistico e ambientale, inseriti nella Lista del Patrimonio Mondiale, posti sotto la tutela dell'UNESCO.

<sup>150</sup> Direttiva P.C.M. 9 febbraio 2011. Per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale.

Con riferimento ai siti archeologici sommersi, nel 2010 l'Italia ha recepito la Convenzione Unesco del 2001 che definisce la fruizione dei beni archeologici sommersi come preservazione del patrimonio subacqueo in situ, evitando il prelievo di oggetti dal fondale.

Il documento politico della Commissione Europea, intitolato **“Verso un approccio integrato al patrimonio culturale per l'Europa”**<sup>151</sup>, afferma che il settore dei beni culturali si trova ad un "crocevia" a causa dei bilanci pubblici ridotti, che provocano una caduta della partecipazione nelle tradizionali attività culturali e una diversificazione del pubblico potenziale a causa dell'urbanizzazione, la globalizzazione e il cambiamento tecnologico. Allo stesso tempo evidenzia anche le opportunità di Stati membri e stakeholders di collaborare più strettamente, per garantire che il settore dei BB CC contribuisca maggiormente alla crescita sostenibile e all'occupazione. Il documento individua le seguenti necessità: favorire la modernizzazione del settore dei BB CC; applicare un approccio strategico alla ricerca e all'innovazione, alla condivisione della conoscenza e alla specializzazione intelligente; cogliere le opportunità offerte dalla digitalizzazione per raggiungere un nuovo pubblico e coinvolgere i giovani; identificare i bisogni di competenze e migliorare la formazione dei professionisti del patrimonio e continuare a sviluppare modelli interpretativi e governance più partecipativi, più adatti per l'Europa contemporanea, attraverso un maggiore coinvolgimento del settore privato e della società civile.

Nell'articolo 26 del decreto-legge n. 133 del 2014 *“Misure urgenti per la valorizzazione degli immobili demaniali inutilizzati”* (cosiddetto «Sblocca Italia») sono contenuti strumenti volti al recupero, riuso, valorizzazione e gestione efficiente del patrimonio immobiliare pubblico.

Inoltre, il 1 febbraio 2016 la 7<sup>a</sup> Commissione Cultura e Istruzione di Palazzo Madama ha approvato, in sede consultiva su atti del Governo, lo schema di decreto ministeriale recante approvazione del programma triennale 2016-2018 relativo al *Fondo per la tutela del patrimonio culturale* (n. 253), auspicando una proficua armonizzazione di tutti gli interventi che valorizzano i beni culturali soprattutto con riferimento al Meridione. Lo schema di decreto ministeriale definisce il programma triennale, richiamando l'art. 1, comma 9 della Legge di Stabilità 2015 che ha istituito *“il Fondo per la tutela del patrimonio culturale, con dotazione iniziale di 100 milioni di euro per ciascuno degli anni dal 2016 al 2020”*.

Infine, l'8 marzo 2016 è stata approvata dalla 7<sup>a</sup> Commissione Cultura del Senato la relazione conclusiva sull'indagine conoscitiva sul patrimonio culturale materiale e immateriale sparso sulla nostra Penisola in stato di degrado e non fruibili. La commissione intende creare una sorta di mappa di tutti quei beni del nostro patrimonio culturale che sono in stato di abbandono e/o comunque non fruibili, in maniera che possano essere recuperati e restituiti alla collettività, promuovendo un'azione di sensibilizzazione alla sostenibilità ambientale e al rispetto dei beni paesaggistici a partire dalle scuole<sup>152</sup>.

In tale ambito normativo sono auspicabili protocolli d'intesa, convenzioni ed accordi di programma tra ENEA ed enti o istituzioni detentrici o preposte alla gestione dei Beni Culturali a livello nazionale o almeno regionale (come ad esempio il recente accordo tra ENEA e MIBACT). Strumenti di lavoro prodromici a tali

<sup>151</sup> Brussels, 22.7.2014COM(2014) 477 final

<sup>152</sup> Documento conclusivo dell'indagine conoscitiva approvato dalla commissione n. 258 del 08/03/2016

accordi sono le numerose norme e/o linee guida e ordinamenti operativi, tra i quali il Decreto 18 aprile 2012<sup>153</sup>.

### 3. Competenze, infrastrutture e risorse ENEA

L'ampio spettro di risorse e infrastrutture SSPT, 65 tra ricercatori e tecnici con competenze multidisciplinari (architettura, biologia, conservazione dei beni culturali, chimica, fisica, geologia, ingegneria, scienze ambientali), laboratori chimici, biologici e impianti sperimentali distribuiti in 4 Divisioni, permette approcci multidisciplinari e multiscala, a partire dall'analisi del territorio e del contesto in cui insiste un bene, all'analisi dei rischi a cui è sottoposto, per poi passare all'analisi del bene nel suo complesso, fino ad arrivare alla sua protezione, valorizzazione e riuso.

Le competenze di SSPT nel settore dei beni culturali possono essere utilmente affiancate da competenze complementari presenti negli altri Dipartimenti ENEA con valore aggiunto per l'offerta complessiva ENEA. In virtù delle proprie competenze e infrastrutture, l'ENEA è coinvolta in E-RIHS (European Research Infrastructure for Heritage Science) rete, attualmente in fase preparatoria, che riunisce le infrastrutture di ricerca specializzate in vari campi della cultural science considerate strategiche per le comunità di ricerca in Europa. Al momento include 18 paesi UE e 11 stati terzi; il coordinamento è italiano, CNR, con la partecipazione di ENEA, INFN, Opd, e altri enti e università italiane come partners.

Si riportano di seguito alcune attività eseguite dai vari gruppi di ricerca SSPT talvolta in collaborazione con altri Dipartimenti ENEA allo scopo di mostrare come competenze, infrastrutture e risorse siano state integrate nelle applicazioni sul territorio.

L'esperienza di oltre 40 anni di SSPT nel campo della **sismologia** applicata all'ingegneria e dell'**ingegneria sismica** maturata nell'ambito del siting e della sicurezza strutturale degli impianti nucleari, è ad oggi applicata nel settore dei beni culturali con esperienze nel campo della **microzonazione sismica** (MS), della risposta sismica locale (RSL) e della selezione di accelerogrammi per la progettazione strutturale. Tali attività sono svolte con l'ausilio di strumentazioni qualificate e idonee (accelerometri e velocimetri e relativi software di elaborazione dati) per la valutazione del comportamento dinamico ed il monitoraggio dinamico (sia del movimento legato a forzante sismica che dovuto ad altre sorgenti, quali traffico urbano, lavori di scavo, trasporti metropolitani ecc.) delle strutture in situ. Il ventaglio delle competenze presenti in SSPT sulla protezione dei beni culturali si arricchisce ulteriormente con le capacità di consulenza e implementazione di apparati di movimentazione e trasporto in sicurezza di statue o altri oggetti delicati.

In particolare, SSPT dispone di un laboratorio capace di effettuare **test sismici su tavola vibrante** di grande dimensione (4 x 4 m) di caratteristiche uniche in Italia per verificare prototipi di strutture o parti di strutture con strumenti di misura basati su tecnologie di *motion capture* 3D con marcatori passivi di prestazioni non superabili attualmente a livello nazionale. Tra l'altro, tale impianto sperimentale e la relativa strumentazione 3D è integrato nel laboratorio virtuale DySCO, che permette la condivisione in diretta da remoto delle prove ivi effettuate con strumenti di video conferenza interattiva a cui possono partecipare i

---

<sup>153</sup> Decreto 18 aprile 2012. "Adozione delle linee guida per la costituzione e la valorizzazione dei parchi archeologici" del 2 agosto 2012; la Legge 23 ottobre 2009, n. 157. "Ratifica ed esecuzione della convenzione sulla protezione del patrimonio culturale subacqueo con Allegato, adottata a Parigi il 2 novembre 2001, e norme di adeguamento dell'ordinamento interno", nati successivamente al Codice dei Beni Culturali del 2004

ricercatori coinvolti anche dall'estero. Nell'ambito del laboratorio virtuale DySCO si può accedere anche alle risorse di calcolo e ai programmi scientifici di modellazione numerica disponibili su CRESCO.

SSPT mette a punto tecnologie per lo sviluppo di **componenti ceramici** tecnici per applicazioni in dispositivi antisismici e realizza rivestimenti ceramici sol-gel per la protezione delle superfici dal deterioramento ambientale e/o per la loro funzionalizzazione. In particolare, SSPT dispone di laboratori e conoscenze specifiche per lo sviluppo e la qualifica (meccanica e della durabilità in condizioni simulanti l'esercizio) di **malte fibrorinforzate** per il consolidamento del costruito storico. SSPT, insieme alla società consortile CERTIMAC (partecipata ENEA) prende parte al Round Robin RILEM TC-250 CSM (Composites for Sustainable Strengthening of Masonry) finalizzato alla messa a punto della normativa inerente la qualifica di compositi a matrice cementizia (FRCM o TRM) per il rafforzamento delle opere murarie. Inoltre i laboratori SSPT e CERTIMAC sono attrezzati per determinare le proprietà meccaniche e termiche dei materiali da costruzione, e per misurarne i parametri fisici (come il modulo di elasticità) mediante tecniche non distruttive.

Il gruppo di ricerca SSPT di **Telerilevamento ed image processing** consente la conoscenza del territorio o dell'edificio e la realizzazione di un prodotto cartografico digitale a supporto della gestione del bene architettonico, permettendo la spazializzazione di informazioni puntuali tramite l'analisi di immagini telerilevate ad alta risoluzione acquisite da velivoli radiocomandati in dotazione al laboratorio. Il recente progetto "Hazard assessment and cultural heritage in an alluvial plain: morphological and anthropic features", studio di validazione di dati satellitari ad alta risoluzione Pléiades per l'agenzia spaziale francese ASTRIUM in un'area della pianura ferrarese, si è occupato, attraverso l'analisi dei segnali spettrali, dell'identificazione di paleoforme e forme riconducibili ad emergenze archeologiche in un contesto ambientale ad alto rischio idrogeologico.

In SSPT ci sono competenze pluridecennali sulle tecniche di diagnostica, monitoraggio e Controlli Non-Distruttivi (CND). In particolare, sin dal 1980, SSPT dispone di laboratori specifici per **sistemi automatici e sviluppo software**, tecniche laser e controlli visivi, termografia, un archivio difettologico, strumenti per la **diagnostica civile e storica**. Il personale è certificato livello III secondo le norme Europee EN 473 e le norme internazionali ISO 9712 nei seguenti metodi: Ultrasuoni, Radiografia, Correnti Parassite, Liquidi penetranti, Magnetoscopia, Esami Visivi per il settore industriale, nei metodi Sclerometrico ed Ultrasuoni per il settore Civile e strutture architettoniche e nei metodi Termografia, Esami Visivi ed Ultrasuoni per il settore Beni Culturali. In questo ambito sono stati eseguiti negli anni diversi interventi diagnostici su opere di pregio Storico/Artistico. Se ne riportano alcuni a titolo di esempio.

Opera	Interventi diagnostici eseguiti
<b>Chimera di Arezzo</b>	Gammagrafia, termografia, XRF, ispezioni endoscopiche e analisi strutturali tramite Interferometria Olografica ed esame con le correnti parassite per rilevare eventuali cricche
<b>Obelisco del Laterano</b>	Prove soniche ed ultrasoniche, sviluppo di un software di Tomografia Sonica per l'analisi dei giunti e calcolo FEM per lo studio della vulnerabilità sismica del monumento, ricostruzione 3D tramite Scanner laser)
<b>Bronzi di Riace</b>	Museo della Magna Grecia a Reggio Calabria (Esame Ultrasonoro per la determinazione degli spessori, successiva analisi FEM e la progettazione del dispositivo antisismico)

Opera	Interventi diagnostici eseguiti
<b>Duomo di Orvieto</b>	quadro fessurativo delle colonne e della navata centrale, valutazione della vulnerabilità sismica della struttura, tomografiaonica, Scanner laser e termografia
<b>Cappelle Bardi di Vernio e Baroncelli nella basilica di Santa Croce a Firenze</b>	Caratterizzazione dei pigmenti mediante analisi XRF e Analisi termografica per l'individuazione di distacchi di intonaco
<b>Villa dei Misteri del Sito Archeologico di Pompei</b>	Rilievo strutturale e dei vari elementi costruttivi, Indagini Non Distruttive tramite ultrasuoni, sclerometri per legno e c.a., pacometro, resistograph, termogrametro, termocamera ad infrarossi, prelievo di micro-campioni per le successive analisi di laboratorio al microscopio elettronico a scansione (SEM), i rilievi mediante telerilevamento a bassa quota con l'utilizzo di droni e la caratterizzazione sismica del sito mediante la misurazione delle vibrazioni ambientali
<b>Tempio Rotondo al Foro Boario</b>	Caratterizzazione dinamica del prima e dopo i lavori di consolidamento
<b>Colonne Coclidi (Aureliana e Traiana) Obelisco Flaminio</b>	Analisi dinamiche sperimentali
<b>Iran Bastan Museum di Teheran</b>	Attività significative sono state svolte anche nel campo della protezione sismica mediante tecnologie innovative, tra le quali si citano, ad esempio la proposta di adeguamento sismico mediante isolamento

SSPT svolge anche attività di ricerca e di servizio avanzato di **radiografia** e di **spettrofotometria XRF** che consentono di indagare la struttura, lo stato di conservazione di manufatti di dipinti su tela e tavola e superficie policrome di varia natura (sculture lignee, terracotta policrome, mosaici) e di riflettografia che, rivelando l'underdrawing (disegno preparatorio, pentimenti, date, firme, codici cromatici e tutto ciò che l'artista ha tracciato come ausilio alla stesura del colore), permette di interpretare la genesi creativa di un dipinto e contribuisce all'attribuzione di un'opera.

Le competenze acquisite in 30 anni di attività hanno permesso di operare su più di 1300 opere d'arte, collaborando con i maggiori musei italiani (Galleria Borghese, galleria Nazionale d'arte antica, Museo nazionale Romano, Museo nazionale d'arte orientale, Brera, galleria dell'Accademia di Venezia, Galleria palatina di palazzo Pitti galleria degli Uffizi di Firenze) e con musei esteri quali il Louvre e la National Gallery, con molte soprintendenze e in maniera continuativa con l'Istituto Superiore per la conservazione e il restauro e con l'Opificio delle Pietre Dure. Riguardo i pigmenti oltre alla loro caratterizzazione sperimentale sono stati effettuati studi delle fonti (ricettari, trattatistica, documenti sulla circolazione e il commercio).

Con riferimento ai **siti archeologici sommersi** SSPT, in linea con la Convenzione Unesco del 2001, ha focalizzato, in questi ultimi anni, la propria attenzione su studi e ricerche di geo-archeologia marina in un'ottica di sviluppo e promozione di un turismo sostenibile. Mediante l'interiorizzazione in sistemi informativi-GIS di carte storiche e recenti, di immagini satellitari, aeree e da droni, di tracciati e prospezioni subacquee e rilievi oceanografici e geologici già effettuati nell'area di studio, SSPT può contribuire a

sostenere e avvalorare le ipotesi di lavoro prospettate dagli archeologi sulla base dell'analisi storica delle linee di costa e delle caratteristiche morfo-strutturali della stessa. ENEA può supportare lo sviluppo di modelli di trasporto di sedimenti che rendano possibile circoscrivere le aree di indagine a quelle più probabili mediante sistemi di rilevamento subacqueo e ricostruzione tridimensionale, trattamento dati e inserimento degli stessi nel sistema informativo. Inoltre, può produrre modelli di distribuzione dei sedimenti per verificare l'impatto dell'eventuale asportazione di sabbie, elementi di elevato valore biologico-ambientale e manufatti in seguito alle operazioni di scavo.

Altra competenza SSPT è data dal gruppo di ricerca che lavora da anni nel campo delle **biotecnologie microbiche**. SSPT ha costituito la collezione di ceppi microbici "ENEA-Lilith" che comprende circa 500 ceppi batterici di origine ambientale non patogeni e rappresenta una miniera di funzioni metaboliche particolari cui attingere per soluzioni innovative di molteplici problematiche. Tali competenze hanno trovato applicazione anche nel campo dei BBCC, ed in particolare negli ambiti della diagnostica del biodeterioramento e del biorestauro (biopulitura e bioconsolidamento). Nello studio sul biodeterioramento viene applicato un approccio che integra tecniche microbiologiche classiche "coltura-dipendenti" con la biologia molecolare e l'ecologia molecolare (indipendenti dalla coltivazione), la microscopia a fluorescenza, l'analisi fenotipica globale attraverso il sistema Biolog®. L'insieme di queste tecniche fornisce informazioni complete sulla comunità microbica, a livello strutturale e funzionale, permettendo di distinguere i veri responsabili del deterioramento e di individuare sistemi di trattamento selettivi e di controllo efficaci, al fine di ridurre o sostituire l'uso dei biocidi.

Inoltre, le ricerche per il **bio-consolidamento** e per la **bio-pulitura** affrontano problemi reali di restauro in collaborazione con i restauratori, che indicano problematiche di volta in volta diverse, per la ricerca di soluzioni "su misura". I casi studio affrontati stanno dimostrando la validità dell'approccio al **biorestauro** proposto e hanno portato allo sviluppo di alcune procedure "su misura" per rimuovere in modo selettivo depositi di varia natura, anche stratificati, su pareti orizzontali verticali o soffitti, senza ricorrere a prodotti aggressivi per l'opera e tossici per l'operatore. Tra le applicazioni validate su opere più significative si citano: *le logge dipinte della Casina Farnese, sul Colle Platino, a Roma; le statue "La Lupa" di G. Graziosi e "Testa di donna" di E. Quadrelli presso la Galleria Nazionale di Arte Moderna, a Roma; gli affreschi e i marmi della Galleria Carracci a Palazzo Farnese, Roma; la statua romana "Bacco con cesto" presso il centro di Venaria Reale; il dipinto su tavola "Madonna della Cintola" presso i Musei Vaticani.*

Si sottolinea, inoltre, che geologi, architetti, ingegneri e conservatori dei Beni Culturali ENEA costituiscono da anni squadre di esperti che, per il MiBACT, si occupano della valutazione dei danni al patrimonio storico-architettonico e archeologico a seguito di eventi sismici, da ultimo il sisma dell'Emilia-Romagna documentato in *EAI Energia Ambiente ed Innovazione, 4-5/2012 parte II*.

Nella tabella che segue si riporta una schematizzazione di infrastrutture e risorse del Dipartimento relative alle attività per i beni culturali.

Attività per i beni culturali	Competitor	Centri ENEA coinvolti	N. Persone coinvolte	Anni di esperienza nel campo	Strumentazione Disponibile	Contatti consolidati
<b>Biorestauro Diagnostica e controllo del biodeterioramento</b>	Ditte private Università (Molise, Milano)	Casaccia Frascati	7	10	Microscopio a fluorescenza, Micro Stazione Biolog per caratterizzazione metabolica; Apparecchiature per tecniche microbiologiche classiche "coltura-dipendenti" e molecolari; Bioreattori per produzione massiva di microrganismi	Galleria Nazionale di Arte Moderna, Laboratorio di Ricerche Scientifiche dei Musei Vaticani; "La Venaria Reale"; Sovrintendenza per l'Etruria Meridionale; Sovrintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma; Opificio Pietre Dure; Ditte di restauro
<b>Telerilevamento</b>	CNR, Università, ditte private	Bologna Casaccia	7	25	Elicottero e quadricotteri radiocomandati;  Software di image-processing di immagini satellitari e da droni	Università di Bologna; Università di Ferrara;  eGeos; ASTRIUM; Planetek; Guardia Costiera
<b>Rischio idrogeologico</b>	CNR, ISPRA Università	Casaccia Frascati	6	20	GPS differenziale; Interferometro Radar Terrestre2;	ISPRA; Università Sapienza-Roma
<b>Rischio sismico Analisi strutturale</b>	CNR, Università EUCENTRE INGV	Casaccia Frascati Bologna Brasimone	31	35	Sismografi <sup>1</sup> ; Accelerografi <sup>1</sup> ;  Interferometro Radar Terrestre <sup>2</sup> ; strumentazione per prove sismiche di superficie <sup>3</sup> ; Tavole vibranti; Accelerometri;  Motion capture 3D	INGV; Università La Sapienza Roma; Regione Lazio; Dip. Prot. Civile; Soprintendenza di Pompei; Università di Napoli; Università di Ferrara; Istituto Superior Tecnico di Lisbona; SSCOL; Università Roma Tre; Università Genova; Università Padova
<b>Rischio corrosione da inquinamento atmosferico e clima</b>	ISPRAMBIENTE CNR	Casaccia Frascati Bologna	10	30	Modellistica inquinamento atmosferico a diversi livelli di risoluzione; Modellistica per "risk assessment" per i principali materiali costituenti i beni culturali; Monitoraggio livelli di corrosione di campioni di materiali	Università di Roma,  Swedish Research Institute SWEREA  Network ICP Materials Istituto per il restauro
<b>Geoarcheologia marina</b>	Università CNR	Casaccia Frascati Portici S. Teresa	9	5	Attrezzatura subacquea video foto sub; ROV; Side Scan Sonar; Multibeam, DGPS Subacqueo imbarcazioni; Sonde oceanografiche; Carotiere SW-104 spettrometro laser	Distar - Università di Napoli;  Soprintendenza Archeologia della Campania;  Marenostrum (Archeoclub d'Italia)

Attività per i beni culturali	Competitor	Centri ENEA coinvolti	N. Persone coinvolte	Anni di esperienza nel campo	Strumentazione Disponibile	Contatti consolidati
<b>Caratterizzazione superfici pittoriche mediante analisi XRF</b>	Tecnica XRF in dotazione presso molte università e laboratori dedicati al BBCC, tuttavia si riconosce eccellenza ENEA	Casaccia	3	35	<b>Sistema RX Art Gil per radiografie su dipinti su tela e tavola; sistema XRF XGLab per misure XRF; riflettografo NIRR con CCD; spettrofotocolorimetro Teckon e Minolta</b>	Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro; Opificio delle Pietre Dure; Soprintendenze e Poli Museali di Roma, Milano, Firenze, Napoli, Bologna, Parma, ecc.; Opera del Duomo di Orvieto; Principali musei Roma, Firenze (Brera a Milano, Pinacoteca Nazionale Bologna); Principali Ditte Restauro private a Firenze e Roma; Università Perugia, Roma, Viterbo; CNR (vari istituti); CNRS e Università Parigi; Alcuni importanti musei stranieri
<b>Diagnosi dei materiali e delle strutture architettoniche</b>	CNR Università	Bologna Casaccia Brindisi	5	15-25	Pacometri.; Sclerometri CLS; Sclerometro da legno; Sclerometro per malte; Ultrasuoni; Termocamere; Resistograph (legno); Termogrametro; Endoscopia; Radiografia X; Eddy Current; Ultrasuoni; Prove Soniche; Monitoraggio microclimatico e vibrazionale; Termografia;  Scanner Laser; Spettroscopia dielettrica; Impulsatore Ultrasonoro a bassa frequenza IMG 5200; Sistema di monitoraggio termogrametrico indoor	Soprintendenza di Pompei; Ditta DRC; Università di Napoli; Università di Ferrara; Istituto Superior Tecnico di Lisbona; Musei Vaticani; Musei Capitolini; Soprintendenza di Roma; Basilica di San Pietro; Opera del Duomo di Orvieto; Soprintendenza dell'Umbria; Amministrazioni Comunali; Università di Lecce; CNR IBAM; Istituto Centrale per il Restauro; Politecnico di Bari; Università di Bordeaux (France); Università "La Sapienza" di Roma
<b>Caratterizzazione materiali</b>	CNR, Università  Per quanto riguarda la radiografia in dotazione presso quasi tutti i laboratori privati che effettuano indagini sui BBCC	Casaccia Bologna Faenza +Certimac	23	15-20; per XRF e Rx 30 anni	SEM con BSD, EDS e EBSD; Stereomicroscopio; Preparativa per microscopia elettronica (lappatrici, vaporatore C e metalli, sputtering Cr e Au);  XRD Difrattometro per polveri e piccoli oggetti; XRF, RX, riflettografia, colorimetria;  Macchine MTS prova materiali (caratterizzazione meccanica); Grindosonic (Impulse Excitation Method); ICP-AES Spettroscopia atomica; Laboratorio e impianti pilota per la deposizione di rivestimenti con tecnologie sol-gel (dip-coater, spin-coater, etc.); Termoflussimetro con anello di guardia; Camere climatiche per cicli di gelo disgelo	Per caratterizzazione dipinti: ISCR, OPD, musei in particolare del Lazio, soprintendenze e restauratori dell'area romana; CNR - ISTECC  Università di Bologna  Centro Ceramico Bologna

<sup>1</sup> Strumentazione per monitoraggio speditivo (sensori velocimetrici) o permanente (sensori accelerometrici) di siti e strutture;

<sup>2</sup> Interferometro radar per monitoraggio dinamico da remoto di strutture (ponti, torri, ecc.) e monitoraggio statico da remoto di versanti in frana

<sup>3</sup> Strumentazione per caratterizzazione dinamica del sottosuolo

## 4. Proposta ENEA: attività e obiettivi

Le tecnologie e le conoscenze scientifiche presenti in SSPT permettono di intervenire sui beni culturali a vari livelli, in maniera trasversale e sinergica, applicando tecniche integrate e, laddove necessario, mediante collaborazioni interdipartimentali.

In tale contesto, la metodologia di approccio integrato generalmente applicata per la salvaguardia di un bene storico richiede lo sviluppo completo ed esaustivo di quattro macro-fasi, la cui scelta molto spesso è caratterizzata da specificità territoriali in quanto dettata dalle esigenze dei detentori dei beni, preposti alla loro tutela/valorizzazione. Le macrofasi si riferiscono alle seguenti azioni: conoscenza, diagnosi, supporto agli interventi (dalla scala territoriale a quella microscopica sul singolo bene) e monitoraggio. In tutte queste fasi, come si evince nei paragrafi che seguono, i vari gruppi di esperti SSPT collaborano come polo tecnologico integrato per la realizzazione di un obiettivo comune: la salvaguardia e la valorizzazione dei Beni Culturali.

Le tecnologie e le metodologie applicate sono in continua evoluzione ed aggiornamento, parallelamente alla ricerca e sviluppo di nuovi materiali, nell'ottica di una ricerca sempre all'avanguardia.

### 4.1. Metodologia di approccio integrato

#### Conoscenza

Questa fase comprende, in primo luogo, la **conoscenza del sito** ove insiste il bene in oggetto, mediante la conoscenza dell'ambiente nel quale è inserito e delle potenzialità del territorio circostante, nonché dei rischi e degli elementi di vulnerabilità; in secondo luogo la **conoscenza del bene** stesso e degli eventuali **beni mobili** in esso contenuti od annessi.

Le competenze SSPT possono essere impiegate per svolgere attività per la valutazione del **rischio naturale** (idrogeologico e sismico) e **antropico** (rischio urbano) cui un Bene Culturale è soggetto. In particolare, per quanto concerne le competenze afferenti al **rischio naturale** (Geologia e Geomorfologia Applicata, Ingegneria Sismica) viene eseguita l'analisi del rischio tramite i seguenti passi procedurali: descrizione degli elementi di pericolosità naturale, tra i quali: franosità e sismicità del sito, presenza di faglie, ecc.; valutazione dell'intensità e della severità dell'evento (frane, terremoti, ecc); calcolo del rischio mediante combinazione di pericolosità del sito e della vulnerabilità e dell'esposizione del bene.

A supporto delle attività di analisi del rischio vengono sviluppate tecniche GIS avanzate e fotogrammetriche, sviluppo di software di modellazione numerica, progettazione e gestione di reti di monitoraggio sismico del territorio e delle strutture.

L'esperienza maturata permette a SSPT, a partire dal livello di pericolosità sismica del territorio calcolato nella condizione ideale di roccia affiorante e topografia orizzontale, di analizzare le condizioni geologiche, geotecniche, morfologiche e geofisiche del territorio al fine di determinare il livello di scuotimento atteso (in termini probabilistici) del sito in esame e la probabilità di occorrenza di fenomeni sismo-indotti, ad esempio mediante lo studio del potenziale di liquefazione di terreni saturi sciolti. In particolare, l'effetto combinato di scuotimento atteso al sito e risposta dinamica del bene monumentale viene calcolato mediante modellazione numerica accoppiata di terreno e struttura.

Nel caso di **siti sommersi** le attività che può svolgere l'ENEA nel campo consistono in: campagne in mare per indagini geofisiche (Side Scan Sonar, Multibeam, carotieri) e di mappatura delle aree di interesse con rilievi geomorfologici e geoarcheologici delle aree di studio e restituzione su sistemi informativi; attività con mezzi subacquei e ricercatori subacquei per il riconoscimento e la georeferenziazione dei manufatti antropici sommersi e dei popolamenti biologici che caratterizzano l'area e/o ricoprono i reperti; misura del tempo di seppellimento dei manufatti, mediante analisi di laboratorio che consistono nello studio del tasso di sedimentazione per mezzo di elementi radioattivi in tracce presenti nell'ambiente marino. In tale contesto SSPT, in collaborazione con il Dipartimento Tecnologie Energetiche (DTE) ha sviluppato sistemi in grado di operare in modo autonomo e tele-operato, sia a basse profondità che in acque profonde, e dei sistemi di visualizzazione ad alta risoluzione per ambienti ostili (ad es. acque torbide), che forniscono elementi utili per comprendere le dinamiche che durante le epoche storiche hanno determinato, per esempio, cambiamenti nelle linee di costa, processi di sedimentazione e/o processi di eustatismo del livello del mare.

Attività trasversale alla fase di conoscenza, sia per la valutazione dei rischi naturali ed antropici, sia per la caratterizzazione/monitoraggio di coperture del suolo e materiali e la definizione dell'assetto morfostrutturale dell'area di studio è il **Telerilevamento**. Il laboratorio di Telerilevamento e Image-processing per il trattamento di dati acquisiti da satellite, aereo e da droni, da anni collabora con professionisti, università e agenzie spaziali italiana ed europea su tematiche relative a risorse naturali e rischi territoriali per la valutazione della vulnerabilità dei beni culturali. In questo contesto di tecnologie integrate uno studio multitemporale e multispettrale attraverso tecnologie telerilevate può dare un valido supporto per la conoscenza dell'area di intervento e soprattutto per la valutazione dei rischi. In particolare, la capacità spaziale e spettrale di sensori attivi e passivi ha aperto nuove prospettive per l'utilizzo della EOT (Earth Observation Technology) non solo per la ricerca, ma anche per la conservazione, valorizzazione, monitoraggio e gestione delle risorse culturali. L'analisi delle bande spettrali, dell'infrarosso vicino e medio, per esempio, permettono l'individuazione di tonalità di grigio non visibili all'occhio umano, mettendo in risalto potenziali strutture sepolte attraverso anomalie nella distribuzione dell'umidità e/o della vegetazione nei suoli.

La **conoscenza dell'oggetto/sito/edificio** di studio passa anche attraverso il dettagliato rilievo dello stesso, mediante l'uso di scansioni tridimensionali per elaborare rapide e fedeli ricostruzioni 3D. Questa attività vede la collaborazione interdipartimentale in quanto il rilievo di dettaglio può essere fatto sia mediante l'uso di Scanner Laser, sia mediante il solo uso della fotografia digitale e la rapida creazione di modelli 3D ad alta risoluzione. Tutte queste informazioni possono essere inserite in un sistema WebGIS reso disponibile ai vari operatori pubblici o privati, oltre che ai gruppi di ricerca interessati.

È in fase di definizione un sistema interattivo geocodificato nel quale saranno registrati e consultabili in tempo reale tutti i prodotti eseguiti relativamente ai Beni Culturali ed Aree Archeologiche, attraverso strumenti informativi che permettano l'interrogazione multilayer delle informazioni (ubicazione geografica, descrizione, caratteri, interventi). Il sistema, oltre a permettere l'interrogazione, avrebbe la possibilità di creare cartografie tematiche di distribuzione e gestione. Attualmente sperimentato su un'area pilota, può diventare anche strumento di gestione dati in caso di movimentazione del bene e strumento di controllo in caso di calamità naturali.

## Diagnosi

La fase di diagnosi permette di conoscere lo stato di conservazione del bene mobile o immobile, ovvero del sito archeologico indagati.

Il gruppo di esperti dei laboratori di SSPT possiede esperienza ultradecennale e strumentazioni in grado di **valutare lo stato di conservazione**, le proprietà meccaniche e la resistenza residua di un elemento strutturale o di un materiale in genere, con **tecniche Non-Distruttive** e quindi senza danneggiare il bene oggetto di indagine.

È possibile, ad esempio, individuare, per elementi/oggetti lignei specie legnosa, umidità, classe di rischio biologico, presenza di degrado biologico ed estensione dello stesso. È possibile altresì classificare gli elementi lignei assegnando loro una classe di resistenza e, conseguentemente, valutare la capacità di resistere alle azioni cui è sottoposto o si prevede di sottoporlo, in accordo alle norme vigenti. Analogamente, per elementi strutturali in cemento armato e muratura è possibile stabilire la classe di appartenenza, lo stato di degrado e la capacità portante residua senza alterare lo stato di fatto, né creare danni all'elemento studiato, in accordo alla norma vigente.

Con specifico riferimento ai beni mobili (sculture lignee, dipinti su tela e tavola, terracotta policrome, mosaici), SSPT svolge attività di ricerca e di servizio avanzato di **radiografia** e di **spettrofotometria XRF** che consentono di indagare la struttura e lo stato di conservazione di manufatti di varia natura. Inoltre, mediante indagini di riflettografia, che rivelano l'underdrawing (disegno preparatorio, pentimenti, date, firme, codici cromatici e tutto ciò che l'artista ha tracciato come ausilio alla stesura del colore), è possibile interpretare la genesi creativa di un dipinto e contribuire all'attribuzione di un'opera. La colorimetria, altra tecnica applicata allo studio delle superfici cromatiche, permette di monitorare le coordinate cromatiche per controllare nel tempo le alterazioni dei colori. L'attività di diagnostica dei materiali pittorici può essere di supporto sia a interventi di restauro che a studi conoscitivi sulle tecniche esecutive e di conservazione.

Il Dipartimento SSPT svolge attività anche nel campo della **caratterizzazione microstrutturale dei materiali** mediante tecniche che consentono lo studio di materiali appartenenti a diverse categorie sia inorganici che organici (Microscopia Ottica ed Elettronica con microsonda, Diffrazione di Raggi-X, analisi Termiche, Spettroscopia Raman, nanotomografo).

In alcuni casi mediante lo studio della struttura dei materiali è possibile risalire alla tecnologia di produzione dei manufatti antichi e avere informazioni sulla preservazione e su eventuali trattamenti di conservazione e recupero. Inoltre, mediante l'osservazione della superficie ed il prelievo di micro-campioni è possibile conoscere gli elementi costituenti i pigmenti ed eseguire diagnosi puntuale dei microrganismi colonizzatori (funghi, batteri, alghe) e l'individuazione dei microorganismi responsabili degli specifici fenomeni di bio-deterioramento.

## Supporto agli interventi

A valle della conoscenza del bene e della valutazione del suo stato di conservazione, si valuta se e come intervenire sullo stesso. I livelli di intervento e le tecniche utilizzate saranno correlate, oltre naturalmente alla natura del bene, alle prestazioni e funzioni ad esso richieste.

Per quanto concerne **interventi di tipo strutturale** e architettonico su siti o edifici è possibile mettere in campo tecniche per la gestione del rischio (risk management), intervenendo nei confronti della pericolosità (ove possibile), della vulnerabilità, degli elementi a rischio o del rischio accettabile: il bene deve essere

innanzitutto sicuro. Per garantire la trasmissione del bene alle future generazioni salvaguardando i valori culturali di cui è portatore, è necessario coniugare i requisiti di sicurezza e conservazione con interventi strutturali che consentano alla struttura di esprimere il massimo di resistenza all'elemento di pericolosità, come ad esempio al sisma, compatibile con la sua organizzazione complessiva, la qualità dei suoi materiali, l'efficacia delle sue connessioni, senza stravolgerne la logica costruttiva originaria.

Si propongono a tal proposito **strategie di riduzione della vulnerabilità innovative** e rispettose dei dettami di conservazione delle caratteristiche costruttive originali delle strutture storiche, come l'innovativo brevetto ENEA-POLITO che prevede l'utilizzo dell'isolamento sismico in sottofondazione senza intervenire sulla sovra-struttura (o permettendo l'utilizzo di tradizionali e compatibili interventi) ma garantendo la completa protezione rispetto alla sollecitazione sismica.

Le prove non distruttive utilizzate in sito sui BBCC consentono di definire lo stato di salute di una struttura architettonica o di un monumento. Per le strutture architettoniche queste analisi si possono ripetere nel tempo (monitoraggio) fornendo un valido supporto per la stesura di un progetto di recupero. Inoltre, tali prove possono essere eseguite in laboratorio, integrando i risultati ottenibili con la **caratterizzazione meccanica** distruttiva dei materiali (determinazione di leggi costitutive) e dei sistemi di rinforzo strutturale, per validare i modelli in scala di strutture e monumenti da testare sulle tavole vibranti. Dalle attività diagnostiche in laboratorio ed in campo sui BBCC si ottengono informazioni (report, dati, immagini e video) che raccolte in modo sistematico costituiscono una banca dati di notevole importanza per l'ENEA.

Il Dipartimento SSPT svolge attività di ricerca e sviluppo di **materiali e tecniche innovative, ecosostenibili e reversibili per costruzioni in zona sismica**. Sono attualmente allo studio tecniche di rinforzo strutturale basate sull'utilizzo di biomateriali a basso costo e che permettono interventi ecocompatibili e reversibili. Lo sviluppo di queste tecnologie farebbe da traino nella creazione di una nuova filiera bio-industriale attraverso l'impiego e la valorizzazione di risorse locali.

Gli esperti SSPT, in collaborazione con i gruppi di altri dipartimenti che si occupano di Efficienza energetica, sono in grado di proporre soluzioni di riqualificazione del bene/sito, oltre che in termini di sicurezza nei confronti di eventi catastrofici (sisma, frane) e di fruibilità degli spazi, ottimizzando le risorse al fine di ottenere un Near Zero Energy Building con tecnologie e materiali "eco-sostenibili". I ricercatori SSPT propongono l'uso di materiali innovativi, che richiedono impiego di risorse naturali limitate come i **bio-materiali con elevate prestazioni termo-igrometriche** (fibre naturali).

Con riferimento all'archeologia marina, gli interventi sono volti principalmente alla fruizione dei siti sommersi e alla diffusione delle informazioni storiche da esse ottenibili, anche mediante la realizzazione di itinerari subacquei, che evidenziano le bellezze archeologiche dei reperti rinvenuti sui fondali nel contesto del **paesaggio naturale** dei siti di ritrovamento. Questo, oltre a rappresentare una risorsa per il Paese, è indispensabile per il mantenimento del sito stesso. Inoltre, il laboratorio di attività di **geoarcheologia sottomarina** del Centro Enea di Portici in collaborazione con i colleghi di DTE, ha sviluppato tecnologie innovative che consentono di effettuare una visita "live" in siti archeologici sottomarini tramite piccole unità robotiche; si tratta di un **museo remoto**, basato sul concetto della telepresenza, che rende possibile percorsi teleoperati direttamente dall'utente o prestabiliti dal gestore museale.

Particolare rilevanza assume in questi contesti lo sviluppo di biotecnologie microbiche e rivestimenti per la protezione e conservazione sostenibile del patrimonio artistico. L'attività esplora e valorizza il potenziale microbico spontaneo per lo sviluppo di nuove procedure, nuove tecnologie e nuovi prodotti, con lo scopo di

andare verso la sostituzione di prodotti tossici nel mercato del restauro. Propone soluzioni a bassi costi, a basso impatto ambientale, senza tossicità per gli operatori, che fanno uso di prodotti selettivi per i materiali da rimuovere e sicuri per l'opera. Lo sviluppo di quest'attività prevede di creare una nuova filiera di bio-industria, la filiera del "**Biorestauro**" che propone soluzioni/prodotti/servizi avanzati attraverso tre tappe: ricerca, industrializzazione del prodotto e applicazione su scala reale (rif. Traiettorie 11).

A completare il pacchetto di offerta sulla protezione del singolo bene dalle sollecitazioni meccaniche sia vibrazionali che statiche, SSPT si occupa anche delle attività di consulenza e implementazione di apparati di movimentazione e trasporto in sicurezza di statue o altri beni mobili di valore.

### Fase di Monitoraggio

Attività trasversale a tutte quelle svolte da SSPT è il monitoraggio. Esso può risultare necessario sia nella fase di conoscenza, sia durante la vita dell'opera/bene, sia come elemento di valutazione della efficacia di eventuali interventi eseguiti. Per strutture di particolare interesse, per le quali è necessario conoscere aspetti legati all'uso (frequenza di accessi, tipologia di utenza, andamento dei consumi di energia e acqua) e anche per conoscere il comportamento dinamico, indice significativo del suo stato di conservazione, si propone la realizzazione di reti di monitoraggio. Possono essere implementati sistemi di monitoraggio, anche a basso costo, che possano sfruttare le nuove possibilità offerte da wireless e reti esistenti per la memorizzazione e la trasmissione a lunga distanza dei dati, o reti di monitoraggio fisso accelerometrico, parimenti a quanto già avviene per gli edifici dell'OSS (Osservatorio Sismico Strutture) del DPC (Dipartimento della Protezione Civile). Con particolare riferimento al monitoraggio dinamico delle strutture, si sottolinea come la tecnica innovativa nota come "interferometria sismica" abbia recentemente conosciuto un rapido sviluppo. Tale tecnica, associata allo sviluppo della tecnologia legata ai sensori sismici, che vedono un continuo aumento della loro sensibilità a fronte di una riduzione delle dimensioni complessive e del consumo di energia, è applicabile allo studio del comportamento di siti e strutture di particolare interesse storico/architettonico e culturale, mediante reti di **monitoraggio delle vibrazioni ambientali** a basso costo e non invasive. Reti siffatte potrebbero essere utilizzate per determinare il comportamento di siti e strutture di particolare interesse sottoposti alla sollecitazione indotta da una serie di parametri ambientali in grado di determinare una variazione nelle caratteristiche dinamiche delle strutture stesse, oltre al terremoto, quali la temperatura e l'umidità. SSPT intende procedere nell'esplorazione delle potenzialità del metodo, congiuntamente all'analisi di dati provenienti da reti di monitoraggio che utilizzano altri metodi e strumenti nella disponibilità del Dipartimento, come i sistemi radar terrestri e quelli che impiegano le fibre ottiche.

Il dipartimento SSPT si propone di effettuare anche attività di **monitoraggio indoor della qualità dell'aria** negli ambienti confinati, di grandissima importanza per la tutela di opere artistiche in contesti museali. L'attività potrebbe coinvolgere altri gruppi di competenze SSPT che si occupano di dati territoriali-fisici (atmosfera, umidità, temperatura) attraverso l'utilizzo di modelli. La modellistica climatica regionale può contribuire, infatti, alla quantificazione degli impatti dovuti all'intensificazione di eventi estremi e all'aumento del livello del mare su scale di tempo lunghe. La localizzazione del dato climatico consente inoltre una più dettagliata analisi dei danni cronici ai materiali dovuti a variazioni del clima (stress termici, radiazione, erosione/deposizione) e può essere di supporto alla pianificazione degli interventi conservativi.

## 4.2. Trasferimento tecnologico e centri di formazione regionali

I diversi brevetti<sup>154</sup> sviluppati nel corso degli anni sono oggetto di trasferimento tecnologico sia verso committenza privata che pubblica.

SSPT fornisce alle piccole e medie imprese servizi e consulenze per la diagnostica avanzata nel campo dei controlli non distruttivi per il patrimonio artistico, svolgendo numerose attività di formazione in vari campi di applicazione.

Le competenze e le esperienze già maturate da SSPT in questo campo suggeriscono la potenziale creazione di centri di formazione permanenti nei vari centri ENEA riconosciuti da ACCREDIA per la certificazione del personale e dagli Ordini Professionali per l'assegnazione di crediti formativi professionali.

## 5. Posizionamento ENEA nei confronti dei competitori nazionali ed internazionali

Per la maggior parte delle tematiche trattate i competitori ENEA sono i vari istituti CNR e le Università che, con cordate già consolidate, operano per il MiBACT ormai da diversi anni.

Pur esistendo, in campo nazionale ed internazionale, competitori per alcune specifiche attività, l'ENEA, ed in particolare il Dipartimento SSPT, si caratterizza per la presenza di competenze multidisciplinari ed affermate nel campo specifico dei BB.CC., scaturite da anni di attività di ricerca e applicazioni su beni reali, che tra l'altro hanno portato anche ad alcuni brevetti oltre ad attività esclusive derivate dalla unicità delle sue infrastrutture.

L'ENEA, infatti, con le competenze al suo interno, è in grado di offrire un dialogo multidisciplinare per una corretta gestione del patrimonio storico individuando scenari di possibili rischi e di gestione delle calamità, attraverso valutazione delle criticità, monitoraggio e misure di salvaguardia e valorizzazione.

Al fine di garantire un'efficacia di sistema, sarebbero auspicabili accordi che dovrebbero convergere nell'istituzione di centri permanenti di studio, per una programmazione ed una scelta degli interventi estesa ed efficace, in modo tale da realizzare una gestione di tutto il patrimonio storico in maniera programmatica e organica.

## 6. Potenziali fonti di finanziamento

Da diversi anni il settore della *science conservation* è presente in quasi tutte le tematiche di programmi di ricerca nazionali, europei e internazionali. Nei programmi regionali c'è sempre attenzione per il patrimonio artistico. In H2020, pur non essendo presente una call dedicata ai BB.CC., la tematica della conservazione del patrimonio artistico in forma secondaria entra in diverse call (NMP o Security). A livello internazionale la

<sup>154</sup> **BREVETTO EUROPEO** 1) Biotechnology process for the removal of cohesive deposits of organic and inorganic origin from materials and works of historical and artistic interest . Deposito di domanda brevetto internazionale PCT/IT 2014/000246. Inventori: Anna Rosa Sprocati, Chiara Alisi, Flavia Tasso. 2) De canio " apparato per la protezione dai terremoti di statue, opere d'arte e strutture delicate mediante dispositivi di isolamento sismico"; codice id. N° RM20006A000141 3) De Canio "Basamenti antisismici in marmo, ceramica, acciaioceramica per la protezione dai terremoti di statue, opere d'arte, teche museali e strutture delicate" codice id. N° RM2011A000187. 4) Clemente P., De Stefano A., Barla G. (2010). "Seismic isolation structure for existing buildings". (Verbale Dep. 02.04.2010, N. RM2010A000158; PCT/IB2011/000716, 02.04.2011; Notification EPO 14.11.2012, Patent No. 11724737.9 – 1255)

Banca Mondiale ed alcuni enti stranieri o sovranazionali potrebbero manifestare interesse e cofinanziare parte delle attività anche relative alla cooperazione transfrontaliera.

Il MAECI sia per i progetti di Mobilità dei ricercatori che per quelli di Grande Rilevanza indica i beni culturali tra le tematiche di suo interesse. Nel settore privato/industriale potrebbero essere coinvolti partner industriali che possono beneficiare delle agevolazioni fiscali per investimenti nel settore.

La presenza di attività sui BB. CC. in diversi centri ENEA permette collaborazioni territoriali (ad esempio con soprintendenze locali) su tematiche specifiche che rispecchiano le peculiari esigenze. Le azioni, quindi, possono essere promosse dagli enti locali ed autorità per la gestione del territorio come Comuni, Province, Regioni, Aziende Municipalizzate, Consorzi di Bonifica, Autorità di Bacino, Enti Parco ecc. I fondi vanno ricercati tra quelli per il riassetto idrogeologico e la protezione e valorizzazione del patrimonio Culturale e Turistico, finanziabili dai diversi ministeri quali dell'Ambiente (MATTM), dei Beni Culturali (MiBACT) e della Agenzia di Coesione Territoriale o dagli stessi Enti Locali.

Nei prossimi anni, il Governo italiano ha deciso di fare della cultura un asset strategico dello sviluppo nazionale, sia come fattore cruciale per la crescita e la coesione sociale, sia per gli effetti e le ricadute positive nell'ambito della filiera turistica. A tale scopo ha approvato, insieme alla Commissione Europea, il PON Cultura e Sviluppo 2014-2020, cofinanziato dai fondi comunitari (FESR) e nazionali per circa 490 milioni di euro per interventi di valorizzazione e tutela del patrimonio culturale di 5 regioni del Mezzogiorno (Basilicata, Calabria, Campania, Puglia e Sicilia). Inoltre, ha affidato al MiBACT il ruolo di amministratore proponente e di Autorità di gestione, le cui articolazioni territoriali (Soprintendenze, ecc.) sono raccordate in forma di coordinamento con le amministrazioni regionali attraverso specifici Accordi Operativi di Attuazione (AOA).

Di rilievo la prossima pubblicazione anche il Bando H2020 finanziato dal PON attraverso lo strumento del FCS riguardante R&S focalizzata sulle tecnologie abilitanti e industriali che rientrano nelle tematiche delle 5 aree della Strategia di Specializzazione Nazionale (tra cui anche 4. Turismo patrimonio culturale e industria della creatività).

Altre fonti di finanziamento possibili sono i JPI (Joint Heritage European Programme, <http://www.jpi-culturalheritage.eu/heritage-plus/>) e il programma triennale, 2016-2018, relativo al Fondo per la tutela del patrimonio culturale (n. 253).

Per quanto riguarda i beni di proprietà di Banche, Assicurazioni o Fondazioni, sarebbe auspicabile una convenzione con gli Istituti di riferimento per la salvaguardia del loro patrimonio storico-artistico.

Una forma diversa di reperire finanziamenti e che consente di disporre di forti sostegni economici è il fund raising; in questo caso le risorse provengono da privati, Associazioni no profit, Fondazioni ed Enti vari che investono senza fini di lucro. Questa possibilità è prevista anche dall'art.120 del Codice Urbani (2004) che permette l'associazione del nome, del marchio, dell'immagine, dell'attività o del prodotto all'iniziativa oggetto del contributo, in forme compatibili con il carattere artistico del bene da valorizzare. Inoltre, molte imprese già utilizzano la legge 342/2000 per la deducibilità fiscale a cui si è aggiunto il DM ArtBonus che introduce strumenti operativi per sostenere il patrimonio culturale e rilanciare il settore turistico.