

# ATTI DELLA GIORNATA DELLA RICERCA

## Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura e Ambientale dell'Università degli Studi dell'Aquila

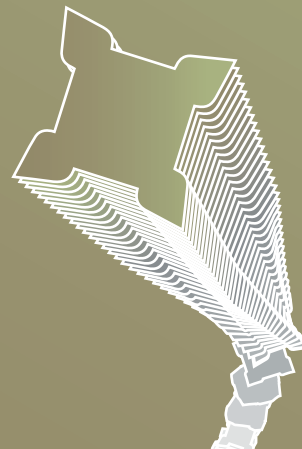
Prima Edizione

A cura di  
Patrizia Montuori, Marianna Rotilio,  
Filippo De Dominicis, Anna Chiaradonna,  
Maria Alicandro, Arnaldo Casalotti, Lorena Fiorini



ATTI DELLA GIORNATA DELLA RICERCA DICEAA

Prima Edizione



Il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura e Ambientale dell'Università degli Studi dell'Aquila, di cui nel 2022 decorre il decennale della fondazione, accoglie il personale docente e tecnico-amministrativo dei preesistenti Dipartimenti di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno e di Urbanistica ed Architettura. La sua finalità risiede nella ricerca, nello sviluppo e nell'insegnamento delle scienze dell'ingegneria civile, ambientale e dell'edile-architettura.

Il DICEAA si avvale di 20 gruppi di ricerca e 13 laboratori, oltre ad essere sede di tre Centri di ricerca, il CERFIS, il M&MOCS ed il CITRAMS.

ISBN 978-88-946294-5-3



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DELL'AQUILA



DICEAA  
Dipartimento di Ingegneria  
Civile, Edile-Architettura  
e Ambientale

ATTI DELLA GIORNATA DELLA RICERCA  
DEL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA  
CIVILE, EDILE-ARCHITETTURA E  
AMBIENTALE DELL'UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DELL'AQUILA

PRIMA EDIZIONE

L'AQUILA, 25 MAGGIO 2022

Atti della Giornata della Ricerca del Dipartimento di Ingegneria Civile,  
Edile-Architettura e Ambientale dell'Università degli Studi dell'Aquila

Prima edizione - L'Aquila, 25 maggio 2022

A cura di

Patrizia Montuori, Marianna Rotilio, Filippo De Dominicis,  
Anna Chiaradonna, Maria Alicandro, Arnaldo Casalotti,  
Lorena Fiorini

Coordinatrice delle attività Marianna Rotilio

Consulenza editoriale Radici Edizioni

Grafica di copertina Alessandro Fantauzzi

© 2022 dei singoli autori

© 2022 Radici Edizioni

[www.radiciedizioni.it](http://www.radiciedizioni.it)

Tutti i diritti riservati

Radici Edizioni di Gianluca Salustri

Via Sant'Andrea, 6 - 67053 Capistrello (AQ)

Prima edizione: maggio 2022

ISBN 978-88-946294-5-3

Foto in copertina realizzata dal Laboratorio di Geomatica DICEAA,  
Università degli Studi dell'Aquila

Il presente volume è stato finanziato dall'Università degli Studi dell'Aquila





# Indice

Presentazione <i>Prof. Pierluigi De Berardinis - Direttore DICEAA</i>	11
Dal chilometro al centimetro. Studi svolti o in corso presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura e Ambientale	15
Il ruolo delle berme sommerse nella stabilità delle opere a gettata <i>Daniele Celli</i>	17
Estrazione di energia elettrica dal moto ondoso <i>Davide Pasquali</i>	22
Condizioni al contorno “smart” per la modellazione del sovrizzo di tempesta indotto da cicloni <i>Ludovico Cipollone</i>	27
Aree fragili smart, strategie di sviluppo territoriale <i>Federico Eugeni</i>	32
Progetto Life Imagine Umbria - Life19 IPE/ IT/000015 - Integrated Management and Grant Investments for the N2000 Network in Umbria <i>Lorena Fiorini</i>	36
Patrimonio armentizio-tratturale regionale. Analisi dello stato di conservazione ed informatizzazione geografica dei parametri caratterizzanti <i>Francesco Zullo</i>	41

Progetto “Sost.EN.&Re” - Sostenibilità, resilienza, adattamento per la tutela degli ecosistemi e la ricostruzione fisica in Italia centrale <i>Lucia Saganeiti</i>	46
Tra fragilità e potenzialità: rigenerazione architettonica e urbana nei comuni del Parco Nazionale del Gran Sasso <i>Camilla Sette</i>	51
Valutazione di rischio per fagliazione superficiale e liquefazione nell'Appennino Centrale per le pratiche di uso del suolo: il caso di Pagliare di Sassa (L'Aquila) <i>Marco Spadi</i>	56
Mappatura delle Faglie Attive e Capaci per la mitigazione del rischio sismico dei comuni di Capitignano e Montereale (L'Aquila) <i>Alessandra Sciortino</i>	61
Integrazione tra immagini ottiche e SAR per lo studio delle aree costiere <i>Sara Zollini</i>	66
Fotogrammetria e tecniche multispettrali per il rilievo e diagnosi di strutture e infrastrutture <i>Maria Alicandro</i>	71
Trasporti e mobilità sostenibile: aspetti strategici e tendenziali <i>Gino D'Ovidio</i>	76
Rischio alluvioni e modelli di danno <i>Anna Rita Scorzini</i>	81
Modellazione data-driven al servizio dell'ingegneria idraulica <i>Mario Di Bacco</i>	87

Studio dei fenomeni sismo-indotti e miglioramento degli strumenti per la determinazione delle proprietà meccaniche dei terreni <i>Anna Chiaradonna</i>	93
Il rapporto fra progetto e costruzione all'interno della concezione integrata del processo edilizio e della sua sostenibilità <i>Pierluigi De Berardinis</i>	99
La produzione edilizia. Tra innovazione digitale e transizione green <i>Marianna Rotilio</i>	106
Stazioni-Postazioni-Avamposti, o sulla nuova architettura delle terre alte <i>Filippo De Dominicis</i>	113
Permanenze, trasformazioni, sperimentazioni in Abruzzo e oltre, fra costruzioni e ri-costruzioni. Città, architettura e figure professionali <i>Patrizia Montuori</i>	117
Cultural Inheritance: restauro e riconoscimento dei valori <i>Carla Bartolomucci</i>	122
Acciaio e patrimonio architettonico. Culture costruttive e risorse digitali <i>Matteo Abita</i>	127
Culture della costruzione metallica del Novecento in Italia <i>Alba Fagnani</i>	133
Dalla circolarità alla resilienza: strumenti agili per la sostenibilità dell'ambiente costruito <i>Virginia Lusi</i>	137

## INDICE

Modelli e metodi per la meccanica non lineare delle strutture <i>Arnaldo Casalotti</i>	142
Metamateriali innovativi e applicazioni all'ingegneria <i>Alessandro Ciallella</i>	149
Miglioramento dinamico di strutture intelaiate attraverso l'accoppiamento visco-elastico con una struttura esterna dotata di inerter <i>Angelo Di Egidio</i>	153
Miglioramento dinamico di strutture intelaiate attraverso l'introduzione di una discontinuità intermedia <i>Stefano Pagliaro</i>	158
Ingegneria del Legno <i>Martina Sciomenta</i>	163
Il monitoraggio della fatica nei ponti ferroviari in calcestruzzo armato <i>Angelo Aloisio</i>	171
Materiali e tecnologie innovative per l'ingegneria sismica <i>Amedeo Gregori</i>	175
Dal BIM all'HBIM. Procedure di gestione informativa del costruito <i>Pamela Maiezza</i>	180





# Presentazione

PROF. PIERLUIGI DE BERARDINIS  
DIRETTORE DICEAA

Sono ormai trascorsi dieci anni da quando, con l'approvazione definitiva dello statuto, il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura e Ambientale nasceva a seguito della fusione tra i Dipartimenti di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno e di Urbanistica ed Architettura. È giunto il momento di proporre un'occasione di riflessione sulle attività di ricerca avviate e in corso di svolgimento.

In questa ottica va inteso l'avvenimento che si è proposto e che riguarda l'istituzione della prima giornata della ricerca del DICEAA, nella consapevolezza che non si tratterà di un evento occasionale, ma che certamente verrà riproposto ad intervalli regolari. Insieme alla pubblicazione di un annuario delle attività intraprese dal Dipartimento, quella che stiamo realizzando costituirà, ne sono sicuro, il momento di inizio di una tradizione che rappresenterà un punto fermo per la nostra comunità. Perché il DICEAA non rappresenta un semplice gruppo di docenti e giovani ricercatori, ma di una vera e propria unione di intelligenze, competenze e intenti.

La giornata vuole essere una opportunità di conoscenza reciproca, di sostegno e di collaborazione per le attività che in un mondo sempre più complesso avranno come elemento qualificante l'interdisciplinarietà dei saperi e delle esperienze.

Ciò che ci ha mosso, non è stato un intento meramente autocelebrativo originato da un impulso autoreferenziale, quanto, piuttosto, la necessità di manifestare le nostre competenze e promuoverle all'esterno

oltre che di rappresentarci come punto di riferimento per il territorio e il relativo contesto socio-economico, troppo spesso colpevolmente distratti e a volte attratti dal richiamo affabulatorio di sirene non sempre disinteressate e, a volte, anche molto distanti.

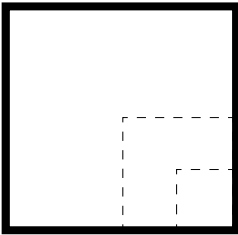
In un mondo dominato da fenomeni di globalizzazione delle economie e dallo sviluppo della società della scienza, ciò che appare emergere come elemento maggiormente rilevante è la capacità di produrre innovazione. L'ambiente competitivo attuale si caratterizza, infatti, per l'importanza crescente della ricerca quale fonte principale per il progresso e per il raggiungimento degli obiettivi di benessere e di sviluppo sociale sostenibile. In realtà la ricerca è fattore di storia, risolve e genera problemi. Aumentano così le nostre responsabilità ampliando, in una maniera fino a pochi decenni fa inconcepibile, lo spettro delle nostre possibilità di intervento sulle cose, sulle persone e su noi stessi. L'emergenza che abbiamo attraversato, e che ancora ci coinvolge, non solo ha riaffermato la centralità della scienza per le nostre vite, ma ha, soprattutto, reso evidente come lo scambio e la collaborazione siano fondamentali per raggiungere obiettivi strategici. Se possiamo, infatti, individuare un filo conduttore nel caleidoscopio delle relazioni presentate, lo possiamo intercettare nella trasversalità e nella interdisciplinarietà dei contenuti che permeano gran parte delle proposte presentate e che vengono illustrate, in questa raccolta di contributi, attraverso un percorso interscalare che va dal territorio all'edificio passando per i dettagli costruttivi e gli strumenti scientifici.

Un ultimo aspetto che vale la pena di rimarcare è dato dalla percezione di grande vitalità del Dipartimento, che traspare dalle attività di tutti i gruppi di ricerca coinvolti ma, soprattutto, dall'impegno dei giovani ricercatori, per lo più formati all'interno del Dipartimento, cui è stata affidata, nei contenuti e nell'organizzazione, la giornata. Costituiranno un eccezionale serbatoio di validissime risorse umane, perfettamente capaci di competere nel panorama nazionale e sovranazionale e saranno gli artefici ed i protagonisti di un futuro di grandi prospettive per l'intero sistema Paese.

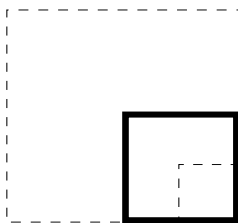




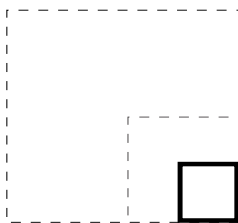
**Dal chilometro al centimetro.**  
**Studi svolti o in corso presso il Dipartimento di**  
**Ingegneria Civile, Edile-Architettura e Ambientale**



**Chilometro** - Una prima parte dei contributi ragiona, prevalentemente, alla scala geografica, interrogandosi su temi e questioni riguardanti gli ecosistemi territoriali, l'ambiente naturale e costruito, gli usi e le trasformazioni del suolo in una prospettiva di sostenibilità.



**Metro** - Una seconda parte dei contributi verte, prevalentemente, su temi e questioni relativi ai manufatti che costituiscono il patrimonio edilizio e infrastrutturale, in area urbana ed extraurbana, indagandone gli aspetti progettuali e strutturali, la dimensione produttiva, i valori storici, le prospettive di riuso.



**Centimetro** - Una terza parte dei contributi è dedicata, prevalentemente, a riflessioni alla scala del dettaglio, con particolare attenzione alle qualità dei materiali da costruzione, ai processi di innovazione e automatizzazione in ambito produttivo e progettuale, e ai comportamenti statici e dinamici delle componenti.



# **Il ruolo delle berme sommerse nella stabilità delle opere a gettata**

DANIELE CELLI

(DANIELE.CELLI@UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/02 - Costruzioni idrauliche e marittime e idrologia

PAROLE CHIAVE

Opere a gettata, modellazione sperimentale, modellazione numerica, stabilità idraulica, liquefazione.

Il ruolo principale delle opere a gettata è quello di offrire protezione nei riguardi delle aree costiere e portuali dall'azione congiunta delle correnti e del moto ondoso. Il progetto di tali deve quindi assicurare la stabilità strutturale, contrastando l'azione dei precedenti carichi idraulici.

Per la riduzione dei cedimenti di terreni dalle scarse proprietà meccaniche, nonché per incrementare la stabilità della mantellata, è possibile modificare il profilo convenzionale delle opere a gettata, prevedendo l'introduzione di una berma sommersa, caratterizzata da un'altezza ridotta se comparata alla profondità al di sopra della stessa.

Van Gent (2013) ha studiato l'influenza di berme relativamente alte sulla stabilità dei massi della mantellata. L'autore ha fornito una relazione empirica volta a valutare un parametro correttivo da applicarsi a un criterio di dimensionamento esistente (Van Gent et al., 2004). L'intervallo sperimentale indagato è imitato a berme relativamente alte. Per berme sommerse relativamente basse, l'utilizzo del precedente criterio potrebbe condurre a una sottostima del diametro dei massi della mantellata.

A tal proposito, il lavoro di Celli et al. (2018) ha portato alla definizione di un criterio per il dimensionamento dei massi della mantellata per opere a gettata con berma sommersa, estendendo l'intervallo di validità di Van Gent (2013). Il metodo adottato si è giovato della modellazione sperimentale e numerica (Fig. 1). Si è quindi previsto il ricorso a formule di stabilità (Van Der Meer, 1988), propriamente modificate per tener conto della presenza della berma. Il confronto con i risultati sperimentali ha confermato l'affidabilità del metodo proposto, sottolineando l'importanza dell'utilizzo di criteri di dimensionamento nell'ambito del loro intervallo di validità.

Oltre alla stabilità strutturale, durante la fase di progettazione è fondamentale la valutazione della risposta del terreno e della sua interazione con la struttura e il moto ondoso. Sono infatti diversi i casi in cui le opere marittime hanno manifestato perdite di funzionalità per cause di natura geotecnica, come ad esempio la liquefazione. In presenza di onde che si propagano su un fondale non coesivo, è possibile che si generino due tipologie di liquefazione, quella residua e quella momentanea (Sumer, 2014). In presenza di opere a gettata, ha senso considerare solo quest'ultima tipologia di fenomeno. Nel recente passato, diversi sono stati gli studi relativi all'interazione tra onde, terreno e struttura (e.g. Ulker et al., 2010). Nessuno ha tuttavia considerato la presenza di opere a gettata con berme sommerse. Pertanto, in Celli et al., 2019 si è indagata anche l'influenza delle berme sulla risposta del suolo, nonché la loro efficacia nel mitigare i fenomeni di liquefazione momentanea in corrispondenza di opere a gettata.



Figura 1. Modello fisico di opera a gettata con berma sommersa.

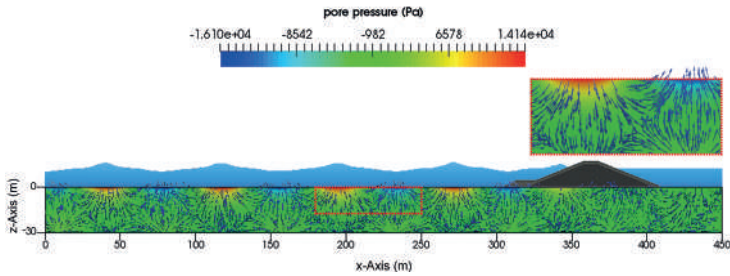


Figura 2. Pressioni dinamiche nel suolo e processo di filtrazione indotto dalla propagazione del moto ondoso.

È stato quindi condotto uno studio numerico parametrico al variare della lunghezza e dell'altezza della berma sommersa, mantenendo costanti le proprietà elastiche del terreno, la profondità a largo e le condizioni ondose in generazione. In particolare, le proprietà idrodinamiche del moto ondoso sono state valutate attraverso SWASH, un modello numerico open-source (Zijlema et al., 2011); ii) la risposta del terreno è stata valutata mediante un modello poro-elastico del terreno, sviluppato in OpenFOAM (Li et al., 2018); iii) l'interazione tra le differenti fasi fisiche è stata implementata considerando la pressione dinamica al fondo come condizione al contorno per il modello poro-elastico del terreno (Fig. 2); iv) la probabilità di liquefazione è stata valutata attraverso il criterio di Zen and Yamazaki (1990), opportunamente modificato per tener conto degli effetti gravitazionali derivanti dalla presenza di un'opera a gettata.

I risultati hanno indicato che la presenza di berme sommerse tende a mitigare i fenomeni di liquefazione momentanea rispetto al caso di opere a gettata convenzionali, prive di berma. È emerso inoltre che i fenomeni di liquefazione momentanea sono maggiormente influenzati da variazioni di lunghezza, piuttosto che di altezza delle berme. In Celli et al., (2019), l'assenza di dati sperimentali in termini di pressioni al fondo ha imposto un'analisi qualitativa dei risultati numerici. Al fine di determinare un database sperimentale, utile alla validazione di modelli numerici e per valutare il ruolo delle berme sommerse sulla distribuzione spaziale delle pressioni al fondo, in Celli et al., (2021) è stata condotta

una campagna sperimentale che ha permesso la validazione del modello numerico IHFOAM, utilizzato successivamente nell'ambito di uno studio parametrico volto alla determinazione di formulazioni empiriche utili alla stima delle pressioni al di sotto di opere a gettata in presenza di berma sommersa. Il confronto tra risultati stimati e osservati ha confermato l'affidabilità delle formulazioni proposte.

## **GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI**

Componenti del gruppo di ricerca: Prof. Marcello Di Risio (professore ordinario), Ph.D. Davide Pasquali (ricercatore tipo A), Ph.D. Daniele Celli (assegnista di ricerca), Dott. Ludovico Cipollone, (dottorando di ricerca).

Principali collaborazioni attive interne: Gruppo di ricerca di pianificazione territoriale, M&MOCS, CITRAMS.

Principali collaborazioni attive esterne: Sapienza di Roma, Università di Roma Tor Vergata, Politecnico di Bari, Università degli studi della Calabria, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

Principali collaborazioni attive estere: TuDelft University, UIS – University of Stavanger, IHCantabria - Universidad de Cantabria, UPV Universitat Politècnica de València.

## **BIBLIOGRAFIA**

Celli D., Pasquali D., Girolamo P. D., Risio, M. D. (2018). Effects of submerged berms on the stability of conventional rubble mound breakwaters. *Coastal Engineering*, 136:16 – 25.

Celli D., Li Y., Ong M. C., Di Risio M. (2019). The role of submerged berms on the momentary liquefaction around conventional rubble mound breakwaters. *Applied Ocean Research*, 85, 1-11.

Celli D., Pasquali D., Fischione P., Di Nucci C., Di Risio M. (2021). Wave-induced dynamic pressure under rubble mound breakwaters

- with submerged berm: An experimental and numerical study. *Coastal Engineering*, 170, 104014.
- Li Y., Ong M. C., Tang T. (2018). Numerical analysis of wave-induced poro-elastic seabed response around a hexagonal gravity-based offshore foundation. *Coastal Engineering*, 136:81–95.
- Sumer B. M. (2014). Liquefaction around marine structures. World Scientific.
- Van Der Meer J. W. (1988). Rock slopes and gravel beaches under wave attack.
- Van Gent M. R. (2013). Rock stability of rubble mound breakwaters with a berm. *Coastal Engineering*, 78:35–45.
- Van Gent M. R., Smale A. J., Kuiper C. (2004). Stability of rock slopes with shallow foreshores. In *Coastal Structures 2003*, pages 100–112.
- Zen K., Yamazaki H. (1990). Mechanism of wave-induced liquefaction and densification in seabed. *Soils and Foundations*, 30(4):90–104.
- Zijlema M., Stelling G., Smit P. (2011). Swash: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters. *Coastal Engineering*, 58(10):992–1012.

# Estrazione di energia elettrica dal moto ondoso

DAVIDE PASQUALI (DAVIDE.PASQUALI@UNIVAQ.IT)  
SSD: ICAR/02 - Costruzioni idrauliche e marittime e idrologia

## PAROLE CHIAVE

Energia blu, energie rinnovabili, onde, variabilità della risorsa energetica, WEC.

La crescente sensibilità verso gli aspetti ambientali derivanti dall'utilizzo di combustibili fossili ha recentemente incrementato l'interesse, verso le fonti rinnovabili di energia.

Sulla base di queste necessità, una delle possibilità esplorate dalla comunità scientifica è stata quella di poter estrarre energia dalle onde del mare (energia blu). Tuttavia, sin dai primi prototipi, sono emerse difficoltà tecnico/economiche che hanno frenato lo sviluppo industriale dei dispositivi di estrazione noti in letteratura come WEC (acronimo di Wave Energy Converter). Negli ultimi anni da una parte il progresso tecnologico, dall'altra la necessità di produzione di energia in modo sostenibile, ha dato un nuovo slancio alla ricerca in questo ambito.

Il principio di funzionamento dei WEC è, in linea del tutto generale, quello di convertire l'energia meccanica di un oggetto galleggiante in movimento in energia elettrica mediante un dispositivo di conversione. L'efficienza di estrazione dipende dalla disponibilità energetica (dalla presenza di onde, dalla loro persistenza e dalla loro altezza), dalle caratteristiche del WEC e dalle caratteristiche del dispositivo di estrazione (PTO – Power Take Off).

L'obiettivo di questa memoria breve è quella di riassumere le attività di ricerca portate avanti nello studio della variabilità dell'energia nel bacino del Mediterraneo e nell'ottimizzazione idrodinamica di un particolare WEC.

Sebbene esistano molti studi sulla risorsa energetica in mare, l'attenzione è stata sempre focalizzata sulla quantità di energia disponibile. Tuttavia, entrano in gioco altri fattori, molto spesso trascurati, quali la variabilità dell'energia e, dal punto di vista meramente tecnico, il posizionamento ottimale del WEC.

Sulla stregua di queste osservazioni è stato proposto un criterio finalizzato alla selezione dei siti di installazione. L'approccio è basato sull'utilizzo di un solo indice che contenga informazioni circa la disponibilità dell'energia, la sua variabilità e i costi di estrazione (che vengono correlati alla distanza dalla costa più vicina, ai carichi di progetto del dispositivo e alla potenza nominale del PTO). Il metodo, ha il vantaggio di non essere legato ad un particolare dispositivo di estrazione, e può essere molto utile in una fase iniziale in cui è fondamentale la scelta del sito di installazione più conveniente del WEC (o di una serie di dispositivi).

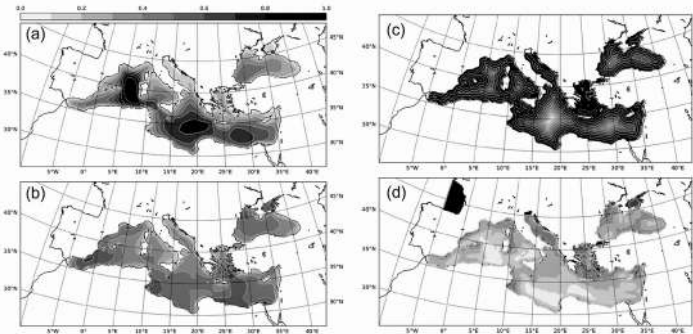


Figura 1. Mappa dell'indice di potenza d'onda normalizzato (a), dell'indice di variabilità normalizzato (b), dell'indice di distanza normalizzato (c) e dell'indice di altezza d'onda estrema normalizzata (d) all'interno del dominio di interesse.

La Fig. 1 mostra a titolo di esempio, il risultato del calcolo degli indici normalizzati relativi alla potenza d'onda, alla variabilità dell'energia, alla distanza dalla costa e all'altezza d'onda estrema.

Attualmente è in corso un ulteriore approfondimento riguardo lo studio della variabilità energetica finalizzata a comprendere se e quanto i cambiamenti climatici stiano influenzando sulle masse oceaniche, sia in termini di onde che di livelli di marea dovuti a sovralti di tempesta (Pasquali et al., 2015, 2019).

Come precedentemente evidenziato, un altro punto cruciale nell'estrazione di energia dalle onde è la dinamica del galleggiante. In questa ottica, la ricerca è stata focalizzata su un particolare tipo di dispositivo di estrazione di tipo "point absorber".

Il problema è stato affrontato sfruttando diverse tecniche di modellazione. Inizialmente è stato sviluppato un modello teorico in grado di facilitare lo studio della dinamica globale del WEC e fornire delle prime stime circa la forma ottima dell'oggetto e le forze di gioco.

Successivamente è stata effettuata una sperimentazione in canale ondogeno presso il Laboratorio di Idraulica Ambientale e Marittima dell'Università degli studi dell'Aquila su due tipologie di galleggianti con differenti caratteristiche. Lo scopo era da una parte testare sperimentalmente l'efficacia del dispositivo nel produrre energia elettrica, dall'altra fornire un database utile alla validazione di un modello numerico. Nello specifico le caratteristiche dinamiche del galleggiante sono state estratte con l'analisi di immagine (Fig. 2a e Fig. 2b) mediante un codice sviluppato internamente.

Infine, è stato creato un modello numerico di fluidodinamica computazionale sfruttando la libreria Open Source OpenFOAM (Higuera et al., 2013). Attualmente il modello è stato validato mediante il confronto con i risultati sperimentali. I risultati preliminari hanno evidenziato la capacità dello stesso di riprodurre correttamente la dinamica dell'oggetto galleggiante (Fig. 2c e Fig. 2d). Pertanto, nel prossimo futuro è in programma di effettuare una serie di simulazioni con diverse forme e dimensioni del galleggiante in modo da poterlo caratterizzare in modo esaustivo da un punto di vista idrodinamico e prestazionale e scegliere la forma più efficiente.

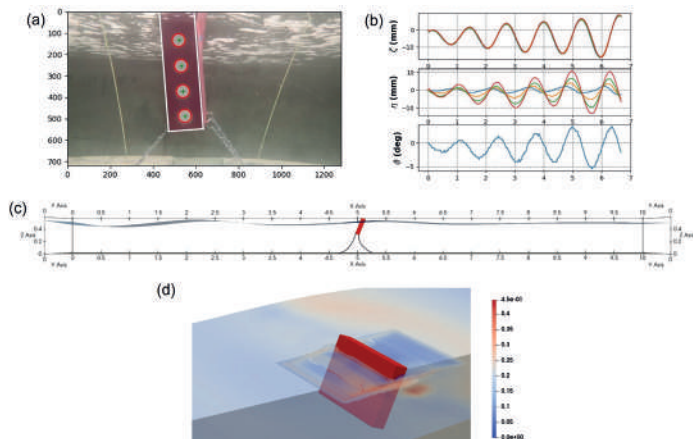


Figura 2. Risultati delle analisi di immagine relative alle prove sperimentali (pannelli a, b), e un dettaglio del modello numerico (pannelli c e d).

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Componenti del gruppo di ricerca: Prof. Ing. Marcello Di Risio (Professore Ordinario), Ph.D. Ing. Davide Pasquali (Ricercatore tipo A), Ph.D. Ing. Daniele Celli (Assegnista di ricerca), Dott. Ing. Ludovico Cipollone (Dottorando di ricerca).

Principali collaborazioni attive interne: Gruppo di ricerca di pianificazione territoriale, M&MOCS, CITRAMS.

Principali collaborazioni attive esterne: Sapienza di Roma, Università di Roma Tor Vergata, Politecnico di Bari,

Università degli studi della Calabria, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

Principali collaborazioni attive estere: TuDelft University, UIS – University of Stavanger, IHCantabria - Universidad de Cantabria, UPV Universitat Politècnica de València.

## BIBLIOGRAFIA

- Di Risio M., Celli D., Pasquali D. (2018). A method to assess wave energy variability within the frame of a multicriteria approach. *National Conference of Hydraulics and Hydraulic Structures*
- Di Risio M., Greco P., Celli D., San Lorenzo D., Pasquali D. (2018). Optimal selection of deployment site for wave energy devices. *13th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems – SDEWES*
- Higuera P., Lara J., Losada I., (2013). Realistic wave generation and active wave absorption for Navier–Stokes models. *Coastal Engineering* 71, 102-118.
- Pasquali D., Di Risio M., De Girolamo P. (2015). A simplified real time method to forecast semi-enclosed basins storm surge. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 165, 61-69.
- Pasquali D., Bruno M. F., Celli D., Damiani L., Di Risio M. (2019). A simplified hindcast method for the estimation of extreme storm surge events in semi-enclosed basins. *Applied Ocean Research*, 85, 45-52.

# Condizioni al contorno “smart” per la modellazione del sovrizzo di tempesta indotto da cicloni

LUDOVICO CIPOLLONE

(LUDOVICO.CIPOLLONE@GRADUATE.UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/02 - Costruzioni idrauliche e marittime e idrologia

PAROLE CHIAVE

Cicloni, modello numerico-analitico, sovrizzo di tempesta.

I Cicloni Tropicali sono tra i fenomeni naturali più intensi che è possibile sperimentare. Il loro impatto sulle zone costiere può portare a danni ambientali, problematiche strutturali negli elementi di difesa costiera, allagamenti costieri e, nei casi peggiori, anche alla perdita di vite umane. Data anche la crescita di attenzione al problema degli effetti indotti dal cambiamento climatico, lo studio di tali fenomeni risulta di notevole interesse.

Come per le zone tropicali, anche le zone mediterranee sono affette da questa tipologia di eventi atmosferici sia pur con frequenze più basse. In questo caso si utilizza il termine Mediane. Un evento recente è il Mediane Apollo che ha interessato le coste orientali della Sicilia alla fine di ottobre 2021. A titolo di esempio si riportano i risultati numerici ottenuti utilizzando il modello “Weather Research Forecast” (WRF) forzato da condizioni iniziali e al contorno forniti dal sistema GFS (Global Forecast System).

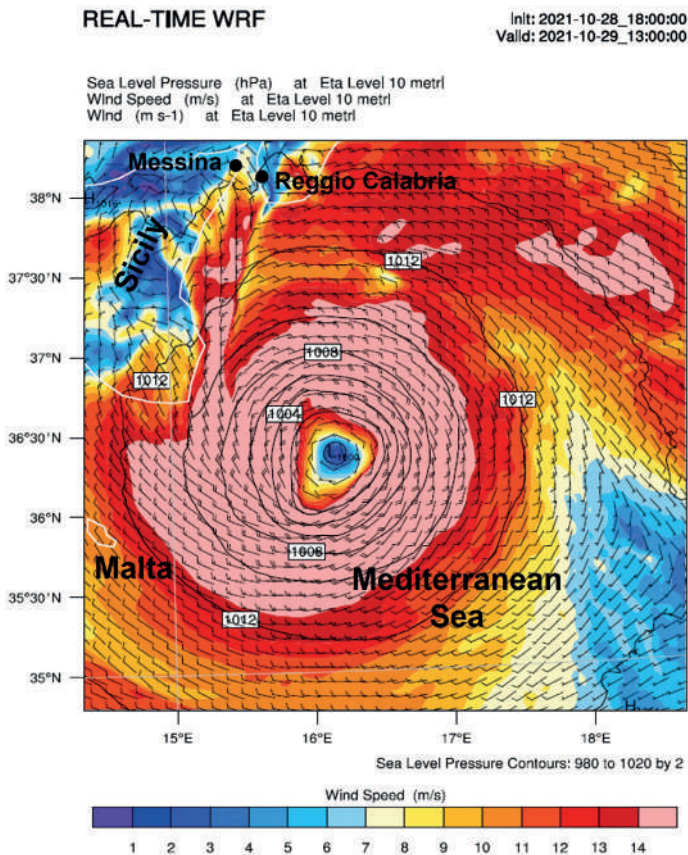


Figura 1. Esempio del campo di vento calcolato e della pressione sul livello del mare dell'uragano mediterraneo "Apollo" verificatosi il 29/10/2021 alle 13:00 UTC.

Per studiare e prevedere i cicloni, i ricercatori e le agenzie governative usano modelli numerici. La caratterizzazione numerica dei cicloni, intesi come campo di vento e pressione, può essere usata per forzare modelli idrodinamici. Per riprodurre con accuratezza la complessità di tali fenomeni è necessaria una notevole capacità di calcolo. I risultati delle elaborazioni dipendono fortemente dalle condizioni al contorno imposte e dal dominio che tende ad essere di notevoli dimensioni dato il fenomeno di larga scala.

Lo scopo di questo lavoro è proporre un nuovo modello analitico in grado di descrivere l'innalzamento di tempesta indotto dall'uragano in mare aperto (modellando sia le variazioni temporali che spaziali) per realizzare le condizioni al contorno per delle simulazioni standard di allagamento costiero.

Il lavoro si divide dunque in due parti.

La prima consiste nel definire il modello analitico in grado di descrivere il campo d'onda dovuto ad un impulso di pressione sulla superficie liberale.

La seconda consiste invece nell'individuare e nell'utilizzare un modello numerico in grado di simulare i livelli di marea.

Per quanto concerne il modello analitico il primo passo è descrivere matematicamente il campo d'onda indotto da un disturbo di pressione per poi passare a definire le condizioni iniziali che dipendono dal ciclone.

Ci si pone nell'ipotesi di linearità del processo in modo che si possa formulare una funzione di risposta impulsiva per poi, grazie al principio di sovrapposizione degli effetti, generalizzarlo ad un impulso di durata finita applicando l'integrale di convoluzione. Pur essendo un'ipotesi molto forte, i fenomeni lineari vengono spesso applicati nelle applicazioni pratiche e i risultati che ne derivano risultano avere una buona affidabilità (Pasquali 2015, 2019).

Stante la linearità, è possibile definire il campo d'onda introducendo il modello di Le Mehaute (Le Mehaute, 1996) in cui si studia il moto ondoso indotto da un disturbo di pressione rappresentato da esplosioni sottomarine. Tale modello risulta applicabile in quanto, nella sua formulazione, non vengono fatte ipotesi sulla fisica del fenomeno e quest'ultima è definita matematicamente nella condizione iniziale. Risulta dunque necessario definire il campo di pressione indotto dal ciclone per specializzare il modello analitico al caso specifico.

Questo è possibile utilizzando i modelli di Holland (Holland 1980, 2008, 2010) che forniscono un modello analitico sia del campo di pressione che di vento indotti da un ciclone tropicale. La Fig. 2 rappresenta i risultati del modello analitico nel caso di imposizione come condizione iniziale di un impulso di pressione di durata finita.

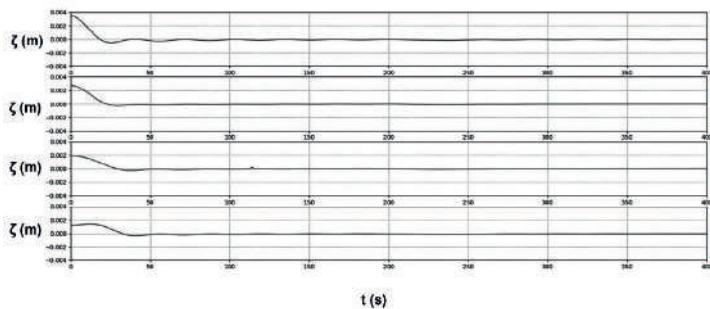


Figura 2. Evoluzione della superficie libera dovuta ad un impulso di pressione di durata finita.

Per quanto riguarda invece gli aspetti numerici si fa riferimento al modello Delft3D-Flow. Quest'ultimo è in grado di risolvere le “non-linear shallow water equations”, ed è in grado di simulare l'evoluzione dei livelli idrici indotti da un campo di pressione.

Lo sviluppo in itinere del lavoro sta prevedendo l'implementazione di un set di simulazioni definendo un dominio di calcolo esteso e applicando al suo interno le forzanti di vento e di pressione, un set di simulazioni su un dominio di calcolo meno esteso su cui verranno applicate le medesime forzanti e le condizioni al contorno derivanti dal modello analitico proposto per poi confrontare i risultati.

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Componenti del gruppo di ricerca: Prof. Marcello Di Risio (professore ordinario), Ph.D. Davide Pasquali (ricercatore tipo A), Ph.D. Daniele Celli (assegnista di ricerca), Dott. Ludovico Cipollone, (dottorando di ricerca).

Principali collaborazioni attive interne: Gruppo di ricerca di pianificazione territoriale, M&MOCS, CITRAMS.

Principali collaborazioni attive esterne: Sapienza di Roma, Università di Roma Tor Vergata, Politecnico di Bari, Università degli studi della Calabria, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

Principali collaborazioni attive estere: TuDelft University, UIS – University of Stavanger, IHCantabria - Universidad de Cantabria, UPV Universitat Politècnica de València.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Holland G. (2008). A revised hurricane pressure–wind model. *Monthly Weather Review*, 136(9), 3432-3445.
- Holland G. J., Belanger J. I., Fritz A. (2010). A revised model for radial profiles of hurricane winds. *Monthly weather review*, 138(12), 4393-4401. pp. 4393-4401.
- Holland G. J. (1980). An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes. *Monthly weather review*, 1980, pp. 1212-1218.
- Le Méhauté B., Wang S. (1996). Water waves generated by underwater explosion (Vol. 10). *World Scientific*.
- Pasquali D., Di Risio M., De Girolamo P. (2015). A simplified real time method to forecast semi-enclosed basins storm surge. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 165, 61-69.
- Pasquali D., Bruno M. F., Celli D., Damiani L., Di Risio M. (2019). A simplified hindcast method for the estimation of extreme storm surge events in semi-enclosed basins. *Applied Ocean Research*, 85, 45-52.

# Aree fragili smart, strategie di sviluppo territoriale

FEDERICO EUGENI

(FEDERICO.EUGENI@GRADUATE.UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/20 - Tecnica e pianificazione urbanistica,  
ICAR/21 - Urbanistica

PAROLE CHIAVE

Territorio, piattaforma, digitale, conoscenza, geografie.

La ricerca qui presentata è situata nel contesto di ricerca riguardante nuove forme e strumenti di pianificazione urbana e territoriale, aventi quindi l'obiettivo di relazionarsi con le nuove esigenze della contemporaneità e degli spazi in cui essa si manifesta e si sviluppa. Nella tesi vengono affrontati due percorsi paralleli, ma interagenti, che si riferiscono in maniera coerente alle citate esigenze:

- lo studio di originali geografie interpretative territoriali multi-scalari;
- la definizione di uno strumento operativo capace di supportare la pianificazione strutturale e strategica integrando tali geografie come casi d'uso dello strumento stesso.

Lo studio delle geografie, con particolare riferimento ai temi della perifericità e della fragilità territoriale e al ruolo che entrambe possono assumere in quanto elementi conoscitivi nei processi di sviluppo e crescita intelligente, si riferisce ad approcci europei ed italiani che nel corso del '900 fino ad oggi hanno esplorato le citate tematiche. La ricerca e la successiva proposta di uno strumento operativo si collega al panorama teorico, scientifico e applicativo legato ai Sistemi delle Conoscenze intesi come supporto ai processi di pianificazione e programmazione (analisi della fe-

nomenologia in atto e costruzione di scenari), alla valutazione e al monitoraggio delle scelte effettuate in riferimento a molteplici temi (ambiente, paesaggio, prestazioni, ecc.) e alla governance del territorio. Un prototipo di questo strumento si sostanzia nella ricerca nella forma di una Piattaforma Territoriale informatica. Quest'ultima è il frutto di approfondimenti sul suo possibile ruolo di supporto ai citati processi di pianificazione e programmazione, utilizzando i dati in riferimento ai nuovi diritti di cittadinanza, e sul concetto di Gemello Digitale (Digital Twin) che nella ricerca assume la dimensione territoriale/regionale (rispetto a quella urbana sulla quale sono state fatte fino ad ora le maggiori sperimentazioni). Una Piattaforma Territoriale così concepita, alimentata dal concetto di crescita intelligente, ha molteplici scopi. Si inserisce principalmente nel contesto di trasformazione "smart" del territorio e della società che lo abita perseguendo un nuovo modello di pianificazione in cui la conoscenza, con particolare riferimento alle geografie individuate, ricopre un ruolo fondamentale in quanto asse razionale tramite il quale operare scelte efficaci in linea con la fenomenologia in atto nella contemporaneità. Si configura quindi come uno strumento, aperto e dinamico, capace di supportare la pianificazione, la progettazione e la governance del territorio grazie anche alla possibilità di definire, verificare e monitorare politiche ed azioni in maniera trasversale. La definizione della Piattaforma è stata affrontata a livello teorico e metodologico in modo tale da articolarne la struttura e capire quali sono le sue componenti principali rimandando quindi ad una futura evoluzione della ricerca la sua predisposizione e realizzazione informatica. <sup>9</sup> La ricerca sulle geografie di riferimento, effettuata in parallelo i cui risultati sono stati raccolti in un atlante, ha avuto il ruolo di individuare sperimentalmente i primi contenuti della Piattaforma, di sostanziarne la struttura e indagare le metodologie di analisi e rappresentazione a scala territoriale già effettuate nel panorama di riferimento. Questa parte della ricerca si è articolata in 5 tematiche generali:

1. Naturalità
2. Antropizzazione
3. Flussi
4. Stabilità
5. Fragilità

Nel contesto delle citate tematiche sono state sviluppate alcune elaborazioni originali utilizzando un approccio multi-scalare e multidisciplinare richiamando altre esperienze di ricerca pertinenti.

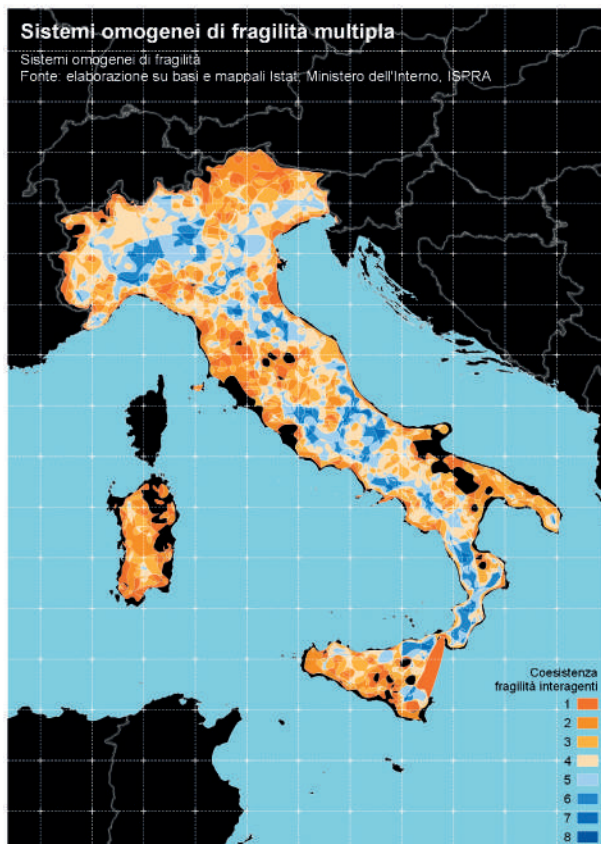


Figura 1. Sistemi omogenei di fragilità multipla (Elaborazione a cura dell'autore su dati ISTAT, ISPRA, Ministero dell'Interno a base comunale).

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Altri membri del gruppo di ricerca: Donato Di Ludovico, Luana Di Ludovico.

## BIBLIOGRAFIA

- D'Uva D., Eugeni F. (2021). "DTM to NURBS - A Parametric Approach to Landscape Modeling for an Environmentally Conscious Design", *Sustainability* 2021, 13, 2379.
- Marson A. (a cura di), (2020). "Urbanistica e pianificazione nella prospettiva territorialista", Quodlibet Studio, Macerata.
- Dematteis G., Governa F. (a cura di), (2009). "Territorialità, sviluppo locale, sostenibilità: il modello SLoT", Franco Angeli, Milano.
- Boggio F., Dematteis G. (a cura di), (2007). "Geografia dello sviluppo diversità e disuguaglianze nel rapporto Nord-Sud", Utet Diffusione Srl, De Agostini Scuola SpA, Novara.
- De Rossi A. (2018). (a cura di), "Riabitare l'Italia, le aree interne tra abbandoni e riconquiste", Progetti Donzelli, Roma.

# **Progetto Life Imagine Umbria - Life19 IPE/ IT/000015 - Integrated Management and Grant Investments for the N2000 Network in Umbria**

LORENA FIORINI

(LORENA.FIORINI@UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/20 – Tecnica e pianificazione urbanistica

## PAROLE CHIAVE

Connettività ecologica, ingegneria degli indicatori, conservazione della biodiversità, rete Natura 2000.

Il Progetto LIFE IMAGINE, della durata complessiva di 7 anni (2020-2027), è un progetto LIFE integrato che nasce con la finalità di sostenere lo sviluppo di una strategia integrata, unificata, coordinata e partecipativa di gestione della rete Natura 2000 (rete N2k) nella regione Umbria e deriva dall'esperienza maturata nell'ambito di un precedente progetto LIFE terminato nel 2018 (SUNLIFE, LIFE13 NAT/IT/371, 2014-2018). In generale, il progetto si propone di implementare politiche ed azioni concrete per raggiungere i seguenti obiettivi: favorire la conservazione e la gestione proattiva di habitat e specie, promuovendo e mantenendo uno stato di conservazione adeguato di specie ed habitat prioritari; assicurare la coerenza tra la rete Natura 2000 e i territori confinanti ed aumentare la connettività ecologica e l'armonizzazione tra i diversi siti; migliorare la governance ed assicurare la formazione di professionisti idonei alla gestione della rete Natura 2000 e coinvolgere e informare i cittadini in particolare sul ruolo ecologico svolto dalla rete

Natura 2000 e del suo significato in termini di valore, opportunità e implicazioni. (<https://www.lifeimagine.eu>). Per l'evidente necessità di un approccio interdisciplinare, tale progetto vede coinvolti diversi partner, ovvero: Regione Umbria, Parco Nazionale dei Sibillini, AFOR, Comunità Ambiente, Hyla spa e le Università di Perugia, Camerino, Sassari e L'Aquila.

Il gruppo di ricerca in Scienze del territorio è coinvolto su specifiche tematiche riguardanti in particolar modo l'analisi della pianificazione locale e la valutazione dell'interferenza infrastrutturale in relazione alla rete N2k e, a quasi un anno e mezzo dall'avvio del progetto, sono stati già prodotti interessanti risultati relativamente alle seguenti attività:

*1. Analisi preliminare per aree urbane e peri-urbane.*

In questa azione, sviluppata in collaborazione con l'Università di Camerino, è stata effettuata una tipizzazione di dettaglio dei tessuti urbani e peri-urbani individuati.

SCHEMA CONCETTIVO		SCHEMA FUNZIONALE		SCHEMA FORMALE		
STRUTTURA	EVOLUZIONE	FORMA	FUNZIONE	CLASSIFICAZIONE IN TIPO-SCHEMA/TESSUTO	SEMPLIFICAZIONE	
Urbano	Tessuto compatto	Aggregato	A			
			B			
			C			
			D			
		Estraneo	E			
			F			
Periurbano	Tessuto discontinuo	Reticolato a reticola e	B			
			C			
			D			
			E			
	Estraneo	F				
		G				
		H				
		I				
Matrice agricola	Aree Libere	J				
		K				

Figura 1. Classificazione delle tipologie ricorrenti dei tessuti urbani e peri-urbani.

## 2. Aggiornamento del mosaico dei PRG della Regione Umbria.

Uno degli obiettivi delle azioni preliminari è l'aggiornamento del mosaico degli strumenti urbanistici comunali per le municipalità che hanno modificato il proprio strumento di governo del territorio a partire dal gennaio 2016, considerando che la struttura di partenza è quella che è stata prodotta per il progetto LIFE SUN nel 2015 (Fiorini et al., 2021; Marucci et al., 2018). La ricognizione e l'analisi dello stato della pianificazione locale, infatti, sono fondamentali per comprendere le tipologie di varianti urbanistiche effettuate nei vari anni e soprattutto il loro ruolo nella modifica degli assetti insediativi previsti.

Da una prima analisi condotta, quello che emerge è un quadro abbastanza diversificato e complesso. In particolare, dal 2015 ad oggi ben 50 dei 92 comuni umbri (54,3% del totale) hanno approvato almeno una variante al proprio strumento urbanistico, il 26% circa dei comuni (24 su 92) non ha effettuato alcun aggiornamento mentre la situazione appare molto più articolata se consideriamo i nuovi strumenti di governo del territorio (Fig. 2).

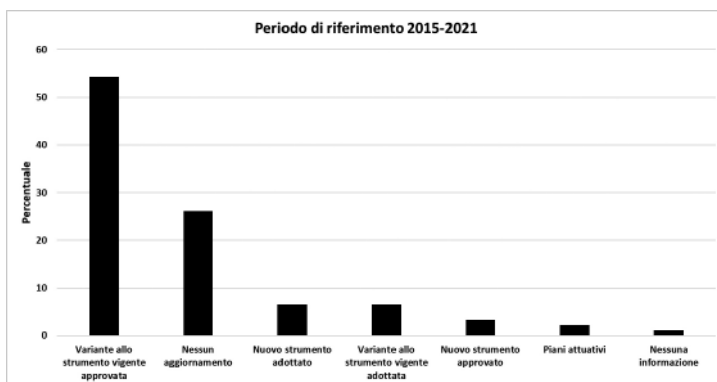


Figura 2. Aggiornamento degli strumenti di governo del territorio per il periodo 2015-2021.

### *3. Realizzazione del modello di Accordo di Varco ed individuazione dei varchi efficaci prioritari.*

L'Accordo di varco, teorizzato nell'ambito del progetto LIFE SUN (Marucci et al., 2018; Ciabò et al., 2015), è un modello di governance innovativo nel panorama nazionale la cui sottoscrizione sarà funzionale al mantenimento delle connessioni efficaci della rete N2k. Questo accordo fa parte di un'azione più ampia, che prevede la realizzazione di una serie di modelli di governance a supporto delle attività di gestione della rete N2k in Umbria, l'intero iter di sottoscrizione verrà quindi gestito attraverso due livelli, uno strategico ed uno operativo, al fine di garantire l'efficacia in modo coordinato.

Infine, è stata effettuata una prima individuazione dei varchi efficaci prioritari su cui avviare la successiva valutazione della fattibilità degli interventi di deframmentazione potenziali, attraverso l'analisi sia con altri database disponibili (rete N2k e mosaico dei Piani) sia con immagini satellitari, utili per una prima analisi dello stato della qualità del varco esaminato.

## **GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI**

Coordinatore del gruppo di ricerca: Prof. Bernardino Romano.

Gruppo di ricerca: Prof. Alessandro Marucci, Prof. Francesco Zullo, Ing. Ph.D. Lorena Fiorini, Ing. Ph.D. Lucia Saganeiti, Arch. Ph.D. student Chiara Di Dato, Ing. Ph.D. student Cristina Montaldi, Ing. Ph.D. student Gianni Di Pietro, Dott. Ph.D. student Federico Falasca, Ing. Ph.D. student Camilla Sette, Dott.sa Chiara Cattani, Ing. Vanessa Tomei.

Principali collaborazioni attive interne: LIAM - Progetto di Ateneo "Pressione antropica e dinamica della linea di riva. Uno studio sull'arco costiero peninsulare italiano". Gruppo di coordinamento interdipartimentale per gli studi sul Tratturo Magno. Gruppo di lavoro di Ateneo sulla Sostenibilità.

Principali collaborazioni attive esterne: MITE - Progetto Sost.EN.&Re. MISE – Progetto di Univaq CTE-SICURA. TERRITORI APER-TI – Progetto di Univaq per il Master di primo livello "Management tecnico-Amministrativo post-catastrofe negli Enti Locali". Regione

Abruzzo - Collaborazione per la SRSvS (fase I e fase II) e collaborazione per attività inerenti il patrimonio armentizio-tratturale regionale.  
Regione Umbria - Progetto LIFE IMAGINE Umbria. Comune di Castel del Giudice (IS) - Collaborazione per attività di riqualificazione e rigenerazione urbana ed ambientale del Centro Abitato.

Principali collaborazioni attive estere: University of Massachusetts Amherst (Department of Civil and Environmental Engineering) e University of Illinois at Urbana-Champaign (Department of Civil and Environmental Engineering, and Director, MAE Center: Creating a Multi-Hazard Approach to Engineering) in “Research activities for modeling of the evolution of the built environment”.

Il progetto LIFE IMAGINE UMBRIA (LIFE19 IPE/IT/000015) è finanziato dal programma europeo “LIFE Integrated projects 2019” della Comunità Europea.

## BIBLIOGRAFIA

- Fiorini L., Zullo F., Marucci A., Di Dato C., Romano B. (2021). Planning Tool Mosaic (PTM): A Platform for Italy, a Country Without a Strategic Framework. *Land* 2021, Vol 10, Page 279 10:279 . <https://doi.org/10.3390/LAND10030279>
- Marucci A., Zullo F., Fiorini L., Romano B. (2018). Pianificazione comunale. In: Perna P. Pierantoni P. Renzi A. Sargolini M.. (a cura di): Perna P. Pierantoni P. Renzi A. Sargolini M., *Sun Life – Strategia per la gestione della Rete Natura 2000 in Umbria*. p. 58-66, LIST Lab, ISBN: 9788898774234
- Marucci A., Zullo F., Fiorini L., Romano B. (2018). Ecorete. In: Perna P. Pierantoni P. Renzi A. Sargolini M.. (a cura di): Perna P. Pierantoni P. Renzi A. Sargolini M., *Sun Life – Strategia per la gestione della Rete Natura 2000 in Umbria*. p. 58-66, LIST Lab, ISBN: 9788898774234
- Ciabò S., Fiorini L., Marucci A., Zullo F., Romano B., (2015). L'Accordo di varco: una infrastruttura immateriale per la deframmentazione ecosistemica. In: *IX Giornata Studi dell'INU - Napoli 18 dicembre 2015, Napoli*. ISSN 0392-5005.

# **Patrimonio armentizio-tratturale regionale. Analisi dello stato di conservazione ed informatizzazione geografica dei parametri caratterizzanti**

FRANCESCO ZULLO

(FRANCESCO.ZULLO@UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/20 – Tecnica e pianificazione urbanistica

## PAROLE CHIAVE

Decision Support System, Piani Quadro Tratturo, controllo del territorio, demanio pubblico.

L'indagine condotta nel presente lavoro nasce da un accordo tra l'Università degli Studi dell'Aquila ed il Dipartimento di Agricoltura della regione Abruzzo. L'intento è di concretizzare iter conoscitivi e procedurali finalizzati a garantire un adeguato supporto alla conoscenza e gestione del patrimonio regionale Armentizio-Forestale-Pascolivo. Uno degli obiettivi del lavoro è quello di produrre un geodatabase aggiornato sull'effettiva condizione dei tratturi regionali unitamente alla messa a sistema delle concessioni in essere. Non solo, una analisi di questa natura ha consentito di studiare l'entità delle trasformazioni urbane ed infrastrutturali che tali percorsi hanno subito nel tempo unitamente al grado di naturalità residua. La lettura congiunta di queste informazioni è fondamentale per l'impianto di progetti volti alla riqualificazione ed alla valorizzazione turistica di questi antichi tracciati. I tratturi sono un patrimonio di notevole interesse storico culturale oltre che naturalistico ed ambientale. Essi, infatti, rappresentano gli antichi percorsi lungo i quali

avvenivano i passaggi delle greggi durante la transumanza. Tale attività ha avuto luogo fino agli anni '70 del secolo scorso ed è stata recentemente dichiarata dall'Unesco Patrimonio Culturale Immateriale dell'Umanità sulla base di una candidatura transnazionale presentata da Italia, Austria e Grecia (2019). La tutela del sistema dei tratturi è regolata da diverse leggi che hanno introdotto vincoli o imposto regolamenti dei regimi autorizzativi in materia di interventi su tale sedime. L'utilizzo delle aree tratturali è attualmente soggetto al D.Lgs. 42/2004 e regolamentato dal Piano Quadro Tratturo, introdotto in Abruzzo nel 1983 dal DM del 22 dicembre. Questa serie di dispositivi normativi non è però riuscita a contenere gli interventi trasformativi: le intense trasformazioni urbane che hanno modificato enormemente l'assetto insediativo italiano nel periodo successivo alla Seconda guerra mondiale, hanno infatti coinvolto anche diversi settori di questi antichi percorsi che, in alcuni casi, hanno totalmente perso i loro caratteri originari in quanto sono stati totalmente o ampiamente trasformati (Fig. 1).



Figura 1. Esempio di trasformazioni urbane avvenute lungo il percorso di uno dei tratturi analizzati.

Il lavoro ha analizzato il tracciato di 4 tratturi (L'Aquila-Foggia, Celano-Foggia, Centurelle-Montesecco, Lanciano-Cupello) per un totale di 38 km<sup>2</sup> che si sviluppano su oltre 400 km lineari coinvolgendo 79 dei 305 comuni abruzzesi. L'analisi è stata condotta utilizzando dati provenienti da diverse fonti (ISPRA, OSM, Protezione Civile). Tutti i dati sono stati elaborati in ambiente GIS utilizzando specifici indicatori che hanno permesso di ottenere informazioni inedite in merito allo stato di conservazione dei tratturi. I risultati sono riportati in Tabella 1.

Attualmente il 15% del territorio del tratturo è coperto da superfici impermeabili, con un'alta variabilità registrata a livello comunale. Vi sono infatti comuni dove il sedime tratturale è rimasto inalterato nel tempo ed altri dove invece l'antropizzazione ha interamente modificato l'assetto originario. Anche la densità edificatoria appare abbastanza elevata: il valore complessivo è pari a 83 edifici/kmq ma per il tratturo Lanciano-Cupello tale valore supera i 130 edifici/kmq.

Tabella 1. Risultati dell'analisi

Tratturo	N.ro comuni	Lunghezza lineare (km)	Area (kmq)	Aree impermeabilizzate 2019 (kmq)	N.ro aggregati strutturali	Infrastrutture (km)	Densità di impermeabilizzazione (%)	Dotazione infrastrutturale (m/kmq)	Densità edificatoria (Ned/kmq)
L'Aquila-Foggia	40	140	14,31	2,48	952	221,23	17,33	15459,82	66,53
Celano-Foggia	18	75	8	1,03	504	102,33	12,88	12791,25	63
Centurelle-Montesecco	30	155	11,86	1,3	1194	114,9	10,96	9688,03	100,67
Lanciano-Cupello	9	35	3,73	0,57	499	42,85	15,28	11487,94	133,78

L'altro aspetto ha riguardato l'implementazione di un database finalizzato alla gestione amministrativa e tecnica delle concessioni che la regione Abruzzo ha in essere lungo i tratturi (Zullo et al., 2021). La procedura seguita è riportata in Figura (Fig. 2).

Dal punto di vista amministrativo, un prodotto di questa natura consente di avere contezza dei canoni versati annualmente alla regione, del numero di concessioni in essere, delle particelle catastali interessate dal tratturo e attualmente non in concessione. Non solo, sarà poi possibile verificare sia se l'utilizzo effettivo è quello autorizzato compatibilmente con la conformità disposta dalle ultime linee guida regionali sia la compatibilità degli interventi con le prescrizioni dei PQT.

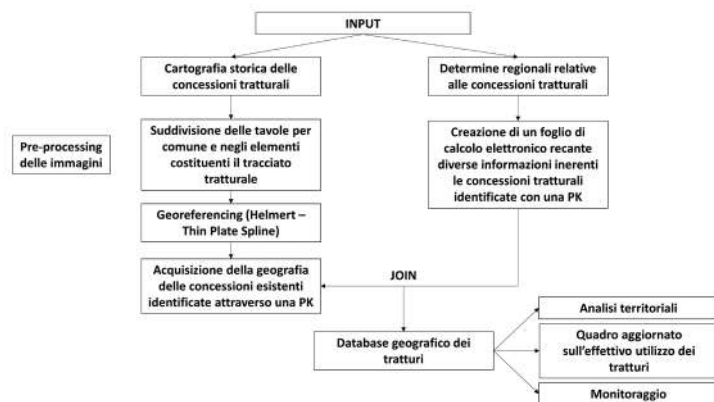


Figura 2. Workflow per l'informatizzazione geografica delle concessioni in essere lungo i tratturi.

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Coordinatore del gruppo di ricerca: Prof. Bernardino Romano  
 Gruppo di ricerca: Prof. Alessandro Marucci, Prof. Francesco Zullo, Ing. Ph.D. Lorena Fiorini, Ing. Ph.D. Lucia Saganeiti, Arch. Ph.D. student Chiara Di Dato, Ing. Ph.D. student Cristina Montaldi, Ing. Ph.D. student Gianni Di Pietro, Dott. Ph.D. student Federico Falasca, Ing. Ph.D. student Camilla Sette, Dott.sa Chiara Cattani, Ing. Vanessa Tomei.

Gruppo di lavoro Regione Abruzzo: Dott. Sabatino Belmaggio, Dott.ssa Elena Sico, Dott. Fernando Santomaglio.

Principali collaborazioni attive interne: LIAM - Progetto di Ateneo “Pressione antropica e dinamica della linea di riva. Uno studio sull’arco costiero peninsulare italiano”. Gruppo di coordinamento interdepartimentale per gli studi sul Tratturo Magno. Gruppo di lavoro di Ateneo sulla Sostenibilità.

Principali collaborazioni attive esterne: MITE - Progetto Sost.EN.&Re. MISE – Progetto di Univaq CTE-SICURA. TERRITORI APER-TI – Progetto di Univaq per il Master di primo livello “Management tecnico-Amministrativo post-catastrofe negli Enti Locali”. Regione Abruzzo - Collaborazione per la SRSvS (fase I e fase II) e collaborazione per attività inerenti il patrimonio armentizio-tratturale regionale. Regione Umbria - Progetto LIFE IMAGINE Umbria. Comune di Castel del Giudice (IS) - Collaborazione per attività di riqualificazione e rigenerazione urbana ed ambientale del Centro Abitato.

Principali collaborazioni attive estere: University of Massachusetts Amherst (Department of Civil and Environmental Engineering) e University of Illinois at Urbana-Champaign (Department of Civil and Environmental Engineering, and Director, MAE Center: Creating a Multi-Hazard Approach to Engineering) in “Research activities for modeling of the evolution of the built environment”.

Ricerca finanziata dal Dipartimento di Agricoltura della Regione Abruzzo – Servizio Parchi e Foreste.

## **BIBLIOGRAFIA**

Zullo F., Marucci A., Falasca F., Fiorini L. (2021). Tecniche per l’informatizzazione del patrimonio armentizio tratturale della regione Abruzzo. In *atti ASITA, Federazione delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali*, 1-2-9-16-23 Luglio 2021, pp. 459 – 467. ISBN: 978-88-941232-7-2.

# **Progetto “Sost.EN.&Re” - Sostenibilità, resilienza, adattamento per la tutela degli ecosistemi e la ricostruzione fisica in Italia centrale**

LUCIA SAGANEITI

(LUCIA.SAGANEITI@UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/20 – Tecnica e pianificazione urbanistica

## PAROLE CHIAVE

Sostenibilità, resilienza, ingegneria degli indicatori, rete ecologica, Planning Tool Mosaic.

Il Progetto “Sost.EN.&Re - Sostenibilità, resilienza, adattamento per la tutela degli ecosistemi e la ricostruzione fisica in Italia Centrale” è finanziato dal Ministero della Transizione Ecologica e svolto in collaborazione con la Regione Abruzzo. Il progetto Sost.EN.&Re è stato avviato in data 24/09/2020 e si concluderà, come da cronoprogramma, il 23/09/2022. L’obiettivo generale è quello di sviluppare una metodologia che porti alla formulazione di linee guida che possano poi confluire nei quadri normativi e regolamentari regionali a sostegno dei processi per l’attuazione della SNSvS. Il progetto prevede anche una più ampia attività di scambio interregionale tra Abruzzo, Marche e Umbria.

In coerenza con l’Agenda 2030 il progetto prevede attività per il conseguimento dei seguenti obiettivi specifici:

1. *Stesura di un Protocollo Tecnico di Mosaicatura (PTM) degli strumenti urbanistici comunali.*

In riferimento a questo obiettivo, è stata già completata la ricogni-

zione riguardante lo stato della pianificazione comunale e, attualmente, si sta lavorando sia alla redazione delle linee guida per il Protocollo di Mosaicatura dei Piani, in stretta sinergia con la Regione Abruzzo, sia alla chiusura dell'implementazione della Mosaicatura degli strumenti urbanistici comunali per alcuni comuni selezionati come campione esemplificativo. In Fig. 1 viene riportato un esempio di mosaicatura spaziale-volumetrica di piano urbanistico comunale nella quale vengono inserite le zone omogenee con legenda unificata e i volumi già realizzati (in nero) e potenzialmente realizzabili a partire dagli indici urbanistico-edilizi espressi nelle NTA.

2. *Sviluppo di una metodologia per l'inserimento della Rete Ecologica nella normativa regionale e criteri di valutazione dell'occlusione ecosistemica delle infrastrutture.*

Per questo obiettivo si è conclusa la fase di ricognizione ed analisi delle metodologie utilizzate nelle altre Regioni italiane per l'inserimento della Rete Ecologica nella normativa regionale. Un ulteriore e importante risultato è stato ottenuto attraverso la costituzione del Tavolo Tecnico permanente tra la Regione Abruzzo e i Parchi Nazionali e Regionali della Regione stessa, strutturato come protocollo per l'armonizzazione delle azioni per lo sviluppo sostenibile e strumento per l'attivazione di strategie comuni per il raggiungimento degli Obiettivi dell'Agenda 2030.

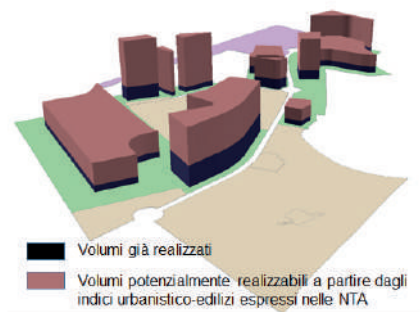


Figura 1. Esempio di mosaicatura spaziale-volumetrica.

Le azioni collegate all'obiettivo 2 stanno ora proseguendo sia nella parte riguardante la stesura delle linee guida per l'inserimento della Rete Ecologica nella normativa regionale sia nella produzione di un campione esemplificativo per la valutazione dell'occlusione ecosistemica delle infrastrutture, per il quale si è già concluso lo studio dello stato di occlusione per le principali barriere infrastrutturali determinate dal tratto ferroviario L'Aquila-Sulmona e dalla viabilità principale tra L'Aquila e Popoli (SS17 e SS153).

*3. Elaborazione di una consolle di indicatori di monitoraggio della sostenibilità delle trasformazioni.*

Le azioni di questo obiettivo si sono concluse con la produzione di una specifica consolle riportante per ogni indicatore informazioni di: formulazione, descrizione dei singoli parametri, unità di misura, fonte dei dati, dimensione spaziale, periodicità di aggiornamento, modello DPSIR. Il set di indicatori selezionati è stato dettagliatamente schedato e corredato da risultanze dei casi di applicazioni per le necessarie procedure di campionamento e produzione dei livelli di cut-off da inserire, eventualmente, in norme e regolamenti per il monitoraggio. La Fig. 2 mostra le interazioni degli indicatori, suddivisi in due categorie (di modello e dinamica insediativa e di pressione insediativa sui sistemi ambientali), con la dimensione spaziale, con la fonte dei dati necessari per la loro valutazione e con il modello DPSIR.

*4. Formazione di personale delle Pubbliche Amministrazioni (Regioni/Comuni/Agenzie).*

Si sono avviate le fasi organizzative per lo svolgimento dei corsi di formazione del personale dipendente delle Pubbliche Amministrazioni.

I risultati del progetto sono stati oggetto di pubblicazioni scientifiche (Fiorini et al. 2021) e sono inoltre consultabili tramite il sito web del Centro Planeco al seguente link: <https://www.centroplaneco.it/sostenere-2>.

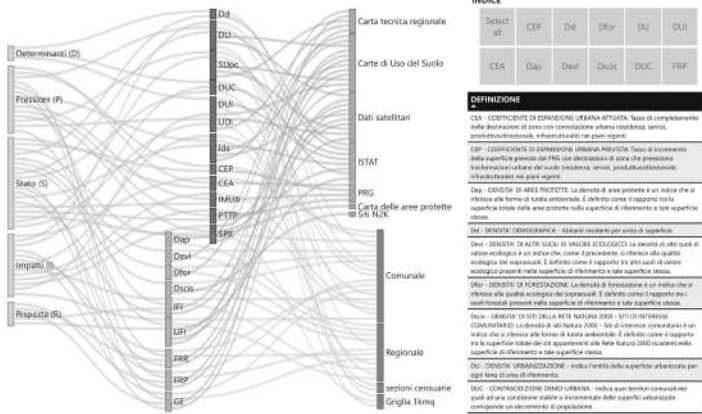


Figura 2. Consolle di indicatori di monitoraggio della sostenibilita' delle trasformazioni.

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Coordinatore del gruppo di ricerca: Prof. Bernardino Romano

Gruppo di ricerca: Prof. Alessandro Marucci, Prof. Francesco Zullo, Ing. Ph.D. Lorena Fiorini, Ing. Ph.D. Lucia Saganeiti, Arch. Ph.D. student Chiara Di Dato, Ing. Ph.D. student Cristina Montaldi, Ing. Ph.D. student Gianni Di Pietro, Dott. Ph.D. student Federico Falasca, Ing. Ph.D. student Camilla Sette, Dott.sa Chiara Cattani, Ing. Vanessa Tomei.

Collaboratori: Ing. Ph.D. Rosa Marina Donolo, Dott.ssa Lorena Di Bernardino.

Principali collaborazioni attive interne: LIAM - Progetto di Ateneo "Pressione antropica e dinamica della linea di riva. Uno studio sull'arco costiero peninsulare italiano". Gruppo di coordinamento interdepartimentale per gli studi sul Tratturo Magno. Gruppo di lavoro di Ateneo sulla Sostenibilita'.

Principali collaborazioni attive esterne: MITE - Progetto Sost.EN.&Re. MISE - Progetto di Univaq CTE-SICURA. TERRITORI APERTI - Progetto di Univaq per il Master di primo livello "Management

tecnico-Amministrativo post-catastrofe negli Enti Locali”. Regione Abruzzo - Collaborazione per la SRSvS (fase I e fase II) e collaborazione per attività inerenti il patrimonio armentizio-tratturale regionale. Regione Umbria - Progetto LIFE IMAGINE Umbria. Comune di Castel del Giudice (IS) - Collaborazione per attività di riqualificazione e rigenerazione urbana ed ambientale del Centro Abitato.

Principali collaborazioni attive estere: University of Massachusetts Amherst (Department of Civil and Environmental Engineering) e University of Illinois at Urbana-Champaign (Department of Civil and Environmental Engineering, and Director, MAE Center: Creating a Multi-Hazard Approach to Engineering) in “Research activities for modeling of the evolution of the built environment”.

Progetto finanziato dal Ministero della Transizione Ecologica (Direzione generale per la crescita sostenibile e la qualità dello sviluppo (CRESS) - Divisione II Strategie per lo sviluppo sostenibile e fiscalità ambientale) attraverso il bando per la promozione di progetti di ricerca a supporto dell’attuazione della Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile “Bando SNSvS 2” (categoria 1).

## **BIBLIOGRAFIA**

Fiorini L., Zullo F., Marucci A., Di Dato C, Romano B. (2021). Planning Tool Mosaic (PTM): A Platform for Italy, a Country Without a Strategic Framework. *Land* 2021, Vol 10, Page 279 10:279 . <https://doi.org/10.3390/LAND10030279>.

# **Tra fragilità e potenzialità: rigenerazione architettonica e urbana nei comuni del Parco Nazionale del Gran Sasso**

CAMILLA SETTE

(CAMILLA.SETTE@GRADUATE.UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR 14 – Composizione architettonica e urbana

## PAROLE CHIAVE

Riqualficazione urbana, pianificazione territoriale, progettazione architettonica, regolamenti edilizi, aree interne.

La rinnovata attenzione nei confronti del paesaggio, inteso non solo come naturale, ma come insieme di fattori artificiali, materiali e immateriali, ha assunto da tempo in Italia, come anche in Europa, un ruolo prevalente nella ricerca scientifica. Tra tutti, quello dominante nella cultura collettiva nazionale è sicuramente il paesaggio urbano: questo corrisponde in genere ai contesti storici, dove il patrimonio edilizio presenta nella maggior parte dei casi un valore pregevole, ma che al contempo necessita di urgenti interventi di rigenerazione e recupero.

Anche il PNRR si concentra sulla rigenerazione urbana e architettonica dei centri storici minori (nella nostra ricerca quelli ricadenti nel Parco Nazionale del Gran Sasso) per contrastare gli annosi problemi di vetustà del patrimonio edilizio e culturale e di sovraurbanizzazione del suolo. Si è finalmente affermato il carattere patologico del consumo di suolo che ha caratterizzato l'Italia negli ultimi 70 anni, conseguente a politiche speculative e pianificazione inefficace, che, seppur ancora non

esaurito nelle sue dinamiche incrementalì, si è certamente ridotto nella portata lasciando però ai comuni una eredità di difficoltà e problemi che hanno smentito decisamente la convinzione generale degli anni '80-90 per cui a un minor controllo del territorio corrispondeva un vantaggio per cittadini ed imprese.

Soprattutto per i piccoli comuni delle aree interne gli interventi dovranno essere altamente qualificanti, idonei a generare un recupero di ruolo, sensibili miglioramenti della qualità della vita e della valenza ambientale, nonché un elevato impatto sulla riaffermazione identitaria delle comunità residenti.

Nell'ultimo trentennio, i progetti all'interno dei borghi storici sono stati caratterizzati dalla conservazione e valorizzazione delle risorse storiche e naturali dei territori, mentre gli interventi di riuso o di recupero sono ormai diventati ripetitivi e omologati, in cui il tutto si riduce spesso ad un mero problema di materiali tradizionali (o ritenuti tali) e di forme: occorre saper trovare il giusto mezzo tra passato e presente, non rincorrendo semplicistiche emulazioni della tradizione, ma andando piuttosto ad interpretarla alla luce della cultura del presente.

Ciò significa che è necessario costruire delle immagini di futuro dei diversi comuni e dei territori circostanti: rigenerare questi luoghi che versano in stato di abbandono, o anche in via di crescente fragilizzazione, vuol dire ripensarli e reimmaginarli anche profondamente, essendo luoghi caratterizzati da uno stile improntato per lo più da azioni autoreferenziali o spontanee, eccezion fatta per sporadici interventi dovuti a sensibilità culturale della committenza. Questi borghi vanno visti come terreno per vincere le sfide urbanistiche, economiche e sociali dei prossimi anni: elaborare una metodologia che abbia la forza di cambiare il paradigma delle montagne e aree interne come luoghi da preservare e valorizzare, e che abbia come centro la natura e la specificità dei territori, "il suo essere intreccio ineludibile", per citare Manlio Rossi-Doria, di "osso e di "polpa", per dare nuova vita a questi centri storici complessi e assai diversificati.

Obiettivo generale della ricerca è quello di sviluppare un approccio metodologico innovativo, di carattere quantitativo e qualitativo, che permetta di classificare le aree in analisi sulla base dei caratteri architettonici, urbanistici, socio economici, paesaggistici.

A livello analitico-quantitativo, viene svolta una raccolta dello stato dell'arte su temi riguardanti la pianificazione e la progettazione, compresa la verifica della letteratura scientifica (Angi, 2016; Fonti, 2006; Rolli & Romano, 1995; De Rossi, 2018; Tarpino, 2016; Teti, 2016) e del patrimonio cartografico esistente attraverso sopralluoghi; individuazione dei perimetri di studio e confronto con il quadro normativo vigente. Accanto a queste, vengono svolte riflessioni di tipo qualitativo, riguardanti il rapporto tra qualità dell'ambiente costruito ed aspetti quali, ad esempio, la valorizzazione del paesaggio, la dipendenza dalla città, i valori immobiliari, l'attrattività residenziale e turistica, il senso di identità sociale.

Dai sopralluoghi e rilevamenti che verranno effettuati nei centri principali dei comuni del Parco, deriverà un descrittore di condizione riconducibile alle analisi delle matrici architettoniche e urbanistiche di questi.

A questo descrittore si può associare l'indicatore di nuovo conio che esprime, in forma sintetica e speditiva, lo "Stato Di Conservazione Residuale Dei Connotati Storico- Architettonici Di Alta Valenza Testimoniale" (con suscettibilità di variazione lessicale nel corso della ricerca), fermo restando il concetto relativo alla qualità del sistema "Impianto Urbano – Corpi Edilizi – Matrice Rurale" (Fig. 1).

Sia il descrittore che l'indicatore derivano da una indagine expert-based, non essendo ragionevole farli discendere da procedure di misura sui singoli luoghi che sarebbero troppo incerte e discutibili nel loro metodo applicativo, oltre che estremamente onerose tecnicamente e, quindi, al di fuori delle possibilità di impegno di un dottorato.

Ad oggi si sta procedendo con un campionamento di studio e messa a punto del registro descrittivo/analitico con i centri di maggiore prossimità con il centro urbano di L'Aquila (Collebrincioni, Aragno, Camarda e Assergi) sperimentando un metodo ricognitivo misto mediante Google Earth/View Street e poi sopralluogo fisico di verifica. Ciò dovrebbe consentire di allestire una schedatura-tipo da estendere poi agli altri borghi del PNGSML secondo il protocollo detto. La ricognizione di questi dati, unitamente alla sezione teorica di ingresso, porterà alla stesura di una mappatura geografica che mostri la distribuzione territoriale dei vari gradi di qualità e delle eventuali categorie di raggruppamento (cluster)

entro le quali riuscire ad incasellare gruppi di borghi con caratteri e problematiche affini, nonché per comuni dinamiche di trasformazione.

La ricerca proseguirà poi con l'individuazione di linee guida per la stesura di un'architettura normativa edilizia, con peculiarità caratteristiche per i singoli comuni. In una condizione teorica con il livello professionale sempre molto elevato e la committenza dotata di elevata sensibilità culturale e consistente disponibilità economica, un rigido incasellamento regolamentare degli interventi risulterebbe negativamente limitativo. Ma le condizioni correnti, seppur in progressiva e lenta maturazione, non hanno tali connotati e quindi si ritiene che la migliore soluzione per raggiungere una apprezzabile qualità del costruito e dell'ambiente, che fungerà da attrattore per nuove residenzialità e nuovi investimenti economici, sia quella di studiare forme di orientamento dell'azione progettuale e di realizzazione seguendo la falsariga di esperienze già attuate in passato in Abruzzo e altre regioni italiane fin dagli anni '70.



Figura 1. Best e worst practice a confronto: Civitella Alfedena e Collebrincioni.

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Gruppo di ricerca: Prof. Federico De Matteis, Prof. Bernardino Romano, Prof. Filippo De Dominicis. Il progetto di ricerca presentato è tema della tesi di dottorato svolta dall'Ing. Ph.D. student Camilla Sette.

## BIBLIOGRAFIA

- Fonti L. (2006). *Parchi, reti ecologiche e riqualificazione urbana*, Alinea, Firenze.
- Angi B. (2016). *Amnistia per l'esistente. Strategie architettoniche adattive per la riqualificazione dell'ambiente costruito*, LetteraVentidue Edizioni, Siracusa.
- Rolli G.L., Romano B. (1995). *Progetto parco. Tutela e valorizzazione dell'ambiente nel comprensorio del Gran Sasso d'Italia*, Andromeda Editrice, L'Aquila.
- Teti V. (2016). *Quel che resta. L'Italia dei paesi, tra abbandoni e ritorni*, Donzelli editore, Roma.
- Tarpino A. (2016). *Il paesaggio fragile. L'Italia vista dai margini*, Einaudi, Torino.
- De Rossi A. (a cura di, 2018). *Riabitare l'Italia*, Donzelli editore, Roma.

# **Valutazione di rischio per fagliazione superficiale e liquefazione nell'Appennino Centrale per le pratiche di uso del suolo: il caso di Pagliare di Sassa (L'Aquila)**

MARCO SPADI  
(MARCO.SPADI@UNIVAQ.IT)  
SSD: GEO/05 - Geologia applicata

## PAROLE CHIAVE

Pericolosità sismica, microzonazione sismica di terzo livello, faglie attive e capaci, paleoliquefazione.

La Microzonazione sismica italiana ha come obiettivo quello di suddividere il territorio in microzone con risposta omogenea allo scuotimento sismico, catalogandole in zone stabili, zone stabili suscettibili di amplificazione sismica e in zone instabili. In particolare, le zone instabili sono quelle zone in cui si ha un'instabilità permanente come frane sismoindotte, liquefazione del suolo, cedimento differenziale e fagliazione superficiale.

In quest'ambito, abbiamo condotto uno studio pilota per conto del comune dell'Aquila per la realizzazione di un nuovo plesso scolastico in località Pagliare di Sassa, in un'area precedentemente individuata come soggetta alla presenza di una possibile faglia attiva e capace e alla liquefazione dei terreni superficiali. La finalità dello studio era quello di quantificare le due pericolosità per una corretta progettazione del manufatto.

Per questo studio, abbiamo realizzato due trincee (denominate trincea 1 e trincea 2) con un andamento perpendicolare rispetto alla traccia della possibile faglia (Fig. 1).

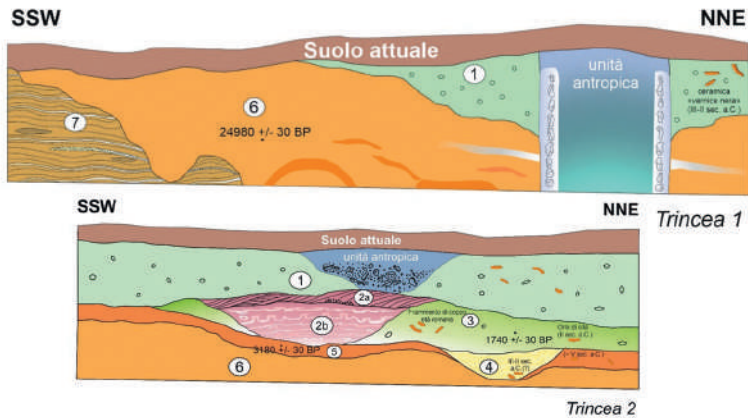


Figura 1. In alto: schema della successione stratigrafica affiorante lungo le pareti occidentali della trincea 1 (progressive da 30 a 130 m) con il posizionamento del frammento ceramico e del campione datato al radiocarbonio. In basso: schema della successione stratigrafica (unità da 1 a 6) affiorante lungo le pareti occidentali della trincea 2 (progressive da 20 a 40 m) con il posizionamento dei frammenti ceramici e dei campioni datati al radiocarbonio.

Lungo le pareti di escavazione delle trincee sono state rinvenute differenti unità geologiche continentali principalmente caratterizzate sedimenti colluviali sabbioso-ghiaiosi e limoso-sabbiosi, con sostanza organica e di origine antropica, oltre che da paleosuoli (Fig. 1). Nella trincea 1, all'interno delle unità sabbiose e ghiaiose colluviali, sono stati rinvenuti numerosi frammenti ceramici fortemente rimaneggiati di epoca romana. Queste unità più superficiali sono direttamente in contatto con i depositi alluvionali del Pleistocene Medio. Nella trincea 2 sono state rinvenute solamente le unità colluviali contenenti frammenti ceramici e quindi di epoca storica. Sono state eseguite diverse datazioni al radiocarbonio su frammenti di carbone o sul sedimento che hanno fornito un'età compresa tra i 25000 a 1800 anni fa che hanno confermato l'età fornita dalle ceramiche.

L'analisi delle pareti delle trincee, del log stratigrafico dei due sondaggi a carotaggio continuo realizzati a cavallo della presunta traccia di faglia, e le indagini geologiche e geomorfologiche di campagna non hanno

evidenziato eventi di fagliazione superficiale del Pleistocene superiore-Olocene.

La trincea 2, inoltre, ha messo in evidenza, all'interno delle unità col-luviali storiche, dicchi e strutture sedimentarie riconducibili a probabili fenomeni di liquefazione indotti da terremoti (Fig. 2)

L'età al radiocarbonio e le caratteristiche sedimentologiche delle uni-tà indicano che almeno un evento di liquefazione si potrebbe essere veri-ficato dopo il secondo secolo d.C. in base alle datazioni al radiocarbonio ed all'età delle ceramiche.

Le strutture sedimentarie nei depositi olocenici riconducibili a lique-fazione si sarebbero formate a causa di terremoti storici originati da faglie attive dell'area abruzzese. Come ipotesi di lavoro preliminare, la liquefa-zione del suolo può essere stata generata dai terremoti del III-II sec. a.C., del II-I sec. a.C. o del 147-148 AD (Spadi et al., 2022).



Figura 2. Trincea 2 progressiva 25,70 m, dicco e soft sediment deformations nell'unità 2b, riconducibili a probabili fenomeni di liquefazione indotti da terremoti.

Il terremoto del III-II sec. a.C. si è originato dall'attivazione del sistema di faglie della media valle dell'Aterno e della conca Subequana (Falcucci et al., 2011), quello del II-I sec. a.C. dalla faglia di Paganica (Moro et al., 2013) e quello del 147-148 AD dalla faglia del Monte Morrone (Ceccaroni et al., 2009).

## **GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI**

Componenti del gruppo di ricerca: Marco Spadi, Alessandra Sciortino, Enrico Morana, Marco Tallini.

Principali collaborazioni attive interne: Pamela Maiezza, Stefano Brusaporci, Francesco Dell'Isola, Ivan Giorgio Paola Monaco, Anna Chiaradonna, Anna Rita Scorzini e Mario Di Bacco.

Principali collaborazioni attive esterne: INGV Deborah Maceroni, Girolamo Dixit Dominus, Emanuela Falcucci, Fabrizio Galadini, Stefano Gori, Marco Moro, Michele Saroli. ISPRA Edi Chiarini, Giuseppe Nirta, Marco Nocentini. Roma Tre Domenico Cosentino. OGS Valerio Poggi.

Principali collaborazioni attive estere: ETH Zurigo Donat Fah e Francesco Panzera.

Progetti di ricerca Microzonazione Sismica: Microzonazione sismica di terzo livello Regione Abruzzo/DICEAA. Progetto di ricerca Faglie attive e capaci: Ridefinizione delle Zone di Attenzione delle Faglie Attive e Capaci emerse dagli studi di microzonazione sismica effettuati nel territorio dei Centri abitati di Capitignano (Capoluogo e Frazione di Sivignano) e Montereale (Frazione di Paganica) in provincia de L'Aquila, interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 agosto 2016 INGV/DICEAA. Procedimento nuovo polo scolastico di Sassa Comune dell'Aquila/DICEAA. Progetti di ricerca di Idrogeologia Applicata: Progetto EU HORIZON-EURATOM-2021-2025 artEmis - Awareness and resilience through European multi sensor system call.

## BIBLIOGRAFIA

- Ceccaroni E., Ameri G., Capera A. A. G., Galadini F. (2009). The 2<sup>nd</sup> century AD earthquake in central Italy: archaeoseismological data and seismotectonic implications. *Natural hazards*, 50(2): 335-359, <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9343-x>
- Faluccci E., Gori S., Moro M., Pisani A. R., Melini D., Galadini F., Fredi P. (2011). The 2009 L'Aquila earthquake (Italy): What's next in the region? Hints from stress diffusion analysis and normal fault activity. *Earth and Planetary Science Letters*, 305(3-4): 350-358, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.03.016>
- Moro M., Gori S., Faluccci E., Saroli M., Galadini F., Salvi S. (2013). Historical earthquakes and variable kinematic behaviour of the 2009 L'Aquila seismic event (central Italy) causative fault, revealed by paleoseismological investigations. *Tectonophysics*, 583: 131-144, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2012.10.036>
- Spadi M., Maceroni D., Dixit-Dominus G., Tallini M., Faluccci E., Galadini F., Gori S., Moro M., Saroli M. (2022). Surface faulting and liquefaction hazard assessment in the central Apennines for land use practices: a case study from the L'Aquila urban area (central Italy), EGU General Assembly 2022.

# Mappatura delle Faglie Attive e Capaci per la mitigazione del rischio sismico dei comuni di Capitignano e Montereale (l'Aquila)

ALESSANDRA SCIORTINO

(ALESSANDRA.SCIORTINO@UNIVAQ.IT)

SSD: GEO/05 - Geologia applicata

## PAROLE CHIAVE

Pericolosità sismica, microzonazione sismica di terzo livello, faglie attive e capaci, zone di faglia.

Le Faglie Attive e Capaci (FAC) sono responsabili delle rotture e delle dislocazioni cosismiche del suolo durante un evento sismico. Di conseguenza, la loro mappatura assume un ruolo significativo nella mitigazione del rischio sismico delle aree urbane interessate dalle FAC. Le linee guida italiane di microzonazione sismica suddividono le FAC in “certe” ed “incerte”, attribuendo ad esse microzone instabili di Rispetto e Suscettibilità.

Presentiamo in questo lavoro la metodologia multidisciplinare utilizzata per mappare e studiare la paleosismologia delle faglie del bacino intermontano di Montereale colpito dal terremoto dell'Aquila del 2009 e dalla sequenza sismica del 2016-17 dell'Italia centrale. Il bacino è delimitato dal sistema di faglie di Montereale costituito da due strutture disposte *en échelon*: la faglia di San Giovanni a sud e quella di Capitignano sul versante settentrionale (Chiarini et al., 2014; Cinti et al., 2018; Civico et al., 2016).

La mappatura delle FAC e delle microzone di Suscettibilità e Rispetto per il sistema di faglie di Montereale è stata articolata nelle seguenti fasi:

1. Identificazione degli elementi morfotettonici mediante l'analisi di modelli digitali del terreno (DTM a 10 m e LiDAR a 1 m) e l'interpretazione di foto aeree e immagini da remoto. Gli elementi morfologici (pendii lineari, faccette triangolari non degradate, anomalie del reticolo idrografico, valli lineari, selle, allineamenti di rotture di versante) rappresentano, infatti, l'espressione più evidente della tettonica attiva sul territorio.

2. Rilievo geologico e geomorfologico di dettaglio per l'interpretazione sul campo degli elementi morfotettonici riconosciuti ed esecuzione di sezione geologiche rappresentative delle FAC (Fig. 1).

3. Indagini geofisiche (tomografia elettrica e sismica a riflessione ad alta risoluzione) pianificate sulla base delle evidenze morfotettoniche, individuate nelle fasi precedenti (Fig. 2).

4. Scavo e analisi di trincee paleosismologiche, localizzate dove la geologia, la geomorfologia e le indagini geofisiche hanno confermato la presenza di discontinuità nel sottosuolo (Fig. 2).

5. Datazione al radiocarbonio di suoli e depositi campionati nelle trincee al fine di ricostruire la storia sismica della faglia.

Tramite questa metodologia è stato possibile mappare in dettaglio, con maggiore precisione, l'andamento in pianta delle faglie anche laddove la loro espressione morfologica non risulta particolarmente evidente. Questo studio ha anche permesso di riconoscere l'attività recente delle FAC, di stimare i rigetti minimi di queste ultime, e di mappare le relative zone di Suscettibilità e Rispetto utili per la ricostruzione antisismica (Sciortino et al., 2022).

Infine, riteniamo che la procedura adottata possa essere un valido strumento per una corretta pianificazione urbanistica alla 1:5000 dei comuni del centro Italia ubicati in aree ad alta sismicità.

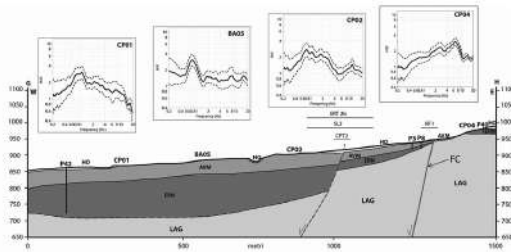


Figura 1. Sezione geologica con la faglia probabilmente attiva e capace di Capitignano (FC). HO: depositi detritici dell'Olocene; AVM (Sintema di Valle Majelama) depositi di conoide torrentizia (Pleistocene superiore); ERN (Unità di Paterno) depositi di conoide torrentizia (Pleistocene medio); LAG (Formazione della Laga) substrato geologico del Messiniano inferiore p.p.. Con P sono indicati i sondaggi utilizzati per calibrare la sezione. In alto i diagrammi H/V del microtremore. Le misure CP01, BA05 e CO02 mostrano una frequenza di risonanza bassa indicativa di un substrato geologico profondo (LAG) (hangingwall di FC). La misura CP04 presenta invece una frequenza di risonanza elevata dovuta all'affioramento del substrato geologico (LAG) (footwall di FC).

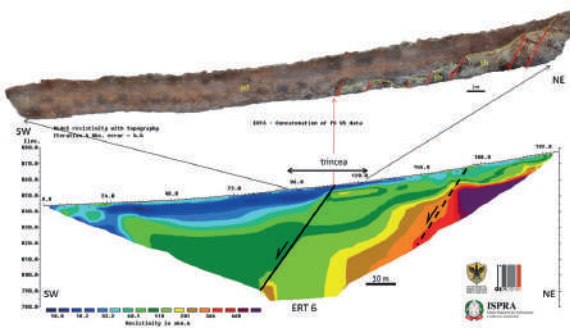


Figura 2. Trincea eseguita presso San Giovanni di Paganica (Montereale). In basso la tomografia elettrica ERT 6, il forte contrasto di resistività elettrica ha permesso di posizionare la trincea scavata successivamente. In alto il fotomosaico della trincea con il posizionamento delle faglie attive e capaci (in rosso), ad: depositi alluvionali e di versante limoso-sabbiosi (Parte alta del Pleistocene superiore-Olocene); sb: substrato geologico (formazione della Scaglia cinerea detritica).

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Componenti del gruppo di ricerca: Marco Spadi, Alessandra Sciortino, Enrico Morana, Marco Tallini.

Principali collaborazioni attive interne: Pamela Maiezza, Stefano Brusaporci, Francesco Dell'Isola, Ivan Giorgio Paola Monaco, Anna Chiaradonna, Anna Rita Scorzini e Mario Di Bacco.

Principali collaborazioni attive esterne: INGV Deborah Maceroni, Girolamo Dixit Dominus, Emanuela Falcucci, Fabrizio Galadini, Stefano Gori, Marco Moro, Michele Saroli. ISPRA Edi Chiarini, Giuseppe Nirta, Marco Nocentini. Roma Tre Domenico Cosentino. Università di Roma "La Sapienza" Paolo Mazzanti, Roberta Marini, Nicoletta Nappo. NHAZCA Paolo Mazzanti, Gianmarco Pantozzi, Stefano Scancellà.

Progetti di ricerca Microzonazione Sismica: Microzonazione sismica di terzo livello Regione Abruzzo/DICEAA. Progetto di ricerca Faglie attive e capaci: Ridefinizione delle Zone di Attenzione delle Faglie Attive e Capaci emerse dagli studi di microzonazione sismica effettuati nel territorio dei Centri abitati di Capitignano (Capoluogo e Frazione di Sivignano) e Montereale (Frazione di Paganica) in provincia de L'Aquila, interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 agosto 2016 INGV/DICEAA. Procedimento nuovo polo scolastico di Sassa Comune dell'Aquila/DICEAA. Progetti di ricerca di Idrogeologia Applicata: Progetto EU HORIZON-EURATOM-2021-2025 artEmis - Awareness and resilience through European multi sensor system call.

## BIBLIOGRAFIA

Chiarini E., La Posta E., Cifelli F., D'Ambrogio C., Eulilli V., Ferri F., Marino M., Mattei M., Puzzilli L.M. (2014). A multidisciplinary approach to the study of the Montereale Basin (Central Apennines, Italy). *Rend. Fis. Acc. Lincei*, 25: 177, doi 10.1080/16445647.2016.1239229 con allegati "supplementary materials".

- Cinti F. R., Civico R., Blumetti A. M., Chiarini E., La Posta E., Pantosti D., Papasodaro F., Smedile A., De Martini P. M., Villani F., Pinzi S., Pucci S., Brunori C. A. (2018). Evidence for Surface Faulting Earthquakes on the Montereale Fault System (Abruzzi Apennines, Central Italy). *Tectonics*, 37: 2758–2776, <https://doi.org/10.1029/2017TC004780>.
- Civico R., Blumetti A.M., Chiarini E., Cinti F.M., La Posta E., Papasodaro F., Sapia V., Baldo M., Lollino G., Pantosti D. (2016). Active traces of the Capitignano and San Giovanni faults (Abruzzi Apennines, Italy). *Journal of Maps*, doi 10.1080/16445647.2016.1239229 con carta allegata.
- Sciortino A., Chiarini E., Nirta G., Spadi M., Tallini M., Ferri F., Puzzilli L.M., Sapia V., Materni V. (2022). Mapping Active and Capable faults in structural complex settings. A case study from central Apennines (Italy). Accettato come presentazione al congresso EGU22.

# **Integrazione tra immagini ottiche e SAR per lo studio delle aree costiere**

SARA ZOLLINI

(SARA.ZOLLINI@UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/06 - Topografia e cartografia

## PAROLE CHIAVE

SAR, remote sensing, linea di riva, immagini satellitari, change detection.

L'ambiente costiero rappresenta una delle aree più sviluppate e popolate del mondo. È sempre stato fonte di attrazione da parte dell'essere umano per le sue risorse e, per questo, si è sviluppato continuamente e il suo utilizzo è notevolmente aumentato negli ultimi decenni. Purtroppo è un ambiente molto delicato, che sta subendo, nel corso del tempo, continui cambiamenti dovuti non solo alla sua natura dinamica ma anche a fattori geologici, geomorfologici, idrodinamici, biologici, climatici e antropici. Ad oggi, i fenomeni di erosione superano quelli di sedimentazione. Per questo, il monitoraggio di tali aree è fondamentale per la salvaguardia del patrimonio culturale e delle popolazioni che vi abitano.

Il laboratorio di Geomatica dell'Università dell'Aquila ha, fin dalla sua fondazione, riposto grande impegno nelle attività riguardanti l'analisi delle aree costiere. Dal 2010 ha iniziato le sue sperimentazioni con l'analisi di immagini satellitari ad alta ed altissima risoluzione e negli ultimi anni sta lavorando sulle potenzialità del radar (SAR) ed in particolare, sull'integrazione di dati ottici e SAR sia per l'estrazione della linea di riva istantanea (Boak and Turner, 2005), ovvero la linea che separa terraferma e acqua al momento dello scatto dell'immagine, sia per

lo studio del territorio circostante (Alicandro et al., 2019; Dominici et al., 2019; Palazzo et al., 2012; Zollini et al., 2020). La conoscenza delle dinamiche costiere aiuta a comprendere un'ampia gamma di studi, come l'analisi erosione - accrescimento, la mappatura dei rischi e, in generale, la gestione e la pianificazione di tali aree. Tra le varie tecniche geomatiche, le immagini satellitari risultano essere le più utilizzate. Tra i numerosi vantaggi si annovera il fatto che esse possono essere acquisite ed elaborate in maniera relativamente rapida con alto grado di dettaglio, permettono lo studio di zone di territorio estese, possono acquisire a più bande.

Le immagini utilizzate per questo filone di ricerca sono state quelle satellitari ad alta (Sentinel-1 SAR e Sentinel-2 ottiche) ed altissima risoluzione (WorldView-2 ottiche). Sono stati studiati due siti costieri, Ortona (Chieti, Italia) e Castelldefels (Barcellona, Spagna). Dopo una pre-elaborazione, necessaria per correggere distorsioni geometriche e radiometriche, sono state applicate tecniche di enhancement per aumentare la leggibilità del dato. Sono stati testati diversi indici, algoritmi e filtri. La sperimentazione ha analizzato in modo critico algoritmi già comunemente utilizzati in letteratura e ha portato allo studio di nuovi algoritmi del mondo dell'intelligenza artificiale. Tali algoritmi, brevettati dal professor Buscema del Centro Ricerche Semeion di Roma, sono i Sistemi ACM (Active Connection Matrix) (Buscema, 2006; Buscema et al., 2008; Buscema & Grossi, 2010), che sono stati confrontati con i quelli comuni (Fig. 1) considerando, come verità a terra, una volta la linea di riva estratta manualmente tramite ispezione visiva e un'altra tramite misure GPS.

I risultati hanno mostrato che i Sistemi ACM, ed in particolare il Contractive Maps e il J-Net Dynamic, forniscono una migliore definizione ed estrazione della linea di riva, avvicinandosi maggiormente a quella di riferimento, rispetto alle metodologie più comuni e raggiungendo, nella maggior parte dei test, precisioni dell'ordine del sub-pixel/pixel. Inoltre, uno degli scopi di questo lavoro è stato quello di mettere a punto una nuova metodologia semi-automatica per l'estrazione della linea di riva istantanea, utilizzando prevalentemente immagini Sentinel come parte del programma Copernicus, il quale fornisce dati completi, liberi e gratuiti, facili da reperire ed utilizzare. Tramite il suddetto studio, si è anche dimostrato che i Sistemi ACM sono in grado di sfruttare al

meglio il dato SAR, perché sono risultati essere meno sensibili all'effetto dello speckle, un effetto "sale e pepe" tipico delle immagini SAR. La nuova metodologia può essere sfruttata per estrarre in maniera rapida le linee di riva di immagini catturate in istanti di tempo differenti e valutarne l'eventuale cambiamento avvenuto. In questo modo, è possibile facilitare la gestione di un piano di intervento da parte delle istituzioni a favore della salvaguardia del luogo.

Un ulteriore studio che si sta iniziando a portare avanti riguarda l'analisi di change detection sulle aree costiere sempre sfruttando dati open source (Sentinel-1 e -2). Il test site è Giampilieri, una costa al nord-est della Sicilia. Oltre all'estrazione della linea di riva, si sono analizzati i cambiamenti avvenuti in tutta l'area sia attraverso una classificazione non supervisionata che attraverso algoritmi di image difference (Fig. 2). I risultati fungono da base per le successive indagini, circoscrivendo le aree di interesse e implementandone lo studio mediante immagini a più alta risoluzione o mediante controlli a terra e risparmiando sia dal punto di vista temporale che economico.

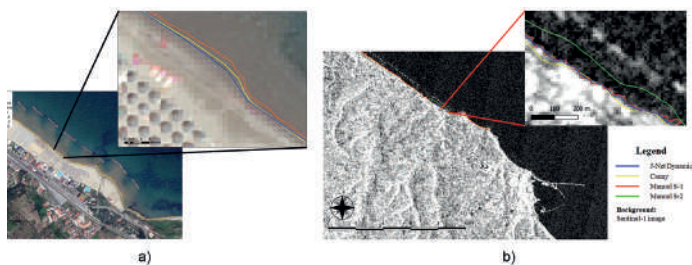


Figura 1. Esempi di estrazione di linea di riva: (a) Immagine multispettrale WorldView-2 con tre linee di riva: la linea rossa è la linea di riva estratta manualmente; quella gialla è generata utilizzando l'algoritmo comune WVWI e quella blu l'algoritmo sperimentale J-Net Dynamic. (b) Immagine SAR Sentinel-1 con quattro linee di riva: la linea rossa e quella verde sono, rispettivamente, le linee di riva estratte manualmente da Sentinel-1 e immagini di Sentinel-2; quella gialla è la linea di riva estratta dall'algoritmo comune Canny e la blu dall'algoritmo sperimentale J-Net Dynamic.

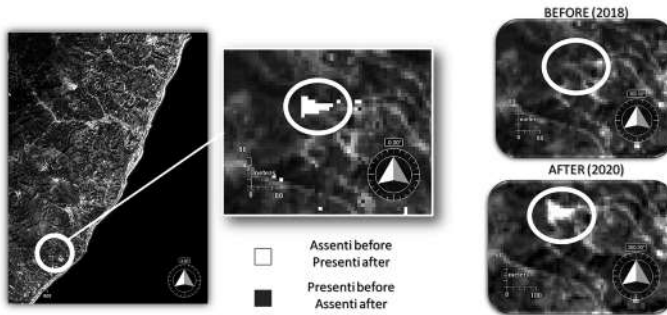


Figura 2. Image difference tra l'immagine ottica del 2018 (before) e quella del 2020 (after). In questa particolare zona, si può notare la costruzione di un manufatto che nel 2018 non era presente.

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Componenti del gruppo di ricerca: Prof.ssa Donatella Dominici, Maria Alicandro (ricercatrice), Sara Zollini (assegnista di ricerca), Nicole Pascucci (dottoranda).

Principali collaborazioni attive esterne: Centro di Ricerche Semeion (Roma), Cetemps.

Principali collaborazioni attive estere: CTTC (Centre Tecnològic Telecomunicacions Catalunya).

Fondi a supporto della ricerca: RAFAEL.

## BIBLIOGRAFIA

Alicandro M., Baiocchi V., Brigante R., Radicioni F. (2019). Automatic Shoreline Detection from Eight-Band VHR Satellite Imagery. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(12), 459.

Boak E. H., Turner I. L. (2005). Shoreline definition and detection: a review. *Journal of coastal research*, pages 688-703.

- Buscema P. M. (2006). Sistemi ACM e Imaging Diagnostico: le immagini mediche come Matrici Attive di Connessioni. *Springer Science & Business Media*.
- Buscema P. M., Catzola L., Grossi E. (2008). Images as active connection matrixes: The J-net system. *International Journal of Intelligent Computing in Medical Sciences & Image Processing*, 2(1):27-53.
- Buscema P. M. Grossi E. (2010). J-Net System: A New Paradigm for Artificial Neural Networks Applied to Diagnostic Imaging. In *Applications of Mathematics in Models, Artificial Neural Networks and Arts*, pages 431-455. Springer.
- Dominici D., Zollini S., Alicandro M., Della Torre F., Buscema P. M., Baiocchi V. (2019). High Resolution Satellite Images for Instantaneous Shoreline Extraction Using New Enhancement Algorithms. *Geosciences*, 9(3), 123.
- Palazzo F., Latini D., Baiocchi V., Del Frate F., Giannone F., Dominici D., Remondiere S. (2012). An application of COSMO-Sky Med to coastal erosion studies. *European Journal of Remote Sensing*, 45(1), 361-370.
- Zollini S., Alicandro M., Cuevas-González M., Baiocchi, V., Dominici D., Buscema P. M. (2020). Shoreline Extraction Based on an Active Connection Matrix (ACM) Image Enhancement Strategy. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(1), 9.

# **Fotogrammetria e tecniche multispettrali per il rilievo e diagnosi di strutture e infrastrutture**

MARIA ALICANDRO

(MARIA.ALICANDRO@UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/06 – Topografia e cartografia

## PAROLE CHIAVE

Fotogrammetria, sensori multispettrali, strutture e infrastrutture, E/HBIM.

Nel presente contributo verranno illustrate le attività di ricerca attualmente svolte dal laboratorio di Geomatica concernenti l'utilizzo della tecnica fotogrammetrica e tecniche multispettrali, da UAV e terrestre, per la conoscenza, il controllo, e il monitoraggio di strutture e infrastrutture e del contributo che tali tecniche di rilievo possono fornire per la realizzazione di modelli BIM per l'esistente (EBIM) e il patrimonio culturale (HBIM).

Il laboratorio di Geomatica ha avviato le prime attività di ricerca su tali tematiche dal 2011 (Fig. 1), in seguito all'avvio del progetto PRIN 2010/2011: "Tecniche geomatiche innovative ed emergenti di rilievo, telerilevamento (da aereo, satellite, UAV) e WebGis per la mappatura del rischio in tempo reale e la mappatura del danno ambientale", in cui l'unità locale dell'Università degli Studi di L'Aquila, rappresentata dal laboratorio di Geomatica, si è occupata dell'utilizzo della tecnica fotogrammetrica da UAV per il rilievo delle zone colpite dal sisma del 2009. Nel primo periodo, le attività sono state concentrate sulla sperimentazione delle nuove tecniche di rilievo da fotogrammetria da UAV nel contesto sismico aquilano, sviluppando indagini a differenti scale, dal singolo edi-

fficio, ad esempio la Basilica di Collemaggio, fino all'impiego della tecnica per il rilievo di centri storici minori (Fontecchio, Villa Sant'Angelo, ecc.). Per ogni caso di studio sono stati analizzati differenti aspetti: la validazione delle precisioni ottenibili, analisi di verticalità sulle strutture storiche colpite dal sisma, la sperimentazione di filtri per il miglioramento dell'estrazione di informazioni dagli output fotogrammetrici, analisi nei centri storici (Dominici et al., 2017) fino all'ottimizzazione delle operazioni di cantierizzazione in situazioni post-sisma (Alicandro & Rotilio, 2019) e applicazioni nel campo dell'archeologia (Alicandro et al., 2020), Alicandro et al., 2018). Di recente, le attività di ricerca si sono concentrate sulla caratterizzazione materica di strutture e infrastrutture tramite tecniche di rilievo fotogrammetrico integrato con rilievo multispettrale, sia da UAV che terrestre.

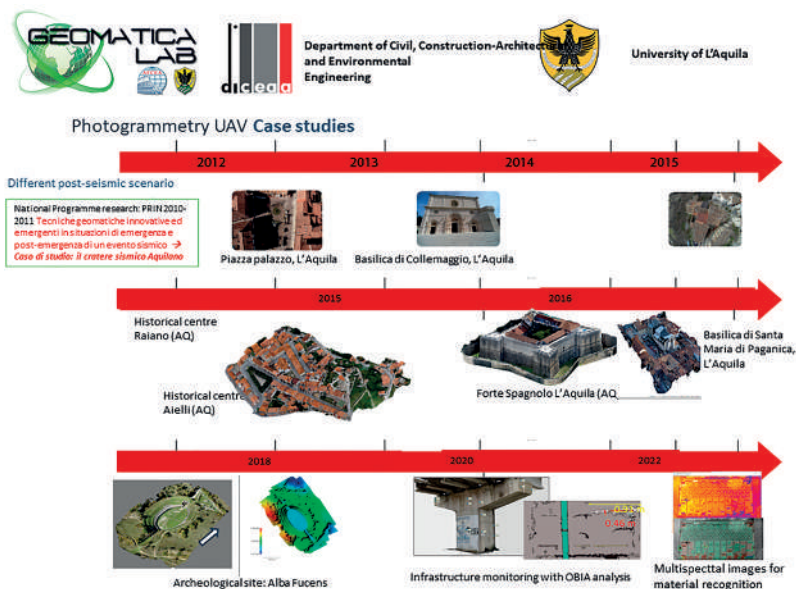


Figura 1. Attività del laboratorio di Geomatica.

In questo contesto, uno dei primi lavori ha riguardato lo sviluppo di una metodologia non distruttiva per lo studio del degrado superficiale di ponti e viadotti in calcestruzzo armato. In particolare, a partire dal rilievo fotogrammetrico sono state sviluppate tecniche di estrazione e classificazione automatica tramite Object-Based Image Analysis (OBIA). La metodologia sviluppata permette di generare mappe di degrado provenienti da rilievi metrici utili per confronti ripetibili nel tempo al fine di valutare l'evoluzione del degrado (Zollini et al., 2020).

Sempre sullo stesso filone di ricerca, un altro contributo concerne l'utilizzo delle immagini multispettrali per la caratterizzazione materica del patrimonio costruito. In questo lavoro è stata investigata una metodologia basata sull'utilizzo di immagini multispettrali, acquisite con una camera reflex modificata e integrata con diversi filtri che acquisiscono lo spettro elettromagnetico nelle singole bande (ultravioletto, blu, verde, rosso e infrarosso), per l'estrazione automatica di informazioni materiche del patrimonio costruito. In particolare, una sperimentazione è stata eseguita su un caso di studio in Spagna, nella città di Valencia, "Torres de Serranos". Il monumento rappresenta la porta d'accesso della città e la costruzione risale al 14° secolo come parte della cinta muraria difensiva. In passato, la Torre ha subito differenti interventi di restauro e conservazione e nel 1586 è stata convertita a prigione (1586-1872). Durante tali interventi, i materiali originali, o per motivi di degrado o per motivi legati alla funzionalità dell'edificio, sono stati spesso sostituiti con altri molto simili. L'applicazione di tecniche di Image Processing (Principal Component Analysis) sulle immagini multispettrali acquisite, ha permesso di indagare la presenza di materiali simili, non distinguibili analizzando le singole firme spettrali dei materiali.

Le tecniche di indagine materica e le relative metodologie di estrazione automatica, integrate con il rilievo metrico, svolgono un importante ruolo per lo sviluppo di modelli E/HBIM declinati per la conoscenza e la gestione di strutture e infrastrutture.

Parallelamente le attività del laboratorio sono incentrate anche sull'aspetto dedicato alla modellazione 3D a partire dalle nuvole di punti generate da processi di acquisizione mediante strumenti a scansione e

tecniche fotogrammetriche terrestri e da UAV. In particolare, si stanno indagando tecniche di modellazione semi-automatica per la restituzione dei modelli 3D e la relativa valutazione del grado di precisione e di accuratezza del modello ottenuto che ne influenza in modo determinante il possibile uso per le successive fasi di progettazione di interventi di recupero, restauro, conservazione e valorizzazione.

## **GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI**

Componenti del gruppo di ricerca: Prof.ssa Donatella Dominici, Maria Alicandro (ricercatrice), Sara Zollini (assegnista di ricerca), Nicole Pascucci (dottoranda).

Principali collaborazioni attive interne: Laboratorio di Chimica e Tecnologia dei materiali per i sistemi edilizi e l'ambiente (resp. Scientifico: Prof. Raimondo Quaresima) e Gruppo di ricerca di produzione edilizia (responsabile scientifico Prof. De Berardinis).

Principali collaborazioni attive esterne: Centro di Ricerche Semeion (Roma).

Principali collaborazioni attive estere: prof. José Luis Lerma, Universitat Politècnica De València, Departamento De Ingeniería Cartográfica, Geodesia Y Fotogrametría (Spagna).

Le attività sono in parte finanziate dal progetto "PON Ricerca e Innovazione 2014-2020 – Azione I.1 "Attrazione e Mobilità dei ricercatori" Attività 1, Rif. AIM 1871518-1, Area SNSI Cultural heritage.

## **BIBLIOGRAFIA**

Dominici D., Alicandro M., Massimi V. (2017). UAV photogrammetry in the post-earthquake scenario: case studies in L'Aquila. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(1), 87-103.

Alicandro M., Dominici D., Quaresima R., Zollini S., De Luca D., Pietrangeli S. (2020). Geomatic multiscale approach for the conservation of archeological sites: the case of Alba Fucens (L'Aquila-Italy). In *IOP*

*Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 949, No. 1, p. 012032). IOP Publishing.

Alicandro M., Rotilio M. (2019). UAV photogrammetry for resilience management in reconstruction plan of urban historical centres after seismic events. A case study. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 55-61.

Alicandro M., Dominici D., Buscema P. M. (2018). A new enhancement filtering approach for the automatic vector conversion of the UAV photogrammetry output. In *Euro-Mediterranean Conference* (pp. 312-321). Springer, Cham.

Zollini S., Alicandro M., Dominici D., Quaresima R., Giallonardo M. (2020). UAV photogrammetry for concrete bridge inspection using object-based image analysis (OBIA). *Remote Sensing*, 12(19), 3180.

## **Trasporti e mobilità sostenibile: aspetti strategici e tendenziali**

GINO D'OVIDIO  
(GINO.DOVIDIO@UNIVAQ.IT)  
SSD: ICAR/05 - Trasporti

### PAROLE CHIAVE

Trasporti, mobilità sostenibile, sviluppo sostenibile, transizione energetica, veicoli ad idrogeno

Il settore dei trasporti in Italia, nell'ultimo anno inventariato (2019), è stato responsabile del 25.2% delle emissioni complessive nazionali di gas climalteranti (GHG), corrispondenti al 31.4% delle emissioni del settore dell'energia (ISPRA, 2021). Circa il 93% delle emissioni sono state prodotte dal trasporto stradale, il 4.3% dalla navigazione, lo 0.75% dall'aviazione domestica, lo 0.65% dalle condotte, lo 0.15% dalle ferrovie ed il rimanente 1.52% da altri sistemi.

Con l'intento di mitigare il riscaldamento globale, le politiche UE in tema di Transizione Energetica e Sviluppo Sostenibile mirano ad azzerare le emissioni di gas serra ("net zero emission") entro il 2050, come previsto nell'European Green Deal (EGD) (Commissione Europea, 2019). In merito, l'UE ha proposto una revisione degli obiettivi a breve/medio termine, indicando la percentuale di riduzione di emissioni totali di GHG al 55% (rispetto al 1990) entro il 2030 (Consiglio Europeo, 2020).

Così come riportato nel rapporto del Ministero delle Infrastrutture e mobilità sostenibili (Cambiamenti climatici, infrastrutture e mobilità 2021) – ai lavori del quale ha contribuito anche il Centro Interdiparti-

mentale dell'Università di L'Aquila (CITraMS) - la strategia UE prevede, nel settore nazionale dei trasporti, un percorso articolato in due fasi, come illustrato in Fig. 1:

- *Fase I: breve/medio termine (2020-2030)*: gli obiettivi di questa fase mirano a contenere le emissioni dirette nei trasporti al 2030 a circa 72 Mt CO<sub>2</sub>eq, corrispondenti ad una diminuzione del 43,7% rispetto al 2005, secondo la proposta di revisione al Regolamento (UE) 2018/842 (“Effort Sharing Regulation”), proposta integrata nel pacchetto “Fit for 55”. Per cogliere gli obiettivi preposti in questa fase, l'indice medio di riduzione annuo delle emissioni dovrebbe attestarsi al 3.39%.
- *Fase II: medio/lungo termine (2031-2050)*: gli obiettivi di tale fase previsti dall'EGD tendono a conseguire un livello di emissioni dirette di GHG nei trasporti di circa 10.2 Mt CO<sub>2</sub>eq, corrispondenti ad una diminuzione del 90% rispetto al 1990. Per cogliere tali obiettivi, l'indice medio di riduzione annuo delle emissioni dovrebbe attestarsi al 9.31%.

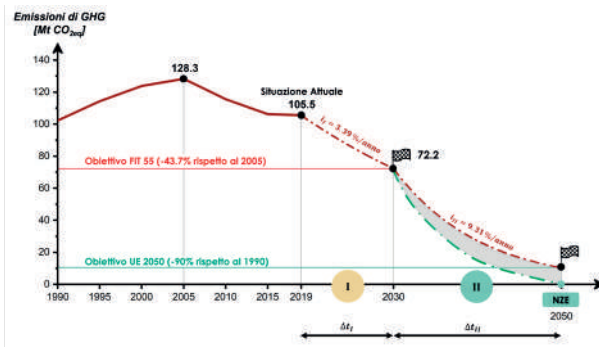


Figura 1. Trend delle emissioni dirette di GHG ed indici di riduzioni (i) nel settore nazionale dei trasporti in funzione degli obiettivi di riduzione del Green Deal Europeo: elaborazione CITraMS-UnivAq (Rapporto della “Commissione cambiamenti climatici, infrastrutture e mobilità sostenibili”, 2021).

Poiché il sistema è complesso, le possibili risposte non possono che essere di tipo sistemico contemplando nel contempo gli attori coinvolti, le funzioni ad essi connesse, nonché gli effetti sociali, economici, infrastrutturali ed ambientali generati dai trasporti. In quest'ottica, assumono quindi un ruolo fondamentale le attività di analisi e pianificazione strategica mirate a realizzare l'integrazione funzionale tra i diversi sistemi di trasporto, ottimizzandone le prestazioni e gli impatti attesi nel contesto della trasformazione dell'intero sistema energetico. La limitazione dell'impatto, in termini di emissioni GHG per unità di servizio di trasporto erogato, tra l'altro, può essere conseguita attraverso la realizzazione di azioni mirate a:

- realizzare una più efficiente ed efficace ripartizione modale disincentivando gli spostamenti con mezzi individuali;
- potenziare e strutturare i sistemi di trasporto collettivi per renderli concorrenziali, in termini di costi generalizzati, a quelli privati;
- adottare soluzioni tecnologiche in grado di aumentare l'efficienza dei veicoli (in termini di massa, forma, sostentazione e propulsione) e di ridurre consumi energetici;
- promuovere l'impiego di vettori energetici da fonti rinnovabili.

I primi due punti del precedente elenco comportano azioni, essenzialmente di natura politico-amministrativa, infrastrutturale e socio economica, finalizzate a promuovere principalmente lo shift-modale a favore dei sistemi di trasporto collettivi e forme di mobilità attiva (spostamenti a piedi e in bicicletta). Le azioni descritte negli ultimi due punti sono accomunate, invece, dall'aspetto strettamente tecnologico incentrate sull'efficientamento delle componenti di sistema e sulla transizione energetica. A riguardo di questi ultimi aspetti ed in merito all'attività di ricerca del CITraMS, inerenti lo sviluppo e l'impiego di veicoli innovativi ad idrogeno con ciclo energetico ad emissione nulle, la Fig. 2 illustra lo schema dell'architettura di sistema proposta e studiata per il trasporto passeggeri di tipo ferroviario (D'Ovidio, Ometto, Valentini, 2020), (Ciancetta, Ometto, D'Ovidio, Masciovecchio, 2019).

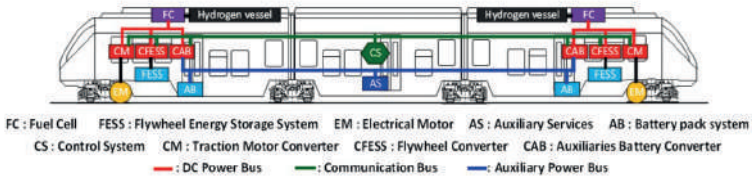


Figura 2. Schema dell'architettura di sistema di un treno ad idrogeno con ciclo energetico ad emissioni nulle.

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Il gruppo di ricerca è composto da vari afferenti al Centro Interdipartimentale di Trasporti e Mobilità Sostenibile (CITraMS) dell'Università dell'Aquila. Tra le principali collaborazioni del CITraMS, si riportano:

- Progetto LIFE3H; EU Program LIFE 2020 (2021-2024): Partners: Regione Abruzzo (coordinatore), CITraMS, Comune di Civitavecchia, Comune di Terni, Port Mobility Spa, SNAM, Rampini Spa, TUA Trasporto Unico Abruzzese, Uneed.IT, Chimica Bussi, Università di Perugia e Università Marconi.
- Protocollo d'Intesa tra CITraMS, Regione Abruzzo, Snam Spa inteso ad avviare una cooperazione finalizzata ad assumere iniziative e progetti volti a favorire la transizione energetica della Regione Abruzzo attraverso la decarbonizzazione del servizio ferroviario regionale mediante il ricorso all'idrogeno.
- Supporto tecnico-scientifico del CITraMS alla Regione Abruzzo nell'ambito del programma INTERREG Italia-Croazia "Maritime and Multimodal Sustainable passenger transport solutions and services" (MIMOSA).

## BIBLIOGRAFIA

- ISPRA, (2021). Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2019. National Inventory Report.
- EC, European Commission (2021). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the amending regulation (EU) 218/842 on binding greenhouse gas emission reductions by Member States from 2021 to 2030.
- Rapporto (2021) della “*Commissione cambiamenti climatici, infrastrutture e mobilità sostenibili*”, Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili.
- D'Ovidio G., Ometto A., Valentini O. (2020). A novel predictive power flow control strategy for hydrogen city rail train, *International journal of Hydrogen Energy*, Vol. 45, (7): 4922-4931.
- Ciancetta F., Ometto A., D'Ovidio G., Masciovecchio C. (2019). Modeling, Analysis and Implementation of an Urban Electric Light-Rail Train Hydrogen Powered, *International Review of Electrical Engineering*, Vol. 14, n. 4, pp 237-245.

# Rischio alluvioni e modelli di danno

ANNA RITA SCORZINI

(ANNARITA.SCORZINI@UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/02 - Costruzioni idrauliche e marittime e idrologia

PAROLE CHIAVE

Rischio, alluvioni, modelli di danno.

In questo lavoro verranno presentati i contributi apportati dal nostro gruppo di ricerca nell'ambito dello sviluppo di modelli di danno da alluvione a supporto della pianificazione di bacino.

I modelli di danno costituiscono infatti uno degli elementi chiave nella valutazione del rischio alluvionale in termini quantitativi, permettendo di predire, per una determinata tipologia di bene esposto, il valore economico delle perdite attese a seguito del verificarsi di eventi di data pericolosità (Merz et al., 2010). In particolare, la messa a punto di modelli di danno risulta essere sempre più incalzante, anche al fine di ottemperare alle disposizioni della Direttiva Comunitaria 2007/60 (Direttiva Alluvioni), che richiede analisi-costi benefici a supporto delle scelte decisionali per l'individuazione delle misure di mitigazione del rischio a scala di bacino.

Nel dettaglio, un filone di ricerca del gruppo si è indirizzato verso lo sviluppo di modelli alla micro-scala basati sull'utilizzo di un approccio di tipo sintetico, *expert-based*. Tale approccio, fondato sullo studio della dipendenza tra le variabili di pericolosità idraulica e le singole componenti di vulnerabilità, permette di svincolarsi dal problema della (limi-

tata) disponibilità e rappresentatività di dati di danno empirici ex-post per la formulazione del modello, limitando l'utilizzo di questi ultimi alla sola validazione.

Con il progetto INSYDE (*IN-depth SYnthetic model for flood Damage Estimation* - Dottori et al., 2016) ci si è proposti di superare le principali criticità dei modelli di danno esistenti in letteratura, ovvero dell'essere spesso estremamente semplificati (i.e., danno espresso in funzione del solo tirante idraulico, ignorando tutti gli altri parametri che concorrono ai meccanismi di danneggiamento) ed essere sostanzialmente dei modelli 'a scatola chiusa', privi di una esplicitazione chiara delle loro ipotesi di base. INSYDE è infatti un modello di danno per il settore residenziale alla micro-scala composto da un set di espressioni analitiche che descrivono il danno per le singole componenti dell'edificio esposto in funzione di numerose variabili di pericolosità e vulnerabilità (Fig. 1).

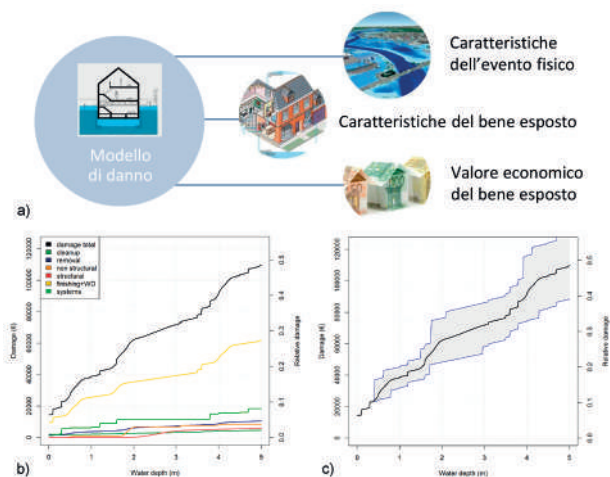


Figura 1. (a) Schema concettuale alla base di INSYDE. (b) Esempio di funzioni di danno ottenute con INSYDE. (c) Valutazione della banda di incertezza in funzione dei parametri in input al modello.

Lo studio delle diverse funzioni permette, tra l'altro, l'individuazione del peso delle singole variabili in input sulla stima del danno e di definire quindi, per ogni componente, i parametri fondamentali nella modellazione, nonché di individuare e definire delle strategie di mitigazione del rischio, andando ad intervenire sulla vulnerabilità del singolo elemento. Il modello è stato validato per diversi eventi alluvionali occorsi negli ultimi anni in Italia (Adda 2002, Bacchiglione 2010 e Secchia 2014), con ottime performance (Dottori et al., 2016; Amadio et al., 2019; Molinari et al., 2020). Pur essendo, per sua natura, un modello alla micro-scala, la sua implementazione può essere estesa a diverse scale spaziali (up-scaling), come mostrato nel lavoro di Molinari & Scorzini (2017), che ha valutato l'incertezza del modello nel passaggio di scala per via della perdita di informazioni in input nel caso di implementazione a scale più ampie.

Data la forte dipendenza dei meccanismi di danneggiamento dalle caratteristiche idrauliche dell'evento e dalla vulnerabilità degli elementi esposti (Cammerer et al., 2013), fortemente locali, un tema importante è quello della trasferibilità spaziale dei modelli di danno da un contesto ad un altro (i.e. trasferibilità tra regioni/nazioni). In quest'ottica, l'approccio modellistico alla base di INSYDE, estremamente flessibile ed adattabile, che lo rende idoneo a cogliere le peculiarità di regioni diverse in termini di pericolosità idraulica, vulnerabilità ed esposizione, ha recentemente permesso, nell'ambito di una collaborazione con l'Università di Liège, di mettere a punto delle funzioni di danno ad hoc per il contesto belga, con lo sviluppo di INSYDE-BE (Scorzini et al., 2021).

Seguendo un approccio analogo, il nostro gruppo di ricerca ha inoltre sviluppato AGRIDE-c (*AGRIculture Damage model for Crops* - Molinari et al., 2019; Scorzini et al., 2021), che rappresenta il primo esempio di modellazione del danno alluvionale alle colture agricole nel contesto italiano. Anch'esso è caratterizzato da una metodologia esportabile e adattabile a contesti geografici ed economici differenti (contesti che in agricoltura possono essere molto variabili anche tra regioni molto vicine) e ha il pregio di unire la modellazione del danno fisico per le colture alla modellazione del danno economico conseguente, in modo da arrivare a stimare l'effettiva perdita subita dalle aziende agricole a seguito

di un evento alluvionale (Fig. 2). Originariamente sviluppato per le sole colture cerealicole prevalenti in area Padana, il modello è stato successivamente esteso alle colture orticole e viticole, specializzandolo anche al contesto della Regione Abruzzo.

Anche in questo caso, l'utilizzo di una modellazione a più variabili è fondamentale per l'analisi costi-benefici delle misure di mitigazione del rischio, in particolare per quei progetti che includono il ripristino di aree golenali e piane alluvionali o la realizzazione dei bacini di laminazione, che solitamente interessano zone destinate all'attività agricola.

Il modello può essere inoltre utilizzato per supportare l'orientamento delle aziende verso pratiche agricole più resilienti nei confronti dei fenomeni alluvionali, come ad esempio per capire quali siano le colture (meno vulnerabili) da seminare nelle zone potenzialmente inondabili o scegliere le polizze assicurative più adatte alle proprie specifiche necessità.

Si sottolinea infine la ricaduta pratica, in termini di trasferimento scientifico, dell'implementazione dei modelli sviluppati nell'ambito del progetto di aggiornamento del Piano di Gestione del Rischio di Alluvione dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.

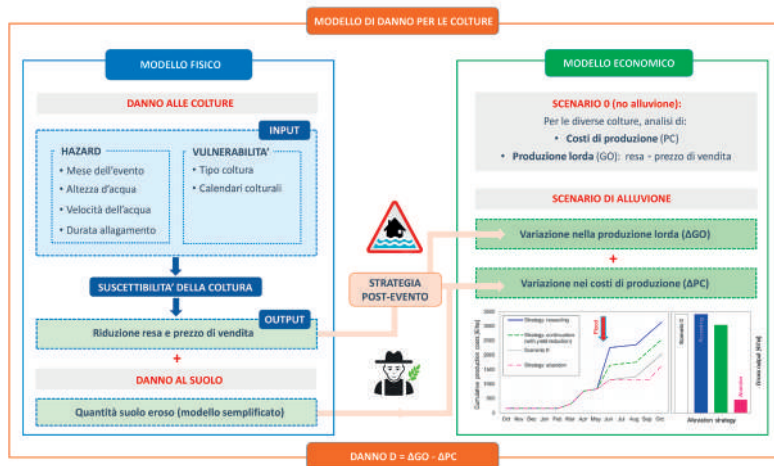


Figura 2. Schema concettuale di AGRIDE-c.

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Componenti del gruppo di ricerca: Anna Rita Scorzini, Mario Di Bacco. Principali collaborazioni attive esterne: Politecnico di Milano, IUSS Pavia, Università degli Studi di Bologna. Principali collaborazioni attive estere: JRC, Università di Liège.

Progetto finanziato sul tema da parte dell’Autorità di Bacino del Fiume Po (2020-2022): “Metodologie e applicazioni per l’aggiornamento delle mappe di danno alluvionale relativamente alla revisione del PGRA”.

## BIBLIOGRAFIA

- Amadio M., Scorzini A.R., Carisi F., Essenfelder A.H., Domeneghetti A., Mysiak, J., Castellarin, A. (2019). Testing empirical and synthetic flood damage models: the case of Italy. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 19(3): 661-678.
- Cammerer H., Thielen A., Lamm J. (2013). Adaptability and transferability of flood loss functions in residential areas. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13(11): 3063-3081.
- Dottori F., Figueiredo R., Martina M., Molinari D., Scorzini A.R. (2016). INSYDE: a synthetic, probabilistic flood damage model based on explicit cost analysis. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16: 2577-2591.
- Merz B., Kreibich H., Schwarze R., Thielen, A. (2010). Assessment of economic flood damage. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10(8): 1697-1724.
- Molinari D., Scorzini A.R. (2017). On the influence of input data quality to flood damage estimation: the performance of the INSYDE model. *Water*, 9(9): 688.
- Molinari D., Scorzini A.R., Gallazzi A., Ballio, F. (2019). AGRIDE-c, a conceptual model for the estimation of flood damage to crops: development and implementation. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 19(11): 2565-2582.
- Molinari D., Scorzini A.R., Arrighi C., Carisi F., Castelli F., Domeneghetti A., Gallazzi A., Galliani M., Grelot F., Kellermann P., Kreibich

- H., Mohor G.S., Mosimann M., Natho S., Richert C., Schroeter K., Thieken A.H., Zischg A.P., Ballio F. (2020). Are flood damage models converging to reality? Lessons learnt from a blind test. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 20: 2997-3017.
- Scorzini A.R., Di Bacco M., Manella G. (2021). Regional flood risk analysis for agricultural crops: Insights from the implementation of AGRIDE-c in central Italy. *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, 53: 101999.
- Scorzini A.R., Dewals B., Rodriguez Castro D., Archambeau P., Molinari D. (2021). INSYDE-BE: Adaptation of the INSYDE model to the Walloon Region (Belgium). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.* [preprint], doi: 10.5194/nhess-2021-363, in review.

# Modellazione data-driven al servizio dell'ingegneria idraulica

MARIO DI BACCO

(MARIO.DIBACCO@UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/02 - Costruzioni idrauliche e marittime e idrologia

## PAROLE CHIAVE

Modelli data-driven, danno da tsunami, earthquake hydrology, sfioratori laterali.

In questo lavoro verranno presentati alcuni studi sviluppati dal nostro gruppo di ricerca tramite l'impiego di modelli computazionali data-driven, utilizzati come approccio complementare o di supporto ad una modellazione fisicamente basata. Tale approccio, di natura essenzialmente empirica, può rappresentare un valido strumento per la risoluzione di problemi di regressione o classificazione per i quali si abbia disposizione una mole di dati che risulti statisticamente significativa in relazione alla complessità del problema, sia in termini di accuratezza che di numerosità, e che contenga informazioni su tutti i parametri necessari a caratterizzare il problema.

Il primo studio (Fig. 1), in collaborazione con l'International Research Institute of Disaster Science di Tohoku, ha come oggetto la modellazione post-evento del danno causato dallo tsunami che ha investito la regione di Tohoku nel 2011, a partire dal Great East Japan Earthquake Reconstruction Assistance Survey Archive, un database geospaziale distribuito dal Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT, Sekimoto et al., 2013), che contiene informazioni su oltre

250000 edifici, classificati in base al danno subito a seguito dell'evento. Il database è stato integrato con i risultati di elaborazioni geospaziali finalizzate a portare in conto, tramite parametri sintetici, la mutua interazione tra gli edifici nella zona investita dallo tsunami e gli effetti della geometria e della posizione rispetto alla costa, al fine di poterli trattare come realizzazioni indipendenti di una variabile aleatoria.

I dati raccolti sono stati quindi trattati con quattro diversi modelli: una classica rete neurale MLP (LeCun, 1987; Rumelhart et al., 1986) e tre modelli derivati dagli alberi decisionali attraverso l'applicazione di metodi di ensemble, ovvero Random Forest (Ho, 1995) ed Extra Trees (Geurts et al., 2006), oppure di metodi di boosting, ovvero XGBoost (Chen et al., 2016). In questo lavoro si confronta l'accuratezza dei quattro modelli nel classificare il livello di danno per diverse combinazioni di parametri in input, allo scopo di definire l'importanza relativa dei vari attributi sul risultato finale. Poiché campagne di raccolta e generazione di dati dettagliati, come quelli utilizzati nel caso esaminato, non sono in genere disponibili ovunque o possono comunque richiedere notevoli elaborazioni, i risultati di tale studio possono fornire indicazioni per predisporre modelli di valutazione del rischio in relazione all'importanza ed alla difficoltà di reperimento delle informazioni mancanti.

Nel secondo caso, invece, l'applicazione riguarda la modellazione idrogeologica dell'acquifero del Gran Sasso che, come tutti gli acquiferi carsici, è caratterizzato da una morfologia fortemente disomogenea, che rende l'applicazione di modelli fisicamente basati piuttosto complessa. Inoltre, in concomitanza di eventi sismici significativi, si sono verificati improvvisi cambiamenti dei valori di portata e pressione all'interno dell'acquifero (De Luca et al., 2018). In questo studio è stata valutata la possibilità di ricostruire l'andamento della portata della sorgente, noti i valori di temperatura, altezza di pioggia ed altezza del manto nevoso, per mezzo di due diversi modelli specifici per le serie temporali: una RNN (recurrent neural network) e una LSTM (Long short-term memory, Hochreiter et al., 1997), che permettono di tenere conto della dipendenza tra i valori successivi tramite un loop tra strati successivi della rete.

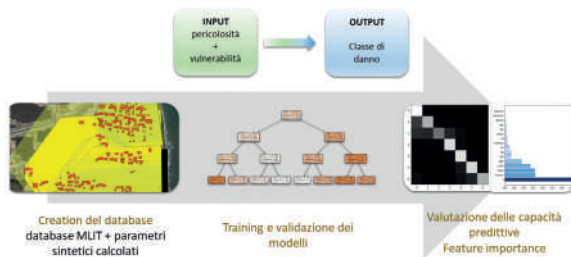


Figura 1. Schema ripiegativo del lavoro, dalla preparazione all'analisi dei risultati.

Nel secondo caso, invece, l'applicazione riguarda la modellazione idrogeologica dell'acquifero del Gran Sasso che, come tutti gli acquiferi carsici, è caratterizzato da una morfologia fortemente disomogenea, che rende l'applicazione di modelli fisicamente basati piuttosto complessa. Inoltre, in concomitanza di eventi sismici significativi, si sono verificati improvvisi cambiamenti dei valori di portata e pressione all'interno dell'acquifero (De Luca et al., 2018). In questo studio è stata valutata la possibilità di ricostruire l'andamento della portata della sorgente, noti i valori di temperatura, altezza di pioggia ed altezza del manto nevoso, per mezzo di due diversi modelli specifici per le serie temporali: una RNN (recurrent neural network) e una LSTM (Long short-term memory, Hochreiter et al., 1997), che permettono di tenere conto della dipendenza tra i valori successivi tramite un loop tra strati successivi della rete.

L'ultimo caso riguarda l'applicazione di algoritmi analoghi per lo studio del coefficiente di efflusso degli sfioratori laterali, che viene utilizzato per quantificarne la portata derivata in funzione del tirante idrico. Esistono in letteratura varie relazioni per la valutazione sperimentale di tale coefficiente, derivanti da modelli che descrivono il comportamento idrodinamico del manufatto in base ad ipotesi differenti, producendo di conseguenza relazioni di stima valide solo sotto tali ipotesi; tuttavia, benché le differenze tra i risultati ottenuti con i diversi metodi siano tutt'altro che trascurabili, è possibile trovare in letteratura diversi esempi in cui non se ne tiene adeguatamente conto.

Pertanto, il nostro gruppo di ricerca ha realizzato uno studio (Di Bacco & Scorzini, 2019) finalizzato a quantificare, attraverso la risoluzione numerica delle equazioni del moto per un vasto range di condizioni idrauliche e geometriche dello sfioratore, le differenze tra i valori del coefficiente di efflusso calcolato in accordo ai modelli più diffusi in letteratura e, sulla base di tali risultati, a costruire delle reti neurali MLP che possano fungere da funzioni di trasferimento (Fig. 2).

Con questo accorgimento diventa quindi possibile, ad esempio, omogeneizzare i dati sperimentali reperiti da studi esistenti basati su ipotesi diverse, per poterli combinare in un database più esteso, senza incorrere in errori sistematici; in fase di progettazione, invece, diventa possibile utilizzare qualsiasi relazione di stima del coefficiente di efflusso disponibile in letteratura, qualora non ce ne fosse una adatta alle condizioni idrauliche in esame tra quelle specifiche per il modello utilizzato.

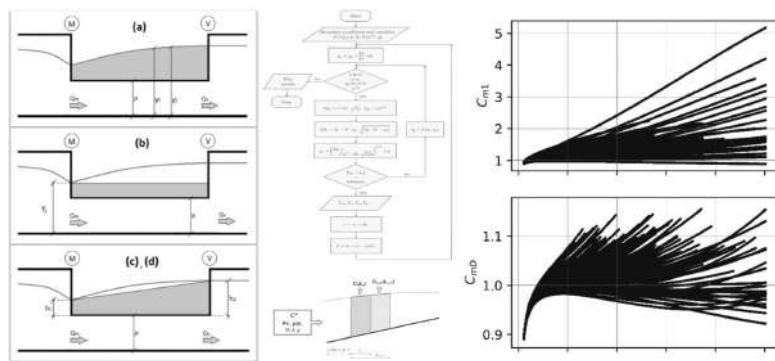


Figura 2. Da sinistra verso destra: rappresentazione grafica delle più comuni approssimazioni utilizzate nella valutazione sperimentale del coefficiente di efflusso (area in grigio contro area effettiva), diagramma di flusso del modello numerico, esempio del rapporto tra i valori del coefficiente calcolati con metodi diversi.

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Componenti del gruppo di ricerca: Anna Rita Scorzini, Mario Di Bacco.

Principali collaborazioni attive interne: Marco Tallini.

Principali collaborazioni attive esterne: INGV.

Principali collaborazioni attive estere: International Research Institute of Disaster Science di Tohoku, Shahid Chamran University di Ahvaz.

## BIBLIOGRAFIA

Sekimoto Y., Nishizawa A., Yamada H., Shibasaki R., Kumagai J., Kashiyama T., Sagara T., Kayama Y., Otomo S. (2013). Promotion of Data Distribution by Building the Great East Japan Earthquake Reconstruction Assistance Survey Archive, GIS-Theory and Application, <https://doi.org/10.5638/thagis.21.87>

Geurts P., Ernst D., Wehenkel L. (2006). Extremely randomized trees. *Mach Learn* 63, 3–42.

Ho T. K. (1995). Random decision forests. *Proceedings of 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition*, pp. 278-282 vol.1

Friedman J. (2001). Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine. *The Annals of Statistics*, 29:1189-1232.

Chen T., Guestrin C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, vol. 13-17-August-2016, pag. 785 – 794.

Di Bacco M., Scorzini A.R. (2019). Are We Correctly Using Discharge Coefficients for Side Weirs? Insights from a Numerical Investigation. *Water*, 2019, 11, 2585.

Rumelhart D., Hinton G., Williams R. (1986). Learning internal representations by backpropagating errors. In D. Rumelhart and J. McClelland (Eds.), *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition*, vol. 1, 318-362. MIT Press.

LeCun Y. (1987). *Modeles connexionnistes de l'apprentissage (Connec-*

- tionist learning models). Doctoral dissertation, Université P. et M. Curie (Paris 6).
- De Luca G., Di Carlo G., Tallini M. (2018). A record of changes in the Gran Sasso groundwater before, during and after the 2016 Amatrice earthquake, central Italy. *Sci. Rep.* 2018, 8, 1–16.
- Hochreiter S., Schmidhuber J. (1997). Long Short-term Memory. *Neural computation*. 9. 1735-80. 10.1162/neco.1997.9.8.1735.

# **Studio dei fenomeni sismo-indotti e miglioramento degli strumenti per la determina- zione delle proprietà meccaniche dei terreni**

ANNA CHIARADONNA  
(ANNA.CHIARADONNA1@UNIVAQ.IT)  
SSD: ICAR/07 - Geotecnica

## PAROLE CHIAVE

Liquefazione, prove dilatometriche sismiche, effetti di sito, terremoto Samos 2020.

Il gruppo di ricerca in Ingegneria Geotecnica è attivo nello studio del comportamento di sistemi geotecnici in cui volumi finiti di terreno interagiscono con opere di ingegneria. Negli ultimi anni gli interessi di ricerca si sono orientati prevalentemente verso la caratterizzazione e la modellazione del comportamento ciclico e dinamico di depositi di terreno e lo studio dell'influenza del terreno sulla risposta di costruzioni ed opere di ingegneria in zone sismiche. Particolare approfondimento è stato dedicato allo studio della liquefazione sismo-indotta sia in riferimento allo sviluppo di procedure innovative semplificate ed avanzate per la valutazione del potenziale di liquefazione dei terreni sia in riferimento ad applicazioni a casi di studio reali.

Lo studio della liquefazione costituisce infatti uno dei temi di ricerca di maggiore interesse per la comunità scientifica mondiale considerati gli ingenti danni osservati a strutture e infrastrutture a rete a seguito di recenti eventi sismici sia in Italia che nel mondo.

Negli ultimi anni, significativi sforzi sono stati compiuti per migliorare l'affidabilità di metodi semplificati a liquefazione largamente adottati nella prassi ingegneristica. Tale risultato è stato conseguito mediante la verifica e l'affinamento delle relazioni predittive sui numerosi dati sperimentali raccolti a seguito di catastrofici eventi sismici che hanno indotto copiose evidenze di liquefazione, quali la sequenza sismica del 2010-2011 a Christchurch (Nuova Zelanda), il terremoto che ha colpito l'Emilia-Romagna nel 2012 e il forte terremoto del 2018 nell'isola indonesiana di Sulawesi. Tali procedure sono basate essenzialmente sui risultati di prove in sito, essendo queste comunemente disponibili e tradizionalmente adottate per le verifiche semplificate di liquefazione.

Con lo stesso scopo di mettere a punto uno strumento fruibile per la prassi ingegneristica, Chiaradonna e Monaco (2022) hanno sviluppato un nuovo abaco per la verifica semplificata a liquefazione dei terreni basato sui risultati di prove dilatometriche (DMT). In particolare, l'indice di spinta orizzontale  $K_D$  è stato posto in relazione alla resistenza ciclica dei terreni (Cyclic Resistance Ratio – CRR) nell'abaco riportato in Fig. 1a. Tale abaco è risultato dalla combinazione di due relazioni indipendenti, la prima che esprime il CRR in funzione della resistenza penetrometrica statica corretta e normalizzata,  $q_{c1Ncs}$ , secondo la relazione proposta da Boulanger & Idriss (2014), e la seconda è stata appositamente valutata per esprimere  $q_{c1Ncs}$  in funzione del coefficiente  $K_D$  sulla base di dati sperimentali di 6 siti di indagine in cui si disponeva sia di prove penetrometriche statiche che dilatometriche.

La relazione CRR- $K_D$  è stata validata su un caso di studio reale confrontando i risultati ottenuti dall'applicazione del metodo con metodi di analisi più sofisticati, come le analisi dinamiche in tensioni efficaci, che dati sperimentali ottenute da indagini di laboratorio indipendenti (prove di taglio ciclico di laboratorio).

L'ulteriore validazione su casi di studio aggiuntivi è tra gli obiettivi di una vasta campagna di indagini in programma presso i siti sperimentali gestiti dal Norwegian Geotechnical Institute (NGI). Lo scopo cardine delle indagini è la verifica delle prestazioni del dilatometro di nuova generazione Medusa DMT (Fig. 1b) completamente automatizzato (Mar-

chetti et al., 2019, Monaco et al., 2022) in tre diversi tipi di terreni ben indagati e caratterizzati con campagne di indagini precedenti i cui risultati sono messi a disposizione dall'NGI. I tre siti presi in esame sono costituiti essenzialmente da materiale sabbioso (Øysand), limoso (Halden) e argilloso (Onsøy), rispettivamente (Fig. 1c).

I risultati di indagini in sito sono al centro di un ulteriore filone di ricerca avente ad oggetto lo studio del danneggiamento osservato nella città di Smirne (Turchia) a seguito del terremoto di Samos del 30 ottobre 2020. Nella città metropolitana di Smirne, che costituisce la terza città più popolosa della Turchia ed uno dei porti principali, si è osservata una particolare concentrazione di danni a dispetto di una distanza di circa 70 km dall'epicentro dell'evento principale (Fig. 2a). Chiaradonna et al., (2022 a,b) hanno posto in relazione l'intensità del moto sismico registrato, la distribuzione del danneggiamento (Fig. 2b) e le caratteristiche dei terreni così come rilevato dalle conoscenze geologiche-geotecniche dell'area.

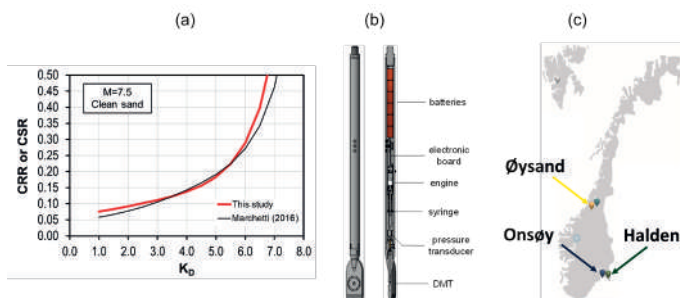


Figura 1. (a) Correlazione CRR- $K_D$  proposta da Chiaradonna e Monaco (2022), in rosso, confrontata con la precedente correlazione proposta da Marchetti (2016). (b) Componenti del dilatometro automatizzato (Medusa DMT). (c) Siti di ricerca gestiti dal Norwegian Geotechnical Institute selezionati per la campagna sperimentale con Medusa DMT nell'ambito del progetto H2020-GEOLAB (giugno 2022).

L'analisi incrociata dei dati ha permesso di evidenziare chiaramente effetti di amplificazione locale del moto sismico dovuto alla presenza di una valle alluvionale sottostante il centro della città, nonché effetti di doppia risonanza per strutture in calcestruzzo armato di 6-8 piani. Approfondimenti su un sito specifico operati da Chiaradonna et al., (2022) hanno inoltre escluso l'insorgere di fenomeni di liquefazione a causa di una limitata intensità del moto sismico nonostante la presenza di depositi incoerenti suscettibili di fenomeni di liquefazione. Osservazioni sperimentali raccolte dal gruppo di ricerca sono invece riconducibili ad incrementi di sovrappressione interstiziale indotte dall'azione sismica.

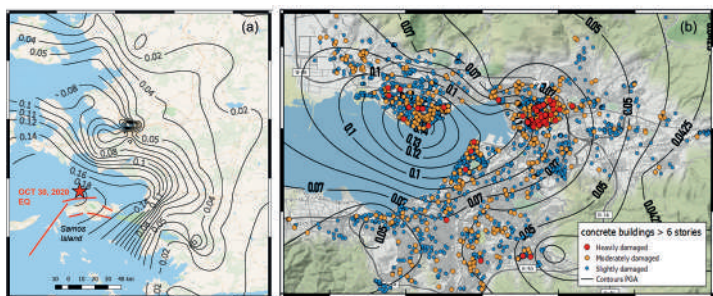


Figura 2. (a) Mapa con indicazione dell'epicentro del terremoto di Samos del 30 ottobre 2020 e isolinee dell'accelerazione di picco al suolo, PGA (g), nella Turchia occidentale. (b) Distribuzione degli edifici in calcestruzzo armato con più di 6 piani con livello di danno leggero, moderato e forte nell'area metropolitana di Smirne in relazione alle isolinee della PGA (Chiaradonna et al. 2022a).

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Componenti del gruppo di ricerca: Prof. Paola Monaco (professore associato), responsabile del laboratorio geotecnico e referente del settore scientifico disciplinare ICAR/07 per il DICEAA, Prof. Giovanni Bosco (ricamatore) e Dott.ssa Anna Chiaradonna (RTDA). Fa inoltre parte del gruppo di Ingegneria Geotecnica il Prof. Gianfranco Totani (professore associato), afferente al DIIE.

Principali collaborazioni attive interne: gruppo di Geologia Applicata per la caratterizzazione geologico-geotecnica di siti suscettibili di liquefazione nel territorio aquilano, la microzonazione sismica di terzo livello e l'interpretazione di effetti cosismici riportati nelle cronache storiche del terremoto del 1703. Il laboratorio geotecnico per l'esecuzione di prove cicliche e dinamiche è attualmente in fase di ripristino.

Principali collaborazioni attive esterne: Università Sapienza di Roma, Università di Chieti-Pescara "D'Annunzio", Studio Prof. Marchetti S.r.l., Università del Molise, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - INGV.

Principali collaborazioni attive estere: le collaborazioni con l'University of Canterbury (Nuova Zelanda), l'University of California at Davis (Davis, Stati Uniti) e l'istituto di ricerca francese CEREMA sono state avviate nell'ambito della mobilità internazionale prevista dal progetto PON-AIM. La collaborazione con il Norwegian Geotechnical Institute (NGI) è parte del progetto europeo H2020-GEOLAB.

I fondi a supporto della ricerca derivano da progetti nazionali (Convenzione DPC/ReLUIS 2019-2021, Task 16.1 'Risposta sismica locale e liquefazione', Coordinatore scientifico UR Università dell'Aquila – CERFIS: Paola Monaco; Progetto AIM 'Attraction and International Mobility, Area Smart, Secure and Inclusive Communities', Linea 1, finanziato da MIUR – PON Ricerca e Innovazione 2014-2020 – Fondo Sociale Europeo, progetto 'Modellazione e monitoraggio del rischio sismico ed idrogeologico ai fini del miglioramento della capacità di resilienza dei sistemi urbani'), internazionali (H2020-GEOLAB JELLYFISH project – 'A Just-released innovativE in-situ soiL testing technoLogY (Medusa DMT/SDMT) for enhancing the resilience of the critical InfraStructure in Europe') e convenzioni (Studio Prof. Marchetti S.r.l.- Standardizzazione della prova con Medusa DMT).

## **BIBLIOGRAFIA**

Boulanger R.W., Idriss I.M. (2014). CPT and SPT liquefaction triggering procedures. Report No UCD/GCM-14/01, University of California at Davis, California, USA.

- Chiaradonna A., Monaco P. (2022). Assessment of liquefaction triggering by seismic dilatometer tests: comparison between semi-empirical approach and non-linear dynamic analyses. *Proc. 20<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Sydney, Australia*, 1-5 maggio 2022.
- Chiaradonna A., Karakan E., Lanzo G., Monaco P., Sezer A., Karray M. (2022a). Influence of Local Soil Conditions on the Damage Distribution in Izmir Bay During the October 30, 2020, Samos Earthquake. *Proc. 4<sup>th</sup> International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering, Pechino, Cina*, 15-17 luglio 2022.
- Chiaradonna A., Monaco P., Karakan E., Lanzo G., Sezer A., Karray M. (2022b). Influence of Local Soil Conditions on the Damage Distribution in Izmir Bay During the October 30, 2020, Samos Earthquake. *Proc. 3<sup>rd</sup> International Conference on Natural Hazards & Infrastructure, Atene, Grecia*, 5-7 luglio 2022.
- Marchetti D., Monaco P., Amoroso S., Minarelli L. (2019). In situ tests by Medusa DMT. *Proc. 17<sup>th</sup> European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Reykjavik, Islanda*, 1-6 settembre 2019.
- Marchetti S. (2016). Incorporating the Stress History Parameter  $K_D$  of DMT into the Liquefaction Correlations in Clean Uncemented Sands. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 142 (2): 04015072.
- Monaco P., Marchetti D., Totani G., Totani F., Amoroso S. (2022). Validation of Medusa DMT test procedures in Fucino clay. *Proc. 20<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Sydney, Australia*, 1-5 maggio 2022.

# **Il rapporto fra progetto e costruzione all'interno della concezione integrata del processo edilizio e della sua sostenibilità**

PIERLUIGI DE BERARDINIS  
(PIERLUIGI.DEBERARDINIS@UNIVAQ.IT)  
SSD: ICAR/11 – Produzione edilizia

## PAROLE CHIAVE

Efficienza energetica, elementi costruttivi, prefabbricazione, diagnostica, qualità e prestazioni.

Nell'ambito di studio che attiene alla produzione edilizia, sono stati affrontati negli anni molti temi di ricerca, spesso interconnessi, che anelano al conseguimento della sostenibilità. Tra questi si riporta una selezione dei principali topics di interesse, nei quali sono coinvolti attivamente i componenti del gruppo di ricerca.

## LE INDAGINI NON DISTRUTTIVE E L'EFFICIENTAMENTO DELLE MURATURE STORICHE

L'attività di ricerca finalizzata alla riqualificazione degli edifici storici del post sisma aquilano, in particolar modo di quelli di valore diffuso come i centri storici minori, ha posto dinanzi ad una carenza di conoscenza delle prestazioni energetiche delle murature oggetto di indagine e ad una serie di vincoli che rendono difficile l'individuazione di strategie progettuali compatibili. A tal fine, è stato elaborato uno strumento conoscitivo (Marchionni et al., 2020) per perseguire una corretta conoscenza delle caratteristiche fisiche e prestazionali degli ele-

menti costituenti l'involucro, da porre alla base di una progettazione consapevole e attenta al caso specifico. Per l'attività di approfondimento diagnostico è stato elaborato un progetto di prove strumentali, finalizzato ad indagare le caratteristiche e le eventuali patologie di degrado riscontrate sugli edifici, prediligendo indagini di tipo non distruttivo particolarmente idonee nei contesti di valore: la termografia, la termoflussimetria e le analisi termoigrometriche. Lavorando in correlazione tra loro e in specifiche condizioni di svolgimento, tali tecniche permettono di raggiungere una conoscenza reale dei principali parametri che influenzano l'efficientamento energetico degli edifici storici (Fig. 1). La campagna conoscitiva è stata condotta in numerosi casi studio del contesto aquilano e non, e la ricerca è stata ampliata verso la definizione di possibili interventi di efficientamento energetico (De Berardinis et al., 2014) e manutentivi, mediante valutazioni multilayer e del ciclo di vita, analisi LCA e LCCA (Annibaldi et al., 2019).

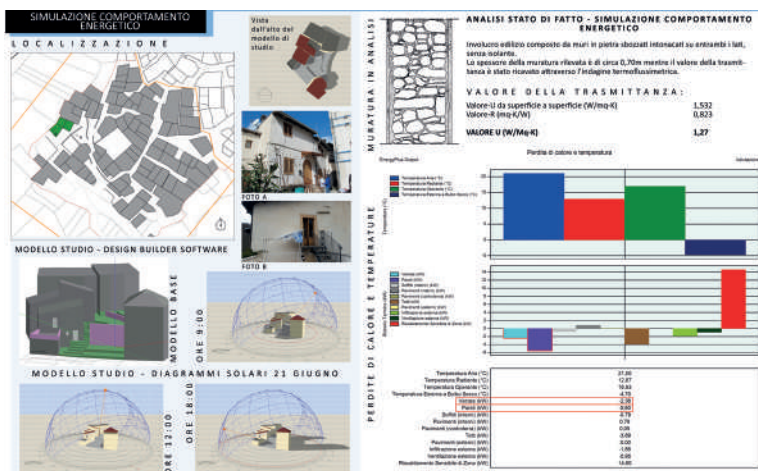


Figura 1. Il modello energetico ed i risultati inerenti lo stato di fatto, pre-intervento, dell'edificio storico oggetto di intervento.

## LA VENTILAZIONE NATURALE

Nell'ambito degli studi inerenti il patrimonio edilizio storico, è stata svolta una ricerca relativa all'analisi di sistemi di ventilazione per il raffrescamento passivo degli edifici. Attraverso tale studio è stato possibile progettare e verificare il funzionamento di una serie tipologica di camini di ventilazione, che ha visto la realizzazione dell'applicazione di un condotto su un edificio storico vincolato. Le stanze interne dell'edificio oggetto di studio sono state monitorate al fine di verificare i reali valori di funzionamento, tramite un sistema di sensoristica ed un database di rilevamento dati: il dispositivo installato ha permesso di adattare le condizioni di comfort termo-igrometriche indoor (Laurini et al., 2017). Il tema è stato in seguito ampliato con la verifica della qualità dell'aria interna negli stessi locali, implementando la rete di rilevamento con sensori di verifica di CO<sub>2</sub>, VOC, gas... (Laurini et al., 2021). Oggi la ricerca è stata indirizzata verso l'analisi di camini di ventilazione posti in ambienti con problematiche specifiche, ovvero i luoghi di lavoro confinati. Saranno condotti test ambientali di tali tipologie di luoghi di lavoro, al fine di ottimizzare i parametri per la salvaguardia della salute e sicurezza dei lavoratori.

## I TESSILI TECNICI NELLA PRODUZIONE EDILIZIA

Negli ultimi anni i tessili tecnici sono stati riconosciuti come materiale da costruzione: la prerogativa di essere filtri sottili e potenzialmente adattivi ne consente l'inserimento all'interno del processo produttivo edile tanto per le nuove costruzioni – eventualmente temporanee e flessibili – tanto per la riqualificazione prestazionale del patrimonio edilizio esistente. Infatti, se utilizzati attraverso sistemi di ombreggiamento integrati in coperture e facciate trasparenti, in schermature controllate e ventilate, questi si configurano come una nuova frontiera del retrofit, offrendo soluzioni nell'ambito sia del controllo passivo che attivo. La sfida della ricerca riguarda le valutazioni della sostenibilità ambientale dell'intervento, da bilanciare con la compatibilità architettonica attraverso il design di soluzioni - ottimizzate sia nel processo di realizzazione che di gestione - che dichiarino i requisiti di riconoscibilità e reversibilità per essere applicate con impatto minimo anche all'architettura storica.

L'indagine scientifica è altresì volta alla verifica quantitativa dei risultati ottenibili in termini di comfort/benessere abitativo e di gestione del microclima interno per mezzo di analisi prestazionali da svolgere sul complesso edificio-impianti nel dialogo tra high e low tech, al fine di valutare l'efficacia e l'opportunità delle diverse applicazioni.

## REVERSIBILITÀ E RIUSO NEI SISTEMI COSTRUTTIVI MODULARI PREFABBRICATI

La costruzione prefabbricata nasce come “architettura di frontiera” e si evolve negli anni per rispondere a diverse sfide affrontate dal genere umano tra cui, oggi, quella del conseguimento degli obiettivi di sostenibilità. E proprio la ricerca della sostenibilità, nelle sue numerose sfaccettature, è il punto di partenza della ricerca. Si mira a progettare e testare dei sistemi e sottosistemi che presentino accorgimenti tecnici volti ad enfatizzare le possibilità di riuso e reversibilità. Tali aspetti consentono infatti di ottenere vantaggi sia in termini di riduzione delle emissioni sia, contenendo le eventuali operazioni di ricondizionamento tra un utilizzo ed il successivo, di ottimizzazione degli aspetti gestionali. A valle di tale studio, la ricerca in corso di sviluppo prevede la realizzazione di un'installazione pilota del sistema progettato. Tale installazione consentirà la valutazione sia delle prestazioni che delle condizioni durante l'uso.

## LA PISTA POLIFUNZIONALE DELL'ALTA VALLE DELL'ATERNO

Sin dal 2014 è stata condotta una ricerca volta a promuovere la mobilità sostenibile ed il rilancio e valorizzazione di territori dell'entroterra abruzzese mediante la realizzazione di una pista polifunzionale nell'Alta Valle dell'Aterno (Rotilio et al., 2016). Tale studio si sviluppa sulla base di alcuni importanti temi. In primis la dorsale è intesa come collegamento ciclabile della valle dell'Aterno e riqualificazione del lungo fiume, compreso il passaggio nella città dell'Aquila attraverso la realizzazione di un nodo di scambio per la mobilità sostenibile locale. Oltre al fiume, l'altro riferimento è la ferrovia, con cui la pista polifunzionale è in continuo dialogo, anche in considerazione del fatto che si tende verso una mobilità mista, che preveda l'uso di più mezzi per raggiungere le zone di interes-

se. La dorsale è ideata sia come percorso di valenza turistica, sia a servizio della mobilità sostenibile urbana, vista la compagine delle ricchezze paesaggistiche locali e contestualmente la necessità di dare risposte alla mobilità per la connessione dei poli di maggiore interesse, come quelli studenteschi o commerciali. Lo studio si basa sulla suddivisione della dorsale in tipi e lotti successivi in modo da dividere l'opera in porzioni realizzabili in tempi diversi, in funzione delle risorse economiche disponibili. La finalità della ricerca è stata quella di individuare una strategia progettuale facilmente replicabile e di dotare le amministrazioni di uno strumento di programmazione.

Lo studio iniziale è stato commissionato dalla Regione Abruzzo e cofinanziato dall'Università degli Studi di L'Aquila e dalla Fondazione Carispaq e vedeva il Comune di L'Aquila come amministrazione capofila di tutte quelle interessate dall'attraversamento della pista. Tale studio è stato in seguito integrato ed approfondito concludendosi nel 2020.

## RECUPERO DELL'ANTICO TRACCIATO DEL TRATTURO MAGNO DA L'AQUILA A FOGGIA

La ricerca ha affrontato il complesso tema del Tratturo Magno L'Aquila – Foggia con l'obiettivo di ridisegnare il tracciato originario, parzialmente perduto, alla luce della cartografia storica e delle immagini ortofoto ufficiali degli anni Cinquanta, individuando le più importanti emergenze storico-architettoniche che si trovano lungo tutto il percorso e analizzando la compatibilità del tracciato con gli strumenti urbanistici e di pianificazione territoriale vigenti, oltreché con la cartografia catastale. La ricerca si è occupata altresì di analizzare le peculiarità ambientali e vegetazionali, evidenziando le criticità puntuali di tipo normativo, come la mancanza degli strumenti urbanistici locali obbligatori (Piano Quadro tratturo); di tipo funzionale, come l'esistenza di concessioni d'uso di aree tratturali in atto; o di tipo amministrativo, come la presenza di manufatti non compatibili con sedime tratturale o addirittura abusivi. È stato dunque proposto un approccio metodologico finalizzato ad individuare una impostazione unitaria e criteri di intervento omogenei lungo il percorso, approccio in grado di affrontare ogni peculiarità del tracciato. Tale metodologia è stata validata me-

dian­te l'applicazione ad un caso di studio reale individuato nel tratto di circa 16 Km ad est della città di L'Aquila che con­nette la frazione di San Gregorio con la Chiesa di Santa Maria in Centurelli. Lo studio è attualmente oggetto di ulteriori sviluppi e, dato l'enorme importanza del tema, ha portato alla creazione di un gruppo interdipartimentale di ricerca.

## **GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI**

Responsabile gruppo di ricerca: Prof. Pierluigi De Berardinis.

Componenti del gruppo di ricerca: Prof. Gianni Di Giovanni, Rtdb Ph.D. Marianna Rotilio, Ph.D. Annalisa Taballione, Ph.D. Chiara Marchionni, Ph.D. Luisa Capannolo, Ph.D. Stefania De Gregorio, Ph.D. Mariangela De Vita, Ph.D. Eleonora Laurini, Ph.D. stud. Federico Cavalieri, Ing. Annamaria Ciccozzi, Ing. Letizia Giusti.

Principali collaborazioni attive interne: Gruppo di coordinamento interdipartimentale per gli studi sul Tratturo Magno; Gruppo di lavoro per il miglioramento energetico degli edifici di Ateneo.

Principali collaborazioni attive esterne: Dipartimento DIIE, Università di L'Aquila; ITC-CNR L'Aquila.

Principali collaborazioni attive estere: SUPSI, Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana; Universidad Politécnica de Valencia

## **BIBLIOGRAFIA**

Annibaldi V., Cucchiella F., De Berardinis P., Rotilio M., Stornelli V. (2019). Environmental and economic benefits of optimal insulation thickness: A life-cycle cost analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116: 109441.

De Berardinis P., Rotilio M., Marchionni C., Friedman A. (2014). Improving the energy-efficiency of historic masonry buildings. A case study: a minor centre in the Abruzzo region, Italy. *Energy and Buildings*, 80: 415-423.

- Laurini E., Taballione A., Rotilio M., De Berardinis P. (2017). Analysis and exploitation of the stack ventilation in the historic context of high architectural, environmental and landscape value. *Energy Procedia*, 133: 268-280
- Laurini E., De Vita M., De Berardinis P. (2021). Monitoring the Indoor Air Quality: A Case Study of Passive Cooling from Historical Hypogeal Rooms, *Energies*, 14: 2513
- Marchionni C., Rotilio M., De Berardinis P. (2020). Un protocollo di indagine per la gestione del patrimonio edilizio esistente. La termografia a supporto della diagnostica, *Proc. Colloqui.AT.e 2020 New Horizons for Sustainable Architecture*, Italy: 1084-1097
- Rotilio M., Taballione A., De Berardinis P. (2016). The cycle route of the upper Aterno Valley: between ecotourism and sustainable mobility. *TECHNE*, 11: 188-193.

# La produzione edilizia. Tra innovazione digitale e transizione green

MARIANNA ROTILIO

(MARIANNA.ROTILIO@UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/11 – Produzione edilizia

## PAROLE CHIAVE

Ricostruzione post-disastro, cantiere, innovazione di prodotto e processo, sicurezza, resilienza.

Le esperienze post-terremoto di L'Aquila hanno evidenziato la presenza di profonde barriere che impediscono la gestione razionale e sicura dei processi di ricostruzione urbana, spesso mancando di efficienza ed efficacia negli interventi di recupero. A tali criticità si aggiungono problematiche inerenti gli impatti negativi che le attività di cantierizzazione possono determinare nell'ambiente in cui esse sono realizzate. Oltre al fatto che spesso il settore edile non riesce a farsi penetrare dalle innovazioni di processo e di prodotto al pari di altri settori produttivi, soprattutto in termini di materiali, di processi costruttivi ma anche di nuove tecnologie che sfruttano, ad esempio, l'Internet of Things (IoT). L'attenzione a queste tematiche e la consapevolezza dell'importanza dell'innovazione digitale e della transizione green, hanno portato ad identificare una serie di nuove linee di ricerca nell'ambito della produzione edilizia che, affondando le radici nell'esperienza aquilana, mirano ad identificare approcci e metodologie valide in qualsiasi contesto di rischio, dal cantiere singolo a quello urbano. Pertanto, si riportano di seguito le principali linee di ricerca in corso di sviluppo.

- Gestione razionale e sicura del processo di ricostruzione urbana. La ricerca ha condotto alla definizione del cosiddetto “piano di cantieriz-

zazione”, uno strumento di ordine superiore per la gestione di sistemi complessi quale ad esempio la ricostruzione post sisma o, in generale, post disastro, in cui si verificano interferenze e criticità lavorative per la presenza in contemporanea di cantieri, cambi repentini di scenario, condizioni di elevato rischio. È uno strumento programmatico che, da un lato, consente la razionale gestione dei lavori, dall’altro implementa la sicurezza, in quanto è in grado di prevedere e quindi mitigare, le condizioni di rischio (Rotilio et al., 2019).

- Implementazione ed aggiornamento continuo dei piani urbani di cantierizzazione. Il piano di cantierizzazione necessita di un continuo aggiornamento dei possibili e frequenti cambi di configurazione e di condizione che si verificano nei contesti storici i quali, per definizione, sono spesso scenari di ritrovamenti archeologici, scoperte ed imprevisti. Per tale motivo, per gestire l’intera “macchina” del processo esecutivo della ricostruzione si è contemplato il ricorso alle nuove tecnologie digitali 4.0. In tal modo è possibile dare una risposta resiliente alle problematiche della ricostruzione, infatti, grazie all’impiego di tecnologie digitali, il processo di aggiornamento e controllo risulta certamente semplificato, può avvenire in tempo reale e consente la riduzione degli errori e dunque la mitigazione dei rischi. Pertanto, è stata sviluppata una ricerca che intende implementare il piano di cantierizzazione mediante l’attuazione del concetto di interoperabilità BIM e GIS (Rotilio, 2020).

- Implementazione dei modelli di management per il controllo operativo del cantiere edile. Nell’ambito di un percorso di trasformazione e innovazione digitale, è stato ideato un nuovo protocollo di gestione della commessa (Fig. 1): il MSM (Model Smart Management). Esso include database e strumenti di valutazione e di gestione innovativa a supporto del processo decisionale integrato, dalla programmazione del progetto fino al management del manufatto, in grado di restituire scenari di intervento affidabili e un controllo efficiente delle risorse economiche. A tale aspettativa, guidata dai driver di domanda, quali efficienza, sostenibilità, sicurezza e qualità, sono stati applicati strumenti di modellazione e digitalizzazione dei dati (BIM) per uno sviluppo dell’innovazione nella gestione del progetto, ma anche indispensabili per garantire l’interoperabilità dell’organismo edilizio con l’utilizzo delle tecnologie ICT. L’elaborazione

del MSM ha incluso anche la realizzazione di un prototipo di software per la gestione operativa in cantiere.

- Definizione di strategie di mitigazione del rischio dovuto alla produzione di rumore e di micro-polveri nei siti produttivi dell'industria delle costruzioni (Paolucci et al., 2021). La ricerca ha contemplato la creazione di una infrastruttura sensoriale per monitorare e controllare i livelli delle emissioni inquinanti a partire dalle informazioni inerenti le fasi lavorative che caratterizzano il processo di ricostruzione. A tal fine è stato elaborato un protocollo in corso di validazione su casi studio. Tale progetto di ricerca si inserisce in un filone più ampio inerente il tema del cantiere sostenibile che, oltre le polveri, studia ulteriori forme di impatti anche mediante analisi LCA e LCCA. Tali analisi tengono conto della fase di estrazione delle materie prime, della lavorazione, del trasporto e distribuzione, della fase di uso e manutenzione fino alla dismissione o riciclo del materiale al termine del ciclo di vita. Viene impiegato il software Simapro per calcolare l'impronta ambientale ed i database Ecoinvent v3 e Agri-footprint per l'analisi d'inventario.
- Definizione del digital twin per il cantiere di ricostruzione, anche applicato al patrimonio storico-architettonico (Rotilio & Simeone, 2021). La ricerca ha consentito di definire una base teorica, metodologica e tecnologica su cui poter pensare e progettare un gemello digitale per il cantiere di ricostruzione.
- Impiego della fotogrammetria da UAV per il cantiere di recupero (Alicandro & Rotilio, 2019). La ricerca, applicata ad alcuni casi di studio, ha consentito di mettere in luce il proficuo impiego di droni e delle tecniche di rilievo geomatiche per risolvere specifiche problematiche in ambito di scenario post disastro e di attività di ricostruzione, soprattutto in condizioni particolarmente rischiose per gli operatori.
- Monitoraggio con finalità manutentiva dei materiali da costruzione messi in opera durante l'attività di ricostruzione grazie all'impiego di sensori Rfid passivi. Nella ricerca sviluppata è studiata l'integrazione del BIM con la sensoristica applicata agli elementi costruttivi che permetterà la gestione delle attività di carattere procedurale, costruttivo, tecnico-amministrativo, contabile, nel rispetto dei requisiti di sicurezza. Ma consentirà anche la perfetta conoscenza del modello as built dell'edificio

ricostruito e la creazione del cosiddetto fascicolo del fabbricato (Laurini et al., 2019).

- Analisi e valutazione del rischio legato alla rimozione delle opere provvisorie, anche mediante modelli matematici. La ricerca, in corso di sviluppo, ha condotto ad importanti risultati preliminari inerenti la definizione di strategie e linee guida per la rimozione delle principali tipologie di puntellamenti realizzati dalle squadre dei Vigili del Fuoco a seguito del sisma 2009, in funzione dei meccanismi di collasso attivabili negli edifici in muratura, anche storici e vincolati.
- Sviluppo di nuove wearable technologies. A seguito della pandemia da Covid-19 è stata definita l'architettura di CoFlex19, una smart wearable technology per garantire la salute e sicurezza del lavoratore e prevenire il contagio nei cantieri della ricostruzione.

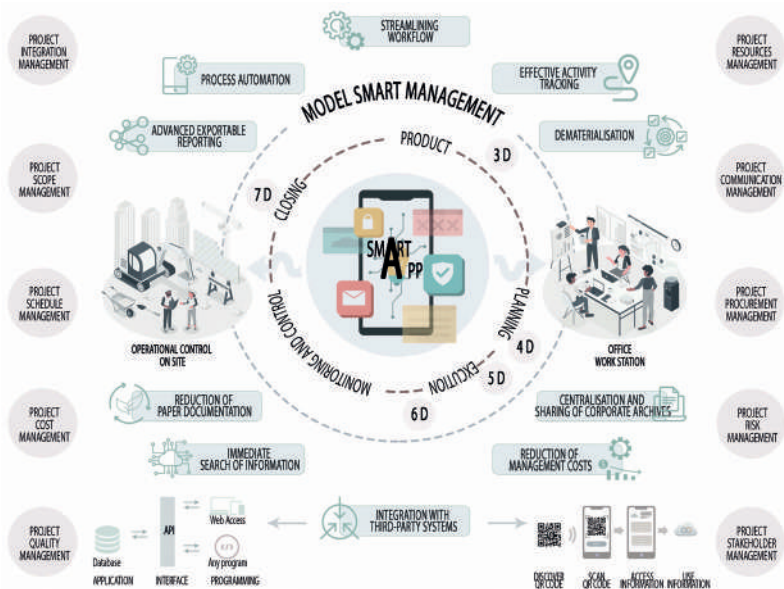


Figura 1. Il Problem solving. Process automation management.

- Creazione di nuovi materiali da destinare all'edilizia mediante l'impiego di CDW. La ricerca ha condotto allo sviluppo di nuove tipologie di pannelli isolanti a base di materiali derivanti da riciclo e stampati in 3D mediante tecnologia additiva. Tale ricerca è parte di un progetto più ampio denominato "MULTIFid" che intende contribuire allo sviluppo della tecnologia abilitante fondamentale dei "Materiali avanzati" per le Fabbriche Intelligenti, nell'area tematica nazionale di riferimento dell'"Industria intelligente e sostenibile, energia ed ambiente". L'obiettivo principale di tale progetto è quello di creare un prodotto innovativo costituito da un pannello intelligente, economico ed a basse emissioni, realizzato con gli scarti della lavorazione industriale di carta e cartone. All'interno del pannello è integrato un sistema di comunicazione passivo che impiega tecnologia Rfid per il soddisfacimento di differenti esigenze. In particolare, le principali funzioni che esso è chiamato a svolgere consistono nel monitoraggio della posizione dei lavoratori al fine di garantire la sicurezza nelle aree di rischio, il miglioramento termico dell'involucro edilizio nel quale il pannello sarà installato ed il monitoraggio delle condizioni di umidità del pannello stesso. MULTIFid nasce da una attività di ricerca industriale e sviluppo sperimentale che ha condotto ad innovazione di prodotto e di processo (Rotilio, 2021).

## **GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI**

Coordinatore gruppo di ricerca: Prof. Pierluigi De Berardinis.

Componenti del gruppo di ricerca: RtdB Ph.D. Marianna Rotilio, Prof. Gianni Di Giovanni, Ph.D. Eleonora Laurini, Ph.D. stud. Caterina Amici, Dott. Ing. Giulia D'Alberto, Ing. Giulia De Paulis, Ing. Maria Ida Mancini.

Principali collaborazioni attive interne: componenti SSD ICAR/06, ICAR/08 e ICAR/20.

Principali collaborazioni attive esterne: Dipartimenti DIIIIE e DISIM Università di L'Aquila; ESE-CPT di L'Aquila, Formedil, ANCE L'Aquila, Arta Abruzzo, Ordine degli Ingegneri della Provincia di L'Aquila, CNI.

Finanziamenti: “MULTIFId - Pannelli multifunzionali per le nuove fabbriche intelligenti”, Fondo per la Crescita Sostenibile, Sportello Fabbrica Intelligente, D.M. 05.03.2018 Capo III. Soggetti coinvolti: 2bite S.r.l. (proponente), Pack System S.r.l. (co-proponente), Dipartimenti DIIIIE e DICEAA Univaq (Responsabile Scientifico Prof. Pierluigi De Berardinis, Ricercatrice incaricata RtdB Ph.D. Marianna Rotilio); “L’innovazione tecnologica a supporto del cantiere SICURo”, tema sviluppato nell’ambito della “caSa Intelligente delle tecnologie per la sicUREzza – L’Aquila”, SICURA, finanziato dal MISE il 24.12.2020 (Responsabili Scientifici Prof. Pierluigi De Berardinis, RtdB Ph.D. Marianna Rotilio); “Definizione di best practices e strategie di mitigazione del rischio dovuto alla produzione di sostanze inquinanti nei cantieri”, finanziato dall’Università degli Studi di L’Aquila, Progetti di Ateneo, DR. 786 del 13.07.2021 (Responsabile Scientifico RtdB Ph.D. Marianna Rotilio); “Rimozione delle opere di puntellamento realizzate a seguito degli eventi sismici verificatisi a L’Aquila nel 2009”, finanziato dal Formedil S.r.l. (Responsabile Scientifico RtdB Ph.D. Marianna Rotilio).

## BIBLIOGRAFIA

- Rotilio M. (2021). Product innovation between circular economy and Industry 4.0. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, 22: 192-200.
- Rotilio M. (2020). Technology and resilience in the reconstruction process. A case study, *Int. Arch. Photogramm. RemoteSens. Spatial Inf. Sci.*, XLIV-3/W1-2020: 117–123.
- Alicandro M., Rotilio M. (2019). UAV photogrammetry for resilience management in reconstruction plan of urban historical centres after seismic events. A case study, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W11: 55-61.
- Laurini E., Rotilio M., Lucarelli M., De Berardinis P. (2019). Technology 4.0 for buildings management: from building site to the interactive building book, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W11: 707-714.

- Rotilio M., Simeone D. (2021). Il “gemello digitale” per il cantiere di recupero del patrimonio storico-architettonico: potenzialità e framework applicativo. *Proc. Colloqui.AT.e 2020 Progetto e Costruzione, Tradizione ed innovazione nella pratica dell’architettura*, Salerno, Italy.
- Paolucci R., Rotilio M., De Berardinis P., Ferri G., Cucchiella F., Stornelli V. (2021). Electronic System for Monitoring of Dust on Construction Sites for the Health of Workers. *Proc. 15th International Conference on Advanced Technologies, Systems and Services in Telecommunications (TELSIKS)*: 329-332.
- Rotilio M., Laurini E., De Berardinis P., Fradiani L. (2019). Construction site plan. The case study of Fontecchio (AQ), *Proc. REHAB 2019 - Proceedings of the 4rd International Conference on Preservation, Maintenance and Rehabilitation of Historical Buildings and Structures*, Barcelos: 553-564.

# Stazioni-Postazioni-Avamposti, o sulla nuova architettura delle terre alte

FILIPPO DE DOMINICIS

(FILIPPO.DEDOMINICIS@UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/14 – Composizione architettonica e urbana

PAROLE CHIAVE

Piccole infrastrutture, Gran Sasso, terre alte.

Didattica e ricerca rappresentano terreni complementari che la disciplina della composizione architettonica pratica contestualmente con l'obiettivo di osservare, decifrare e regolare i processi di trasformazione del mondo antropico, a varie scale. Centrale, nei due ambiti, è il momento del progetto di architettura quale terreno di verifica delle ipotesi formulate durante e a conclusione del processo di osservazione. Attraverso il progetto di architettura si dà forma a uno scenario alternativo (futuro) – non necessariamente probabile ma sicuramente possibile – che, reagendo con il dato reale (presente), opera nel senso della sua modificazione e della sua trasformazione. Obiettivo della disciplina, nei suoi diversi ambiti, è quindi la trasformazione di quanto osservato e rilevato secondo un sistema di regole formali e figurali che discendono dall'osservazione stessa: in particolare, la trasformazione dell'ambiente – sia esso antropizzato o no – rispetto a bisogni e necessità in evoluzione. In questo quadro, il progetto di architettura, ovvero il cuore della disciplina compositiva, si deve intendere come primo e decisivo momento di pensiero, esercizio di prefigurazione che ambisce alla modificazione anche quando non direttamente associato alla costruzione.

Didattica e ricerca sviluppati nell'ambito disciplinare della composizione sono quindi rivolti all'interpretazione dei fenomeni che investono le geografie della regione aquilana, nella convinzione che la peculiarità di eventi e fatti di cui la stessa regione ha avuto esperienza negli ultimi tredici anni possa condurre, insieme a specificità territoriali e demografiche per certi versi uniche, a un radicale ripensamento delle forme di appropriazione e uso delle terre. Un radicale ripensamento che operi nelle direzioni che il territorio aquilano – con tutte le sue contraddizioni fisiche e demografiche – non smette di offrirci. Si tratta di fenomeni nuovi che lasciano spazio a scenari complessi, non sempre edificanti, con cui il progetto deve tuttavia misurarsi. Fenomeni che richiedono strumenti di lettura aggiornati, ma anche fra loro dissonanti, stridenti, come stridente e dissonante è la coesistenza fra la progressiva contrazione legata all'abbandono e l'iper-consumo stagionale che interessa le terre alte della regione aquilana.

Senza alcun apparato metodologico pre-costituito, il lavoro congiunto di didattica e ricerca guarda a queste terre e a queste forme di uso e dis-uso in modalità esplorativa, facendo proprie interpretazioni distinte, a carattere strutturale e percettivo, che possano restituire i caratteri del territorio nella sua complessità (Fig. 1). All'analisi su grande scala condotta attraverso gli strumenti di osservazione forniti da Caniggia, Lynch e Appleyard fa da contrappunto lo studio di piccoli dispositivi architettonici, stazioni semi-permanenti a basso impatto ambientale che dialoghino con la scala geografica e agiscano da presidi ecologici – non esclusivamente associabili, quindi, all'attività antropica – lì dove il legame delle componenti territoriali perde in coesione o per assenza o per potenziale eccesso di usi; o lungo quelle nuove infrastrutture leggere (SI – Sentiero Italia CAI; Tratturo Magno riqualificato) che promettono inedite forme di accesso e attraversamento.

Immaginati come strutture strategicamente collocate e declinate in funzione del supporto topografico – come lo erano le strutture monastiche disseminate fra i pianori, le creste e i versanti, o i ripari legati alla transumanza – questi presidi di quota elevata e intermedia sono da intendersi come piccole infrastrutture di supporto e di ri-equilibrio per un uso esteso e diversificato dei territori: avamposti antropici aggregabili,

finalizzati a una residenzialità temporanea; postazioni di ricerca e lavoro itineranti; stazioni di osservazione associate a manufatti storici da tutelare, o a eccellenze territoriali da preservare/valorizzare. In generale, strutture leggere dalla geometria complessa, altamente adattive, dimensionate su usi minimi ma geneticamente predisposte a espandersi o contrarsi in funzione degli scenari previsti, il cui impiego diffuso sia esso stesso occasione di produttività, formazione e occupazione specializzata; dispositivi da filiera corta, basso consumo di suolo e ridotto contenuto tecnologico – facili, quindi, da assemblare e disassemblare – ma altamente efficienti da un punto di vista prestazionale ed energetico, la cui collocazione diffusa possa agire da strumento di “diffrazione” territoriale in controtendenza con gli attuali fenomeni di abbandono e iper-frequentazione. In questa prospettiva, stazioni/postazioni/avamposti si propone come piattaforma di ricerca aperta, a vocazione transdisciplinare, che coinvolge ambiti disciplinari diversi ma complementari, comunque convergenti in una rinnovata dimensione di progetto dal profilo low-tech/high-touch.

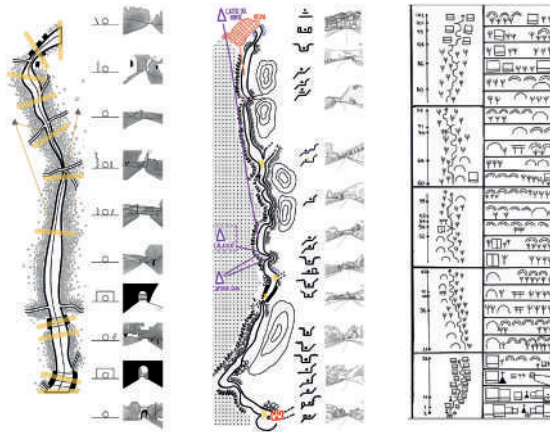


Figura 1. Studi percettivi nell’alta valle del Tirino sulla base dei modelli di Kevin Lynch, Donald Appleyard e Lawrence Halprin (Elaborazioni degli studenti Giorgio Catarinacci, Ilaria Petrone, Iuliana Roberta Farcas, Matteo Portella, Ludovica Piccione, corso di Architettura e Composizione Architettonica I, docente: architetto Filippo De Dominicis, tutor: ingegneri Domenico Fracassi e Marco Paolucci).

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

La ricerca è condotta dagli studenti e dal gruppo docente del corso di Architettura e Composizione Architettonica I (Ph.D. Filippo De Dominicis, Domenico Fracassi, Marco Paolucci). Nel mese di luglio, il tema di ricerca sarà inoltre inserito nel programma di un seminario estivo ospitato dal comune di Castel del Monte con il supporto economico del DICEAA, e sviluppato congiuntamente con i docenti titolari dei corsi di Architettura e Composizione Architettonica II e III (Prof. Federico De Matteis e Francesco Giancola).

## BIBLIOGRAFIA

In assenza di riferimenti bibliografici specifici si fornisce la bibliografia del corso di Architettura e Composizione Architettonica I, II anno del corso di laurea magistrale UE in “Ingegneria Edile-Architettura”, per l'a.a. 2021-2022.

Albrecht B. (2012). *Conservare il futuro. Il pensiero della sostenibilità in architettura*. Il Poligrafo, Padova.

Appleyard D., Lynch K., Myer J.R. (1964). *The View from the Road*. The MIT Press, London-Cambridge (MA).

Benevolo L., Albrecht B. (2004). *Le origini dell'architettura*. Laterza, Roma-Bari.

Caniggia G., Maffei G.L. (1979). *Composizione architettonica e tipologia edilizia. 1. Lettura dell'edilizia di base*. Marsilio, Padova.

Marti Aris C. (2007). *La centina e l'arco. Pensiero, teoria e progetto in architettura*. Cristian Marinotti Edizioni, Milano.

# **Permanenze, trasformazioni, sperimentazioni in Abruzzo e oltre, fra costruzioni e ri-costruzioni. Città, architettura e figure professionali**

PATRIZIA MONTUORI  
(PATRIZIA.MONTUORI@UNIVAQ.IT)  
SSD: ICAR/18 - Storia dell'architettura

## PAROLE CHIAVE

Patrimonio storico-architettonico, città, sisma, ricostruzioni, Abruzzo.

Le più recenti ricerche condotte dai docenti e ricercatori del Settore Scientifico Disciplinare ICAR 18 afferenti al Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura e Ambientale dell'Università dell'Aquila, sono state finalizzate alla conoscenza di diversi aspetti dell'evoluzione storico-architettonica e insediativa delle città e del territorio, sia abruzzese sia italiano, e all'evoluzione dei linguaggi e delle tecniche costruttive, fra tradizione e modernità (Montuori, 2019). In particolare:

1. *Le permanenze e le trasformazioni di alcuni centri dell'Abruzzo colpiti da eventi sismici nel corso del Novecento: Avezzano, L'Aquila e i comuni del circondario.*

Avezzano, distrutta e ricostruita dopo il sisma del 1915, è stata oggetto di una ricerca partita nel 2011, contestualmente alla pubblicazione degli studi sugli effetti del terremoto del 2009 sul patrimonio storico-architettonico dell'Aquila (Ciranna, Vaquero Pifeiro 2011), e agli approfondimenti storici su altri comuni danneggiati (Ocre, Barisciano, Collarmele), finalizzati alla redazione dei piani di ricostruzione.

Lo studio su Avezzano è stato svolto attraverso una dettagliata ricerca storico-archivistica e una schedatura del patrimonio edilizio, che ha mostrato con chiarezza l'interesse del ricco materiale raccolto, sistematizzato attraverso ampie schede di documentazione storico-architettonica dei manufatti e planimetrie a più livelli per l'individuazione degli stessi. Tali schede, oggi recepite nella disciplina urbanistica del comune di Avezzano quale strumento di conoscenza e salvaguardia, sono state inserite in un'ampia pubblicazione, edita nel 2015 in occasione del centenario dal sisma del 1915 (Ciranna & Montuori, 2015). In virtù dell'efficacia scientifica e operativa e della necessità, più volte segnalata, di un'estensione territoriale e temporale del precedente studio, incentrato, prevalentemente, sul centro storico di Avezzano e le architetture fino agli anni Quaranta, la ricerca è stata poi estesa nel 2019 con una lettura delle permanenze e delle trasformazioni nel centro urbano e del suo territorio, dal periodo post-bellico a oggi.

*2. L'attività di professionisti attivi nel territorio abruzzese e italiano: l'archivio dello studio Inverardi; l'architetto Ettore Rossi.*

L'archivio dello studio degli ingegneri Inverardi dell'Aquila, raccoglie la documentazione relativa a opere civili e infrastrutturali realizzate a cavallo dei due secoli, in Abruzzo e non solo, da una delle famiglie di tecnici di più lunga data nel panorama italiano. Il materiale dello studio era composto da strumentazione professionale, donata all'Ateneo e oggi al Polo Museale (POMAQ), e documenti cartacei, donati all'archivio di Stato dell'Aquila e di cui nel 2018 ha avuto avvio l'iter per il riconoscimento quale patrimonio documentale d'interesse storico da parte della Soprintendenza Archivistica e Bibliografica dell'Abruzzo. Il progetto svolto nel 2021 ha riguardato l'inventariazione e la sistematizzazione di tale documentazione, consistente in circa 300 faldoni contenenti progetti e perizie, corredati da cartografie, planimetrie, fotografie, che erano stati raccolti dai proprietari in scatoloni, composti con il solo criterio di salvare tale straordinaria testimonianza dopo il sisma che ha investito L'Aquila nel 2009. Obiettivo finale è l'elaborazione di un catalogo, in corso di redazione, quale strumento di conoscenza e divulgazione del ricco materiale inventariato, già oggetto di specifici contributi (Ciranna, Montuori, 2022), anche in vista di successive fasi di ricerca e studio.

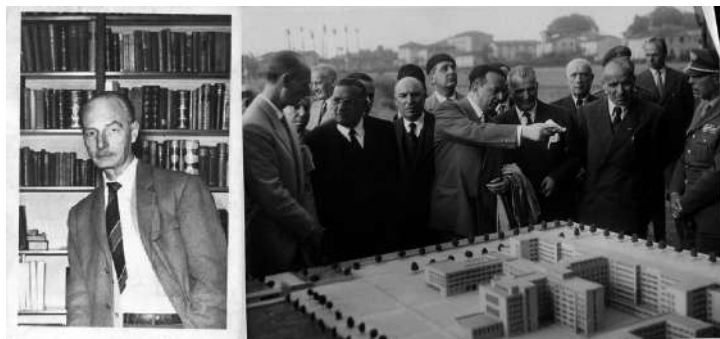


Figura 1. Ettore Rossi, presso il suo studio e mentre presenta il plastico del Policlinico di Modena nel 1951 (Archivio Storico Azienda Ospedaliero–Universitaria e Azienda USL di Modena).

L'architetto Ettore Rossi (Fig. 1), professionista attivo dal Centro al Nord Italia tra Ventennio e Dopoguerra, è il progettista della colonia montana IX Maggio, sede storica della Facoltà d'Ingegneria dell'Aquila (Montuori, 2020). Partendo da approfondimenti storico-architettonici sull'edificio aquilano (Fig. 2) e, in generale sulla tipologia delle colonie, già editi in vari contributi (tra cui: Montuori 2019; Ciranna, Montuori 2019), la ricerca in corso mira a delineare un esaustivo profilo biografico e professionale di questo protagonista dell'architettura italiana, anche attraverso la raccolta di materiale documentario inedito e riflessioni architettoniche e tecniche sulla sua ampia produzione in campo ospedaliero (Montuori, 2021).

### *3. Approfondimenti storico-architettonici su casi-studio: colonie climatiche di soggiorno; serbatoi e torri d'acqua.*

La ricerca, avviata nel 2017 nell'ambito dell'accordo internazionale tra l'Università degli Studi dell'Aquila e l'Università del Texas a San Antonio (UTSA), che ha finanziato una borsa di ricerca, ha riguardato i *sanatori e le colonie climatiche di soggiorno* costruiti durante il Ventennio in Italia, con particolare riferimento ai tre edifici abruzzesi (la colonia aquilana progettata da Rossi, la Stella Maris a Montesilvano – Pescara

– e la Rosa Maltoni Mussolini a Giulianova –Teramo-). Essa ha mirato a indagare questi edifici dal punto di vista storico-architettonico ma anche ad approfondire la conoscenza delle soluzioni tipologiche, architettoniche e costruttive adottate. La ricerca, oggetto di pubblicazioni e contributi in convegni internazionali, s’inserisce in un più ampio filone d’indagine riguardante le megastrutture, su cui si curerà una specifica sessione in occasione del X Congresso dell’Associazione Internazionale di Storia Urbana di Torino (6-10 settembre 2022).

La ricerca, svolta nel 2020, ha indagato *serbatoi e torri d’acqua*, strutture caratterizzate da una doppia valenza, tecnologica ma anche architettonica, che le ha rese elementi significanti del panorama urbano e territoriale contemporaneo. Nell’ambito dello studio si è delineata una prima mappatura dei casi più rilevanti presenti nel panorama italiano, per poi analizzare più in dettaglio le realizzazioni nel Lazio e, in particolare, a Roma, e in Abruzzo.



Figura 2. Colonia IX Maggio a Montelucio di Roio (L’Aquila), architetto Ettore Rossi. Vista dell’edificio allegata al progetto di ripristino del 1955 (Archivio Enti Soppressi presso l’Ispettorato Generale di Finanza, Roma).

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Gli studi esposti sono parte di una più ampia attività di ricerca condotta dall’Arch. Patrizia Montuori e dalla Prof.ssa Simonetta Ciranna attraverso contratti, assegni di ricerca e progetti RIA, anche in collaborazione con la Prof.ssa Carla Bartolomucci, afferente al settore scientifico disciplinare ICAR/19.

**BIBLIOGRAFIA**

- Ciranna S., Vaquero Piñeiro M. (a cura di) (2011). L'Aquila oltre i terremoti. Costruzioni e ricostruzioni della città. *Città&Storia*, VI (1).
- Ciranna S., Montuori P. (2015). *Tempo, spazio e architetture. Avezzano cento anni o poco più*. Editoriale Artemide, Roma.
- Montuori P. (2019). Costruire e ricostruire in Italia centrale: il primo Novecento fra tradizione e modernità. *Materiali e strutture. Problemi di Conservazione. Tecniche e architettura nel tempo*, 15, VIII (2019), 87-107.
- Montuori P. (2019). Al mare e ai monti contro il 'mal sottile'. Tipologia, architettura e controllo ambientale dagli ospizi ottocenteschi alle colonie del ventennio fascista in Italia e Abruzzo. *La Storia incontra la scienza tra l'Abruzzo e il Texas: Architettura, Restauro e Controllo Ambientale del Costruito Storico-History meets Science between Abruzzo and Texas: Architecture, Restoration and Environmental control of Historical Buildings*, a cura di S. Ciranna, A. Lombardi, P. Montuori, Edizioni Quasar, Roma: 65-78.
- Ciranna S., Montuori P. (2019). Healthy and Beautiful. Italian Colonies during the Fascist Period: two Architectures between Abruzzi's Mountain and Sea. *ArcHistoR architettura storia restauro - architecture history restoration*, VI (11): 53-87.
- Montuori P. (2020). Dalla salute all'istruzione della "meglio gioventù", dalla Colonia Montana IX maggio a Monteluco di Roio alla Facoltà d'Ingegneria dell'Università dell'Aquila. *Palladio Rivista di storia dell'Architettura e Restauro*, II (61-62): 105-112.
- Montuori P. (2021). Ettore Rossi. Opere e scambi professionali, tra Ventennio e Dopoguerra. *Studi e Ricerche di Storia dell'Architettura. Rivista della Società degli Storici dell'Architettura in Italia*, 9: 54-67.
- Ciranna S., Montuori P. (2022). L'Hotel Castello dell'ingegner Pier Luigi Inverardi (1961-1971) in piazza della Fontana luminosa. Turismo e boom economico a L'Aquila. *Bollettino AAA Italia (Associazione Nazionale Archivi Architettura Contemporanea)* (in uscita).

## Cultural Inheritance: restauro e riconoscimento dei valori

CARLA BARTOLOMUCCI  
(CARLA.BARTOLOMUCCI@UNIVAQ.IT)  
SSD: ICAR/19 - Restauro

### PAROLE CHIAVE

Eredità culturale, *difficult heritage*, ricostruzioni, salvaguardia, interesse culturale.

Negli ultimi decenni gli interessi sul patrimonio culturale sono sempre più diffusi in senso transdisciplinare, ma mentre aumentano i diversi contributi specialistici che intrecciano le ricerche su aspetti specifici relativi all'intervento sui beni culturali, la riflessione su cosa determini il valore culturale di tale patrimonio, sugli aspetti materiali e immateriali che ne motivano la conservazione, infine su come questa debba essere realizzata ai fini di un'effettiva salvaguardia per le generazioni future è tuttora oggetto di approfondimenti specifici nel ssd ICAR/19.

Il riconoscimento dell'interesse culturale stabilito con decreti di tutela è l'atto finale di un processo avviato con la conoscenza e lo studio di luoghi spesso non ancora considerati come beni culturali (edifici, manufatti in rovina, siti urbani o extraurbani) per i quali tale identificazione non appare immediatamente comprensibile a causa di motivi diversi (mancata conoscenza, memorie e interpretazioni controverse, stato di abbandono, etc.). In tal senso, l'indagine storica condotta nell'ambito del restauro presenta alcune specificità legate alla storia costruttiva e conservativa di monumenti e siti allo scopo di comprenderne meglio il si-

gnificato, le caratteristiche costruttive, le vulnerabilità, quindi proporre opportune modalità di intervento conservativo.

Per i motivi suddetti, le ricerche sviluppate di recente nel DICEAA all'interno dell'ambito disciplinare ICAR/19 hanno riguardato in particolare, oltre alle questioni di conservazione, gli aspetti relativi all'identificazione del significato culturale dei singoli luoghi soprattutto nei casi in cui la percezione dei valori risulta difficile o controversa. Gli ambiti di sperimentazione della ricerca possono riassumersi di seguito:

- ricostruzioni e salvaguardia del valore culturale dei luoghi: il confronto tra ricostruzioni storiche e attuali in luoghi e circostanze diverse consente di verificare le premesse concettuali su cui sono basate le ricostruzioni e gli esiti stessi (recupero della funzionalità, miglioramento prestazionale, sviluppo socio-economico, conservazione e valorizzazione dell'identità dei luoghi). L'indagine in tal senso, svolta attraverso esperienze di ricerca diverse, ha evidenziato che in tali circostanze la tutela del significato culturale dei luoghi è da considerarsi tutt'altro che acquisita poiché dipende sia dalla preventiva consapevolezza dei valori specifici dei luoghi, sia dalla possibilità di realizzare approfondimenti di studio durante la ricostruzione stessa (Fig. 1a e Fig. 1b). Tuttavia nella prassi le esigenze concrete legate al recupero della funzionalità tendono a prevalere sulle necessità culturali, determinando scelte di conservazione oppure di abbandono e distruzione basate su questioni economiche estranee alla riflessione culturale.
- pericolosità, degrado e rischio antropico: mentre i rischi legati alle caratteristiche territoriali sono già da tempo oggetto di approfondimenti disciplinari specifici, i rischi prodotti dalle azioni antropiche sul costruito storico risultano meno conosciuti e difficilmente classificabili. Eppure, il degrado antropico è una realtà ben visibile che produce innegabile rovina; oltre al degrado causato dall'abbandono o da interventi inadeguati, l'osservazione dei danni verificatisi in occasione degli eventi sismici del 2009 e del 2016-17 (come pure dei guasti e delle riparazioni verificatisi in occasione di terremoti passati) ha evidenziato numerose vulnerabilità introdotte da interventi nocivi o incompatibili con le caratteristiche costruttive degli edifici storici, come gli scassi nelle murature per la realizzazione di impianti, le riduzioni di porzioni murarie per nuove aperture o l'ampliamento di quelle esistenti, i rinforzi inadeguati, etc.

- *difficult heritage*, mancati riconoscimenti e riflessioni sui valori e le potenzialità inespresse; tale linea di ricerca è rivolta a luoghi di difficile interpretazione, in cui la percezione dei valori risulta particolarmente critica perché connessa a utilizzi e memorie che si vorrebbe rimuovere, in cui logiche esclusivamente funzionali hanno determinato l'abbandono oppure usi fuorvianti (Fig. 1c). Tale ricerca è stata sviluppata attraverso lo studio del Cimitero monumentale della città e di molti altri luoghi trascurati, mentre attualmente è in corso lo studio dell'ex ospedale psichiatrico dell'Aquila in relazione ad altri ex manicomio in Italia (in collaborazione con altri Atenei).
- monumentalità del paesaggio montano e valori culturali delle Terre Alte; questa linea di ricerca è rivolta alla salvaguardia di un patrimonio naturale a rilevante rischio antropico a causa di azioni e frequentazioni non compatibili e in crescita rapida. Al fine di suscitare una riflessione transdisciplinare su tale tematica è stata proposta una sessione specifica nel Congresso Internazionale AISU (Torino 2022): *Il paesaggio montano tra contemplazione eremitica, attrazione estetica e conquista sportiva: percezioni e trasformazioni delle Cattedrali della Terra*.



Figura 1. (a) Uno dei volumi dell'ICOMOS-ICCROM Joint Project on Reconstruction (2020). (b) La monografia “Terremoti e resilienza nell’architettura aquilana” (2018). (c) Il volume “Giardini di pietre” curato con S. Ciranna (2021).

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Collaborazioni esterne: Alessia Placidi (Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Protezione Civile), Barbara Malandra (SABAP-AQ), Mariangela De Vita (CNR-ITC).

Collaborazioni con altri Atenei: Roma-Sapienza, Parma, Venezia-IUAV, Cagliari, Napoli-Federico II.

Collaborazioni interne: SSD ICAR/18 e ICAR/14.

Accordi di collaborazione con: Comune dell'Aquila - Settore Ricostruzione Pubblica, Comune di Pacentro.

Fondi a supporto della ricerca: RIA 2019-2022.

## BIBLIOGRAFIA

Bartolomucci C. (2021). Historical Town Centres and Post-seismic Reconstructions: between Functional Recovery and Heritage Value Awareness. *Historic Cities in the Face of Disasters. Reconstruction, Recovery and Resilience of Societies*, The Urban Book Series, Springer, Switzerland: 227-244.

Bartolomucci C. (2020). The conservation of palazzo Carli Benedetti after the 2009 earthquake in L'Aquila - Italy, *Analysis of Case Studies in Recovery and Reconstruction*, ICCROM and ICOMOS, 1: 90-111.

Bartolomucci C. (2021). L'uso dei mattoni nell'Abruzzo aquilano. Primi riscontri mensiocronologici. *Tiziano Mannoni. Attualità e sviluppi di metodi e idee*, All'Insegna del Giglio, Firenze, 1: 39-45.

Bartolomucci C. (2020). Lacuna e restauro. Questioni di metodo. *Arte muraria tradizionale in Sardegna. Conoscenza, conservazione, miglioramento*, Gangemi, Roma, 183-188.

Bartolomucci C. (2020). Spopolamento e abbandono nei paesi montani d'Abruzzo: degrado e risorsa. Un processo reversibile?, *ArcHistoR Extra*, 7: *Un paese ci vuole. Studi e prospettive per i centri abbandonati e in via di spopolamento* supplemento di «ArcHistoR» 13: 1694-1721.

Bartolomucci C. (2021). La Cascina di Margherita d'Austria a L'Aquila, tra persistenza fisica e oblio: la trasformazione di un luogo urbano non

- ‘riconosciuto’. *La Città Palinsesto. Tracce, sguardi e narrazioni sulla complessità dei contesti urbani storici*, FedOA - Federico II University Press, Napoli: 733-742.
- Bartolomucci C. (2021). Giardini di pietre: manutenzione, conservazione, restauro dei cimiteri storici. *Restauro Archeologico*, XXIX, *Giardini storici: Esperienze, ricerca, prospettive, a 40 anni dalla Carta di Firenze*: 136-141.
- Bartolomucci C. (2019). Walking through the Cultural Landscape: from the pilgrimages to the conquest of the “Cathedrals of the Earth”. *Conservation/Consumption: Preserving the tangible and intangible values*, European Association for Architectural Education, EAAE *Transactions on Architectural Education* no. 66, Hasselt (Belgium): 45-48.
- Bartolomucci C. (2019). John Ruskin e le “Cattedrali della Terra”: le montagne come monumento. *Restauro Archeologico*, 1, Special Issue: *Memories on John Ruskin. Unto this last*: 18-25.
- Bartolomucci C. (2019). Uso, disuso, abuso: la tutela del paesaggio montano e l’adeguamento dei rifugi alpine. *Il patrimonio culturale in mutamento. Le sfide dell’uso*, Arcadia Ricerche, Venezia: 1017-1026.

# Acciaio e patrimonio architettonico. Culture costruttive e risorse digitali

MATTEO ABITA

(MATTEO.ABITA@UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/10 – Architettura tecnica

PAROLE CHIAVE

Acciaio, architettura, patrimonio, censimento, riqualificazione.

I materiali ferrosi hanno svolto fin dal XIX secolo un ruolo di primo piano nello sviluppo dell'architettura nel contesto internazionale, grazie all'innovazione nell'apparecchiatura costruttiva, al cambiamento delle prassi realizzative e alla partecipazione attiva nell'evoluzione di nuovi codici figurativi ed espressivi (Fry, 2015; Boake, 2013). Anche in Italia l'uso delle tecnologie metalliche ha rappresentato un campo di ricerca e di sperimentazione progettuale che, seppur caratterizzato da episodi circoscritti e discontinui a causa dei problemi di carattere produttivo e del *background* culturale, ha contribuito alla definizione di un patrimonio architettonico di rilevante interesse scientifico, indagato però marginalmente rispetto all'impiego di tecnologie maggiormente diffuse nel panorama nazionale e meritevole oggi di interventi mirati alla riqualificazione sostenibile (Jodice, 1985; Gandolfi, 1988). La ricerca intende perciò indagare il quadro articolato e complesso della cultura tecnologica connessa a questo patrimonio, ricostruendo le vicende relative al progetto e alla costruzione delle architetture con struttura in acciaio realizzate in Italia e fornendo strumenti operativi in grado di governare processi di valorizzazione e trasformazione anche nell'ottica della sostenibilità, al fine di sollecitare la progressiva definizione di un osservatorio della co-

struzione metallica che possa rappresentare un punto di riferimento per la comprensione dei processi relativi agli sviluppi evolutivi della cultura tecnologica dell'acciaio.

Elementi di indagine fondamentali per la ricerca sono il rapporto tra tecnologia e linguaggi formali, lo studio della committenza e degli attori della progettazione e della costruzione, nonché del contesto urbano di riferimento. In un Paese che conosce un percorso piuttosto travagliato per la diffusione dei materiali ferrosi per ragioni di carattere produttivo, si aggiungono difficoltà di natura culturale legate all'assimilazione di nuovi codici formali ed è possibile evidenziare il dialogo tra linguaggi d'importazione e apparati espressivi di sedimentazione relativi alla tradizione architettonica e costruttiva. Il profilo della committenza pubblica o privata e le richieste da essa formulate all'interno del processo edilizio sono dati necessari per conoscere le ragioni della scelta dell'acciaio, il coinvolgimento degli attori responsabili della progettazione architettonica e strutturale e delle imprese responsabili dell'esecuzione dei lavori, con particolare riguardo a quelle relative alla fornitura e al montaggio della carpenteria metallica (Morganti et al., 2018).



Figura 1. Architettura in acciaio e documentazione d'archivio alla scala del dettaglio costruttivo: a sinistra la sede direzionale della Rai a Torino e a destra il palazzo dell'Enpam a Roma (Archivio Rai, Archivio Centrale dello Stato).

Il contesto urbano riveste un ruolo decisivo nella scelta di una determinata configurazione architettonica e le potenzialità espressive dell'acciaio sono spesso declinate secondo i caratteri costitutivi della città, che rappresenta un interlocutore fondamentale utile a conferire caratteri di distinzione e originalità all'architettura di cui è interprete (Abita, 2020).

La metodologia della ricerca è articolata generalmente in tre fasi. La prima prevede il censimento delle opere, il loro inquadramento nel panorama normativo e tecnologico, dell'epoca e attuale, nonché l'acquisizione della documentazione relativa al progetto alla scala del dettaglio costruttivo (Fig. 1). Per questa fase è essenziale un'approfondita ricerca bibliografica e archivistica, con la consultazione dei fondi d'impresa e degli attori coinvolti nella progettazione, delle riviste storiche di architettura e di ingegneria, nonché della manualistica del tempo relativa ai procedimenti costruttivi (Abita & Morganti, 2021).

L'acquisizione di questi dati consente la seconda fase relativa alla catalogazione e alla restituzione in ambiente digitale di casi di studio selezionati (Fig. 2). Per consentire infatti la fruibilità di strumenti operativi utili a programmare interventi di riqualificazione del patrimonio, le architetture che ricorrono all'uso dell'acciaio possono essere modellate con l'impiego delle metodologie BIM-HBIM consolidate o con la definizione di nuovi approcci operativi in grado di riportare i caratteri e le peculiarità delle opere, talvolta espressione degli iniziali processi di innovazione del settore edilizio sia in termini di processo che di prodotto nella particolarità delle vicende del contesto italiano (Morganti et al., 2019a).

La terza fase riguarda la fruizione dei modelli per estendere la conoscenza del patrimonio e per la formulazione di linee guida utili a una progettazione integrata finalizzata alla riqualificazione architettonica e al miglioramento dei livelli prestazionali tenendo conto del valore storico e tecnologico delle opere, nonché per la valutazione delle possibilità di trasformazione o recupero seguendo prassi progettuali applicate in ambito internazionale nel campo degli edifici a struttura metallica (Abita et al., 2021; Morganti et al., 2019b).

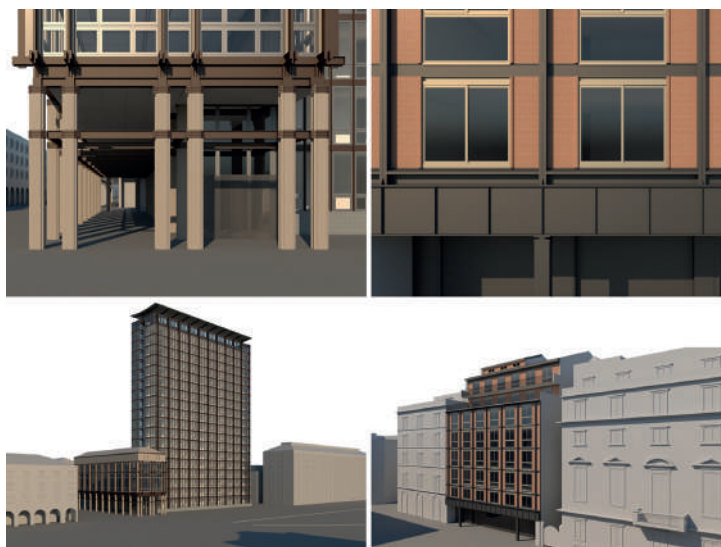


Figura 2. La restituzione dei due casi di studio mediante risorse digitali al fine di fornire strumenti operativi utili alle attività di divulgazione, valorizzazione e recupero sostenibile del patrimonio (Elaborazioni dell'autore).

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Componenti del gruppo di ricerca: Prof. Renato Morganti, Prof.ssa Alessandra Tosone, Prof. Danilo Di Donato, Ing. Ph.D. Matteo Abita. Collaborazioni esterne: Comitato editoriale e scientifico della rivista *Costruzioni Metalliche*, Milano. Fondazione Dalmine, Dalmine (BG). Fondazione Promozione Acciaio, Milano. Servizio Immobili della Banca d'Italia, Roma.

Progetti attivi correlati alla ricerca: Ricerca di Rilevante Interesse di Ateneo dal titolo "Cultura della costruzione metallica. Valorizzazione, riqualificazione architettonica ed energetica di patrimoni del Novecento italiano", con responsabili scientifici il Prof. Renato Morganti e la

Prof.ssa Alessandra Tosone (dal 2016). Assegno di Ricerca dal titolo “Cultura della costruzione metallica. Strumenti digitali per la valorizzazione e riqualificazione del patrimonio pubblico”, con responsabile scientifico la Prof.ssa Alessandra Tosone (dal 2018).

## BIBLIOGRAFIA

- Abita M. (2020). *Acciaio e città. Roma 1945-1980*. Collana Culture costruttive per il recupero sostenibile, Edicom Edizioni, Monfalcone (GO).
- Abita M., Morganti R. (2021). Pneumatic foundations in the bridges of the first Italian railways. *Proceedings of Seventh International Congress on Construction History (7ICCH), Lisbon, Portugal 12-16 July 2021, CRC Press/Balkema, Leiden, The Netherlands, vol. 2: 122-129.*
- Abita M., Tosone A., Morganti M., Di Donato D. (2021). Patrimoni e memoria. Ricostruzione virtuale dei ponti in ferro romani del XIX secolo. *Colloqui.AT.e 2021 - Progetto e Costruzione. Tradizione ed innovazione nella pratica dell'architettura, Salerno, 8-11 settembre 2021, Edicom Edizioni, Monfalcone (GO): 718-733.*
- Fry T., Willis A. (2015). *Steel: a design, cultural and ecological history*. UK: Bloomsbury Publishing.
- Gandolfi V. (1988). *L'Acciaio nell'architettura*. Italia: SiderServizi.
- Jodice R. (1985). *L'architettura del ferro: l'Italia (1796 - 1914)*. Italia: Bulzoni Editore.
- Meyer Boake T. (2013). *Understanding steel design: an architectural design manual*. Germany: De Gruyter.
- Morganti M., Tosone A., Di Donato D., Abita M. (2018). *Acciaio e committenza. La costruzione metallica in Italia 1948-1971*. Collana Culture costruttive per il recupero sostenibile, Edicom Edizioni, Monfalcone (GO).
- Morganti M., Tosone A., Di Donato D., Abita M. (2019a). HBIM and the 20th century steel building heritage. A procedure suitable for the construction history in Italy. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 62 (W15): 515-522.

Morganti M., Tosone A., Abita M., Di Donato D. (2019b). Osservatorio sulla costruzione metallica e procedure BIM. Il caso studio di una scuola di Pietro Barucci a Ostia. *Colloqui.AT.e 2019 - Ingegno e costruzione nell'epoca della complessità, Forma urbana e individualità architettonica, Torino, 25-28 Settembre 2019, Edizioni Politecnico di Torino, Torino: 638-647.*

# Culture della costruzione metallica del Novecento in Italia

ALBA FAGNANI

(ALBA.FAGNANI@GRADUATE.UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/10 - Architettura tecnica

PAROLE CHIAVE

Costruzione metallica, città, tecnologia.

Il progetto di ricerca intende fornire un contributo specifico alla storia della costruzione metallica, analizzandone le peculiarità tecnologiche e formali con riferimento al rapporto con la città del Secondo Novecento. Lo studio, in particolare, esamina le declinazioni della costruzione in acciaio, per meglio comprendere le relazioni che intercorrono tra di essa e le condizioni proprie di un contesto urbano consolidato, dando evidenza, in termini sia quantitativi che qualitativi, del patrimonio architettonico ascrivibile a una tecnologia diversa dalla tradizione costruttiva più diffusa, indagando quali fattori abbiano favorito lo sviluppo della tecnica e quali ne abbiano invece limitato una compiuta affermazione. Nel quadro delineato, l'obiettivo di più ampio respiro è offrire un contributo a un futuro osservatorio della costruzione metallica in Italia.

In continuità con il lavoro del gruppo di ricerca, in particolare con i filoni inerenti alla sperimentazione tecnologica nell'architettura italiana del secondo dopoguerra, al rapporto tra acciaio e città, alle relazioni tra acciaio e materia antica tra dissimulazione e svelamento e alle declinazioni in edifici alti, lo studio considera l'evoluzione del dialogo tra costruzione metallica e contesto urbano, prendendo in esame la città di Bolo-

gna come caso paradigmatico. In virtù dei suoi caratteri territoriali e del ruolo di snodo baricentrico rispetto ai flussi commerciali della penisola (AA.VV., 1965), l'analisi di tale sistema consente infatti di impostare uno studio emblematico della correlazione tra tecnologia costruttiva e sviluppo urbano. In questa prospettiva, la mappatura e lo studio delle più significative applicazioni del secolo scorso, caratterizzato da un notevole grado di maturità tecnica e figurativa, costituiscono degli utili strumenti per veicolare una più consapevole lettura della tecnologia e dei linguaggi formali ad essa propri.

In un contesto urbano che si consolida e resta sostanzialmente incluso nella cinta muraria fino alle soglie del Novecento (AA.VV., 1965), il ricorso alla struttura metallica nella seconda parte del secolo si diffonde perlopiù con un carattere episodico, seguendo la circolazione della tecnologia in Italia, e dettato dalle potenzialità figurative e strutturali del materiale, spesso applicato in combinazione con altri propri della tradizione costruttiva locale, quali il laterizio. La stessa configurazione della città felsinea, caratterizzata da un tessuto storico fortemente denso e riconoscibile e da meno composte espansioni residenziali e industriali, suggerisce di operare una catalogazione critica degli edifici che asseconi la dicotomia tra gli interventi realizzati intra ed extra moenia. I primi, accomunati da un linguaggio formale a scala urbana e da scelte tecnologiche conseguentemente più misurate e coerenti con il contesto edilizio; i secondi, complice un rigore urbanistico più blando, caratterizzati da proporzioni costruttive più generose, come nel caso dei poli delle ex fonderie Sabiem o delle ex officine Minganti (Casciato et al., 2005).

Tra altre figure significative, la cultura edilizia della città di Bologna è indissolubilmente legata a Enzo Zacchiroli (Trivellin, 2002), autore di progetti eccellenti quali la Johns Hopkins University (Fig. 1), suo primo edificio ultimato nel 1960, e la sede della SIP, un organismo in cemento armato e fronti caratterizzati da lastre in acciaio Corten. Nel 1972 Giuseppe Vaccaro e Annibale Vitellozzi realizzano la struttura della piscina Sterlino, con travi reticolari bidimensionali in acciaio che scandiscono lo spazio.



Figura 1. Bologna: Johns Hopkins University, il blocco della biblioteca (Trivellin, 2002).

Caso emblematico di applicazione della costruzione metallica nel contesto extraurbano è la Fiera di Bologna. Posto al margine dell'espansione nord della città, il quartiere fieristico occupa un ruolo di rilievo nel bilanciamento di pesi dei diversi comparti della città e, in virtù dell'elevata concentrazione di declinazioni tecnologiche e figurative del materiale acciaio, offre spunti significativi per un approfondimento verticale della ricerca.

Nel Secondo dopoguerra, le energie delle amministrazioni bolognesi sono concentrate sulla ricostruzione del centro storico, con conseguente marginalizzazione del dibattito sulla promozione di un sistema fieristico unitario in grado di risolvere la dispersione delle sedi campionarie verificatesi nei decenni precedenti. Gli anni del boom economico segnano la ripresa del dialogo sulla collocazione della fiera, tema di crescente importanza nella transizione dall'economia contadina a quella industriale e coerente con la volontà di adottare un nuovo P.R.G. nel 1955. Nel 1964 inizia la costruzione dei primi dieci padiglioni espositivi, su progetto di Leonardo Benevolo, Tommaso Giura Longo e Carlo Melograni, in una vasta area da destinare a parco e a funzioni attrezzature complementari (Benevolo et al., 1964). Strutture metalliche leggere rispondono all'esigenza funzionale della luce libera (Fig. 2), avvolgendo il visitatore nella chiarezza e nella riconoscibilità figurativa dei padiglioni (Benevolo et al., 1969). Negli anni, il quartiere fieristico si arricchisce di nuovi spazi espositivi, alcuni attualmente in via di completamento, e costituisce un vivo e prezioso catalogo dell'applicazione delle strutture in acciaio in Italia.

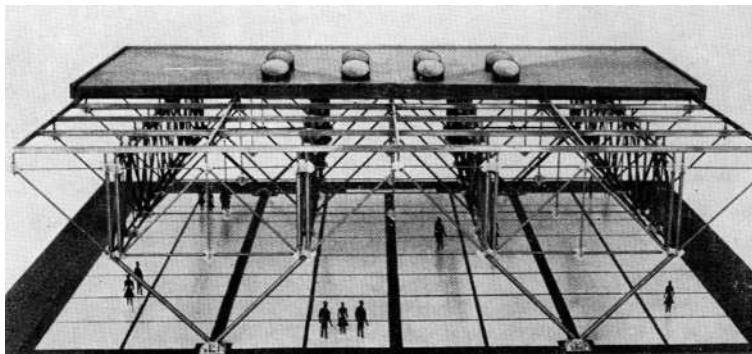


Figura 2. Bologna: il quartiere fieristico, modello di studio 1:20 della struttura  
(Benevolo et al., 1969).

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Componenti del gruppo di ricerca: Prof. Renato Morganti, Prof.ssa Alessandra Tosone, Prof. Danilo Di Donato, Ph.D. Matteo Abita, Ing. Arch. Alba Fagnani.

Principali collaborazioni attive esterne: Comitato editoriale e scientifico della rivista *Costruzioni Metalliche*, Milano, Fondazione Dalmine, Dalmine (BG), Fondazione Promozione Acciaio, Milano, Servizio Immobili della Banca d'Italia, Roma.

## BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1965). *Un nuovo quartiere per una fiera nuova*. Ente autonomo per le fiere di Bologna, Bologna
- Casciato M., Orlandi P. (a cura di) (2005). *Quale e quanta: architettura in Emilia-Romagna nel secondo Novecento*, CLUEB, Bologna: 30-32
- Trivellin E. (2002). *Enzo Zacchioli: Johns Hopkins University*. Alinea, Firenze
- Benevolo L., Giura Longo T., Melograni C. (1964). *Progetto per il nuovo quartiere fieristico di Bologna*. Casabella-Continuità, 289: 34-37
- Benevolo L., Giura Longo T., Melograni C. (1969). *Quartier des expositions de Bologne*. *L'architecture d'aujourd'hui*, 141: 19-35.

# **Dalla circolarità alla resilienza: strumenti agili per la sostenibilità dell'ambiente costruito**

VIRGINIA LUSI

(VIRGINIA.LUSI@GRADUATE.UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR 10 - Architettura tecnica

PAROLE CHIAVE

Ambiente costruito, sostenibilità, circolarità, resilienza.

Lo scenario contemporaneo, caratterizzato dall'estremizzazione dei fenomeni climatici che si manifestano con eventi sempre più frequenti e catastrofici, seppur lentamente, sta inducendo alla presa di coscienza del problema del riscaldamento globale e delle drammatiche conseguenze che esso comporta in termini di perdita di biodiversità e di sopravvivenza dell'umanità sul Pianeta. La risoluzione di un problema così evidente e prioritario presuppone però la messa in atto di una molteplicità di strategie e di azioni in grado di intervenire sulle complesse interconnessioni che governano il rapporto tra dinamiche ambientali e bisogni umani.

Le discipline dell'ingegneria e dell'architettura offrono apparati teorici e strumenti operativi essenziali per comprendere e affrontare le criticità che emergono nella contemporaneità. Da tali ragioni consegue la scelta di indagare il tema della trasformazione del costruito secondo criteri di sostenibilità, declinando i paradigmi dell'economia circolare e della resilienza ai cambiamenti climatici nella dimensione edilizia. Quello delle costruzioni è indubbiamente uno dei settori dalla considerevole rilevanza in termini di consumo di risorse e produzione di rifiuti. Per tale ragione diviene indispensabile ricercare i meccanismi che ne regolano le

dinamiche di trasformazione per attivare processi di gestione sostenibile che non siano limitati alla sola nuova costruzione, ma che riguardino l'intero ambiente costruito inteso come dimensione atta a garantire il permanere delle relazioni tra habitat naturale ed antropico, dalla scala più ampia del territorio alla dimensione più contenuta del componente edilizio, e di assicurare la convergenza delle componenti sociali, economiche ed ambientali.

L'obiettivo cardine della ricerca è quello di attivare i criteri di resilienza e di circolarità all'interno di un processo di gestione corretto dell'ambiente costruito comprendendo quali aspetti dei due paradigmi possano risultare sinergici e quali frutto di relazioni reciproche con il fine di garantire una trasformazione sostenibile che tenga conto di tutte le componenti coinvolte (Fig. 1). L'adozione di questo approccio è finalizzata a superare la tradizionale visione specialistica delle questioni in favore di una più unitaria scaturita da una concezione sistemica, multidisciplinare e multi-scalare, che restituisca una lettura sinergica dei criteri di resilienza e di circolarità nelle reciproche relazioni che si concretizzano nella dimensione dell'ambiente costruito.

Il raggiungimento di questo obiettivo appare possibile attraverso la costruzione di strumenti speditivi per la valutazione della sostenibilità dell'ambiente costruito che, pur tenendo conto della complessità del tema, riescano ad offrire criteri guida in tutte le fasi del processo progettuale e siano in grado di indirizzare verso soluzioni operative efficaci rispetto ai temi della resilienza e della circolarità.

L'indagine è stata strutturata secondo tre momenti distinti e consequenziali. Una prima fase di studio della recente ma cospicua letteratura relativa a definizioni teoriche ed operative sul tema della sostenibilità, documenti strategici e di indirizzo, quadri normativi di riferimento (Fig. 2) con il fine di riorganizzare ed elaborare una proposta di ricerca indirizzata a colmare le specifiche criticità evidenziate nella fase di sistematizzazione dello stato dell'arte. La fase successiva della ricerca ha riguardato la messa in atto del metodo di definizione di uno strumento per la valutazione dei criteri di sostenibilità per integrare i concetti di resilienza e circolarità a tutti i livelli di operabilità dell'ambiente costruito, semplificare la valutazione mantenendo una visione multisettoriale e fornire

un supporto utile a indirizzare processi decisionali mirati alla gestione del costruito esistente. Una terza fase ha infine riguardato la validazione dello strumento agile rispetto ad un caso studio individuato nel Progetto CASE a L'Aquila, realizzato a seguito del sisma che ha colpito il territorio aquilano nel 2009. Tale applicazione potrebbe risultare vantaggiosa, preliminarmente, per la valutazione dell'attuale potenziale di resilienza e circolarità, successivamente, indirizzare efficacemente gli interventi di riconversione di quel patrimonio costruito, il quale, a oltre dieci anni dalla sua costruzione, ha evidenziato criticità sia in termini conservativi che funzionali.

La ricerca, di fatto, auspica il miglioramento dell'applicabilità dei principi di sostenibilità nell'ambiente costruito, fornendo un contributo rilevante al processo decisionale di definizione degli interventi sul costruito attraverso la costruzione di uno strumento di sintesi per comprendere le potenzialità del patrimonio esistente e stabilire le sorti future secondo logiche sostenibili ed adattive.

RELAZIONE TRA INDICATORI DI CIRCOLARITÀ E RESILIENZA

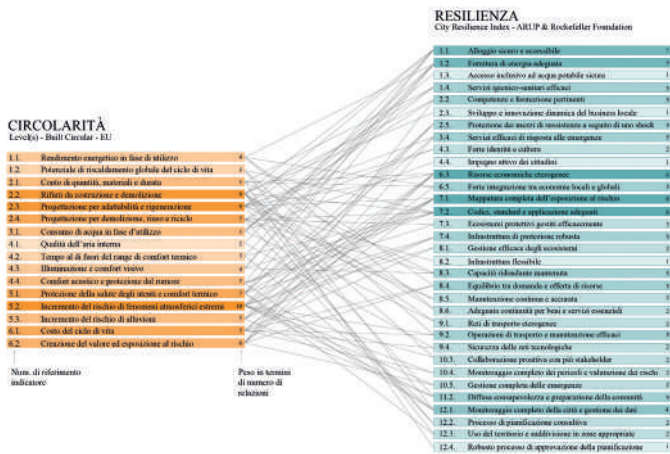


Figura 1. Individuazione delle relazioni tra gli indicatori di Circolarità e di Resilienza rispetto a due documenti di indirizzo: Level(s) EU e City Resilience Index di Arup.

	SISTEMA INSEDIATIVO	SISTEMA EDILIZIO	SISTEMA MATERIALE
SOSTENIBILITÀ	<b>ISO 21929-1: 2011</b> Sustainability in building construction — Sustainability indicators	<b>ISO 21931-1: 2010</b> Sustainability in building construction — Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works Part 1: Buildings	<b>ISO 21930: 2007</b> Sustainability in building construction — Environmental declaration of building products
CIRCOLARITÀ	<b>BS 8001: 2017</b> “Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations”	<b>ISO 20887: 2020</b> Design for disassembly and adaptability - Principles, requirements, and guidance  <b>UNI/PdR 75:2020</b> Metodologia per la decostruzione selettiva e il recupero dei rifiuti in un’ottica di economia circolare	<b>ISO 14040: 2020</b> Life cycle assessment - Principles and framework  <b>ISO 14044: 2018</b> Life cycle assessment -Requirements and guidelines
RESILIENZA	<b>UNI ISO 37123:2019</b> Indicators for resilient cities  <b>PD ISO/TR 22370:2020</b> Security and resilience — Urban resilience — Framework and principles	<b>ISO/TR 22845: 2020</b> Resilience of buildings and civil engineering works	<b>BS ISO 22383:2020</b> Security and resilience. Authenticity, integrity and trust for products and documents.

Figura 2. Articolazione del quadro normativo di riferimento secondo i tre livelli di operabilità dell’ambiente costruito: sistema insediativo, edilizio e materiale.

## GRUPPO DI RICERCA

Gruppo di ricerca: Prof. Renato Morganti, Prof.ssa Alessandra Tosone, Prof. Danilo Di Donato.

Fondi a supporto della ricerca: Borsa di Dottorato.

Tutor didattici: Prof.ssa Alessandra Tosone, Prof. Danilo Di Donato.

## BIBLIOGRAFIA

- Bompan E., Brambilla I. (2021). Che cosa è l’economia circolare. Edizioni Ambiente, Milano.
- Butera F. (2021). Affrontare la complessità. Per governare la transizione ecologica. Edizioni Ambiente, Milano.
- Cavallo R. (2021). Le parole della Transizione Ecologica. Un lessico per l’economia circolare. Edizioni Ambiente, Milano.
- Carta M. (2021). Città aumentate. Dieci gesti-barriera per il futuro. Il Margine, Trento.

- Dall'Ò G. (a cura di), (2016). Leadership in Green Building. I progetti certificati Leed in Italia”. Edizioni Ambiente, Milano.
- Di Battista V. (2006). Ambiente costruito. Alinea Editrice, Milano.
- Monsu' Scolaro A. (2017). *Progettare con l'esistente. Riuso di edifici, componenti e materiali per un processo edilizio circolare*. Franco Angeli, Milano.
- Mezzi P., Pellizzaro P. (2016) La città resiliente: Strategie e azioni di resilienza urbana in Italia e nel Mondo. Altreconomia editore, Milano.
- Tucci F., Cecafosso V., Caruso A., Turchetti G. (2020). Adattamento ai cambiamenti climatici di architetture e città green. Assi strategici, indirizzi, azioni d'intervento per la resilienza dell'ambiente costruito. Franco Angeli, Milano
- Turino R. (a cura di) (2010). L'Aquila – Il Progetto C.A.S.E., IUSS Press, Pavia.

# Modelli e metodi per la meccanica non lineare delle strutture

ARNALDO CASALOTTI

(ARNALDO.CASALOTTI@UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/08 - Scienza delle costruzioni

## PAROLE CHIAVE

Dinamica strutturale, omogeneizzazione, ottimizzazione topologica, controllo delle vibrazioni, aeroelasticità.

L'attività centrale del gruppo di ricerca è incentrata sullo sviluppo, da un lato, di strumenti metodologici d'indagine finalizzati all'approfondimento della conoscenza di aspetti complessi del comportamento statico e dinamico delle strutture e dell'interazione tra dinamica e danno, dall'altro, di tecniche d'intervento migliorative delle prestazioni meccaniche delle strutture, soprattutto con l'ausilio di materiali e dispositivi innovativi.

Con questi propositi, i principali temi di ricerca trattati dal gruppo, nel quale sono coinvolti attivamente ricercatori e dottorandi, vengono descritti nel seguito.

## PROGETTO MULTI-SCALA DI SOLIDI MICRO-STRUTTURATI

F. D'Annibale, A. Casalotti, G. Rosi (UPEC, Francia)

Bando PON AIM n. AIM1894130-1

Il recente sviluppo nel campo della ottimizzazione topologica ha permesso negli ultimi anni di fabbricare metamateriali ultraleggeri sfruttando una microstruttura interna di tipo "truss". Queste strutture, generalmente molto deformabili, permettono di mitigare l'effetto di carichi

dinamici tipo impatti o esplosioni. Le microstrutture proposte prevedono l'utilizzo di diversi tipi di celle elementari, tra cui le più studiate sono quelle esagonali. Per studiare questo tipo di solidi si ricorre a tecniche di omogeneizzazione, tra cui una di quelle maggiormente diffuse è basata sulla teoria di Bloch-Floquet.

Il tema di ricerca affrontato riguarda dunque l'obiettivo di sviluppare una metodologia di progettazione per solidi microstrutturati con proprietà meccaniche ad hoc, definite mediante una distribuzione opportuna della porosità interna (i.e., dimensione della cella elementare). La strategia permette di ottenere, a valle di un processo di ottimizzazione topologica, un solido con microstruttura a densità variabile che può essere agevolmente fabbricato attraverso tecniche di stampa 3D (Casalotti et al., 2020). Pertanto, la metodologia di progettazione può essere verificata attraverso una campagna sperimentale e può inoltre essere validata attraverso l'impiego di diversi tipi di celle elementari.

## MODELLI RIDOTTI PER TRAVI COMPOSITE A SEZIONE TUBOLARE MULTISTRATO

A. Luongo, D. Zulli, A. Casalotti

Le travi tubolari rappresentano una classe di elementi strutturali ampiamente sfruttati in diverse applicazioni ingegneristiche, sia in campo civile (es. ponti, edifici), ma anche in campo automobilistico (es. telai di automobili) ed aeronautico/aerospaziale (es. telai di aeromobili). La crescente richiesta di alte prestazioni meccaniche richiede un'attenta valutazione della reale capacità portante: le deformazioni locali (ingobbamento e ovalizzazione) possono indurre un forte aumento di deformabilità globale. Questi effetti, evidenti in campo statico, possono comportare anche degli effetti non trascurabili in campo dinamico, dove potrebbero aver luogo fenomeni di risonanza interna tra modi globali e modi locali.

In questo contesto, è stato sviluppato un modello di trave tubolare multistrato basato sulla teoria di Timoshenko arricchito dall'introduzione di nuove variabili in grado di rappresentare opportune deformazioni locali. Il modello può dunque essere sfruttato per studiare la risposta di questo tipo di strutture in campo statico (Zulli et al., 2021), dove la so-

luzione è stata confrontata con quella ottenuta attraverso una modellazione tipo FEM. In campo dinamico invece sono state adottate tecniche perturbative per ottenere soluzioni analitiche (Casalotti et al., 2021). Un altro aspetto interessante associato a questo tipo di strutture è la loro stabilità in termini di carico critico euleriano: il modello proposto consente anche di trattare questo tema, con lo scopo di studiare il comportamento in campo pre- e post-critico.

## COMPORTAMENTO MECCANICO DEI PONTI A CASSONE

A. Luongo, F. Pancella

I ponti a cassone sono largamente utilizzati per medie e grandi luci, tuttavia i modelli presenti in letteratura sono caratterizzati da un forte onere computazionale. Risulta quindi di forte interesse ingegneristico, l'elaborazione di un modello analitico computazionalmente semplice ma allo stesso tempo efficiente.

Si affronta quindi lo studio del comportamento dei ponti a cassone, sollecitati a flessione, torsione e distorsione (perdita di forma nel piano), attraverso la definizione di un modello analitico elaborato nello spirito della Generalized Beam Theory. Il modello proposto (Pancella & Luongo, 2021) risulta in grado di cogliere il comportamento del cassone fornendo una soluzione in forma chiusa, i cui risultati risultano in buon accordo con la letteratura ed anche con i risultati ottenuti attraverso un modello agli elementi finiti in cui il cassone viene modellato come un assemblaggio di piastre.

## MODELLAZIONE LINEARE E NON LINEARE DI PARETI MURARIE, RINFORZATE E NON

Luongo S. Di Nino

Bando PON AIM n. 18CC183

La muratura è stata uno dei materiali da costruzione più utilizzati in tutto il mondo ed è ancora in uso in molte parti d'Europa. Esiste quindi una vasta letteratura dedicata alla modellazione di pareti murarie, nonché di tecniche di retrofitting per migliorarne le prestazioni. Tuttavia, ha un comportamento fenomenologico complesso, che richiede studi ulteriori per migliorarne la comprensione.

Il gruppo di ricerca si occupa principalmente di sviluppare, attraverso tecniche di omogeneizzazione, modelli fisico-matematici accurati che tengono conto anche di leggi di danneggiamento e di contatto (Di Nino et al., 2017). L'attenzione è rivolta, in particolare, a murature con tessitura regolare, murature con strati di malta fibro-rinforzata, ma anche edifici storici di grandi dimensioni, per i quali una modellazione tradizionale risulterebbe impraticabile (Di Nino & Luongo, 2019).

## MODELLAZIONE DI FENOMENI DI CONTATTO

F. D'Annibale, A. Casalotti

L'analisi del comportamento meccanico dei corpi a contatto è una questione molto interessante nella progettazione ingegneristica, in particolare quando avvengono fenomeni di interfaccia, come attrito e danno. In questo caso, è necessario ricorrere a modelli costitutivi più ricchi che devono tenere conto dell'evoluzione temporale dell'interfaccia, portando così a forti comportamenti non lineari. La maggior parte della letteratura relativa alla modellazione di attrito e danno hanno come obiettivo quello di definire delle leggi empiriche per scopi progettuali.

D'altra parte, risulta di grande interesse ricavare una descrizione matematica del contatto per migliorare la comprensione delle informazioni sperimentali, ma soprattutto, per derivare una legge macroscopica che possa essere utile nel processo di progettazione dei corpi in contatto (D'Annibale et al., 2021).

## L'INSTABILITÀ DINAMICA IN SISTEMI PIEZO-ELETTRO-MECCANICI (PEM)

F. D'Annibale, A. Casalotti

Diversi tipi di sistemi strutturali possono essere soggetti a fenomeni di instabilità dinamica, come per esempio la biforcazione di Hopf, a valle dalla quale il sistema può manifestare una risposta periodica, generalmente a grandi ampiezze (i.e. ciclo limite). Questa situazione si riscontra in sistemi non conservativi, sollecitati da forze di tipo "follower" (es. la trave di Beck), oppure da forzanti aerodinamiche. In questo tipo di sistemi si rende necessaria una strategia di controllo per aumentare il valore del carico critico (i.e., il valore del carico in corrispondenza del

quale si manifesta l'instabilità), ma anche per contenere l'ampiezza del conseguente ciclo limite.

Una strategia efficace è quella di accoppiare al sistema meccanico un sottosistema elettrico costituito da “patch” piezoelettriche diffuse collegate ad un opportuno circuito elettrico. L'accoppiamento tra i due sistemi (di tipo giroscopico) costituisce il sistema PEM e permette di trasformare l'energia meccanica in energia elettrica migliorando così la risposta del sistema originario (Casalotti & D'Annibale, 2022). D'altra parte, questa energia elettrica può quindi essere recuperata, trasformando così il sistema elettrico in un “energy harvester”.

## ANALISI E CONTROLLO PASSIVO DELLA RISPOSTA AEROELASTICA DI STRUTTURE SNELLE

A. Luongo, D. Zulli, S. Di Nino

Le strutture snelle sono molto sensibili alle azioni dinamiche indotte dal vento, che causano una varietà di fenomeni di instabilità. Tali fenomeni sono di vario genere (galloping, flutter, vibrazioni indotte dai vortici) e possono essere correlati a diversi tipi di eccitazione. Molti lavori in letteratura sono dedicati all'analisi e al controllo del comportamento aeroelastico di strutture flessibili rilevanti nell'ingegneria, per le quali risulta necessario caratterizzarne il comportamento critico e post-critico e, talvolta, progettare sistemi di controllo della risposta. In opposizione al diffuso utilizzo di laboriosi modelli agli elementi finiti, il gruppo di ricerca affronta il tema attraverso un approccio semi-analitico, basato sulla formulazione di modelli matematici semplificati e di metodi risolutivi asintotici. I modelli aeroelastici definiti, adattabili a diverse classi di sistemi strutturali, sono nello specifico utilizzati in applicazioni riguardanti strutture flessibili dell'ingegneria civile, come cavi, ponti e torri (Di Nino & Luongo, 2020). Le soluzioni semi-analitiche permettono di investigare tutti i possibili scenari di biforcazione (Di Nino & Luongo, 2021) e, quindi, ottimizzare i parametri geometrici, meccanici e aerodinamici del sistema, migliorandone le prestazioni aeroelastiche.

## MECCANICA DI FUNI INTELLIGENTI

F. D’Annibale, M. Ferretti, M.K. Das, C. Ekinici

Negli ultimi anni l’interesse verso la realizzazione di dispositivi in grado di recuperare energia dalle vibrazioni è in costante crescita. Per recuperare questa energia si fa uso di elementi attivi, in grado di associare ad una vibrazione meccanica la generazione di un segnale elettrico o elettromagnetico. Inoltre, l’estrazione di energia induce uno smorzamento delle vibrazioni, trasformando quindi il sistema di recupero in un sistema di controllo.

La ricerca proposta è quindi incentrata sulla modellazione, progettazione e realizzazione di funi con funzioni intelligenti, ovvero, funi il cui comportamento meccanico, sotto carichi antropici ed ambientali, sia controllabile e monitorabile nel tempo, per mezzo di un’adeguata rete di dispositivi piezoelettrici. Al contempo, i medesimi dispositivi piezoelettrici avranno anche la funzione di trasformare l’energia meccanica, dovuta all’oscillazione della fune, in energia elettrica, realizzando il cosiddetto recupero di energia, o ‘energy harvesting’.

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Il gruppo di ricerca è composto come segue: Prof. Angelo Luongo (responsabile del gruppo), Prof. Francesco D’Annibale, Prof. Daniele Zulli, Prof. Manuel Ferretti (responsabili di progetto), Simona Di Nino, Arnaldo Casalotti (ricercatori), Francesca Pancella, Mahadeb Kumar Das, Ceren Ekinici (dottorandi).

## BIBLIOGRAFIA

- Casalotti A., D’Annibale F. (2022). A rod-like piezoelectric controller for the improvement of the visco-elastic Beck’s beam linear stability. *Structural Control and Health Monitoring*, e2865.
- Casalotti A., Rosi G., D’Annibale F. (2020). Multi-scale design of an architected composite structure with optimized graded properties. *Comp Struct*, 112608.

- Casalotti A., Zulli D., Luongo A. (2021). Dynamic response to transverse loading of a single-layered tubular beam via a perturbation approach, *International Journal of Non-Linear Mechanics* 137 103822.
- D'Annibale F., Casalotti A., Luongo A. (2021). Stick-slip and wear phenomena at the contact interface between an elastic beam and a rigid substrate. *Mathematics and Mechanics of Solids*, 26(6), 843-860.
- Di Nino S., D'Annibale F., Luongo A. (2017). A simple model for damage analysis of a frame-masonry shear-wall system. *International Journal of Solids and Structures*, 129, 119-134.
- Di Nino S., Luongo A. (2019). A simple homogenized orthotropic model for in-plane analysis of regular masonry walls. *International Journal of Solids and Structures*, 167, 156-169.
- Di Nino S., Luongo A. (2020). Nonlinear aeroelastic behavior of a base-isolated beam under steady wind flow. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 119, 103340.
- Di Nino S., Luongo A. (2021). Nonlinear interaction between self- and parametrically excited wind-induced vibrations. *Nonlinear Dynamics*, 103(1), 79-101.
- Pancella F., Luongo A. (2021). A minimal GBT model for distortion-twist elastic analysis of box-girder bridges. *Applied Sciences*, 11(6), 2501.
- Zulli D., Casalotti A., Luongo A. (2021). Static response of double-layered pipes via a perturbation approach, *Applied Sciences* 11 (2) 886.

# Metamateriali innovativi e applicazioni all'ingegneria

ALESSANDRO CIALLELLA  
(ALESSANDRO.CIALLELLA@UNIVAQ.IT)  
SSD: ICAR/08 – Scienza delle costruzioni

## PAROLE CHIAVE

Metamateriali, modelli continui di secondo gradiente, tecniche di omogeneizzazione, Digital Image Correlation, Digital Volume Correlation.

Lo sviluppo e l'avanzamento di tecnologie che consentano di lavorare con grande precisione a scale molto piccole hanno permesso di progettare e costruire di materiali di nuova concezione, da qui in avanti chiamati 'metamateriali'. Si è perciò aperta la strada alla creazione di strutture microscopiche in grado di determinare comportamenti macroscopici esotici specificamente richiesti. Questo ha reso lo studio dei metamateriali un campo di grande interesse ed in espansione, sia da un punto di vista teorico che tecnologico (Barchiesi et al., 2019, Ciallella, 2020).

Le tecniche di produzione di micro e nanostrutture sono diventate più economiche ed accessibili, pur continuando a progredire. Si pensi, ad esempio, alla stampa 3D, alla lavorazione roll-to-roll, all'elettrospinning, alla fotolitografia e alle litografie di nuova generazione, o al micro-moulding. La capacità di concepire e sintetizzare microstrutture specificatamente progettate per avere peculiari comportamenti, ad esempio meccanici, richiede lo sviluppo di modelli macroscopici semplificati, che consentano lo studio e la previsione del comportamento dei metamateriali di interesse, oltre che la necessità di prevedere tecniche di misura e verifica sperimentali, possibilmente non invasive. Tecniche di omoge-

neizzazione sono state fruttuosamente utilizzate allo scopo di modellare proficuamente i comportamenti macroscopici, trovando spesso necessità di utilizzare modelli continui di secondo gradiente o di gradienti di ordine superiore per previsioni accurate (dell'Isola et al., 2019a). Tra le tecniche di analisi non invasive degli esperimenti sui metamateriali, ricordiamo qui la Digital Image Correlation e Digital Volume Correlation (DVC), che consentono di tenere traccia in dettaglio anche del comportamento della microstruttura e non solo degli effetti macroscopici (dell'Isola et al., 2019b, Buljac et al., 2018).

In questa presentazione si considera lo studio di un blocco pantografico sottoposto ad una prova di flessione a 3 punti, cioè un modello 3D con microstruttura fatta di fogli pantografici connessi con elementi cilindrici, detti pivot (Fig. 1).

La struttura così progettata è stata stampata in polvere di poliammide presso la Warsaw University of Technology con una stampante 3D con tecnologia SLS. Nella presentazione si mostrano i risultati delle prove sperimentali effettuate presso il Laboratory of Mechanics and Technology, ENS Paris-Saclay, dove è stato possibile eseguire durante l'esperimento radiografie per la ricostruzione della geometria deformata tramite tomografia assiale computerizzata.

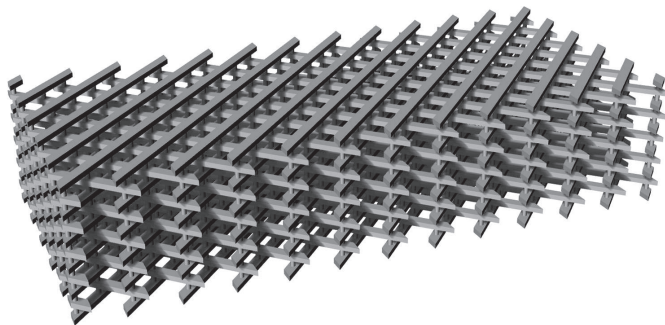


Figura 1. Blocco pantografico: geometria nominale.

L'analisi tramite Digital Volume Correlation ha poi consentito di misurare quantitativamente la funzione di spostamento tra il piazzamento del provino prima del test e quello nella configurazione deformata durante la prova (Fig. 2). Si sono potuti così verificare i comportamenti peculiari della struttura progettata. Lo studio del modello continuo di secondo gradiente postulato per lo scopo ha mostrato la buona corrispondenza tra il modello e i dati sperimentali. L'utilizzo di questa descrizione ridotta data dal modello continuo si è inoltre resa necessaria per superare alcune difficoltà tecniche nella DVC analisi. È infatti necessario inizializzare l'analisi con previsioni della deformazione sufficientemente accurate per consentire il successo della procedura di analisi, mostrando in questo senso la stretta connessione tra il progresso degli aspetti teorici e quelli numerici e sperimentali nell'avanzamento della ricerca sull'argomento. Si può immaginare di utilizzare i risultati teorici e sperimentali presentati per importanti applicazioni ingegneristiche: ovunque si debba distribuire una sollecitazione meccanica concentrata su volumi o superfici molto più grandi per ottenere scudi protettivi da impatti.

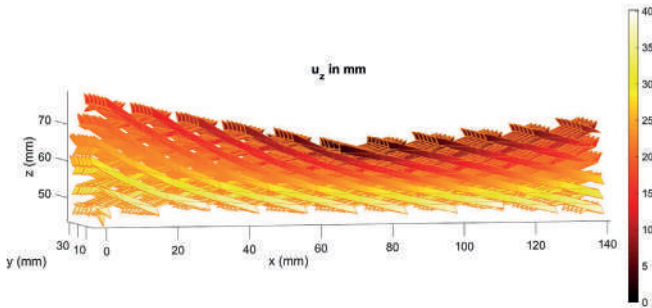


Figura 2. Ricostruzione 3D tramite DVC della deformazione del provino sottoposto alla prova di flessione a 3 punti, componente verticale dello spostamento.

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Componenti del gruppo di ricerca: Alessandro Ciallella, Francesco dell'Isola, Ivan Giorgio.

Principali collaborazioni attive interne: Francesco D'Annibale, Gino D'Ovidio, Davide Pasquali, Mustafa Erden Yildizdag.

Principali collaborazioni attive esterne: Ferdinando Auricchio (Università di Pavia), Emilio Barchiesi (Università di Sassari), Antonio Cazzani (Università di Cagliari), Massimo Cuomo (Università di Catania), Victor Eremeyev (Università di Cagliari), Giovanni Falsone (Università di Messina), Leopoldo Greco (Università di Catania), Gabriele La Valle (Università di Messina), Mario Spagnuolo (Università di Cagliari), Emilio Turco (Università di Sassari).

Principali collaborazioni attive estere: Francois Hild (École Normale Supérieure de Paris-Saclay), Tomasz Lekszycki (Warsaw University of Technology), Anil Misra (Kansas University),

Alessandro Ciallella è finanziato dal PON-AIM 1894130 - Num. Attività 3 - Linea 1.

## BIBLIOGRAFIA

Barchiesi E., Spagnuolo M., Placidi L. (2019). Mechanical metamaterials: a state of the art. *Mathematics and Mechanics of Solids*, 24(1), 212-234.

Buljac A., Jailin C., et al. (2018). Digital volume correlation: review of progress and challenges. *Experimental Mechanics*, 58(5), 661-708.

Ciallella A. (2020). Research perspective on multiphysics and multiscale materials: a paradigmatic case. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, 32(3), 527-539.

Dell'Isola F., Seppecher P., et al. (2019a). Pantographic metamaterials: an example of mathematically driven design and of its technological challenges. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, 31(4), 851-884.

Dell'Isola F., Seppecher P., et al. (2019b). Advances in pantographic structures: design, manufacturing, models, experiments and image analyses. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, 31(4), 1231-1282.

# Miglioramento dinamico di strutture intelaiate attraverso l'accoppiamento visco-elastico con una struttura esterna dotata di inerter

ANGELO DI EGIDIO

(ANGELO.DIEGIDIO@UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/08 – Scienza delle costruzioni

## PAROLE CHIAVE

Accoppiamento visco-elastico, inerter, miglioramento dinamico, modello archetipo.

Un aspetto interessante dell'ingegneria civile è quello di migliorare la risposta dinamica della struttura intervenendo il meno possibile sulla struttura esistente. Questo consente sia di ridurre i costi, che l'impatto visivo. Nei lavori Zhu & Huang, 2011 e Reggio, A. et al, 2018 è stato investigata la connessione ottimale tra strutture parallele, dove una di queste può rappresentare un esoscheletro, invece in Mazza, F., 2021 si espongono i vantaggi ottenuti utilizzando esoscheletri dissipativi. In generale le dimensioni in altezza degli esoscheletri sono paragonabili a quelle della struttura.

Questo studio propone l'uso di un esoscheletro di dimensioni inferiori a quelle della struttura. Il telaio è connesso all'esoscheletro attraverso un dispositivo visco-elastico di tipo Kelvin-Voight o Maxwell. La massa inerziale dell'esoscheletro viene incrementata virtualmente attraverso l'utilizzo di un inerter di massa virtuale  $m_{re}$  (Fig. 1).

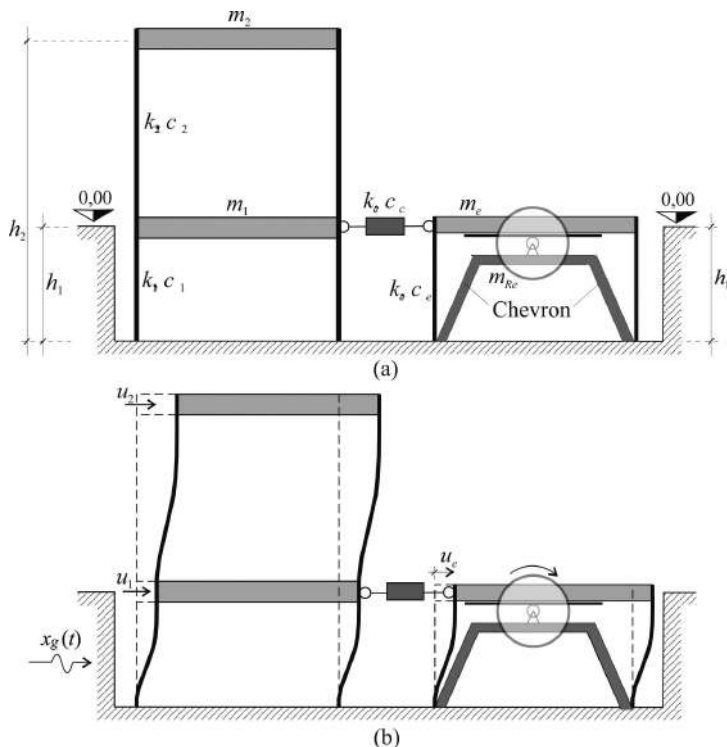


Figura 1. Schema meccanico: (a) Geometria del sistema. (b) Parametri Lagrangiani.

Il modello meccanico archetipo rappresentativo di una generica struttura reale ha 3 gradi di libertà ( $u_1$  e  $u_2$  per il telaio e  $u_e$  per l'esoscheletro (Fig. 1b). Le simulazioni numeriche si riferiscono ad edifici reali con varie caratteristiche. In particolare, di seguito si mostrano i risultati relativi ad un edificio di 4 piani e 250 mq a piano ( $m_p = 301.5 \times 10^3 \text{kg}$ ). Le caratteristiche meccaniche del modello archetipo sono fornite a partire dalle caratteristiche del telaio reale, dalla procedura di equivalenza descritta in (Fabrizio et al., 2017; Fabrizio et al., 2019).

Le equazioni del moto sono:

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{C} \dot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{K} \mathbf{u}(t) + \mathbf{f}_c(t) = -\tilde{\mathbf{M}} \mathbf{r} a_g(t) \quad (1)$$

Le matrici  $\mathbf{M}$ ,  $\mathbf{C}$  e  $\mathbf{K}$  sono le matrici di massa, smorzamento e rigidità di dimensioni  $3 \times 3$  mentre la matrice  $\mathbf{M}$  non tiene conto del contributo dell'inerter. Il termine  $f_c(t)$  è legato alla natura all'organo di accoppiamento ed è il vettore degli spostamenti. Inoltre, si adottano le seguenti parametrizzazioni:

$$k_e = \rho_e k_1; k_c = \rho_c k_1; m_e = \mu(m_1 + m_2); m_{Re} = \sigma m_1 \quad (2)$$

La matrice di smorzamento è costruita attraverso una procedura proporzionale che considera smorzamenti modali della struttura  $\varepsilon_s = 5\%$ .

Le analisi sono svolte considerando come input le seguenti registrazioni sismiche:

1. Christchurch REHS ground 2011 ChristChurch New Zeland;
2. Kobe, stazione Takarazuka000, registrato durante il terremoto del Giappone nel 1995;

L'efficienza del sistema accoppiato è misurata dai seguenti due indici di guadagno:

$$\bar{\alpha}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Max}|u_1(t)|}{\sum_{i=1}^n \text{Max}|u_1^A(t)|}; \bar{\alpha}_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Max}|u_2(t) - u_1(t)|}{\sum_{i=1}^n \text{Max}|u_2^A(t) - u_1^A(t)|}; \quad (3)$$

Nella (3),  $u_1(t)$  e  $u_2(t)$  sono gli spostamenti del modello principale di Fig. 1 mentre  $u_1^A$  e  $u_2^A$  sono gli spostamenti del sistema di riferimento A, che risulta essere un modello a 2-GDL rappresentativo del telaio senza l'accoppiamento con l'esoscheletro.

L'integrazione delle equazioni del moto (1) consente di rappresentare gli indici di guadagno (3) all'interno del piano di parametri  $\rho_e - \rho_c$ . Le mappe sono rappresentate in Fig. 2. In queste mappe, le zone dove l'accoppiamento riduce gli spostamenti della struttura sono evidenziate con colore grigio chiaro, mentre nelle zone grigio scuro, poiché gli indici di guadagno sono superiori all'unità, l'accoppiamento non è in grado di ridurre gli spostamenti.

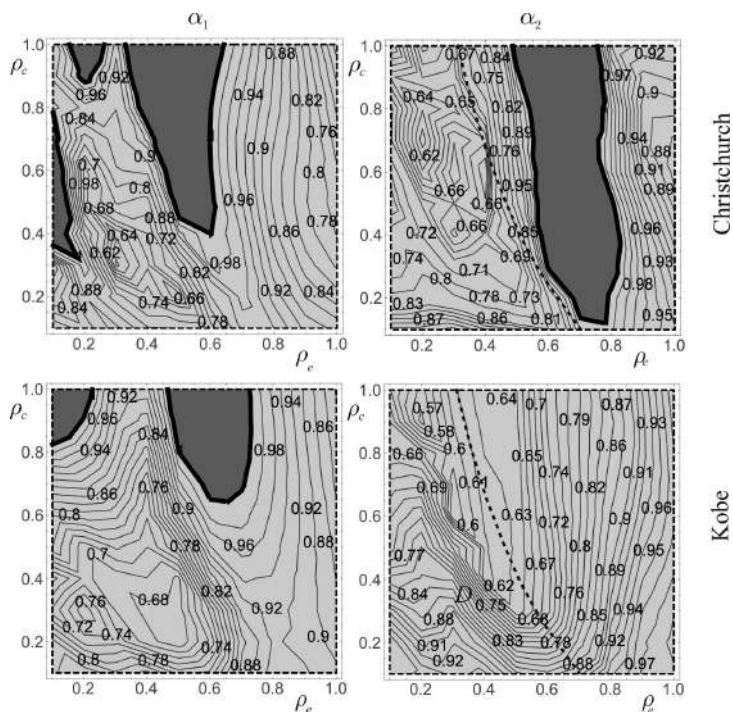


Figura 2. Mappe di guadagno sismiche.

Si osserva che le mappe presentano ampie zone grigio chiaro e pertanto l'accoppiamento è in grado di ridurre sia gli spostamenti, che il drift della struttura rispetto alla stessa non accoppiata. Il punto A è un punto di minimo per la mappa  $\alpha_1$ , infatti si verifica una riduzione dello spostamento del livello di connessione tra telaio ed esoscheletro del 38%. Il punto B è punto di minimo relativo per  $\alpha_2$  e in esso vi è una riduzione del 29% del drift della sovrastruttura rispetto al telaio non accoppiato. In generale si osserva che l'accoppiamento, se ben progettato, è in grado di ridurre in maniera sostanziale sia gli spostamenti del piano di connessione tra telaio ed esoscheletro, che il drift della sovrastruttura.

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Gruppo di ricerca: Angelo Di Egidio, Stefano Pagliaro, Alessandro Contento.

## BIBLIOGRAFIA

Zhu H.P., Ge D.D., Huang X. (2011). Optimum connecting dampers to reduce the seismic responses of parallel structures. *Journal of Sound and Vibration*, 330:1931-1949.

Reggio A., Restuccia L., Ferro G.A. (2018). Feasibility and effectiveness of exoskeleton structures for seismic protection, *Procedia Structural Integrity*, 9:303-310.

Mazza F. (2021). Dissipative steel exoskeletons for the seismic control of reinforced concrete framed buildings. *Structural Control Health Monitoring*, 28: e2683.

# Miglioramento dinamico di strutture intelaiate attraverso l'introduzione di una discontinuità intermedia

STEFANO PAGLIARO

(STEFANO.PAGLIARO@GRADUATE.UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/08 – Scienza delle costruzioni

## PAROLE CHIAVE

Discontinuità intermedia, Tuned Mass Damper, base isolation, modello archetipo, mappe di guadagno.

A seguito dei terremoti che hanno colpito l'Italia quali San Giuliano di Puglia (2002), L'Aquila (2009), Medolla (2012), Accumoli (2016) la protezione sismica di strutture ha assunto un ruolo centrale. La presente ricerca interessa sia strutture nuove che esistenti. Questo studio è rivolto all'analisi del comportamento dinamico di struttura intelaiate con discontinuità intermedia. Il termine discontinuità è inteso a rappresentare un'improvvisa variazione di rigidità all'interno della struttura.

Di recente è stata proposta una nuova tecnica, conosciuta come "Mid-Story Isolation" o "Intermediate Discontinuity". In questa nuova tecnica il comportamento a BI (Base isolata) e il comportamento a TMD (Tuned Mass Damper) coesistono. La sovrastruttura si comporta da TMD per la sottostruttura e la sovrastruttura si comporta come fosse isolata alla base. In altre parole, la discontinuità intermedia può essere intesa come un TMD non convenzionale, dove la massa accordata è la massa della sovrastruttura (De Angelis et al., 2012; Reggio & De Angelis, 2015). Questo studio si pone in continuità con il lavoro sviluppato in (Fabrizio et

al., 2017; Fabrizio et al., 2019). In questi lavori il modello generale rappresenta contemporaneamente sia il sistema BI che il sistema TMD ed è caratterizzato da due gradi di libertà e pertanto non è in grado di fornire risultati precisi nel caso di isolamento a piani intermedi. Al contrario, i modelli ridotti utilizzati in questo studio sono caratterizzati da tre gradi di libertà, così da poter tenere conto della dinamica di ogni componente del sistema, ovvero sottostruttura, sovrastruttura e piano di discontinuità.

Le caratteristiche meccaniche del modello archetipo sono fornite, a partire dalle caratteristiche del telaio (Fig. 1), dalla procedura di equivalenza descritta in (Fabrizio et al., 2017; Fabrizio et al., 2019). Le equazioni del moto sono quelle di un sistema a tre gradi di libertà.

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{C} \dot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{K} \mathbf{u}(t) = -\mathbf{M} \mathbf{r} a_g(t) \quad (1)$$

Nella (1)  $\mathbf{M}$ ,  $\mathbf{C}$  e  $\mathbf{K}$  sono le matrici di massa, smorzamento e rigidità di dimensioni  $3 \times 3$ . Lo smorzamento del sistema è individuato attraverso una procedura di smorzamento non proporzionale per tenere conto del maggiore coefficiente di smorzamento sul piano di isolamento.

Il telaio su cui vengono effettuate le simulazioni numeriche è regolare, avente pilastri di dimensioni  $40 \times 60$  cm, disposti lungo 5 telai in direzione Y e 3 telai in direzione X. Questo assicura una buona corrispondenza tra modello archetipo e telaio poichè la massa partecipante al modo fondamentale è elevata ( $\mu = 87\%$ ). Vengono anche considerate eccentricità crescenti tra centro di massa e centro di rigidità della struttura. Detta  $K_y$  la rigidità del piano della struttura reale, supposta uguale ad ogni livello, la rigidità della discontinuità viene parametrizzata come segue:

$$k_d = \rho K_y \quad (2)$$

Le analisi sono svolte considerando un set di sette registrazioni ( $n = 7$ ) spettro-compatibili con uno spettro target. In particolare, si è considerato lo spettro target di Los Angeles. La lista può essere trovata in (Pagliaro & Di Egidio, 2022).

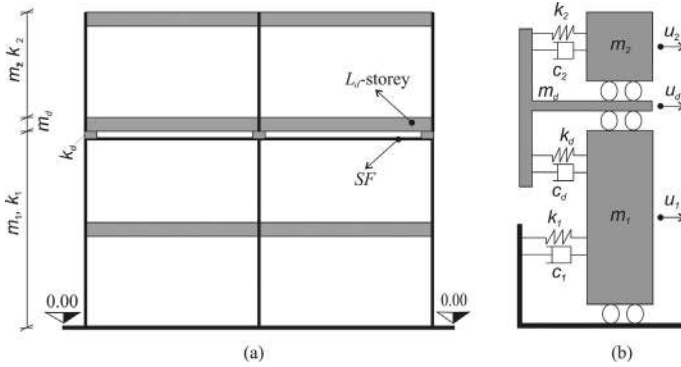


Figura 1. Schema meccanico.

L'efficienza della discontinuità è misurata attraverso tre indici di guadagno:

$$\bar{\alpha}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Max}|u_{1i}(t)|}{\sum_{i=1}^n \text{Max}|u_{1i}^A(t)|}; \quad \bar{\alpha}_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Max}|u_{2i}(t) - u_{di}(t)|}{\sum_{i=1}^n \text{Max}|u_{2i}^A(t) - u_{1i}^A(t)|}; \quad \bar{\alpha}_3 = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Max}|u_{di}(t) - u_{1i}(t)|}{\sum_{i=1}^n \text{Max}|u_{di}^B(t)|} \quad (3)$$

Nella (3),  $u_{1i}$ ,  $u_{di}$  e  $u_{2i}$ , sono gli spostamenti del modello principale di Fig. 1b mentre  $u_{1i}^A$ ,  $u_{di}^A$  e  $u_{2i}^B$  sono gli spostamenti di due modelli di riferimento. In particolare, il modello A è un modello a 2-GDL rappresentante il telaio senza discontinuità, mentre il modello B è un modello a 2-GDL rappresentante il modello principale in cui la sottostruttura è assunta rigida. Il pedice  $i$  è riferito alla  $i$ -sima registrazione considerata.

L'integrazione delle equazioni (1) consente di rappresentare i coefficienti della (3) all'interno del piano di parametri  $L_d - \rho$ , dove  $L_d$  è il piano nel quale viene realizzata la discontinuità. Le mappe, costruite per diversi valori del coefficiente di smorzamento del piano di discontinuità ( $\varepsilon_d = 5\%$ ;  $\varepsilon_d = 15\%$ ), sono rappresentate in Fig. 2. In queste mappe, le zone dove la discontinuità migliora la risposta del telaio sono evidenziate con colore grigio chiaro, mentre nelle zone grigio scuro, poiché gli indici di guadagno sono superiori all'unità, la discontinuità non è in grado di migliorare la risposta.

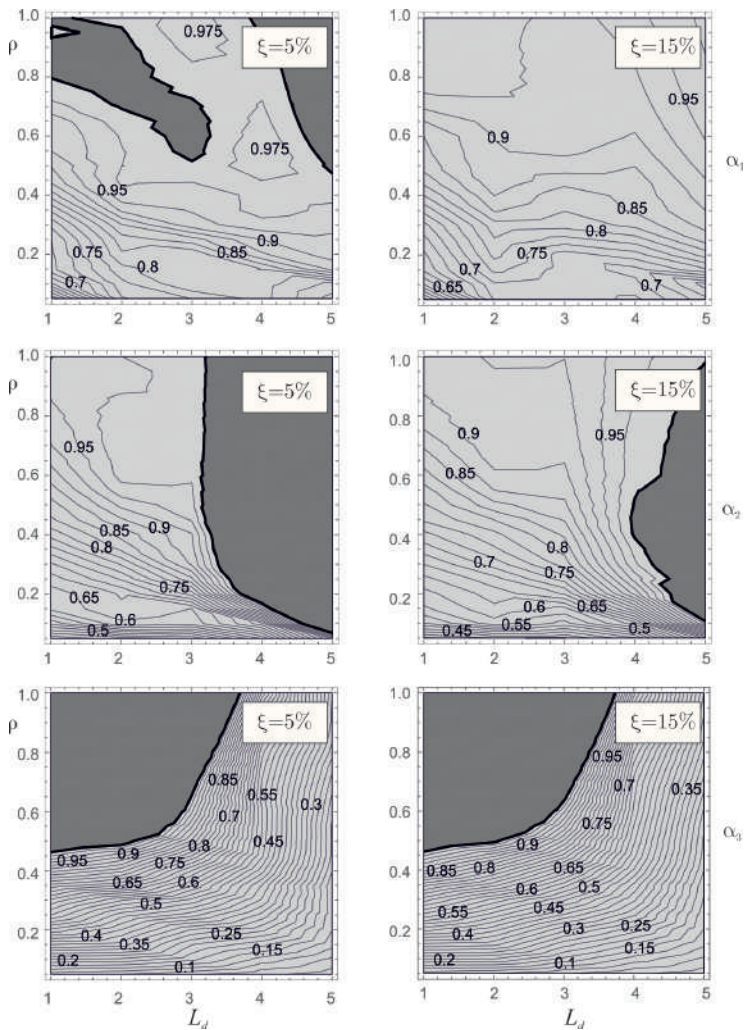


Figura 2. Mappe di guadagno sismiche (set di terremoti spettro-compatibili con quello di Los Angeles).

Si osserva che le mappe presentano ampie zone grigio chiaro e pertanto la discontinuità è in grado di ridurre gli spostamenti del telaio e quindi ne incrementa le prestazioni. Si osserva anche che valori maggiori del coefficiente di smorzamento della discontinuità permettono di ridurre gli indici di guadagno ed espandere le zone di guadagno delle mappe.

## **GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI**

Gruppo di ricerca: Angelo Di Egidio, Stefano Pagliaro, Alessandro Contento.

## **BIBLIOGRAFIA**

- De Angelis M., Perno S., Reggio A. (2012). Dynamic response and optimal design of structures with large mass ratio TMD. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 41: 41-60.
- Reggio A., De Angelis M. (2015). Optimal energy-based seismic design of non-conventional tuned mass damper (tmd) implemented via inter-story isolation, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 44(10): 1623-1642.
- Fabrizio C., Di Egidio A., de Leo A.M. (2017). Top disconnection versus base disconnection in structures subjected to harmonic base excitation. *Engineering Structures*, 152: 660-670.
- Fabrizio C., de Leo A.M., Di Egidio A. (2019). Tuned mass damper and base isolation: a unitary approach for the seismic protection of conventional frame structures. *Journal of Engineering Mechanics*, 145(4): April 2019.
- Pagliaro S., Di Egidio A. (2022). Archetype dynamically equivalent 3-d.o.f. model to evaluate seismic performances of intermediate discontinuity in frame structures. *Journal of Engineering Mechanics*, 148(3): March 2022.

# Ingegneria del Legno

MARTINA SCIOMENTA

(MARTINA.SCIOMENTA@UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/09 - Tecnica delle Costruzioni

## PAROLE CHIAVE

Analisi strutturale, caratterizzazione meccanica sperimentale, affidabilità strutturale, avanzamenti normative e brevetti, monitoraggio strutturale.

L'ingegneria del legno è un ramo dell'Ingegneria Civile relativo alla progettazione strutturale di opere in legno.

Il gruppo di Ingegneria del legno è attivo da alcuni anni e collabora attivamente con Enti e Aziende del territorio al fine di valorizzare il legno come materiale da costruzione e valutare della sicurezza strutturale degli edifici sotto il profilo sismico, tema di importanza fondamentale per in nostro territorio.

Con questi propositi, si riporta di seguito una descrizione più dettagliata dei principali progetti e tematiche di ricerca in essere:

## TECNICHE DI PROTEZIONE SISMICA MEDIANTE ELEMENTI NON STRUTTURALI

M. Sciomenta, I. Gavric, M. Fragiaco (InnoRenew, Slovenia)

Bando PON AIM n. AIM1894130

L'attività di ricerca riguarda la definizione dei requisiti tecnico- prestazionali e lo sviluppo progettuale di nuovi arredi salva-vita in caso di sisma destinati a scuole ed uffici utilizzando legno e prodotti a base di legno di produzione locale.

La ricerca si articola in diversi punti: (i) la definizione dello scenario sismico e dei requisiti prestazionali strutturali, considerando varie condizioni di suolo per tipologie edilizie ritenute maggiormente vulnerabili e rappresentative del patrimonio immobiliare esistente; (ii) lo sviluppo di soluzioni efficaci derivate da moderni approcci di progettazione antisismica; (iii) l'ottimizzazione e la validazione delle soluzioni proposte mediante simulazioni numeriche e prove sperimentali.

La ricerca mira a integrare e proporre avanzamenti rispetto ai brevetti riguardanti banchi e pareti attrezzate SAFE precedentemente sviluppati (n.21425010.2/EP21425010, n.21425062.3/EP21425062)

## SVILUPPI NORMATIVI SULLA PROGETTAZIONE DI EDIFICI IN X-LAM

V. Rinaldi, M. Fragiaco

Gli Eurocodici strutturali rappresentano le normative progettuali di riferimento per gli stati membri dell'Unione Europea e sono considerati tra i codici tecnici più avanzati per la progettazione strutturale a livello mondiale. Dal 2015 ad oggi è in atto il processo di revisione e aggiornamento in cui l'obiettivo è quello di garantire un continuo miglioramento delle norme parallelamente alle ricerche scientifiche condotte negli anni. Specie per le strutture in legno, l'aggiornamento sarà più radicale rispetto agli altri materiali da costruzione.

L'obiettivo della ricerca è quello contribuire allo sviluppo normativo in merito alla progettazione di edifici legno in X-Lam per la revisione dell'Eurocodice 8 (EC8). Nello specifico, sono state introdotte nuove regole di progettazione sismica e sono stati stimati/validati, mediante simulazioni FEM con approcci risk-consistent (Rinaldi, 2021), i valori del fattore di comportamento. I criteri adottati sono stati anche applicati a diversi casi studio come riferimento per i progettisti (Cenci et al., 2022).

## MODELLI ANALITICI E NUMERICI PER CONNESSIONI LEGNO-LEGNO, LEGNO-CALCESTRUZZO E LEGNO-ACCIAIO

Y. De Santis, M. Fragiaco

Le viti autofilettanti sono largamente utilizzate per la realizzazione

di travi e solai composti, per il rinforzo di elementi lignei (Fig. 1a) e in connessioni di edifici a parete.

Gli attuali modelli di calcolo della rigidità non sono del tutto predittivi e non contemplano la possibilità di inserire uno strato intermedio non-strutturale. Gli approcci normativi per il calcolo della resistenza di connessioni con viti inclinate risultano eccessivamente cautelativi e i modelli analitici per i connettori con resistenza ad estrazione trascurabile non sono adatti a descrivere la complessa interazione tra estensione e flessione, che potrebbe portare alla prematura formazione di cerniere plastiche nella vite.

Si affronta quindi lo studio del comportamento di viti autoflettanti inclinate con modelli analitici e FE.

Il modello di trave su suolo elastico proposto per il calcolo della rigidità fornisce risultati in buon accordo con dati sperimentali da letteratura (De Santis, Fragiaco, 2021a). Le formule ottenute sono state proposte per l'implementazione nell'Eurocodice 5 (De Santis, Fragiaco, 2021b).

Modelli FE tridimensionali hanno consentito l'individuazione dei parametri più significativi per la determinazione della risposta forza-spostamento in campo non lineare. Da questi studi è stato definito un'efficiente modello monodimensionale impiegabile per studi parametrici volti all'individuazione dell'influenza dei parametri progettuali sulle modalità di rottura e per la validazione di formule semplificate basate sull'analisi limite.

## CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DI ELEMENTI STRUTTURALI OTTENUTI CON LEGNO DI FILIERA LOCALE E RINFORZO DI STRUTTURE ESISTENTI

L. Spera, M. Sciomenta, M. Fragiaco

Lo sviluppo di una filiera corta locale del legno è un tema di attuale interesse, specialmente per quanto concerne i vantaggi di sostenibilità e valorizzazione del patrimonio boschivo che esso determinerebbe (Scarascia et al, 2021). Alcune specie legnose autoctone di latifoglia (es. faggio) risultano essere ancora poco conosciute e valorizzate per fini strutturali sia a causa di lacune normative sia perché il mercato è fortemente abete-centrico.

Attualmente sono state condotte presso nostro laboratorio prove a flessione su quattro punti (Fig. 1b) su travi in glulam e su pannelli X-Lam realizzati con legno italiano di specie poco valorizzate ovvero il faggio e pino laricio, prevedendo configurazioni di prova sia di piatto che di coltello, sia nel piano che fuori dal piano.

Tale investigazione sperimentale ha permesso di valutare l' idoneità di specie legnose locali alla realizzazione di prodotti moderni dalla duplice finalità, ovvero la costruzione di nuovi edifici e il rinforzo di strutture esistenti. In particolare, i pannelli X-Lam testati, dato l'esiguo spessore e la buona rigidità flessionale, potrebbero essere efficacemente utilizzati in interventi di rinforzo reversibili di solai in legno esistenti (Sciomena et al, 2020a).

## INSTABILITÀ DI SISTEMI STRUTTURALI BLOCKHAUS E X-LAM

M. Sciomena, C. Bedon, M. Fragiaco

Le strutture in legno sono particolarmente sensibili ai fenomeni di instabilità a causa di diversi fattori quali: il ridotto modulo elastico nella direzione parallela alla fibratura (circa un terzo del modulo elastico del calcestruzzo) e la rigidità a taglio radiale-tangenziale circa due ordini di grandezza inferiore rispetto alla rispettiva in direzione longitudinale.

Pur essendo un fenomeno così rilevante, alcuni sistemi strutturali come quello Blockhaus e X-Lam risultano tuttora poco analizzati sotto questo profilo e anche le Normative di settore non riportano indicazioni specifiche per la stima del carico critico.

La ricerca condotta sia mediante lo svolgimento di specifiche prove sperimentali che attraverso la messa a punto di modellazioni numeriche avanzate, ha consentito di chiarire quali sono i parametri che più significativamente influenzano il carico critico. Per le strutture Blockhaus si è giunti all'ottenimento di una formulazione chiusa e semplificata che consente di stimare il carico critico di una parete anche con imperfezioni geometriche iniziali. Per l'X-Lam si è dimostrata l'influenza della tipologia di incollaggio e dell'adesivo sul carico critico di un pannello.

## MODELLAZIONE NUMERICA E OTTIMIZZAZIONE DI CONNESSIONI PER STRUTTURE IN LEGNO-CALCESTRUZZO E SVILUPPI INNOVATIVI

M. Sciomenta, C. Bedon

Il sistema composto legno calcestruzzo è ampiamente diffuso in applicazioni di ingegneria civile per realizzare orizzontamenti di edifici nuovi o rinforzi di edifici esistenti. Il sistema consiste nell'accoppiamento mediante connessioni meccaniche di una soletta in calcestruzzo con travi in legno. Questo sistema aumenta la capacità portante e aumenta la rigidità del solaio riducendone le inflessioni e le vibrazioni.

In quest'ottica, la ricerca portata avanti si propone di analizzare diversi aspetti: i) comprendere meglio come la tipologia, il numero e il passo dei connettori influenzino l'aumento di rigidità del solaio (Bedon et al, 2020), ii) analizzare, in un'ottica di maggiore sostenibilità, come la sostituzione dell'attuale calcestruzzo ordinario con uno addizionato con granulato di gomma riciclata (Sciomenta et al, 2021b) modifichi la deformabilità del solaio, iii) investigare circa la possibilità di realizzare connessioni innovative per rendere reversibile e smontabile l'accoppiamento dei due materiali.

## MODELLI ISTERETICI PER CONNESSIONI ED ELEMENTI STRUTTURALI IN LEGNO

A. Aloisio, M. Fragiocomo

La modellazione della risposta isteretica dei sistemi strutturali può essere affrontata rinunciando alla interpretazione meccanica del fenomeno al fine di riprodurre il comportamento osservato attraverso modellazioni fenomenologiche o cosiddette empiriche. Negli ultimi due decenni, l'ingegneria del legno ha conosciuto notevoli progressi nello sviluppo di modelli isteretici empirici che possano riprodurre fenomeni di punzonamento e degrado, vedi (Fig.1c). In quest'alveo si è contribuito allo sviluppo di due nuovi modelli isteretici. L'uno di natura differenziale e della classe Bouc-Wen denominato Extended Energy-dependent Generalized Bouc-Wen (EEGBW) model (Aloisio et al., 2020). L'altro non differenziale, denominato Atan model (Aloisio et al., 2021). Entrambi i modelli sono in grado di riprodurre con fedeltà i fenomeni di degrado e punzonamento

tipici delle connessioni in legno. I modelli sviluppati sono stati impiegati per studiare la risposta sismica di strutture in Cross-Laminated Timber (CLT) allo scopo di caratterizzarne la capacità ultima e dissipativa.

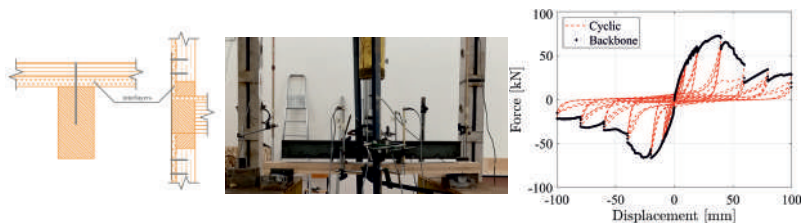


Figura 1. a) Esempi di impiego di viti autofilettanti: rinforzo di un solaio esistente e connessione di interpiano di un'edificio a pareti b) Prova di flessione su quattro punti di un pannello in legno a strati incrociati (CLT), c) Risposta ciclica sperimentale di una parete in legno lamellare incrociato.

## GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI

Prof. Massimo Fragiocomo (Professore Ordinario), Dott.ssa Martina Sciomena (Ricercatrice), Dott. Vincenzo Rinaldi (Assegnista di ricerca), Dott. Angelo Aloisio (Assegnista di ricerca), Ing. Yuri De Santis (Dottorando), Ing. Luca Spera (Dottorando).

### Finanziamenti

PON Ricerca e Innovazione 2015-2017- Asse “Capitale Umano” - 2020 “Lo sviluppo della filiera corta del legno: classificazione, caratterizzazione meccanica e applicazione del legno locale naturale e termotrattato”

### Principali collaborazioni attive esterne:

Convenzione di ricerca con RELUIS-Research line: Timber Structures – WP 13: “Regulation contributions for timber structures”, finanziato dal Dipartimento Nazionale della Protezione Civile - 2019-2021 (3 anni)

Convenzione di ricerca con Rotho Blaas Srl, Cortaccia (Bz) - 2020-2021 (2 anni) - “Characterization of metal connections for timber structures”

Protocollo d'intesa con il Comune dell'Aquila – 2021- “Analisi delle strutture in legno del progetto CASE” - Prof. Massimo Fragiaco/Dott.ssa Martina Sciomenta

Convenzione di ricerca Dipartimento per la Innovazione nei Sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali (DIBAF) dell'Università degli Studi della Tuscia, collaborazione per l'Innovazione e sostenibilità della filiera Foresta-Legno: bioeconomia circolare del legno e valorizzazione di foreste dell'Italia centro-meridionale. – 2022 - Prof. Massimo Fragiaco

## **BIBLIOGRAFIA**

Aloisio A. et al. (2020). ‘Extension of Generalized Bouc-Wen Hysteresis Modeling of Wood Joints and Structural Systems’, *Journal of Engineering Mechanics*, 146(3), p. 4020001. doi: 10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0001722.

Aloisio A. et al. (2021). ‘An empirical transcendental hysteresis model for structural systems with pinching and degradation’, *Earthquakes Engineering and Structural dynamics*.

Bedon C., Sciomenta M., Fragiaco M. (2020). Mechanical characterization of timber-to-timber composite (TTC) joints with self-tapping screws in a standard push-out setup. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(18), 6534

Cenci G., Follesa M., Rinaldi V., Casagrande D., Fragiaco M., (2022). Edifici in legno a pannelli massicci: Esempio di calcolo di un edificio a pannelli massicci in zona sismica, Report ReLUIS.

De Santis Y., Fragiaco M. (2021a). Timber-to-timber and steel-to-timber screw connections: Derivation of the slip modulus via beam on elastic foundation model *Engineering Structures*, 244, art. no. 112798 DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.112798.

De Santis Y., Fragiaco M. (2021b). Slip modulus formulas for timber-to-timber inclined screw connections – Comparison with

other simplified models. INTER; 54 - 7 - 4. <http://holz.vaka.kit.edu/inter/54-07-04.pdf>

Domanda di Brevetto Europeo di invenzione n.21425010.2/EP21425010-Aref: SAFE12021 del 19 Marzo 2021 dal titolo “Combined dual frame system for life-saving desks against seismic-induced collapses” depositata presso l’Ufficio Italiano Brevetti e Marchi del Ministero per lo Sviluppo Economico della Repubblica Italiana,

Domanda di Brevetto Europeo di invenzione n.21425062.3/EP21425062-Aref: SAFE32021 del 7 Dicembre 2021 dal titolo “Self-supporting equipped wall, with life-saving function, which is suitable to prevent the overturning of masonry partition walls in the event of earthquake” depositata presso l’Ufficio Italiano Brevetti e Marchi del Ministero per lo Sviluppo Economico della Repubblica Italiana,

Rinaldi V. (2021). The seismic behaviour of Cross-Laminated Timber buildings: Evaluation of the behaviour factor for the revision of the Eurocode 8. Doctoral thesis, University of L’Aquila

Scarascia Mugnozza G., Romagnoli M., Fragiaco M., Piazza M., Lasserre B., Brunetti M., Zanuttini R., Fioravanti M., Marchetti M., Todaro L., Togni M., Ferrante T., Maesano M., Nocetti M., De Dato G.B, Sciomenta M., Villani T. (2021). La filiera corta del legno: un’opportunità per la bio-economia forestale in Italia The short wood supply chain: an opportunity for the forest bio-economy in Italy. *Forest@ - Journal of Silviculture and Forest Ecology*, Volume 18, Pages 64-71 doi: <https://doi.org/10.3832/efor0052-018>

Sciomenta M., Spera L., Bedon C., Fragiaco M., Romagnoli M. (2020a). Mechanical characterization of novel Homogeneous Beech and hybrid Beech-Corsican Pine thin Cross-Laminated timber panels. *Construction and Building Materials*, 121589

Sciomenta M., De Santis Y., Castoro C., Spera L., Rinaldi V., Bedon C., Fragiaco M., Gregori A. (2021b). Finite elements analyses of timber-concrete and timber rubberised concrete specimens with inclined screws. *Proceedings of World Conference Timber Engineering (WCTE2020)*, Santiago del Cile.

# Il monitoraggio della fatica nei ponti ferroviari in calcestruzzo armato

ANGELO ALOISIO

ANGELO.ALOISIOI@UNIVAQ.IT

SSD: ICAR/09 - Tecnica delle Costruzioni

PAROLE CHIAVE

Fatica, monitoraggio strutturale, modelli probabilistici.

I ponti ferroviari in calcestruzzo armato sono particolarmente esposti a fenomeni di fatica, essendo soggetti a molteplici carichi ciclici durante la loro vita. La fatica rappresenta un potenziale meccanismo di rottura per le strutture soggette a carichi ripetuti, come i carichi del traffico. Le strutture in acciaio sono particolarmente soggette a fatica. Tuttavia, anche le strutture in calcestruzzo possono subire fessurazioni da fatica. Rispetto all'acciaio, i fenomeni di fatica nel calcestruzzo sono meno prevedibili. Sebbene diversi studi si occupino della fatica nel calcestruzzo, la maggior parte delle normative non fornisce raccomandazioni specifiche per includere le conseguenze della fatica nel calcestruzzo nella progettazione. Pertanto, l'effetto della fatica del calcestruzzo è generalmente trascurato nella pratica ingegneristica. Tuttavia, la fatica influisce in modo significativo sul ciclo di vita del calcestruzzo. Molteplici indagini sperimentali hanno dimostrato che la vita a fatica del calcestruzzo diminuisce drasticamente con un aumento del livello di sollecitazione massima di trazione.

In questa ricerca, si mette in luce l'effetto dell'incertezza del modello di fatica sulla previsione della vita a fatica dei ponti ferroviari in calcestruzzo. Si introduce il concetto di vita a fatica e si propone un metodo

probabilistico basato sulle curve di fragilità utilizzando i dati del monitoraggio strutturale. La ricerca propone un miglioramento del modello di fatica proposto dal Fib Code 2010 per ridurre quanto più possibile l'errore di modellazione. Il modello è stato calibrato su un ampio set di dati (Lantsoght, van der Veen and de Boer, 2016) seguendo un approccio Bayesiano (Gardoni, Der Kiureghian and Mosalam, 2002). Il modello calibrato mostra una buona interpolazione dei dati sperimentali, tuttavia, è impossibile ridurre la deviazione standard al di sotto di 0,8 senza incorrere in problemi di sovradattamento. Il modello di domanda per prevedere il numero di cicli di carico all'anno è ottenuto omogeneizzando il numero di cicli annui utilizzando il modello probabilistico di fatica ed i dati del monitoraggio strutturale (Aloisio A., Pasca D., Alaggio R. and Fragiaco M., 2020).

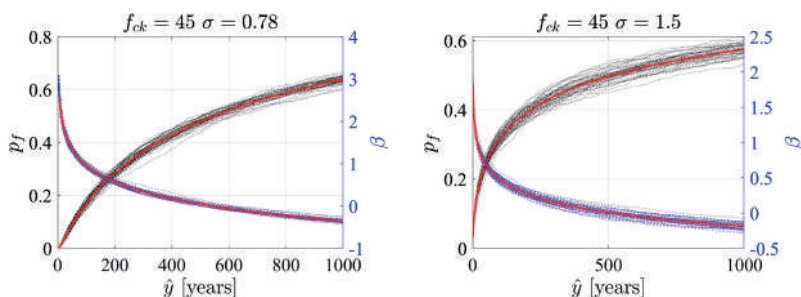


Figura 1. Curve di fragilità (asse y sinistra) e indici di affidabilità (asse y destra) per il caso di studio considerato, assumendo due deviazioni standard per il modello di fatica ( $\sigma$ ).

Oltre ad analisi parametriche del tutto generali, si applica la procedura alla stima della fragilità di un tipico ponte ferroviario in cemento armato precompresso. La risposta del ponte è stata stimata utilizzando un modello alle differenze finite (FD). Le curve di fragilità mostrano la probabilità di occorrenza di fenomeni di fatica in funzione del numero di anni, vedi Fig.1. La fessurazione a fatica si raggiunge quando il numero di cicli ottenuti dal modello di domanda in un dato anno supera il numero di cicli fino alla rottura ottenuti da un modello probabilistico di fatica. La notevole incertezza della risposta alla fatica riduce signifi-

cativamente la vita a fatica prevista. Se il livello di sollecitazione nelle curve SN supera l'asintoto 0.1, la vita a fatica è di gran lunga inferiore alla vita nominale di un ponte ferroviario in calcestruzzo armato. L'effetto del livello di sollecitazione è enormemente più significativo di quello del traffico ferroviario all'anno. Pertanto, la valutazione del livello di sollecitazione all'interno di un ponte in calcestruzzo dovrebbe essere la più accurata possibile poiché la vita a fatica è estremamente sensibile al livello di sollecitazione. La fessurazione per fatica non ha conseguenze dirette sul cedimento strutturale nelle strutture con armature a taglio e flessione. Nondimeno, l'apertura della fessura per fatica può innescare fenomeni di degrado (e.g. corrosione), portando ad una significativa riduzione dell'affidabilità strutturale.

## **GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI**

Componenti del gruppo di ricerca: Prof. Ing. Massimo Fragiacomò (Professore Ordinario), Rocco Alaggio (Professore Associato), Ph.D. Ing. Angelo Aloisio (Assegnista di ricerca)

Principali collaborazioni attive interne: Prof. Angelo Di Egidio

Principali collaborazioni attive esterne: Sapienza di Roma, Università di Roma Tre, Politecnico di Torino.

Principali collaborazioni attive estere: Norwegian University of Life Sciences; Fuzhou University.

Linee di ricerca:

- Caratterizzazione meccanica, modellazione, identificazione dinamica di edifici in legno (Prof. Ing. Massimo Fragiacomò, Ph.D. Ing. Angelo Aloisio);
- Prove non distruttive su strutture e infrastrutture (Prof. Ing. Massimo Fragiacomò, Prof. Ing. Rocco Alaggio, Ph.D. Ing. Angelo Aloisio);
- Monitoraggio dinamico continuo di edifici monumentali e infrastrutture (Prof. Ing. Rocco Alaggio, Ph.D. Ing. Elena Antonacci, Ph.D. Ing. Angelo Aloisio, Ing. Riccardo Cirella).

## BIBLIOGRAFIA

- Aloisio A., Pasca D., Alaggio R., Fragiacomio M. (2020). ‘Bayesian estimate of the elastic modulus of concrete box girders from dynamic identification: A statistical framework for the A24 motorway in Italy’, *Structure and Infrastructure Engineering*, pp. 1-13.
- Gardoni P., Der Kiureghian A., Mosalam K. M. (2002). ‘Probabilistic capacity models and fragility estimates for reinforced concrete columns based on experimental observations’, *Journal of Engineering Mechanics*, 128(10), pp. 1024-1038.
- Lantsoght E. O. L., van der Veen C., de Boer A. (2016). ‘Proposal for the fatigue strength of concrete under cycles of compression’, *Construction and Building Materials*, 107, pp. 138-156.

# Materiali e tecnologie innovative per l'ingegneria sismica

AMEDEO GREGORI

(AMEDEO.GREGORI@UNIVAQ.IT)

SSD: ICAR/09 – Tecnica delle Costruzioni

## PAROLE CHIAVE

Ingegneria sismica, tecnologie a basso impatto ambientale, riciclo di materiali di scarto, conservazione di strutture murarie.

Il gruppo di ricerca affronta diverse tematiche dell'ingegneria strutturale, ponendo particolare attenzione allo studio degli effetti delle azioni sismiche sulle costruzioni.

La crescente sensibilità verso le tematiche ambientali implica un nuovo modo di concepire la costruzione, superando l'approccio canonico alla sola determinazione della prestazione strutturale. A seguito di tale consapevolezza e spinto da un mercato non più passivo, il mondo delle costruzioni si sta pian piano liberando da vincoli e retaggi del passato che lo hanno ingessato e mantenuto negli anni a basso contenuto tecnologico.

Già da qualche anno la ricerca del gruppo è fortemente incentrata nell'individuazione di nuovi materiali e tecnologie a ridotto impatto ambientale per la protezione sismica di strutture murarie con particolare valenza storico-architettonica.

Nel corso degli ultimi quattro anni la ricerca ha così offerto interessanti contributi per quanto riguarda lo studio di malte fibrose a base calce per il rinforzo di strutture murarie di pregio storico, impiegando vari tipi di fibre (vetro, basalto, pva) anche di origine naturale come il Sisal

(ottenuto dalle foglie di Aloe), fornendo risultati sia alla micro che alla macro scala.

I primi studi si sono infatti concentrati sulla determinazione del mix ottimale e delle prestazioni meccaniche, per poi impiegare tecniche di microscopia avanzate “3D X-ray Microscopes” (XRM), grazie alla quale è stato possibile studiare presenza e causa dei difetti della matrice e caratterizzare statisticamente la distribuzione spaziale delle fibre all’interno dei campioni.

Lo studio è stato anche esteso al degrado indotto dall’esposizione agli agenti atmosferici; a tal fine un elevato numero di campioni è stato prima sottoposto ad invecchiamento accelerato in ambiente acido e alcalino e successivamente oggetto di test meccanici per valutarne il decadimento delle prestazioni.

Le malte sono poi state applicate sia sulle superfici esterne di campioni di muratura 1x1 m, sia in sostituzione dei tradizionali giunti orizzontali al fine di valutarne, rispettivamente, il contributo alla resistenza e alla duttilità in prove di compressione diagonale condotte presso il Laboratorio di Prove su Materiali e Strutture del DICEAA.

Gli studi hanno anche riguardato lo sviluppo di modelli numerici particolarmente avanzati per la previsione del comportamento delle murature storiche, sia in tessitura caotica di pietrame irregolare e giunti di malta povera, sia più regolari in mattoni e malta.

È di recente introduzione, nei diversi ambiti di ricerca succitati, l’impiego di geocompositi come materiale ecosostenibile, dalle elevate capacità termiche e dissipative, nonché ricentranti (Shape Memory Geocomposite).

Per ciò che attiene la sostenibilità dei processi, il gruppo di ricerca ha dedicato parte delle proprie attività allo sviluppo di nuovi materiali strutturali preparati con riuso di sottoprodotti di altre lavorazioni o materiali di scarto, ad esempio documentando le prestazioni strutturali del rubbercrete, ottenuto sostituendo parte degli inerti del calcestruzzo con particelle di gomma ottenute da pneumatici esausti.

Il gruppo è anche uno dei pochi in Italia che si occupa di sviluppare materiali e sistemi innovativi per la protezione sismica di tamponature nuove ed esistenti, con interessanti sviluppi sperimentali ed analitici a

partire da tecnologie messe a punto da alcuni componenti fin dal 2013.

Nell'ottica dell'interdisciplinarietà, uno specifico gruppo di ricerca si sta occupando di sviluppare, in collaborazione con studiosi di materie ingegneristiche industriali (nel campo delle antenne, dei segnali, dei campi elettromagnetici, della metrologia) dispositivi e sistemi di misura basati su tecnologie wireless, poco invasive, energeticamente autonome ed economiche utili al monitoraggio intensivo delle strutture civili.

## **GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI**

Coordinatore del gruppo di ricerca: Prof. Amedeo Gregori

Principali collaborazioni attive interne: Prof. R. Quaresima, Prof. E. Di Giampaolo, Dott. A. Di Carlofelice

Principali collaborazioni attive esterne: Prof. M. Rossi (Sapienza-Università di Roma), Dott. F. Cognigni (Sapienza-Università di Roma), Dott. M. Angiolilli (Università di Genova), Dott.ssa C. Castoro

Principali collaborazioni attive estere: Dott.ssa M. Mercuri (Northwestern University), Prof. G. Monti (Zhejiang University).

Linee di ricerca:

- *Malte fibrose per il rinforzo di strutture murarie* (Prof. Amedeo Gregori, Dott. Marco Vailati, Dott.ssa Micaela Mercuri, Dott. Michele Angiolilli);
- *Modelli avanzati per la caratterizzazione meccanica di murature storiche e tradizionali* (Prof. Amedeo Gregori, Dott. Marco Vailati, Dott.ssa Micaela Mercuri, Dott. Michele Angiolilli)
- *Microstruttura di prodotti compositi per uso strutturale* (Prof. Amedeo Gregori, Prof. Raimondo Quaresima, Prof. Marco Rossi, Dott. Marco Vailati, Dott.ssa Micaela Mercuri, Dott. Flavio Cognigni)
- *Tecnologie innovative per il rinforzo di tamponature nuove ed esistenti* (Prof. Amedeo Gregori, Prof. Giorgio Monti, Dott. Marco Vailati, Dott.ssa Micaela Mercuri)
- *Valutazione della sicurezza strutturale attraverso metodi non lineari* (Prof. Amedeo Gregori, Dott. Marco Vailati)

- *Calcestruzzi speciali ed ecosostenibili* (Prof. Amedeo Gregori, Dott.ssa Micaela Mercuri, Dott.ssa Chiara Castoro).
- *Tecniche avanzate e dispositivi wireless per monitoraggio strutturale* (Prof. Amedeo Gregori, Prof. Emidio di Giampaolo, Dott. Alessandro Di Carlofelice, Dott.ssa Chiara Castoro).

Principali finanziamenti:

- PON Ricerca e Innovazione 2014-2020. Fondo Sociale Europeo, Azione I.1 “Dottorati Innovativi con caratterizzazione industriale”- Varie Borse.
- PON Ricerca e Innovazione 2014-2020 – Azione I.2 “Attrazione e Mobilità dei ricercatori” Linea 2. Proposta AIM 18CC183-2
- Progetto ReLuis 2019-CDP 2019-2021 WP11 – Task 11.2. *Contributi normativi relativi a costruzioni esistenti in c.a.*
- Progetto ReLuis 2019-CDP 2019-2021 WP5 - task 5.2. *Interventi integrati e sostenibili per la riqualificazione di edifici esistenti.*
- Convenzioni con aziende private

## BIBLIOGRAFIA

- Vailati M., Mercuri M., Angiolilli M., Gregori A. (2021). Natural-Fibrous Lime-Based Mortar for the Rapid Retrofitting of Heritage Masonry Buildings. *Fibers*, 9, 68. DOI: 10.3390/fib9110068
- Angiolilli M., Gregori A., Vailati M. (2020). Lime-Based Mortar Reinforced by Randomly Oriented Short Fibers for the Retrofitting of the Historical Masonry Structure. *Materials*, 13, 3462. DOI: 10.3390/ma13163462
- Vailati M., Monti G., Di Gangi G. (2018). Earthquake-safe and Energy-Efficient Infill Panels for Modern Buildings. In: Rupakhety R., Òlafsson S. (eds) *Earthquake Engineering and Structural Dynamics in Memory of Ragnar Sigbjörnsson*. ICESD 2017. Springer book series “Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering”. DOI: 10.1007/978-3-319-62099-2\_12. Springer, Switzerland, vol. 44, p. 233-261
- Gregori A., Castoro C. (2021). Modelling mechanical properties and

- bond behaviour of rubbercrete, *Construction and Building Materials*, 305, 124735. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124735.
- Gregori A., Di Giampaolo E., Di Carlofelice A., Castoro C. (2019). Presenting a New Wireless Strain Method for Structural Monitoring: Experimental Validation, *Journal of Sensors*, 2019. DOI: 10.1155/2019/5370838.
- Mercuri M., Pathirage M., Gregori A., Cusatis, G. (2020). Computational modeling of the out-of-plane behavior of unreinforced irregular masonry. *Engineering Structures*. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.111181.

# **Dal BIM all'HBIM. Procedure di gestione informativa del costruito**

PAMELA MAIEZZA  
(PAMELA.MAIEZZA@UNIVAQ.IT)  
SSD: ICAR/17 - Disegno

PAROLE CHIAVE  
BIM, HBIM, VLP, built heritage.

Il Building Information Modeling (BIM) ed è un processo di gestione informativa degli edifici. Il BIM è definibile come una rappresentazione digitale di caratteristiche fisiche e funzionali di un oggetto, e nasce per il progetto di infrastrutture ed edifici di nuova costruzione. Si basa su una logica fondata sulla creazione e l'utilizzo di modelli digitali 3D parametrici, semanticamente riferiti al sistema costruttivo, contenenti informazioni sia qualitative che quantitative. Grazie alla possibilità di gestire un grande quantitativo di dati e informazioni (geometrici, strutturali, impiantistici, economici, etc.), l'introduzione del BIM nel mondo delle costruzioni ha rappresentato una rivoluzione che, andando oltre il solo aspetto della modellazione, ha coinvolto l'intero processo edilizio, dalla progettazione, alla costruzione, alla gestione, alla manutenzione e infine alla dismissione. È seguito un ampio sviluppo della normativa di settore.

L'applicazione del BIM al costruito storico (HBIM) si offre come importante strumento per la conoscenza, studio ed analisi degli edifici esistenti, nonché utile strumento per la gestione, manutenzione e programmazione degli interventi conservativi e per la valorizzazione dei beni architettonici. La possibilità di archiviare all'interno di un'unica piattaforma le informazioni riguardanti i diversi aspetti dell'edificio, facilita infatti

la salvaguardia e la programmazione delle attività, favorendone l'ottimizzazione sia dal punto di vista delle tempistiche che da quello economico. In particolare, le tecnologie avanzate di modellazione HBIM si configurano come un processo di gestione informativa per la documentazione, il rilievo, l'analisi storico-critica, e la valorizzazione degli edifici, avente origine da un percorso di rilevamento architettonico, così da poter rappresentare in maniera adeguata i valori e le caratteristiche storiche, architettoniche, materiche, dissesti e degrado, etc. Numerosi sono gli studi ma varie restano le problematiche aperte, soprattutto in riferimento ai livelli di dettaglio e sviluppo dei modelli e dei database. In tal senso l'applicazione del BIM al costruito storico apre ad importanti sviluppi che richiedono specifici approfondimenti di ricerca per una effettiva applicazione e la prefigurazione di attività di trasferimento tecnologico, con particolare riferimento all'ampliamento dei database BIM, anche in modalità cloud, alla realizzazione di dedicati modelli parametrici a LOD variabile, alla valutazione della "reality" geometrica ed informativa, anche con processi di machine learning. In particolare la programmazione visuale (VLP) consente di sviluppare applicazioni innovative, dedicate e personalizzate, scardinando e sviluppando le architetture delle principali applicazioni presenti sul mercato.

Obiettivo generale della presente linea di ricerca consiste nel definire procedure HBIM dedicate al costruito storico, sulla base di sperimentazioni condotte in relazione alle caratteristiche dei beni studiati e alle procedure di rilevamento e modellazione. I risultati sono: Realizzazione di modelli HBIM; Approfondimento delle caratteristiche dei modelli HBIM di edifici storici, sia in ordine a questioni di modellazione geometrica che dei database collegati; sperimentazione di procedure dedicate. Le principali metodologie sono: Documentazione; Rilevamento architettonico; Analisi storico-critica e dell'apparecchiatura costruttiva; Modellazione 3D HBIM; Programmazione visuale.

## **GRUPPO DI RICERCA E PROGETTI FINANZIATI**

Componenti del gruppo di ricerca: Pamela Maiezza, Stefano Brusaporci, Alessandra Tata.

## BIBLIOGRAFIA

- Brusaporci S., Tata A., Maiezza P. (2020). TOWARD A NEW POINT OF VIEW: THE H-BIM PROCEDURE. In A. Trentin (Ed.) *CHANCES. Practices, Spaces and Buildings in Cities' Transformation*. 403-413. Alma Mater Studiorum Università di Bologna Dipartimento di Architettura, Bologna.
- Brusaporci S., Tata A., Centofanti M. (2020). Tecnologie avanzate per la rappresentazione dell'apparecchiatura costruttiva storica: HBIM e il rinnovarsi di un'istanza. In A. Arena, M. Arena, R.G. Brandolino, D. Colistra, G. Ginex, D. Mediati, S. Nucifora, P. Raffa (Eds.). *Connettere. Un disegno per annodare e tessere*. 1789-1799, Franco Angeli, Milano.
- Brusaporci S., Maiezza P., Tata A. (2019). VPL for HBIM LOI advanced apps. *DN*, 5, 6-16.
- Brusaporci S., Luigini A., Vattano S., Maiezza P., Tata A. (2019). AHBIM for Wooden Built Heritage Conservation. In F. Bianconi M. Filippucci (Eds.). *Digital Wood Design*. LECTURE NOTES IN CIVIL ENGINEERING, vol. 24, Springer International Publishing
- Brusaporci S. (2019). On Visual Computing for Architectural Heritage. In: Information Resources Management Association (USA). *Geospatial Intelligence: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*. 502-532. IGI Global, Hershey (PA)
- Brusaporci S., Maiezza P., Tata A. (2019). Prime riflessioni sulla rappresentazione e parametrizzazione HBIM dell'apparecchiatura costruttiva storica. In T. Empler A. Fusinetti (Eds.). *3D MODELING & BIM Modelli e soluzioni per la digitalizzazione*. 182-197. DEI, Roma
- Brusaporci S., Maiezza P., Tata A. (2019). Trasparenza e affidabilità dei modelli HBIM. In L. M. Papa P. D'Agostino (eds.). *BIM VIEWS Esperienze e Scenari*. 125-139, CUA, Fisciano.
- Brusaporci S., Centofanti M., Maiezza P., Tata A., Ruggieri A. (2019). Per una riflessione teorico-metodologica sulla procedura HBIM di modellazione informativa dei beni architettonici. In P. Belardi (Ed.). *Riflessioni L'arte del disegno / Il disegno dell'arte*. p. 449-456, Gangemi, Roma.

- Brusaporci S., Maiezza P., Tata A. (2018). A framework for architectural heritage HBIM semantization and development. *International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, XLII-2, 179-184
- Brusaporci S., Maiezza P., Tata A. (2018). Building information modelin for management and maintenaice of “L’Aquila - Smart tunnel”. *DN*, 27-35.
- Brusaporci S., Maiezza P., Tata A. (2018). AHBIM come sistema di rappresentazione complesso dei beni architettonici. In C.L. Marcos P.J. Juan Gutiérrez J. Domingo ùgres J. Oliva Meyer (eds.). *De trazos, buellas e improntas: Arquitectura, ideacion, representacion y difusion*. 485-494, Universidad de Alicante, Alicante.
- Brusaporci S., Maiezza P., Tata A. (2018). Computational Design for As-Built Modeling of Architectural Heritage in HBIM processes. *2018 IEEE International Workshop on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (MetroArchaeo 2018) Proceedings*. 194-198, MA:IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Finito di stampare  
nel mese di maggio duemilaventidue  
presso Printonweb (Isola Liri)  
per conto di Radici Edizioni