

## TRAIETTORIA 6. TECNOLOGIE PER LA CONSERVAZIONE DEL PATRIMONIO CULTURALE

### GRUPPO DI ESPERTI

<b>Esperti:</b>	<b>Enti:</b>
Prof.ssa Elisabetta Zendri (coordinatore)	<i>Università degli Studi "Ca' Foscari" di Venezia</i>
Prof. Piero Baglioni	<i>Università degli Studi di Firenze</i>
Prof. Filippo De Rossi	<i>STRESS S.c.ar.l.</i>
Prof. Eliano Diana	<i>Università degli Studi di Torino</i>
Arch. Stella Fanou	<i>ENEA - Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile</i>
Dr.ssa. Elisa Franzoni	<i>Università "Alma Mater Studiorum" di Bologna</i>
Prof.ssa Mariaenrica Frigione	<i>Università del Salento</i>
Prof. Mauro Francesco La Russa	<i>Cultura e Innovazione S.c.ar.l.</i>
Dr.ssa Anna Piccirillo	<i>Centro per la conservazione ed il restauro dei Beni Culturali "La Venaria Reale"</i>
Dr. Marco Realini	<i>Consiglio Nazionale delle Ricerche</i>
Prof.ssa Lucia Toniolo	<i>Politecnico di Milano</i>

Il presente documento riporta la valutazione dello stato dell'arte delle ricerche scientifiche nell'ambito della traiettoria, dei progetti finanziati (nazionali ed EU), della formazione in ambito accademico, degli stakeholders coinvolti e le possibili linee di sviluppo delle ricerche.

La valutazione dell'impatto della ricerca italiana nell'ambito dello sviluppo di nuovi materiali e metodologie per la conservazione del patrimonio culturale può essere esaminata considerando i dati relativi alla produzione scientifica riportati dal più grande database di 'abstracts & citations' di riviste scientifiche peer-reviewed, cioè SCOPUS.

Incrociando le *keyword* 'Conservation' e 'Cultural Heritage' si ottengono circa 5000 records che sono concentrati negli ultimi 20 anni e quasi la metà negli ultimi 5 anni, con un tasso di crescita esponenziale. L'altro dato che emerge è l'assoluta *leadership* del nostro Paese in questo settore, trainata in particolare da alcune istituzioni accademiche e di ricerca, che producono quasi il 25% della produzione scientifica mondiale (vedi *figura 28*).

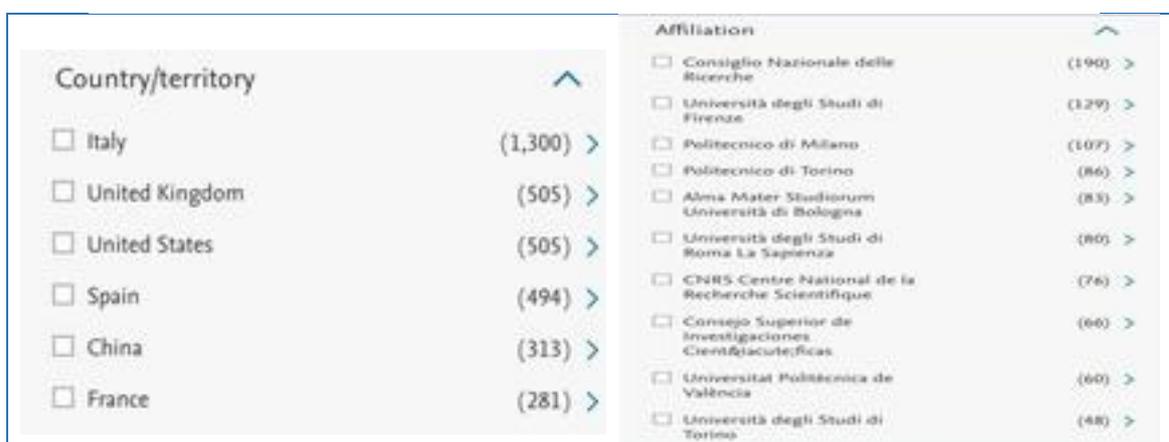
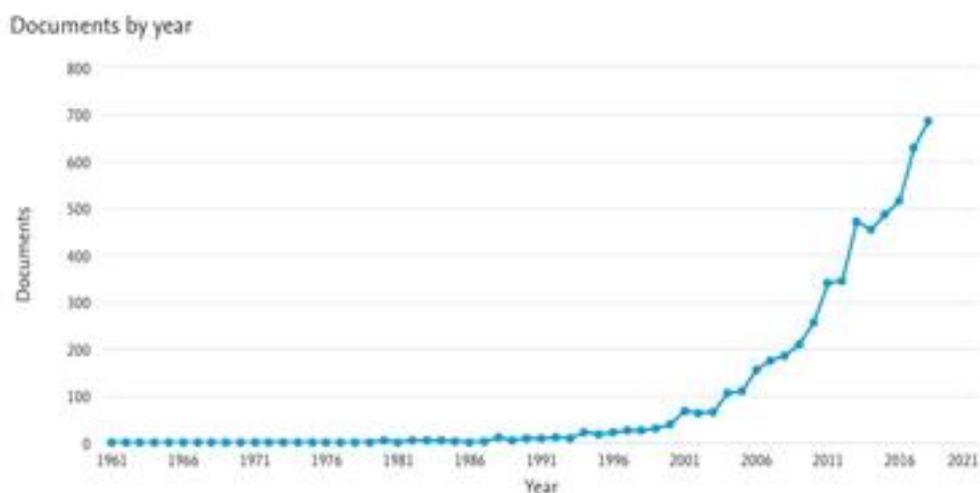


Figura 28. Documenti prodotti nell'ambito delle ricerche riconoscibili attraverso keyword 'Conservation' e 'Cultural Heritage' e istituzioni coinvolte

#### DEFINIZIONE SOTTO-TRAIETTORIE

Data l'ampia articolazione delle tematiche incluse nella traiettoria 6, si ritiene utile suddividerle in sottotraiettorie che raccolgono ambiti di ricerca e sviluppo specifici per tipologia di supporto e di intervento, come riportato di seguito:

6.1. Tecnologie e nuovi materiali per la conservazione di superfici architettoniche inclusive anche delle opere musive e delle pavimentazioni (pulitura, consolidamento, protezione)

- PROTEZIONE E CONSOLIDAMENTO MATERIALI LAPIDEI
- BIOCIDI E MATERIALE LAPIDEO

- CONSERVAZIONE PREVENTIVA

#### 6.2. Tecnologie e nuovi materiali per la conservazione degli apparati murari (inclusi materiali per interventi in aree sismiche)

- CONSOLIDAMENTO E RISANAMENTO MURATURE
- RETROFIT, FRM

#### 6.3. Tecnologie e nuovi materiali per la conservazione di beni mobili (pulitura, consolidamento, protezione)

- DEACIDIFICATION, CLEANING
- PROTECTION
- UNDERWATER

### 6.1. TECNOLOGIE E NUOVI MATERIALI PER LA CONSERVAZIONE DI SUPERFICI ARCHITETTONICHE INCLUSIVI ANCHE DELLE OPERE MUSIVE E DELLE PAVIMENTAZIONI (PULITURA, CONSOLIDAMENTO, PROTEZIONE)

#### **PROTEZIONE E CONSOLIDAMENTO MATERIALI LAPIDEI**

Utilizzando le *keyword* ‘Stone & consolidation’ si rilevano 850 records di cui 308 negli ultimi 5 anni (vedi *figura 29*). Si rileva il significativo cambio di pendenza riscontrabile a partire dal 2012 che culmina con il 2018 cui corrispondono circa 1500 citazioni per anno. La maggior parte delle ricerche sono prodotte da ricercatori italiani, come rilevato nella per la quasi totalità delle ricerche relative all’ambito Cultural Heritage (vedi *figura 30*). Dalla ricerca effettuata con le parole chiave “Protection” & “Cultural Heritage” nell’intervallo temporale 2015-2019 risultano 1556 documenti, con una media di circa 340 pubblicazioni/anno. L’Italia è *leader* nella ricerca, nel periodo considerato, con 281 documenti censiti. Fra le istituzioni più attive nell’ambito di questa ricerca specifica, risultano il Politecnico di Milano, L’Università di Firenze, il Consiglio Nazionale delle Ricerche, L’Università di Roma La Sapienza, Il Politecnico di Torino e L’Università di Bologna.

Fra gli enti finanziatori riportati, i principali risultano essere la National Natural Science Foundation of China e La Commissione Europea. Fra gli enti italiani il più significativo è il MIUR.

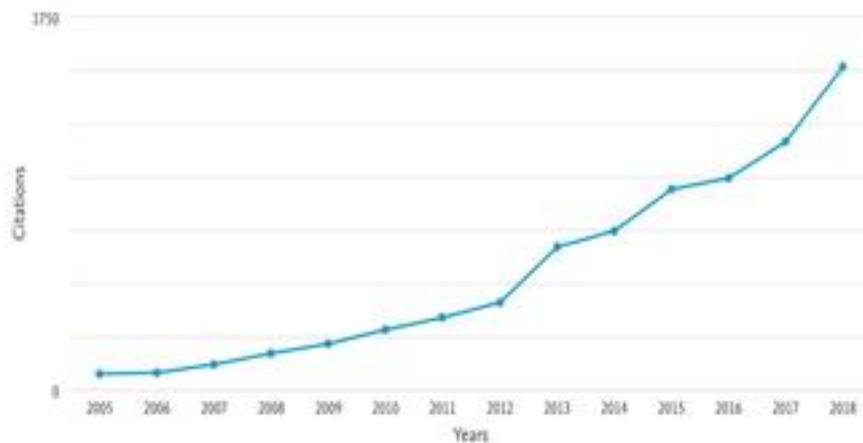


Figura 29. Numero di citazioni rilevate con le keyword 'Stone & Consolidation'

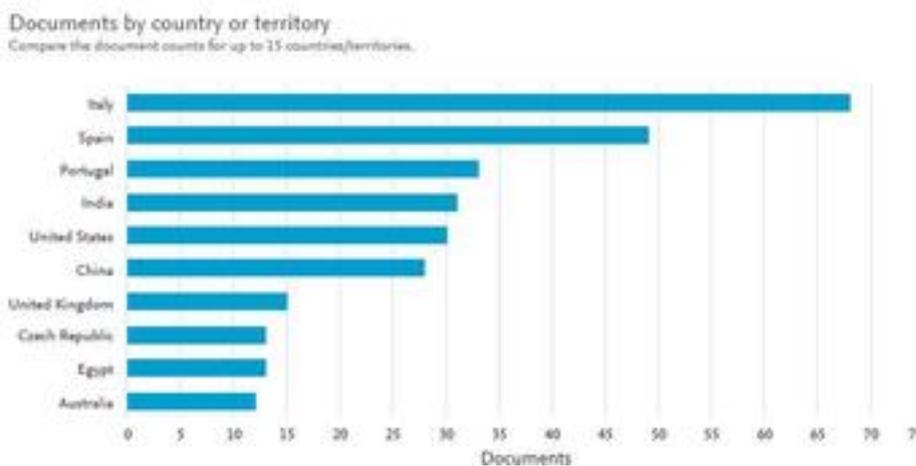


Figura 30. Numero di documenti rilevati con keyword 'Stone & Consolidation' suddivisi per nazione.

### BIOCIDI E MATERIALE LAPIDEO

Dalla ricerca con le parole chiave "biocidi & Cultural & Heritage" risultano 58 pubblicazioni negli ultimi 5 anni (vedi figura 31). Anche in questo settore l'Italia risulta leader nella produzione dei lavori. Il numero di pubblicazioni relative al tema del controllo dei biodeteriogeni su superfici lapidee ("biocidi & stone") risulta essere analogo per gli ultimi 5 anni (54 lavori) con un evidente crescente interesse in particolare per la prevenzione del biodeterioramento in aree archeologiche.

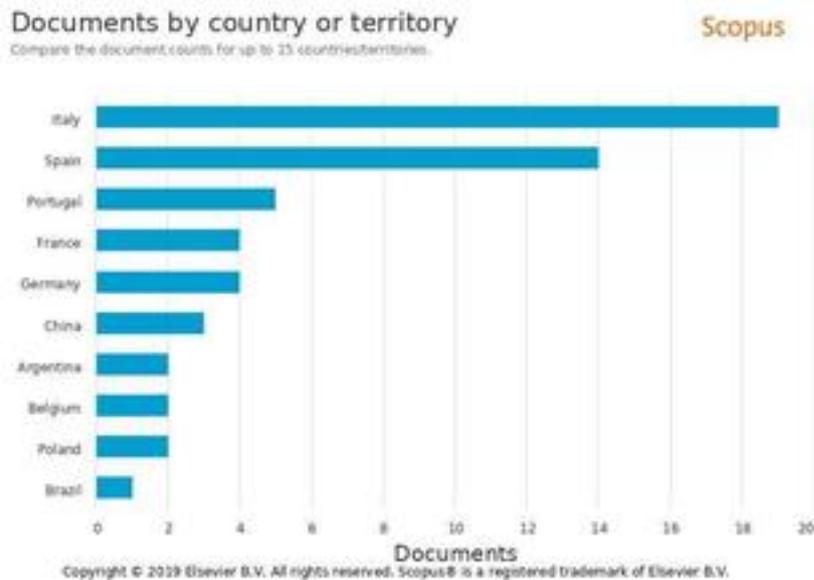


Figura 31. Numero di documenti rilevati con Keyword “biocide & Cultural & Heritage” suddivisi per nazione.

### CONSERVAZIONE PREVENTIVA

La valutazione generale sull’andamento delle ricerche nell’ambito degli interventi di conservazione preventiva (preventive conservation) inserendo le parole chiave “preventive conservation” e limitando la ricerca al periodo 2000 – 2018, riporta 477 documenti, prodotti per circa un terzo (il 30.5%) da centri e/o autori italiani come emerge dai dati rilevati (vedi figura 32).

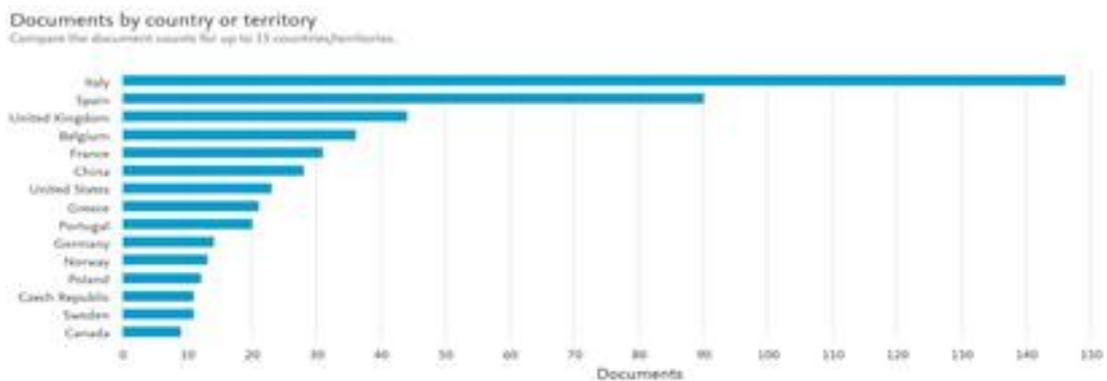


Figura 32. La distribuzione delle pubblicazioni per Paese

Restringendo l'interesse al campo del monitoraggio microclimatico "microclimate monitoring", si osserva una crescita rilevante a partire dal 2011, con un numero di prodotti pari a 77, il che, se confrontato con in numero totale di prodotti della macroarea (477) rappresenta quasi il 20% del totale (vedi figura 33).

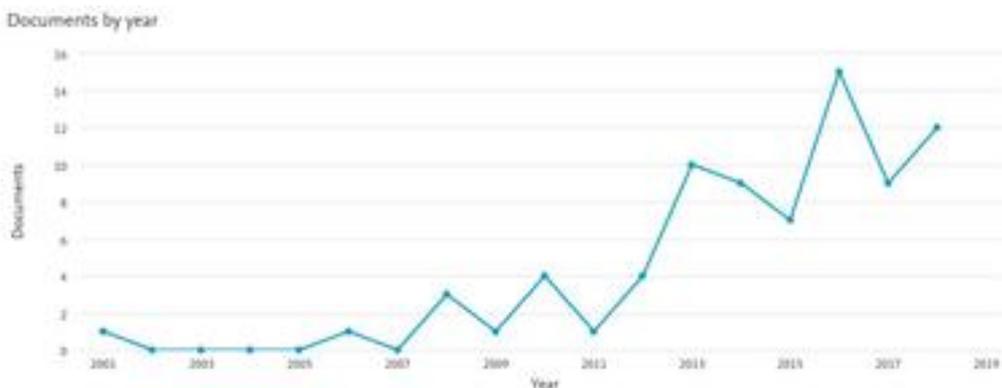


Figura 33. Numero di pubblicazioni per anno con key-word "preventive conservation & microclimate monitoring" a partire dal 2001.

I prodotti sono principalmente articoli su rivista (70.1% del totale) con un forte coinvolgimento delle discipline in area ingegneristica (19.9%) (vedi figura 34). Una percentuale molto rilevante delle pubblicazioni fa anche riferimento alle aree delle scienze fisiche e delle scienze ambientali, a causa della particolarità dei fenomeni di degrado che coinvolgono la necessità di una caratterizzazione delle principali grandezze ambientali (chimico-fisiche, meteorologiche ecc.).

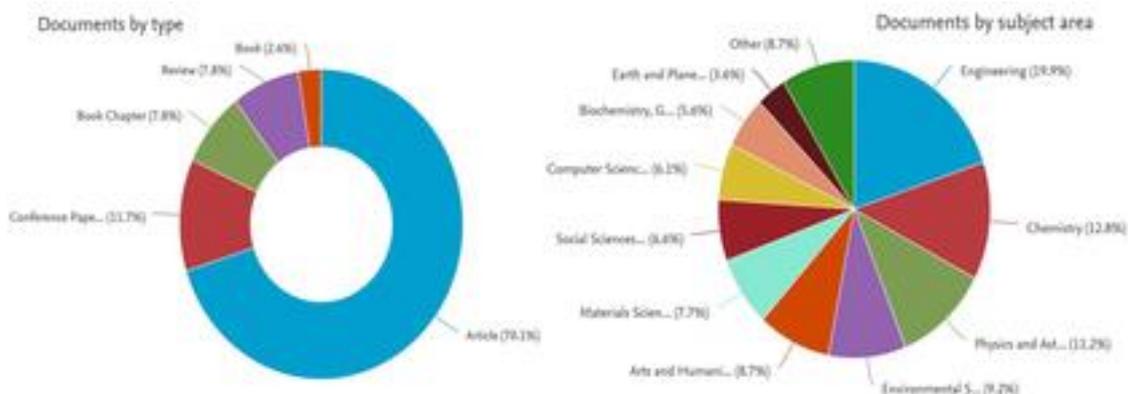


Figura 34. Distribuzione pubblicazioni per tipo (a sinistra) e per area tematica (a destra) a partire dal 2001. Chiave di ricerca "preventive conservation & microclimate monitoring".

Un dato interessante riguarda le fonti di finanziamento che hanno sostenuto le ricerche. Nella precedente valutazione i fondi derivano per lo più dal Ministerio de la Economía y Competitividad spagnolo con una quasi totale assenza di enti italiani eccezion fatta per un solo progetto finanziato dell'Università di Bologna (vedi figura 35).

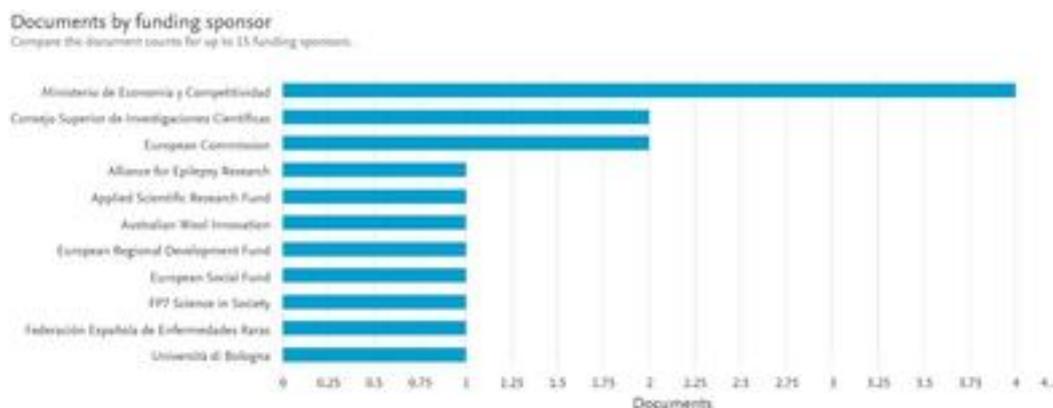


Figura 35. Fonti di finanziamento delle ricerche “preventive conservation & microclimate monitoring”.

In definitiva si può rilevare che il tema relativo al monitoraggio microclimatico per la conservazione preventiva del patrimonio storico e culturale non solo è un tema di ricerca molto investigato, ma vede una notevole partecipazione dell'Italia con una produzione scientifica di elevato pregio. Infatti, la maggior parte delle pubblicazioni si riferisce a riviste internazionali con elevato Impact Factor (IF), tra le quali si ricordano Sensors, International Journal of Cultural Heritage, Energy and Buildings e Building and Environment. A fronte di questo consistente contributo alla ricerca, l'Italia non appare come ente finanziatore se non un solo caso che ha visto coinvolta Università di Bologna.

## 6.2. TECNOLOGIE E NUOVI MATERIALI PER LA CONSERVAZIONE DEGLI APPARATI MURARI (INCLUSI MATERIALI PER INTERVENTI IN AREE SISMICHE)

### CONSOLIDAMENTO E RISANAMENTO MURATURE

La ricerca effettuata utilizzando le keyword “masonry” & “strengthening” riporta 1104 documenti negli ultimi 5 anni, con una lieve diminuzione di pubblicazioni negli ultimi due anni. Anche in questo settore prevale la produzione scientifica italiana (vedi figura 36).

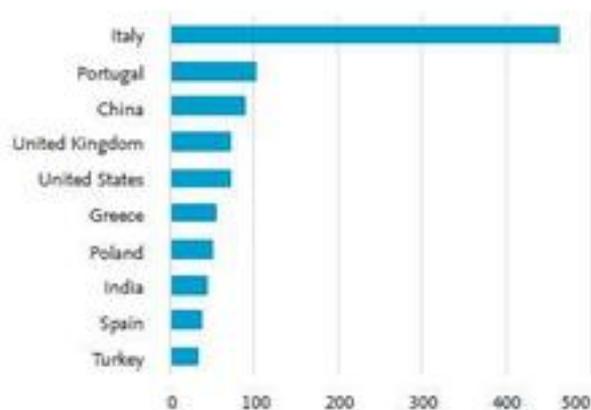


Figura 36. Numero di documenti rilevati con le Keyword “masonry” & “strengthening” suddivisi per nazione.

Limitando la ricerca al periodo 2014-2019, vengono rilevati 107 documenti, prodotti in particolare da centri e/o autori italiani.

Estendendo invece l’andamento delle ricerche agli ultimi vent’anni, sempre relative ai prodotti scientifici con tema “masonry & consolidation”, si osserva una crescita rilevante a partire dal 2013, anche se il numero complessivo di pubblicazioni per anno rimane inferiore a quello rilevato per altri ambiti dei beni culturali (vedi figura 37).

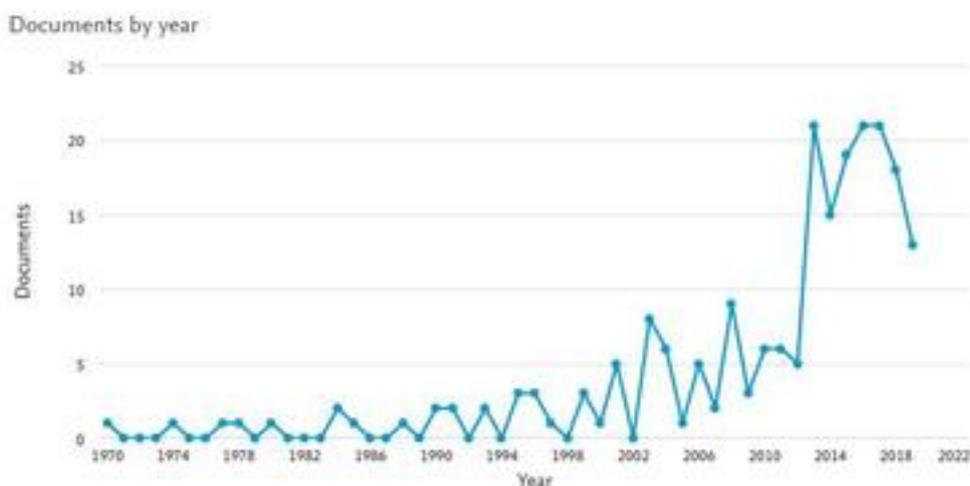


Figura 37. Il numero di pubblicazioni per anno con keyword “masonry & consolidation” a partire dal 1970

Le pubblicazioni sono riportate soprattutto in atti di convegni, a differenza di quanto accade per altri settori, dove prevalgono invece le pubblicazioni in riviste. Una percentuale rilevante di pubblicazioni fa riferimento all'area ingegneristica, seguita da quella della scienza dei materiali. Una percentuale rilevante delle pubblicazioni fa anche riferimento alle aree delle scienze sociali e delle scienze umane, probabilmente per la tipologia di manufatti indagati (architetture storiche).

Spostando l'attenzione al tema del risanamento delle murature da umidità e utilizzando le parole chiave "historical & masonry & moisture", emergono 54 lavori nell'ultimo quinquennio, la maggior parte dei quali presentati in convegni. Il Paese che ha prodotto il maggior numero di pubblicazioni è la Repubblica Ceca seguita dall'Italia.

Un dato interessante riguarda le fonti di finanziamento che hanno sostenuto le ricerche. Nella precedente valutazione ("masonry & consolidation") i fondi derivano per lo più da *Fundação para a Ciência e a Tecnologia* e da altri enti di ricerca ad esclusione di quelli italiani. Le ricerche sviluppate nell'ambito "historical & masonry & moisture" vedono invece un contributo della Regione Campania (vedi figura 38).

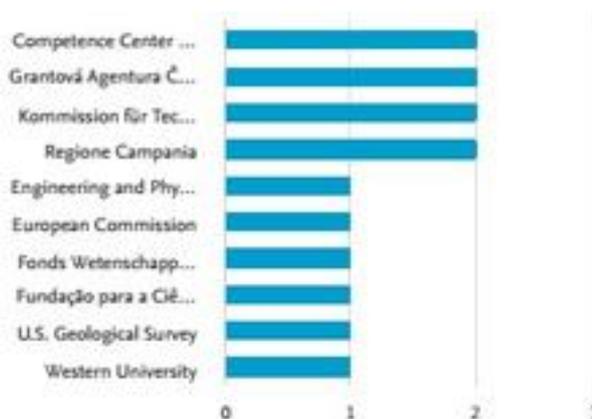
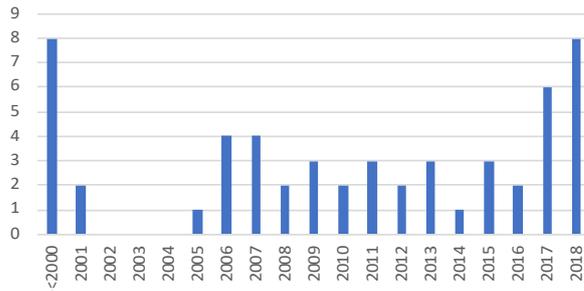


Figura 38. Le fonti di finanziamento delle ricerche "historical & masonry & moisture".

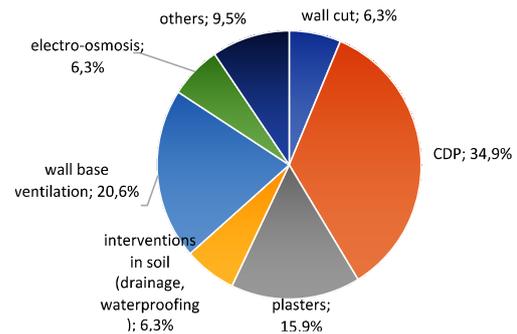
Focalizzandosi specificamente sui materiali e le tecnologie per il risanamento delle murature storiche affette da umidità di risalita, l'analisi della letteratura (indicizzata e non) mostra una marcata accelerazione della ricerca in quest'ambito negli ultimi due anni, connesso alla cruciale importanza di questo tema nell'ambito del restauro. I materiali e i sistemi più studiati sono le cosiddette 'barriere chimiche' (vedi figura 39 e 40). In definitiva si può rilevare che il tema relativo agli interventi sulle murature, che include i materiali e le tecnologie per il rinforzo e il risanamento, ma non gli aspetti di analisi del comportamento strutturale, vede una notevole partecipazione dell'Italia, così come rilevato anche in altri settori delle ricerche applicate ai beni culturali. A fronte di questo consistente contributo alla ricerca, l'Italia non appare

come ente finanziatore se non nel caso specifico della Regione Campania per lo studio delle murature in tufo.

La maggior parte delle pubblicazioni viene riportato principalmente in atti di convegni internazionali e a seguire in riviste diverse, tra le quali le più presenti sono *Construction and building materials*, *Building and Environment* e *International Journal of Architectural Heritage*.



**Figura 39.** Gli articoli scientifici internazionali sui materiali e le tecniche di risanamento dell'umidità di risalita nelle murature.



**Figura 40.** Gli articoli suddivisi per sistema di risanamento considerato (CDP: Chemical Damp Proofing).

#### RETROFIT, FRM

L'Italia rappresenta, nel panorama mondiale, una tra le nazioni con le maggiori aree di pregio storico-artistico-culturale, sottoposte a vincolo di tutela, con una evidente preponderanza di siti archeologici nel Mezzogiorno e di beni architettonici al centro-nord. Parallelamente, l'Italia è caratterizzata da una pericolosità sismica medio-alta, una considerevole vulnerabilità legata alle condizioni del patrimonio edilizio e un'altrettanta elevata esposizione ai rischi dovuta principalmente alla diffusione e numerosità delle architetture di interesse storico/artistico, rappresentati ad esempio dai numerosi "borghi" storici distribuiti sul territorio nazionale e all'alta densità abitativa.

Dal rapporto ISTAT 2019 si evince che nelle classi di territorio a più alto rischio sismico è spesso presente una dotazione di risorse del patrimonio culturale considerevole (vedi figura 41). Si nota infatti che nei luoghi a più alto rischio sismico sono presenti, ad esempio, 292 strutture espositive, tra musei, siti archeologici e monumenti aperti al pubblico nel 2017, cui si aggiungono 69 strutture temporaneamente chiuse proprio a seguito degli eventi sismici degli ultimi tre anni. Pur rappresentando una quota quantitativamente minoritaria dell'immenso patrimonio culturale nazionale, tali musei hanno attratto sul territorio circa 1,5 milioni di visitatori nel 2017.



**Figura 41.** La percentuale n° di musei, siti archeologici e monumentali per classe sismica (RAPPORTO ANNUALE 2019).

Nonostante ciò, solo una struttura su dieci è risultata oggetto di interventi di adeguamento sismico nello stesso anno. Tale percentuale si riduce al diminuire della classe sismica. Il rischio sismico è uno dei fattori fondamentali di vulnerabilità strutturale delle strutture storiche e/o artistiche del nostro paese. La congenita vulnerabilità delle strutture portanti in muratura che sempre più spesso è accompagnata da uno stato di persistente degrado, che in taluni casi risulta responsabile delle carenze strutturali, unitamente all'incompatibilità di tali strutture con i moderni materiali e le attuali tecniche di intervento per il rinforzo strutturale, rende poco agevole il lavoro di pianificazione degli interventi di adeguamento e/o miglioramento sismico. Di qui l'esigenza di ricercare e sviluppare materiali e tecniche di intervento compatibili, sia dal punto di vista meccanico, che dal punto di vista economico, con le caratteristiche fisiche, chimiche e meccaniche delle strutture in muratura.

L'importanza di tali azioni è ancor più rilevante se si pensa ai danni causati dai recenti eventi sismici (es. Aquila 2009, Amatrice 2016) che hanno evidenziato le carenze strutturali che contraddistinguono il costruito italiano, soprattutto in relazione alla scarsa qualità dei materiali degli edifici in muratura, che al contempo costituiscono una percentuale considerevole del patrimonio edilizio italiano a maggior rischio sismico. I diversi terremoti che hanno colpito l'Italia nel recente passato, infatti, hanno offerto la possibilità di rilevare il danno di origine sismica degli elementi strutturali del costruito storico, rappresentando un momento fondamentale nella ricerca di strumenti e metodologie di valutazione della vulnerabilità e delle tecniche di riparazione e rinforzo più appropriate. La maggior parte dei danni rilevati negli edifici in muratura in seguito al sisma sono dovuti all'innescò di cinematismi di tipo locale mentre una parte più ridotta è dovuta ad un collasso di tipo globale. Inoltre, il collasso della struttura muraria inteso come organismo globale può avvenire solo nel caso in cui non si inneschi nessuno dei meccanismi locali, ragion per cui lo studio del comportamento strutturale degli edifici in muratura generalmente parte dallo studio dei meccanismi locali.

L'analisi di tali meccanismi, il comportamento, così come le criticità, sono fortemente

influenzati dai particolari realizzativi degli elementi, quali possono essere, gli ammorsamenti, le connessioni e la tessitura muraria. Essendo la muratura un materiale composito le cui caratteristiche meccaniche dipendono dalle proprietà dei singoli componenti (elementi lapidei e malta), ma anche dalla tessitura muraria e dalla forma degli elementi che la compongono, risulta fondamentale conoscere le modalità costruttive, i materiali di cui essa è ed il loro degrado.

La ricerca sui materiali edilizi, nell'ultimo decennio si è orientata verso nanotecnologie e biotecnologie applicate a materiali sempre più performanti. Ciò trova applicazione anche per la conservazione degli edifici in muratura portante, dove sono state implementate, negli ultimi decenni, diverse linee di ricerca finalizzate alla produzione di materiali per il rinforzo strutturale innovativi e sostenibili, compatibili con le limitate performance dei materiali di base, ma in grado di garantire al contempo, una soluzione strutturale per la conservazione e la sicurezza degli apparati murari.

La progettazione degli interventi di rinforzo strutturale ad alto contenuto tecnologico mira allo sviluppo di tecniche che siano sostenibili da un punto di vista ambientale, rappresentando, allo stato attuale, la sostenibilità sempre più un requisito imprescindibile. La risposta alla crescente richiesta di soluzioni innovative, sostenibili, compatibili e prestanti, è stata principalmente un incremento nella progettazione, prototipazione e sviluppo di tecniche di rinforzo basate sull'utilizzo di sistemi compositi a matrice inorganica (leganti idraulici) in alternativa a quelle organiche (resine polimeriche) già da tempo utilizzate per il rinforzo di strutture in calcestruzzo. In sintesi, si è passati dai materiali compositi, a base polimerica, fibrorinforzati (FRP) sviluppati a partire dai primi anni 90, ai materiali compositi a matrice inorganica, i cosiddetti Fiber Reinforced Cementitious Matrices (FRCM), Inorganic Matrix-Grid composites (IMG), Textile Reinforced Mortars (TRM).

Le campagne sperimentali, condotte negli ultimi anni in Italia per caratterizzare il comportamento di elementi murari rinforzati con FRCM (es. prove a compressione diagonale su provini rinforzati esternamente con FRCM) hanno evidenziato che i sistemi FRCM sono in grado di fornire, proporzionalmente al numero di strati di rinforzo, una maggiore resistenza al taglio della parete rinforzata determinando una fase di pseudo-duttilità che ne aumenta la capacità di dissipare energia. Tali FRCM sono inoltre in grado di garantire per natura della propria composizione anche una maggiore resistenza al fuoco, senza contare che detengono una potenziale capacità di soddisfare i requisiti di sostenibilità ambientale.

Le ricerche scientifiche attualmente in corso, oltre a concentrarsi sui reali effetti sulle murature in termini prestazionali, sono orientate sulla valutazione dell'efficienza del legame chimico e meccanico tra tessuto e matrice, al variare del tipo di substrato, ciò soprattutto con riferimento alla matrice cementizia naturale. Questo a causa di un'incompatibilità chimica tra fibre naturali e matrici. Oggigiorno, nella pratica industriale, ai fini di ottenere una buona aderenza tra la matrice e le fibre si effettuano differenti trattamenti superficiali delle fibre naturali, ma il tema rimane ancora scientificamente d'interesse.

Ovviamente la varietà di sistemi realizzabili impiegando reti e matrici inorganiche differenti è notevole e costituisce la sfida della ricerca sulla tematica, supportata dalla maggiore attenzione alla sostenibilità ambientale e dell'avanzamento tecnologico nella produzione e trasformazione delle matrici inorganiche.

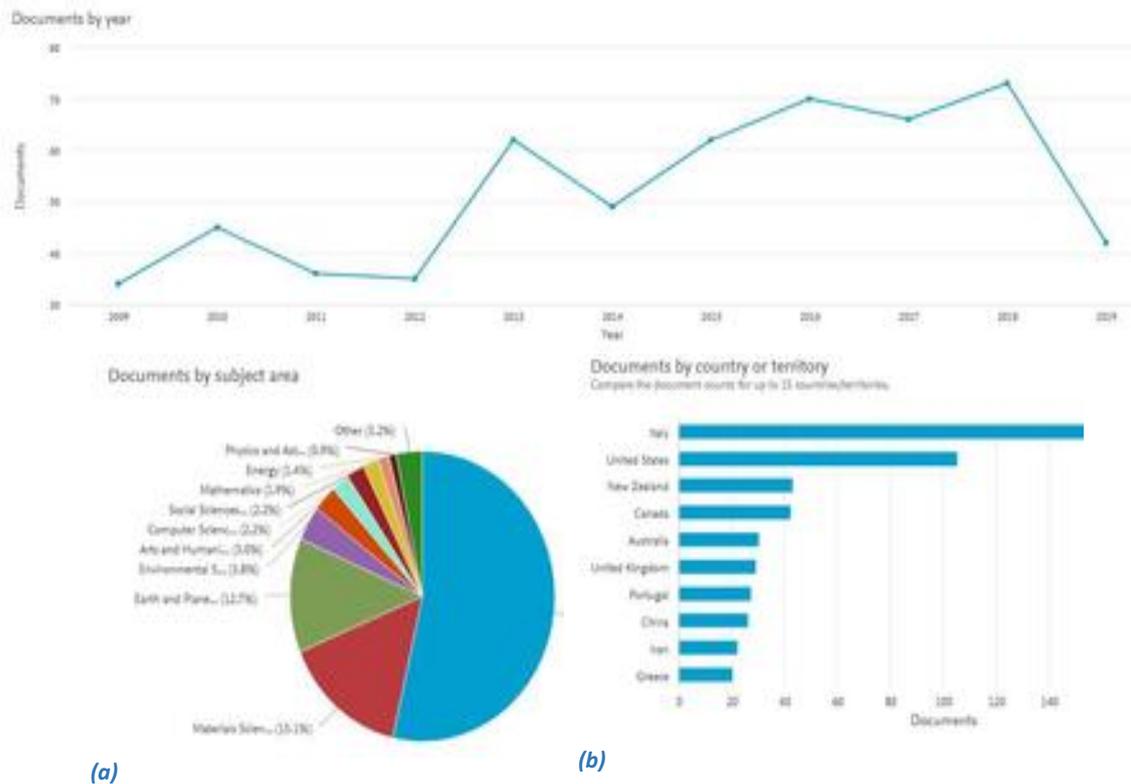


Figura 42. Il numero di documenti rilevati con Keyword “masonry” & “retrofit” suddivisi per area tematica (a) per territorio (b).

Dalla valutazione del numero di pubblicazioni prodotte negli ultimi anni, si rilevano 22.609 articoli pubblicati sulle murature (masonry), 765 riguardano ricerche sul retrofit, di cui 574 pubblicati negli ultimi 10 anni (2009-2019) ovvero circa il 75%. Più del 60% degli articoli sono stati pubblicati dopo il 2014, tra questi circa il 6% costituiscono ricerche ed applicazioni su FRCM. E' interessante infatti osservare che inserendo le parole chiave “masonry” & “retrofit” & “frcm” si ottengono 21 documenti pubblicati tutti tra il 2014 ed il 2019, indice del fatto che l'argomento, estremamente specifico ed applicativo, riceve una discreta attenzione da parte del mondo della ricerca (vedi figura 42).

Le aree tematiche delle pubblicazioni selezionate nella ricerca “masonry” & “retrofit” post 2009 sono afferenti alla tematica in oggetto per l'87%. Infatti se si selezionano le aree Engineering (489), material science (138) e chemical Engineering (2) rimangono selezionati 503 pubblicazioni.

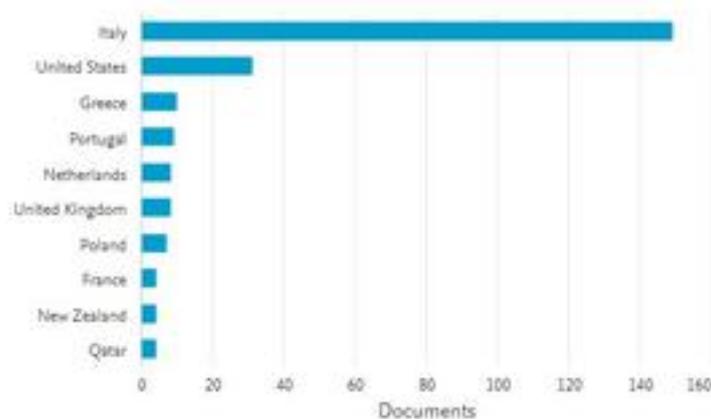


Figura 43. La distribuzione delle pubblicazioni per Paese

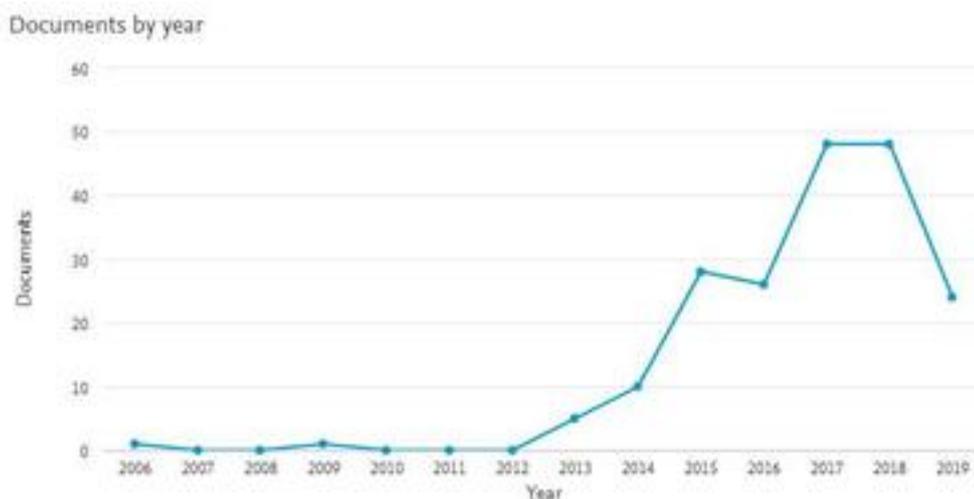


Figura 44. Il numero di documenti rilevati con Keyword "mansory" AND "frcm"

Una ricerca più ad ampio spettro inserendo la parola chiave "masonry" & "frcm" produce un risultato di 191 documenti, di cui circa il 78% italiani (vedi *figure 43 e 44*). A partire dal 2013 si registra un crescente interesse scientifico sulla tematica, indice del fatto che gli FRMC costituiscono ancora un tema attuale per la ricerca (il calo registrato nel 2019 potrebbe ricondursi al fatto che siamo ancora a metà anno) (vedi *figura 45*).

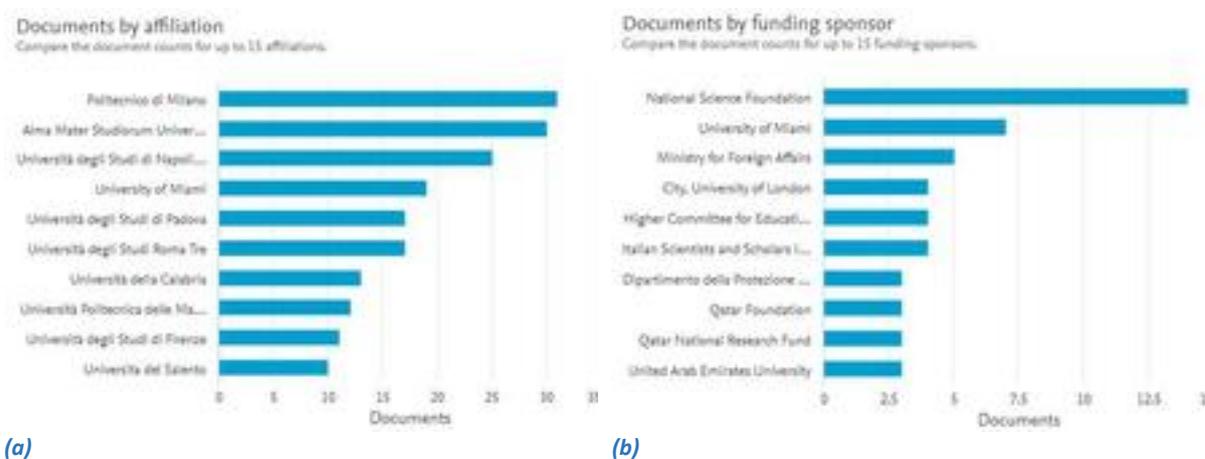


Figura 45. I documenti per affiliation (a) per finanziatore (b). Ricerca “masonry” & “frcm”: 191 pubblicazioni

Contrariamente alle attese, che vedono una prevalente partecipazione italiana ed una affiliation praticamente italiana, a meno dell’università di Miami, si registra una fonte di finanziamento prevalentemente privato, da foundation e l’Italia compare solo nel caso specifico del Dipartimento della Protezione Civile.

Il quadro generale che emerge mette in luce in maniera chiara ed inequivocabile il grande impatto che tale ricerca ha avuto a livello globale in termini di numero di prodotti, nonché il ruolo preminente che il nostro Paese ha assunto in tale settore.

### 6.3. TECNOLOGIE E NUOVI MATERIALI PER LA CONSERVAZIONE DI BENI MOBILI (PULITURA, CONSOLIDAMENTO, PROTEZIONE)

#### DEACIDIFICATION, CLEANING

Il termine “deacidification” fa esplicito riferimento a tecniche di intervento su supporti cartacei e la ricerca relativa al numero di pubblicazioni su questo tema (keyword “Paper & deacidification”) riporta 310 record, di cui 80 negli ultimi 5 anni. Per quanto riguarda il tema ‘Cleaning & painting’, vengono individuati 1100 record, di cui 230 negli ultimi 5 anni (vedi figura 46).

Interessante il confronto tra il numero di documenti pubblicati suddivisi per affiliation, dal quale si rileva la *leadership* di enti accademici e di ricerca italiani e l’evidente riscontro in termini di citazioni da parte di paesi anglosassoni (US e UK) che rappresentano bacini straordinari di *stakeholder* nel campo della tutela, conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale.

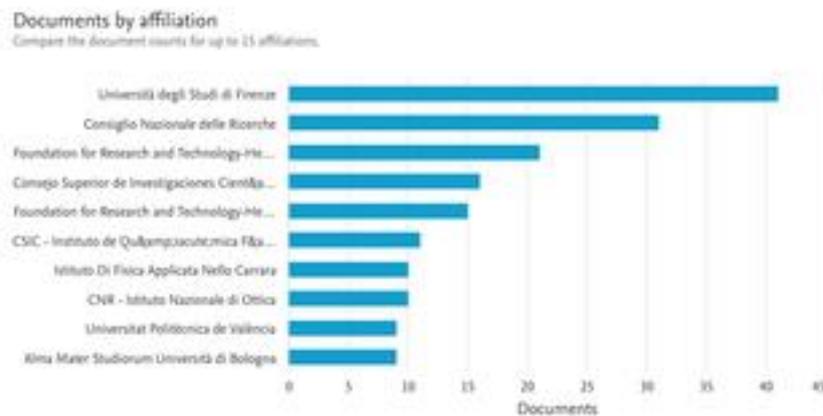
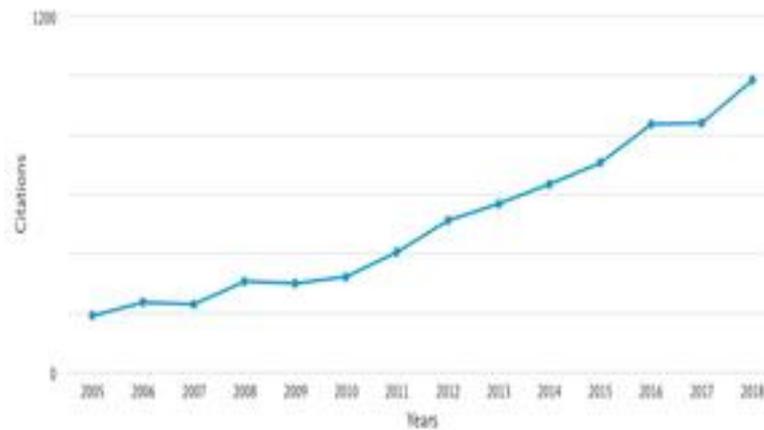


Figura 46. Il numero di citazioni rilevate con keyword 'Cleaning & Painting'

## PROTECTION

Considerata l'ampiezza del settore a cui fa riferimento il termine generale 'protection', si ritiene più significativa una valutazione dello stato dell'arte relativo ai supporti mobili più diffusi e che necessitano di interventi di protezione (legno, ceramiche, pitture, carta). Nella tabella qui di seguito vengono riportati i risultati relativi alla pubblicistica negli ultimi cinque anni, suddivisi per materiale:

<b>Parole chiave</b>	<b>Pubblicazioni totale</b>	<b>Pubblicazioni di ricercatori italiani</b>
Protection of wood	- 1690	- 101
Protection of pottery	- 21	- 0
Protection of paintings	- 246	- 19
Protection of paper	- 10	- 0

Nuovamente si riscontra la prevalenza di ricerche prodotte da istituzioni italiane. Lo

studio di sistemi di protezione dei materiali lignei riveste un evidente interesse, mentre la protezione dei materiali cartacei risulta essere di minore impatto nell'ambito dei beni culturali, pur rappresentando una tipologia di materiale molto diffusa a livello globale.

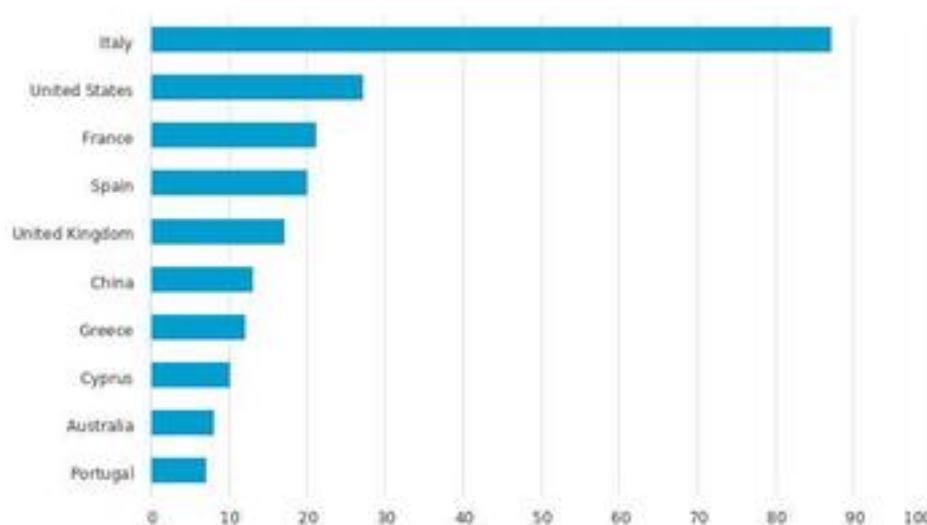


Figura 47. Il numero di documenti rilevati con Keyword "underwater & Cultural & Heritage" suddivisi per nazione.

Considerata la vastità della produzione di opere e manufatti presenti nel territorio italiano, esiste una massa di reperti mobili, stivati nei magazzini o esposti in strutture museali attendono un censimento mirato alla diagnostica dello stato di salute. Tale lacuna è particolarmente grave per gli oggetti realizzati in *materiali metallici* (bronzo, piombo, ferro, argento...) soggetti ad alterazioni e/o degrado per giacitura, modalità del recupero, esposizione, procedimenti di conservazione in ambiente museale. In particolare per i manufatti in metallo si è riservata scarsa attenzione ai problemi di conservazione e restauro, a fronte dell'interesse suscitato dai grandi bronzi artistici.

#### UNDERWATER

Dalla ricerca con le parole chiave "underwater & Cultural & Heritage" risultano 212 pubblicazioni negli ultimi 5 anni. Anche in questo settore l'Italia risulta *leader* nella produzione dei lavori (vedi figura 47). L'interesse verso questo argomento è crescente benché si rilevino ancora lacune conoscitive sullo stato di conservazione e l'avanzamento del degrado e soprattutto nella fase successiva di trattamento e conservazione dei manufatti "underwater".

#### PRINCIPALI STRUMENTI DI FINANZIAMENTO

Dal quadro generale dello stato dell'arte delle ricerche sviluppate nell'ambito delle tematiche della traiettoria 6 si evince il contributo consistente dell'Italia, che prevale

nettamente sul contributo di altri Paesi. Le fonti di finanziamento delle ricerche derivano spesso da progetti EU e molto più raramente da finanziamenti nazionali. In alcuni casi emerge la presenza di finanziamenti regionali, in particolare da regioni del centro-sud Italia e su specifiche tematiche di ricerca.

La successiva considerazione riguarda quindi la distribuzione dei finanziamenti alle ricerche, sia attraverso risorse europee che nazionali.

Di seguito si riporta l'elenco dei progetti EU finanziati per lo sviluppo di ricerche d'interesse della traiettoria.

#### Progetti Europei

Secondo il database di CORDIS, nell'ambito del programma H2020, sono stati finanziati ad oggi 32 progetti di cui 10 a coordinamento italiano.

Tali progetti sono riconducibili alle tematiche 'Climate Change and Environment', 'Security', 'Society', 'Fundamental Research e Industrial Technologies'.

Negli ultimi 5 anni sono stati finanziati 10 progetti a coordinamento italiano:

<b>Anno</b>	<b>Titolo</b>	<b>coordinatore</b>	<b>Budget</b>	<b>FP</b>
2015	NANOCATHEDRAL - Nanomaterials for conservation of European architectural heritage developed by research on characteristic lithotypes	INSTM	6 969 176	H2020
2015	NANORESTART - NANOmaterials for the REStoration of works of ART	CSGI	8 667 022	H2020
2015	HAP4MARBLE - Multi- functionalization of hydroxyapatite for restoration and preventive conservation of marble artworks	Università di Bologna	244 269	H2020
2015	IPERION Integrated Platform for the European Research Infrastructure ON Cultural Heritage	CNR	7 994 987	H2020
2016	STORM Safeguarding Cultural Heritage through Technical and Organisational Resources Management	ENGINEERING S.p.a.	7 297 875	H2020
2016	HERACLES - HERitage Resilience Against CLimate Events on Site	CNR	6 564 313	H2020
2018	T4C - PhD Technology Driven Sciences: Technologies for Cultural Heritage	Università di Torino	2 825 280	H2020
2018	RESEARCH - REmote SEnsing techniques for ARCHaeology,	Università della Toscana	989 000	H2020
2018	INTERFACE - paINTed mEtal aRteFACTs ConsErvation	CNR	168 277	H2020

2019	APACHE - Active & intelligent PAckaging materials and display cases as a tool for preventive conservation of Cultural Heritage.	CSGI	6,837,732	H2020
------	---	------	-----------	-------

A livello nazionale risulta essere stato finanziato un unico progetto PRIN negli ultimi 5 anni nell'ambito delle tecnologie applicate ai Beni Culturali (PRIN 2015 "Multiscale and multiphysics modelling for complex materials"), mentre sono presenti una decina di progetti finanziati attraverso call PON-FESR e progetti finanziati direttamente dalle Regioni, come già riportato, con una partecipazione significativa delle regioni Lazio, Campania e Puglia.

Un altro interessante indice delle ricadute delle ricerche nel tessuto produttivo deriva dalla stima dei brevetti depositati e relativi a materiali e metodologie applicate alla conservazione dei beni culturali. Da una stima non esaustiva ma sicuramente significativa si rilevano 7 brevetti depositati a partire dal 2014 e con oggetto la realizzazione di nuovi materiali per la conservazione dei materiali (muratura, lapidei e lignei).

## ANALISI DEI PRINCIPALI STAKEHOLDER

### UNIVERSITÀ, EPR, IR, DISTRETTI

Per quanto riguarda il mondo della formazione e della ricerca tecnologica va ricordato che esistono gruppi di ricerca in quasi tutte le Università italiane. Molte di queste prevedono percorsi formativi, nell'ambito delle scienze pure, finalizzati alla formazione di personale tecnico-scientifico preposto al restauro e conservazione dei Beni Culturali. Attualmente sono attivi 10 Corsi di Studi riconducibili alla classe di 'Conservazione e restauro dei beni culturali' (LMR/02) e 5 Corsi di Studio nella classe 43 di 'Diagnostica per la conservazione dei beni culturali' (L-43). Sono anche presenti 5 sedi universitari che erogano corsi di laurea magistrale nell'ambito delle Scienze per i Beni Culturali (LM11).

La formazione nell'ambito della conservazione viene erogata anche attraverso i corsi di laurea a ciclo unico nella classe delle lauree magistrali LMR/02 **Conservazione e restauro dei beni culturali**, erogati da Università, Accademie e da Istituti riconosciuti dal MIUR, quali ad esempio *ISCR, Opificio delle Pietre Dure, Scuola per il restauro del mosaico di Ravenna, Istituto centrale per la patologia del libro, Fondazione Venaria Reale*.

### IMPRESE

Il nostro Paese è certamente al primo posto in termini di numero di *stakeholder* nell'ambito dei Beni Culturali.

Alcuni dati possono aiutare a prendere consapevolezza del ruolo preminente che l'Italia ha assunto e continua a svolgere su scala globale, sia per quanto concerne il numero di imprese direttamente coinvolte in tale ambito, sia per il rilevante ruolo che ha nella formazione di esperti nel restauro e di conservatori.

Il primo dato da mettere in evidenza è il numero di imprese con attestazione SOA (Società Organismi di Attestazione). L'attestazione SOA è la certificazione obbligatoria per la partecipazione a gare d'appalto per l'esecuzione di appalti pubblici di lavori, ovvero un documento atto a comprovare, in sede di gara, la capacità dell'impresa di eseguire, direttamente o in subappalto, opere pubbliche di lavori con importo a base d'asta superiore a € 150.000,00.

Le imprese attive nell'ambito dei Beni Culturali sono riconducibili alle seguenti categorie:

<b>Categorie di opere generali</b>		
- OG 2	- Restauro e manutenzione dei beni immobili sottoposti a tutela	Circa 2900 aziende
- OG4	- Opere d'arte nel sottosuolo	- 376 aziende

<b>Categorie di opere specializzate (con certificazione ISO 9001)</b>		
- OS 2-A	- Superfici decorate di beni immobili del patrimonio culturale e beni culturali mobili di interesse storico, artistico, archeologico ed etnoantropologico	325 aziende
- OS 2-B	- Beni culturali mobili di interesse archivistico e librario	e
- OS 25	- Scavi archeologici	- 240 aziende

Tra le tipologie di aziende esistono quelle che si occupano di restauro di beni mobili, di restauro del patrimonio edilizio storico, di diagnostica e consulenza, di trasporto di opere, di monitoraggio ambientale, di disinfezione e disinfestazione, nonché di provider di servizi e materiali per il restauro.

È noto che a livello nazionale un numero consistente di imprese che operano nel settore del restauro dei beni culturali sono di piccole dimensioni e raramente in grado di dedicare risorse alle ricerche. Le aziende che si occupano di diagnostica sono ancora più in sofferenza a causa di scarse disponibilità da parte degli enti pubblici e privati a finanziare indagini e progetti specifici per il recupero del patrimonio. A fronte di questa situazione, le università e gli enti di ricerca agiscono tal volta come sistema virtuoso di coinvolgimento degli stakeholders, a volte come competitors diretti, proponendo servizi già presenti sul territorio. Questo meccanismo non facilita lo sviluppo di imprenditorialità e di occupazione in un Paese dove la risorsa dei beni culturali non è solo turismo.

## PROCESSO DI TRASFERIMENTO TECNOLOGICO

Il trasferimento tecnologico dell'innovazione, prodotta a livello accademico e dai centri di ricerca è una problematica annosa che solo negli ultimi dieci anni ha cominciato a vedere esperienze positive e ricadute effettive per gli end-users.

L'impatto che hanno avuto le nanoscienze in questo ambito, sia per quanto riguarda lo sviluppo di nuovi materiali, sia per quanto concerne la realizzazione di nuovi 'device' per la strumentazione diagnostica ed il monitoraggio ambientale, ha portato sul mercato nuovi prodotti e soluzioni, come testimoniato anche dai brevetti registrati negli ultimi 5 anni. Possiamo menzionare tra i punti di forza dell'introduzione dei materiali nanostrutturati e multifunzionali ad esempio l'importante sviluppo di nanocompositi e materiali ad elevata compatibilità con i substrati e di materiali con ridotto impatto sulla salute degli operatori e sull'ambiente. Mentre tra i punti di debolezza si deve porre l'accento sulla scarsità dell'esperienza di applicazioni in casi reali o di diffusione delle informazioni relative a tali applicazioni; la mancanza di protocolli di applicazione e validazione e, non ultima, la valutazione della durabilità delle soluzioni innovative proposte.

È evidente che tale processo di innovazione è ostacolato da una serie di fattori che possono essere considerati strutturali. Un aspetto è quello legato alla cautela e lentezza dei restauratori/applicatori e degli organismi ministeriali preposti a definire i protocolli di intervento ad adottare soluzioni innovative.

Numerose esperienze virtuose vissute negli ultimi anni nell'ambito di progetti europei e su specifici bandi regionali suggeriscono il metodo giusto per superare tali ostacoli: instaurare una fattiva cooperazione tra enti di tipologia diversa (ad esempio università, musei, ditte di restauro e aziende che producono materiali) così da lavorare in maniera sinergica sin dalle fasi di ideazione del progetto e nelle fasi di sviluppo e validazione dei prodotti. Si accresce in questo modo quel fattore di confidenza che altrimenti non si riesce a coltivare. Va detto infatti che il mondo della conservazione e tutela del patrimonio è spesso trattato a compartimenti stagni all'interno dei quali le diverse comunità di operatori frequentano convegni e leggono riviste iper-settoriali, tanto da rendere il processo di trasferimento tecnologico estremamente lento sin dalle sue fasi iniziali.

Il processo di trasferimento risente inoltre di presunti costi elevati delle nuove tecnologie (macro e nano), dell'assenza di una produzione di scala di tecnologie a dimostrata validità, della presunta difficoltà di applicazione/utilizzo dei nuovi materiali, dei limiti applicativi considerati troppo stretti, della presunta assenza di aziende potenzialmente interessate allo sviluppo di nuove linee di produzione.

Tutti questi elementi presentano elementi di verità, ma non possono essere considerati elementi strutturali perché esistono ormai chiare evidenze del fatto che il potenziale impatto tecnologico ed economico delle ricerche svolte in questo ambito possono essere rilevanti quando si guarda il processo su scala globale e sovranazionale. In tal senso il nostro Paese gode ancora un margine di vantaggio, ma al fine di consolidare questo 'asset' è fondamentale per un Cluster Tecnologico

adottare in tempi rapidi una precisa strategia a livello nazionale. Vi sono infatti in tale contesto grandi opportunità di coinvolgimento dell'impresa a diversi livelli (grandi gruppi e SMEs), soprattutto considerando la trasferibilità anche nei mercati dell'arte e dell'architettura contemporanea.

La sfida principale è comunque legata alla capacità del Paese di rispondere al bisogno stringente di promuovere la salvaguardia e la conservazione del patrimonio, sviluppando protocolli di manutenzione sostenibile e cambiando radicalmente la consuetudine dei "grandi restauri" onerosi in termini di tempi e costi.

#### ANALISI SWOT (*STRENGTHS, WEAKNESSES, OPPORTUNITIES, THREATS*) DELL'AMBITO DI RICERCA E APPLICAZIONE IN ITALIA

	<b><i>Punti di forza</i></b>	<b><i>Punti di debolezza</i></b>
<b><i>Fattori interni</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presenza di elevati livelli di conoscenza nell'ambito delle tecnologie per la conservazione dei beni culturali</li> <li>- Sviluppo di nuovi materiali rispondenti alle esigenze specifiche anche in ambito ambientale</li> <li>- Intensa attività di ricerca a livello internazionale</li> <li>- Numerosi Centri di ricerca con importanti dotazioni strumentali</li> <li>- Formazione accademica ben strutturata</li> <li>- Interdisciplinarietà delle ricerche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ricerche non sempre finalizzate</li> <li>- Scarso coordinamento e collaborazione tra centri di ricerche</li> <li>- Limitate applicazioni a casi reali</li> <li>- Limitato trasferimento tecnologico</li> <li>- Scarse risorse finanziarie</li> <li>- Difficoltà di brevettazione</li> </ul>
	<b><i>Opportunità</i></b>	<b><i>Minacce</i></b>
<b><i>Fattori esterni</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presenza di numerose aziende potenzialmente interessate allo sviluppo di nuovi materiali e nuove tecnologie</li> <li>- Richiesta di innovazione</li> <li>- Attenzione da parte dell'opinione pubblica verso le tematiche della conservazione</li> <li>- Comunicazione delle ricerche attraverso i mass media</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mancanza di protocolli per la manutenzione programmata</li> <li>- Limitata comunicazione con gli <i>stakeholder</i></li> <li>- Crisi in numerose attività dedicate al restauro</li> <li>- Investimenti insufficienti</li> </ul>

## ROADMAPPING

Alla luce di quanto rilevato rispetto allo stato delle conoscenze e da quanto deriva da studi specifici (si veda ad esempio il lavoro svolto nell'ambito del cluster europeo ECHOES Enabling Cultural Heritage Oriented European Strategies; <http://www.echc.eu>), risulta evidente che le linee di ricerca incluse nella traiettoria 3 possono costituire un nucleo importante di sviluppo e di trasferimento tecnologico a livello nazionale e internazionale. Gli ambiti che si ritengono di maggior interesse sia per la ricerca di base che per lo sviluppo tecnologico (e occupazionale) sono:

### 6.1

#### PROTEZIONE E CONSOLIDAMENTO MATERIALI LAPIDEI

Sviluppo e ottimizzazione delle procedure **di produzione di materiali e nanomateriali eco-compatibili in grado di fornire elevate proprietà** multi-funzionali (idrorepellenza e proprietà barriera, traspirabilità, elevata adesione a substrati diversi, proprietà di autoriparazione come consolidanti, trasparenza e proprietà ottiche, proprietà anti-imbrattamento, self-cleaning), meccaniche (resistenza meccanica, resistenza superficiale al graffito/abrasione) e durabilità agli agenti ambientali esterni (p.es. fotocatalisi e ossidazione di inquinanti gassosi e particolati) **in condizioni di cambiamenti climatici, innalzamento delle temperature e delle precipitazioni**

sviluppo di nuovi sistemi di pulitura, **riciclabili e a basso impatto ambientale ed economico** per gli interventi su superfici lapidee naturali e artificiali

Messa a punto di **sistemi efficaci e speditivi per il monitoraggio del comportamento dei prodotti in situ e dello stato di conservazione delle superfici.**

#### BIOCIDI E MATERIALE LAPIDEO

Messa a punto di **biocidi a rilascio lento e controllato**, miscelabili con sistemi compositi (malte e intonaci) applicabili in aree soggette a biodeterioramento (per es. aree archeologiche)

#### CONSERVAZIONE PREVENTIVA

sviluppo di nuovi materiali per la **sensoristica e il monitoraggio applicabili in situ** per la valutazione degli effetti diretti e indiretti dell'azione ambientale e antropica e **sviluppo di protocolli di monitoraggio sostenibili per gli enti preposti alla tutela, gli stakeholders, i progettisti e i restauratori**

sviluppo e ottimizzazione dei **test per la valutazione delle prestazioni, della durabilità e della sicurezza dei prodotti** per i manufatti e per gli operatori, in laboratorio e in situ. Sviluppo di protocolli di misura **sostenibili per gli enti preposti alla tutela, gli stakeholder, i progettisti e i restauratori.**

Sviluppo di **tecniche diagnostiche e di protocolli "on demand" per la conservazione**

**dei beni culturali**, adeguati alle specifiche caratteristiche dei materiali, del loro stato di conservazione e dell'ambiente circostante.

## 6.2

### CONSOLIDAMENTO E RISANAMENTO MURATURE

Sviluppo di materiali (sia a matrice organica che inorganica) e tecniche di intervento compatibili con il supporto, durevoli e sostenibili in termini economici per la conservazione, il risanamento e l'intervento di **ripristino delle strutture in muratura anche in aree ad elevato rischio sismico**.

### RETROFIT, FRM

Sviluppo di nuovi materiali per il rinforzo strutturale in grado di garantire significative caratteristiche di efficienza del legame chimico e meccanico con la muratura e a basso impatto ambientale (secondo approccio LCA).

## 6.3

### PROTECTION DEACIDIFICATION, CLEANING

Sviluppo di nuovi materiali e tecnologie per substrati non convenzionali, tra cui principalmente i **manufatti del moderno e del contemporaneo** e i materiali già sottoposti a precedenti restauri.

### UNDERWATER

Sviluppo di prodotti idonei alla **conservazione di manufatti in ambiente marino**, compatibili con i supporti e con l'ambiente acquatico.

## LETTERATURA SCIENTIFICA DI RIFERIMENTO:

Vasanelli E., Calia A., Masieri M., Baldi G., Stone consolidation with SiO<sub>2</sub> nanoparticles: Effects on a high porosity limestone 2019 Construction and Building Materials Mihelã iã

M., GaberÅ, Å ek M., Salzano de Luna M., Lavorgna M., Giuliani C., Di Carlo G., Surca A.K., Effect of silsesquioxane addition on the protective performance of fluoropolymer coatings for bronze surfaces 2019 Materials and Design 10.1016/j.matdes.2019.107860

Zuena M., Tomasin P., Alberghina M.F., Longo A., Marrale M., Gallo S., Zendri E., Comparison between mercury intrusion porosimetry and nuclear magnetic resonance relaxometry to study the pore size distribution of limestones treated with a new consolidation product 2019 Measurement: Journal of the International Measurement Confederation

Ranalli G., Zanardini E., Rampazzi L., Corti C., Andreotti A., Colombini M.P., Bosch-Roig P., Lustrato G., Giantomassi C., Zari D., Virilli P., Onsite advanced biocleaning system for historical wall paintings using new agar-gauze bacteria gel 2019 Journal of Applied Microbiology

Guizzo S., Tortolini C., Pepi F., Leonelli F., Mazzei F., Di Turo F., Favero G., Application of microemulsions for the removal of synthetic resins from paintings on canvas 2019 Natural Product Research

Campanella L., Grimaldi F., Plattner S., Baiocco A., Sustainable restoration: the contribution of algae 2019 Natural Product Research

Ban M., Kock T.D., Ott F., Barone G., Rohatsch A., Raneri S., Neutron radiography study of laboratory ageing and treatment applications with stone consolidants 2019

Iucolano F., Colella A., Liguori B., Calcaterra D., Suitability of silica nanoparticles for tuff consolidation, 2019, Construction and Building Materials

Zhu J., Li X., Zhang Y., Wang J., Cao Y., Camaiti M., Wei B., Dual Functionalities of Few-Layered Boron Nitrides in the Design and Implementation of Ca(OH)<sub>2</sub> Nanomaterials toward an Efficient Wall Painting Fireproofing and Consolidation 2019

Camerini R., Chelazzi D., Giorgi R., Baglioni P., Hybrid nano-composites for the consolidation of earthen masonry, 2019, Journal of Colloid and Interface Science

Sassoni E., Masi G., Bignozzi M.C., Franzoni E., Electrodeposition of hydroxyapatite coatings for marble protection: Preliminary results 2019 Coatings

Musolino M., Aricã F., Tundo P., An innovative and sustainable approach to spray paint graffiti removal from Istrian stone through the silica sol-gel chemistry: A preliminary assessment, 2019, Journal of Cultural Heritage

Tomasin P., Mondin G., Zuena M., El Habra N., Nodari L., Moretto L.M., Calcium alkoxides for stone consolidation: Investigating the carbonation process 2019 Powder Technology

Bonelli N., Poggi G., Chelazzi D., Giorgi R., Baglioni P., Poly(vinyl alcohol)/poly(vinyl pyrrolidone) hydrogels for the cleaning of art 2019 Journal of Colloid and Interface Science

Colangiuli D., Lettieri M., Masieri M., Calia A., Field study in an urban environment of simultaneous self-cleaning and hydrophobic nanosized TiO<sub>2</sub>-based coatings on stone for the protection of building surface

Possenti E., Colombo C., Conti C., Gigli L., Merlini M., Plaisier J.R., Realini M., Sali D., Gatta G.D., Diammonium hydrogenphosphate for the consolidation of building materials. Investigation of newly-formed calcium phosphates 2019 *Construction and Building Materials*

Prati S., Scitutto G., Volpi F., Rehorn C., Vurro R., BlÄmich B., Mazzocchetti L., Giorgini L., SamorÄ- C., Galletti P., Tagliavini E., Mazzeo R., Cleaning oil paintings: NMR relaxometry and SPME to evaluate the effects of green solvents and innovative green gels 2019

Papacchini A., Dominici S., Di Giulio G., Fioravanti M., Salvini A., Bio-based consolidants for waterlogged archaeological wood: Assessment of the performance and optimization of the diagnostic protocol 2019 *Journal of Cultural Heritage*

La Russa M.F., Rovella N., Ruffolo S.A., Scarciglia F., Macchia A., Licchelli M., Malagodi M., Khalilli F., Randazzo L., Consolidation of earthen building materials: a comparative study, 2019, *Archaeological and Anthropological Sciences*

Possenti E., Conti C., Gatta G.D., Realini M., Colombo C., Diammonium hydrogenphosphate treatment on dolostone: The role of Mg in the crystallization process 2019 *Coatings*

Germinario S., Fernandez F., Baldi G., Dami V., Cioni A., Evaluation of nanostructured coatings for the protection of apuan marble stone 2019 *Solid State Phenomena*

Andreotti S., Franzoni E., Ruiz-Agudo E., Scherer G.W., Fabbri P., Sassoni E., Rodriguez-Navarro C., New polymer-based treatments for the prevention of damage by salt crystallization in stone 2019 *Materials and Structures/Materiaux et Constructions* 10.1617/s11527-018-1309-6

Nodari L., Tresin L., Benedetti A., Tufano M.K., Tomasin P., Conservation of contemporary art: Alteration phenomena in a XXI century artwork. From contactless in situ investigations to laboratory, accelerated ageing tests 2019 *Journal of Cultural Heritage*

Lettieri M., Colangiuli D., Masieri M., Calia A., Field performances of nanosized TiO<sub>2</sub> coated limestone for a self-cleaning building surface in an urban environment 2019 *Building and Environment*

Defus A., Realini M., Historic Surfaces Consolidation - Multiple Treatments. Captured History of Changes and Advancement in the Field of Conservation via Microstructural Consolidation 2019 *RILEM Bookseries*

Rovella N., Arcudi A., Crupi V., La Russa M.F., Majolino D., Osanna M., Pace R., Ruffolo S.A., Ricca M., Ruggieri N., Venuti V., Tituli Picti in the archaeological site of Pompeii: diagnostic analysis and conservation strategies 2018 *European Physical Journal Plus*

Iannucci L., RÄos-Rojas J.F., Angelini E., Parvis M., Grassini S., Electrochemical characterization of innovative hybrid coatings for metallic artefacts, 2018, *European Physical Journal Plus*

MihelÄ iÄ M., Slemenik PerÄje L., Äest E., Jerman I., Giuliani C., Di Carlo G., Lavorgna M., Surca A.K., Development of solvent- and water-borne fluoropolymer protective coatings for patina-free bronze discs, 2018, *Progress in Organic Coatings*

Mascalchi M., Osticioli I., Adriana Cuzman O., Mugnaini S., Giamello M., Siano S., Laser removal of biofilm from Carrara marble using 532Ä€ nm: The first validation study 2018 *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*

Sardella A., De Nuntiis P., Rizzo M., Giosuà C., Tittarelli F., Bonazza A., In situ performance evaluation of chemical injections against rising damp: A case study in Italy 2018 Measurement: Journal of the International Measurement Confederation

Rampazzi L., Andreotti A., Bressan M., Colombini M.P., Corti C., Cuzman O., d'Alessandro N., Liberatore L., Palombi L., Raimondi V., Sacchi B., Tiano P., Tonucci L., Vettori S., Zanardini E., Ranalli G., An interdisciplinary approach to a knowledge-based restoration: The dark alteration on Matera Cathedral (Italy) 2018 Applied Surface Science

Porcinai S., Ferretti M., X-ray fluorescence-based methods to measure the thickness of protective organic coatings on ancient silver artefacts, 2018, Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy

Ferrari P., Chelazzi D., Bonelli N., Mirabile A., Giorgi R., Baglioni P., Alkyl carbonate solvents confined in poly (ethyl methacrylate) organogels for the removal of pressure sensitive tapes (PSTs) from contemporary drawings, 2018, Journal of Cultural Heritage

Baglioni M., Poggi G., Jaidar Benavides Y., Martínez Camacho F., Giorgi R., Baglioni P., Nanostructured fluids for the removal of graffiti“ A survey on 17 commercial spray-can paints 2018 Journal of Cultural Heritage

Favero-Longo S.E., Brigadeci F., Segimiro A., Voyron S., Cardinali M., Girlanda M., Piervittori R., Biocide efficacy and consolidant effect on the mycoflora of historical stuccos in indoor environment, 2018, Journal of Cultural Heritage

Vecchiattini R., Fratini F., Rescic S., Riminesi C., Mauri M., Vicini S., The marly limestone, a difficult material to restore: The case of the San Fruttuoso di Capodimonte Abbey (Genoa, Italy) 2018 Journal of Cultural Heritage

Ciofini D., Mencaglia A.A., Siano S., A photoacoustic pulse-echo probe for monitoring surface stone mechanical properties: Validation tests in consolidation of Carrara marble, 2018, Construction and Building Materials

Graziani G., Colombo C., Conti C., Possenti E., Perelli Cippo E., Realini M., Sassoni E., Neutron radiography as a tool for assessing penetration depth and distribution of a phosphate consolidant for limestone 2018 Construction and Building Materials

Daniele V., Taglieri G., Macera L., Rosatelli G., Otero J., Charola A.E., Green approach for an eco-compatible consolidation of the Agrigento biocalcarenes surface 2018 Construction and Building Materials

Di Francia E., Lahoz R., Neff D., Angelini E., Grassini S., Laser cleaning of Cu-based artefacts: Laser/corrosion products interaction 2018 Acta IMEKO

Weththimuni M.L., Licchelli M., Malagodi M., Rovella N., La Russa M., Consolidation of bio-calcarene stone by treatment based on diammonium hydrogenphosphate and calcium hydroxide nanoparticles 2018 Measurement: Journal of the International Measurement Confederation

Brizi L., Camaiti M., Bortolotti V., Fantazzini P., Blmich B., Haber-Pohlmeier S., One and two-dimensional NMR to evaluate the performance of consolidants in porous media with a wide range of pore sizes: Applications to cultural heritage, 2018, Microporous and Mesoporous Materials

- Di Tullio V., Capitani D., Proietti N., Unilateral NMR to study water diffusion and absorption in stone-hydrogel systems 2018 Microporous and Mesoporous Materials
- Becherini F., Durante C., Bourguignon E., Li Vigni M., Detalle V., Bernardi A., Tomasin P., Aesthetic compatibility assessment of consolidants for wall paintings by means of multivariate analysis of colorimetric data, 2018, Chemistry Central Journal
- Roveri M., Raneri S., Bianchi S., Gherardi F., Castelvetro V., Toniolo L., Electrokinetic characterization of natural stones coated with nanocomposites for the protection of cultural heritage 2018 Applied Sciences (Switzerland)
- Frigione M., Lettieri M., Novel attribute of organic-inorganic hybrid coatings for protection and preservation of materials (stone and wood) belonging to cultural heritage 2018 Coatings
- Ranalli G., Zanardini E., Andreotti A., Colombini M.P., Corti C., Bosch-Roig P., De Nuntis P., Lustrato G., Mandrioli P., Rampazzi L., Giantomassi C., Zari D., Hi-tech restoration by two-steps biocleaning process of Triumph of Death fresco at the Camposanto Monumental Cemetery (Pisa, Italy) 2018 Journal of Applied Microbiology
- Calore N., Botteon A., Colombo C., Comunian A., Possenti E., Realini M., Sali D., Conti C., High Resolution ATR  $\mu$ -FTIR to map the diffusion of conservation treatments applied to painted plasters 2018 Vibrational Spectroscopy
- Esposito Corcione C., Ingrosso C., Petronella F., Comparelli R., Striccoli M., Agostiano A., Frigione M., Curri M.L., A designed UV-vis light curable coating nanocomposite based on colloidal TiO<sub>2</sub> NRs in a hybrid resin for stone protection 2018 Progress in Organic Coatings
- Sassoni E., Graziani G., Franzoni E., Scherer G.W., New method for controllable accelerated aging of marble: Use for testing of consolidants 2018 Journal of the American Ceramic Society
- Giuliani C., Pascucci M., Riccucci C., Messina E., Salzano de Luna M., Lavorgna M., Ingo G.M., Di Carlo G., Chitosan-based coatings for corrosion protection of copper-based alloys: A promising more sustainable approach for cultural heritage applications 2018 Progress in Organic Coatings
- Di Tullio V., Sciutto G., Proietti N., Prati S., Mazzeo R., Colombo C., Cantisani E., RomÃ V., Rigaglia D., Capitani D., <sup>1</sup>H NMR depth profiles combined with portable and micro-analytical techniques for evaluating cleaning methods and identifying original, non-original, and degraded materials of a 16 th century Italian wall painting 2018 Microchemical Journal
- Raneri S., Barone G., Mazzoleni P., Alfieri I., Bergamonti L., De Kock T., Cnudde V., Lottici P.P., Lorenzi A., Predieri G., Rabot E., Teixeira J., Efficiency assessment of hybrid coatings for natural building stones: Advanced and multi-scale laboratory investigation 2018 Construction and Building Materials
- Cavallaro G., Milioto S., Parisi F., Lazzara G., Halloysite Nanotubes Loaded with Calcium Hydroxide: Alkaline Fillers for the Deacidification of Waterlogged Archeological Woods 2018 ACS Applied Materials and Interfaces
- Pinna D., Galeotti M., Perito B., Daly G., Salvadori B., In situ long-term monitoring of recolonization by fungi and lichens after innovative and traditional conservative treatments of archaeological stones in Fiesole (Italy) 2018 International Biodeterioration and Biodegradation
- Gherardi F., Goidanich S., Toniolo L., Improvements in marble protection by means of innovative photocatalytic nanocomposites 2018 Progress in Organic Coatings

Gheno G., Badetti E., Brunelli A., Ganzerla R., Marcomini A., Consolidation of Vicenza, Arenaria and Istria stones: A comparison between nano-based products and acrylate derivatives 2018 Journal of Cultural Heritage

Cavallaro G., Lazzara G., Milioto S., Parisi F., Halloysite Nanotubes for Cleaning, Consolidation and Protection 2018 Chemical Record

Patelli A., Verga E., Nodari L., Petrillo S.M., Delva A., Ugo P., Scopece P., A customised atmospheric pressure plasma jet for conservation requirements 2018 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering

Barra V., Daffara C., Porcinai S., Galeotti M., Application of coatings on silver studied with punctual and imaging techniques: From specimens to real cases 2018, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering

Sassoni E., D'Amen E., Roveri N., Scherer G.W., Franzoni E., Photocatalytic hydroxyapatite-titania nanocomposites for preventive conservation of marble, 2018, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering

Sassoni E., Graziani G., Franzoni E., Scherer G.W., New insights on protective treatments for marble by FIB-SEM 2018 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering

Zanini A., Trafeli V., Bartoli L., The laser as a tool for the cleaning of Cultural Heritage 2018 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering

Graziani G., Sassoni E., Scherer G.W., Franzoni E., Phosphate-based treatments for consolidation of salt-bearing Globigerina limestone, 2018, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering

Cimino D., Rollo G., Zanetti M., Bracco P., 3d printing technologies: Are their materials safe for conservation treatments?, 2018, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering

Salzano de Luna M., Buonocore G.G., Giuliani C., Messina E., Di Carlo G., Lavorgna M., Ambrosio L., Ingo G.M., Long-Lasting Efficacy of Coatings for Bronze Artwork Conservation: The Key Role of Layered Double Hydroxide Nanocarriers in Protecting Corrosion Inhibitors from Photodegradation, 2018, *Angewandte Chemie - International Edition*

Chelazzi D., Giorgi R., Baglioni P., *Microemulsions, Micelles, and Functional Gels: How Colloids and Soft Matter Preserve Works of Art*, 2018, *Angewandte Chemie - International Edition*

Gherardi F., Goidanich S., Dal Santo V., Toniolo L., Layered Nano-TiO<sub>2</sub> Based Treatments for the Maintenance of Natural Stones in Historical Architecture 2018 *Angewandte Chemie - International Edition*

Baglioni M., Domingues J.A.L., Carretti E., Fratini E., Chelazzi D., Giorgi R., Baglioni P., Complex Fluids Confined into Semi-interpenetrated Chemical Hydrogels for the Cleaning of Classic Art: A Rheological and SAXS Study, 2018, *ACS Applied Materials and Interfaces*

Rosina E., When and how reducing moisture content for the conservation of historic building. A problem solving view or monitoring approach?, 2018, *Journal of Cultural Heritage*

Bertasa M., Poli T., Riedo C., Di Tullio V., Capitani D., Proietti N., Canevali C., Sansonetti A., Scaronone D., A study of non-bounded/bounded water and water mobility in different agar gels 2018 *Microchemical*

## Journal

Sassoni E., Graziani G., Franzoni E., Scherer G.W., Calcium phosphate coatings for marble conservation: Influence of ethanol and isopropanol addition to the precipitation medium on the coating microstructure and performance 2018 Corrosion Science

Sassoni E., Graziani G., Franzoni E., Scherer G.W., Conversion of calcium sulfate dihydrate into calcium phosphates as a route for conservation of gypsum stuccoes and sulfated marble 2018

Possenti E., Colombo C., Conti C., Gigli L., Merlini M., Plaisier J.R., Realini M., Gatta G.D., Grazing incidence synchrotron X-ray diffraction of marbles consolidated with diammonium hydrogen phosphate treatments: non-destructive probing of buried minerals 2018 Applied Physics A: Materials Science and Processing

Sassoni E., Andreotti S., Scherer G.W., Franzoni E., Siegesmund S., Bowing of marble slabs: can the phenomenon be arrested and prevented by inorganic treatments? 2018 Environmental Earth Sciences

Iwanicka M., Moretti P., van Oudheusden S., Sylwestrzak M., Cartechini L., van den Berg K.J., Targowski P., Miliani C., Complementary use of Optical Coherence Tomography (OCT) and Reflection FTIR spectroscopy for in-situ non-invasive monitoring of varnish removal from easel paintings 2018 Microchemical Journal

Coltelli M.-B., Paolucci D., Castelvetro V., Bianchi S., Mascha E., Panariello L., Pesce C., Weber J., Lazzeri A., Preparation of water suspensions of nanocalcite for cultural heritage applications, 2018, Nanomaterials

Sassoni E., Hydroxyapatite And Other calcium phosphates for the conservation of cultural heritage: A review 2018 Materials

Zuena M., Tomasin P., Costa D., Delgado-Rodrigues J., Zendri E., Study of calcium ethoxide as a new product for conservation of historical limestone 2018 Coatings

Cerchiara T., Palermo A.M., Esposito G., Chidichimo G., Effects of microwave heating for the conservation of paper artworks contaminated with *Aspergillus versicolor* 2018 Cellulose

Taglieri G., Otero J., Daniele V., Gioia G., Macera L., Starinieri V., Charola A.E., The biocalcarene stone of Agrigento (Italy): Preliminary investigations of compatible nanolime treatments 2018 Journal of Cultural Heritage

Quagliarini E., Graziani L., Diso D., Licciulli A., D'Orazio M., Is nano-TiO<sub>2</sub> alone an effective strategy for the maintenance of stones in Cultural Heritage? 2018 Journal of Cultural Heritage

Rampazzo M., Manente S., Micheluz A., Ganzerla R., Ravagnan G., How traces of pollutants in the environment modify bioremediation efficiency performed with *Desulfovibrio vulgaris*, and the advantage of an optimization protocol using soft chemicals 2018 Journal of Cultural Heritage

Toreno G., Isola D., Meloni P., Carcangiu G., Selbmann L., Onofri S., Caneva G., Zucconi L., Biological colonization on stone monuments: A new low impact cleaning method 2018 Journal of Cultural Heritage

Parisi E.I., Bonelli N., Carretti E., Giorgi R., Ingo G.M., Baglioni P., Film forming PVA-based cleaning systems for the removal of corrosion products from historical bronzes 2018 Pure and Applied Chemistry

Prati S., Volpi F., Fontana R., Galletti P., Giorgini L., Mazzeo R., Mazzocchetti L., Samorà C., Sciutto G., Tagliavini E., Sustainability in art conservation: A novel bio-based organogel for the cleaning of water sensitive works of art 2018 Pure and Applied Chemistry

Senesi G.S., Allegretta I., Porfido C., De Pascale O., Terzano R., Application of micro X-ray fluorescence and micro computed tomography to the study of laser cleaning efficiency on limestone monuments covered by black crusts 2018 Talanta

Sassoni E., D'Amen E., Roveri N., Scherer G.W., Franzoni E., Durable self-cleaning coatings for architectural surfaces by incorporation of TiO<sub>2</sub> nano-particles into hydroxyapatite films 2018 Materials

Di Vito M., Bellardi M.G., Colaizzi P., Ruggiero D., Mazzuca C., Micheli L., Sotgiu S., Iannuccelli S., Michelozzi M., Mondello F., Mattarelli P., Sclocchi M.C., Hydrolates and Gellan: An Eco-innovative Synergy for Safe Cleaning of Paper Artworks 2018 Studies in Conservation