



Università della Calabria
Dipartimento di Ingegneria Civile

PIANO DELLA RICERCA

2023-2024

Rende, giugno 2024

INTRODUZIONE

Il presente rapporto contiene una breve descrizione dei principali temi di ricerca del Dipartimento di Ingegneria Civile (DINCI), con riferimento al periodo 2023-2024. Il documento è organizzato secondo lo schema già adottato negli anni precedenti, che consente di porre in luce, in forma sintetica, l'attività di ricerca dei diversi Settori Scientifico-Disciplinari (SSD) nel periodo considerato.

I SSD afferenti al DINCI sono rimasti invariati rispetto all'anno precedente. Facendo riferimento alla nuova denominazione entrata recentemente in vigore per effetto del DM n. 639 del 02/05/2024, i suddetti SSD sono i seguenti:

CEAR-01/A (Idraulica);
CEAR-02/A (Costruzioni Idrauliche e Marittime e Idrologia);
CEAR-03/A (Strade, Ferrovie, Aeroporti);
CEAR-03/B (Trasporti);
CEAR-05/A (Geotecnica);
CEAR-06/A (Scienza delle Costruzioni);
CEAR-07/A (Tecnica delle Costruzioni);
CEAR-08/A (Architettura Tecnica);
CEAR-09/A (Composizione Architettonica);
CEAR-10/A (Disegno);
CEAR-11/B (Restauro dell'Architettura);
CEAR-12/A (Tecnica e Pianificazione Urbanistica).

Tutti i SSD elencati appartengono alle Aree Scientifiche 08A (Architettura) e 08B (Ingegneria Civile).

Il numero complessivo dei docenti è lievemente diminuito rispetto allo scorso anno a seguito di un pensionamento. È, altresì, variata la distribuzione tra i diversi ruoli di professore e ricercatore. In particolare, la composizione dei docenti del DINCI, alla data odierna, è così articolata: 9 Professori di I Fascia, 18 Professori di II Fascia, 6 RTI, 3 RTDb e 7 RTDa, per un totale di 43 docenti.

L'esame dei vari contributi conferma, ancora una volta, la vivacità e la versatilità dei gruppi di ricerca i cui temi spaziano in un ampio spettro, da quelli più tradizionali dell'ingegneria civile ad altri che impiegano tecniche e metodologie riconducibili più direttamente ad altre branche dell'ingegneria. A ciò fa da supporto una produzione scientifica di livello che, si spera, possa confermare, nella prossima VQR 2019-2024, la performance fatta registrare dal DINCI nel precedente esercizio (VQR 2014-2019), che ha consentito allo stesso DINCI di entrare nei primi 350 dipartimenti italiani per qualità della ricerca.

Università della Calabria, 10 giugno 2024

Enrico Conte
Delegato alla Ricerca del DINCI

SSD CEAR-01/A-IDRAULICA

LINEE DI RICERCA A.A. 2023-2024

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD CEAR-01/A-Idraulica è così composto:

Roberto Gaudio, Prof. Ordinario
Antonino D'Ippolito, RTI
Nadia Penna, RTDa

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. Turbolenza in correnti a superficie libera;
2. Erosione e trasporto solido fluviale.

Le principali linee di ricerca sono di seguito descritte.

1. TURBOLENZA IN CORRENTI A SUPERFICIE LIBERA

1.1. ANALISI DELLE CARATTERISTICHE DELLA TURBOLENZA IN ALVEI CON FONDO SCABRO

L'analisi delle caratteristiche della turbolenza a partire da misure sperimentali di velocità in un campo di moto con fondo scabro è fondamentale per la stima di grandezze di interesse ingegneristico. La ricerca, intrapresa nel 2016 e tuttora in corso, è basata sull'utilizzo di misure del campo di moto in canale di laboratorio con fondo a diversa scabrezza (sabbia, ghiaia, ciottoli) utilizzando un *Acoustic Doppler Velocimeter* (ADV), che consente la determinazione puntuale e in simultanea delle tre componenti di velocità, e del sistema di *Particle Image Velocimetry* (PIV), che fornisce la determinazione simultanea di due componenti di velocità in una "finestra" longitudinale della corrente. Entrambi gli strumenti sono in dotazione presso Laboratorio "Grandi Modelli Idraulici" (GMI) del Dipartimento di Ingegneria Civile. In particolare, le misure del campo di moto hanno consentito il calcolo delle distribuzioni di velocità e di sforzi tangenziali mediati temporalmente e doppiamente mediati (prima temporalmente e poi spazialmente) e la determinazione di grandezze fondamentali quali il tasso di dissipazione di energia cinetica turbolenta, delle funzioni di correlazione, delle cosiddette statistiche di ordine superiore, degli spettri e dei co-spettri di energia turbolenta, nonché del flusso locale di energia cinetica turbolenta.

1.2. ANALISI DELLE CARATTERISTICHE DELLA TURBOLENZA IN ALVEI CON VEGETAZIONE RIGIDA, FLESSIBILE, SOMMERSA ED EMERGENTE

Dal 2019 si è aperto un nuovo filone di ricerca al fine di estendere le analisi effettuate per la determinazione delle grandezze turbolente in alvei con fondo a elevata scabrezza a quelli in presenza di vegetazione rigida ed emergente. La vegetazione presente nei corsi d'acqua svolge un'importante funzione ecologica e da un punto di vista più strettamente ingegneristico essa interagisce con il moto dell'acqua all'interno delle sezioni trasversali, incrementando il rischio di alluvioni ma con effetti benefici sulla stabilità delle sponde. Inoltre, essa modifica in maniera sensibile il campo di moto in termini sia di velocità media sia delle caratteristiche della turbolenza, con effetti sul trasporto dei sedimenti e degli inquinanti.

La ricerca ha permesso di ricavare, in funzione della distribuzione della vegetazione, simulata utilizzando dei bastoncini di legno e dei bastoncini flessibili in plastica, e della sua densità, le caratteristiche del campo di moto (profili di velocità, sforzi di Reynolds, sforzi viscosi, spettri di energia, energia cinetica turbolenta, funzioni di struttura turbolente di diverso ordine, anisotropia) in un canale vegetato al variare della scabrezza. I risultati ottenuti hanno evidenziato una forte influenza

della combinazione vegetazione-scabrezza sul campo di moto.

2. EROSIONE E TRASPORTO SOLIDO

2.1. STIMA DEL TRASPORTO SOLIDO DI FONDO MEDIANTE MISURE ACUSTICHE PASSIVE

Il trasporto solido al fondo è, generalmente, il principale parametro da considerare per la stima del trasporto dei sedimenti utile al ripascimento naturale dei litorali. Tuttavia, i corsi d'acqua a carattere impulsivo, come quelli che caratterizzano il territorio calabrese, sono in grado di portare sabbie e ghiaie fino al mare anche nel corso di un unico evento di piena.

Il trasporto solido di fondo è stato ampiamente studiato in passato e sono state proposte diverse formule empiriche e semi-empiriche per la sua determinazione, che richiedono operazioni di calibrazione per la loro applicazione. Le equazioni proposte in letteratura mettono in relazione il trasporto solido con la velocità media della corrente o con gli sforzi tangenziali al fondo, ma i risultati che derivano dall'applicazione di tali formule differiscono di uno o più ordini di grandezza. Ciò pone l'accento sulla difficoltà di effettuare corrette previsioni quantitative e, quindi, sulla necessità di ricorrere a sistemi di monitoraggio, tecniche e strumenti di analisi e valutazione, diretta e indiretta, che diano stime attendibili della quantità di materiale che viene eroso, depositato e trasportato fino alle foci fluviali.

Pertanto, l'obiettivo della ricerca si basa sulla stima del trasporto solido fluviale mediante misure acustiche passive, che consistono essenzialmente nella registrazione del rumore o della vibrazione indotta dalle collisioni tra i sedimenti e una struttura specifica (tubo, piastra o colonna), utilizzando sensori come microfoni, geofoni, accelerometri e sensori piezoelettrici. I vantaggi che derivano dall'impiego di tali dispositivi sono: misure puntuali; registrazioni continue; minima interferenza con la corrente; bassi costi di manutenzione.

2.2. ANALISI 3D DELLA FOSSA DI SCAVO E DEL CAMPO DI MOTO INDOTTI DALLA ROTAZIONE DELL'ELICA DI UN NATANTE

Il sistema di propulsione usato per muovere un natante produce un getto turbolento che impatta sul fondo e sulle sponde di aree portuali e canali di navigazione. Ciò può causare processi fisici indesiderati come l'escavazione, il deposito di sedimenti a tergo dell'elica, la sospensione di sedimenti inquinanti e l'instabilità di strutture protettive. Per tali ragioni, lo studio degli effetti indotti dalle eliche di natanti ha ricevuto attenzione da parte di ingegneri marittimi, fluviali e navali, al fine di comprendere il meccanismo di scavo al fondo e di risospensione dei sedimenti, proponendo possibili contromisure e limitando i costi operativi per lavori di riparazione.

L'obiettivo della ricerca, intrapresa nel 2018 e tuttora in corso, è quello di analizzare i fenomeni di scavo e deposito indotti dal getto di un'elica in assenza e presenza di una banchina portuale, per esempio al variare della velocità e dell'altezza dell'elica rispetto al fondale marino, nonché del tirante idrico e della velocità della corrente. I test sperimentali si basano sulla misura delle componenti istantanee della velocità utilizzando un ADV e sulla realizzazione di modelli 3D della fossa di scavo mediante Laser Scanner 3D e fotogrammetria, al fine analizzare le strutture coerenti responsabili della formazione della fossa di scavo, calcolare il volume dei sedimenti erosi e depositati e la geometria della fossa stessa (massima profondità e larghezza) e del deposito all'equilibrio. I risultati sinora ottenuti sono stati utilizzati per la determinazione di formule predittive, grafici e abachi per la stima di queste grandezze in funzione del tirante, del numero di Froude e del diametro dei sedimenti che costituiscono il fondale. Recentemente è stata applicata la teoria fenomenologica della turbolenza per valutare, con un approccio fisicamente basato, la massima profondità della fossa di scavo.

2.3. MODELLAZIONE NUMERICA DEI CAMPI DI MOTO INDOTTI DALLA ROTAZIONE DELL'ELICA DI UN NATANTE

La modellazione numerica dei campi di moto indotti dalla rotazione di un'elica di natante riguarda la creazione di un modello numerico basata su metodi lagrangiani *Smoothed-Particle-Hydrodynamics*

(SPH) e di modelli euleriani mediate alla Reynolds (RANS) e non basate sulla tecnica *Large Eddy Simulation* (LES) utilizzando un codice di calcolo basato sulla libreria C++ *OpenFOAM*. Le applicazioni si concentrano sulle caratteristiche idrodinamiche di un getto indotto dalla rotazione di un'elica su un fondo erodibile sia in condizioni libere che confinate. Le simulazioni numeriche possono offrire importanti informazioni sull'intero campo di moto in tre dimensioni difficile da catturare con gli strumenti di laboratorio a disposizione. Inoltre, le simulazioni numeriche sono un potente strumento per la comprensione delle dinamiche di erosione e deposizione dei sedimenti sottoposti all'azione idrodinamiche indotti dalla rotazione di un'elica.

2.4. STUDIO SULL'INSTABILITÀ DELLA MORFOLOGIA DEL LETTO NEI CANALI CON VEGETAZIONE RIGIDA, FLESSIBILE, SOMMERSA ED EMERGENTE

L'instabilità di un letto fluviale si verifica quando la corrente, interagendo con un fondo mobile, è tale da modellarne la morfologia. Diversi studi hanno affrontato il problema dell'instabilità concentrandosi sullo sviluppo delle forme di fondo e sulla dinamica delle dune, ma finora scarsa attenzione è stata rivolta al caso in cui la corrente interagisce con la vegetazione, oltreché con i sedimenti che costituiscono il fondo alveo. Ciò è stato evidenziato in numerose ricerche, sottolineando l'importanza di considerare la vegetazione nei modelli analitici correntemente utilizzati per l'analisi dell'instabilità nei fiumi a diverse scale. Lo scopo dello studio è quello di esaminare gli effetti dell'instabilità del letto di un canale vegetato all'aumentare della densità della vegetazione. In particolare, l'analisi delle strutture della morfologia del letto ha richiesto una modellazione tridimensionale (3D) della superficie del letto utilizzando la tecnica della fotogrammetria e scansioni effettuate con Laser Scanner 3D. Lo studio è stato, quindi, eseguito applicando le funzioni di struttura monodimensionali (1D) e bidimensionali (2D) di second'ordine ai dati topografici rilevati.

S.S.D. CEAR-01/B – COSTRUZIONI IDRAULICHE E MARITTIME E IDROLOGIA

LINEE DI RICERCA A.A. 2023-2024

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD CEAR-01/B è così composto:

Patrizia Piro, Prof.ssa Ordinario
Francesco Aristodemo, Prof. Associato
Attilio Fiorini Morosini, RTI
Aldo Pedro Ferrante, RTI
Ferdinando Frega, RTI
Giuseppe Brunetti, RTDb
Stefania Anna Palermo, RTDa
Behrouz Pirouz, RTDa

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. Monitoraggio quali-quantitativo dei sistemi a basso impatto ambientale
2. Modellazione del flusso idrico nei mezzi porosi variabilmente saturi
3. Sviluppo di un sistema smart per la digitalizzazione delle reti di drenaggio urbano e l'individuazione delle criticità
4. Strategie per la gestione degli allagamenti in area urbana
5. Analisi delle reti idriche: gli approcci DDA e PDA e la calibrazione
6. Funzionamento delle reti in emergenza
7. Posizionamento ottimale delle valvole in una rete idrica
8. Scelta dei punti di misura ai fini della corretta calibrazione delle reti idriche
9. Interoperabilità tra software di verifica reti e BIM
10. Analisi morfodinamiche indotte dalla rotazione di eliche di natanti in presenza di moto ondoso
11. Analisi di trend di parametri di moto ondoso
12. Sollecitazioni indotte da onde irregolari su strutture cilindriche scabre
13. Modellazione numerica SPH della diffusione turbolenta
14. Modellazione numerica SPH delle prestazioni di un convertitore di energia ondosa
15. Analisi delle inondazioni costiere prodotte da forzanti meteomarine estreme
16. Studio su modello fisico e matematico per la valutazione dei processi di idrodinamica e morfodinamica costiera in prossimità di una foce fluviale
17. Sviluppo di una piattaforma probabilistica bayesiana per la calibrazione dinamica di modelli idrologici della zona vadosa
18. Metodi monte carlo a catena di Markov per la quantificazione dell'incertezza nella stima inversa dei parametri idrologici
19. Caratterizzazione dei processi di trasporto di microplastiche in mezzi porosi variabilmente saturi
20. Sviluppo di un modello suolo-pianta-frutto per l'ottimizzazione dell'irrigazione

21. Sviluppo di un innovativo tetto verde multi-obiettivo e di sistema smart IoT di raccolta e riuso delle acque meteoriche
22. Sviluppo di un design innovativo di un sistema ibrido acqua-energia

Le principali linee di ricerca sono di seguito descritte.

1. MONITORAGGIO QUALI-QUANTITATIVO DEI SISTEMI A BASSO IMPATTO AMBIENTALE

I sistemi a basso impatto ambientale, noti in letteratura sotto diversi acronimi (NBS, BMP, SUDS, LID), sono tecniche sostenibili che consentono la gestione delle acque meteoriche in area urbana. Nonostante ciò, la loro diffusione nell'ambiente mediterraneo è limitata. Da 9 anni è attivo, nel Campus di Arcavacata, il Parco di Idraulica Urbana che ospita, tra le altre cose, tre sistemi Low Impact Development (LID): una copertura vegetata, una pavimentazione permeabile e un filtro per l'acqua piovana. La ricerca intrapresa negli anni passati ha mirato a quantificare gli effetti idrologici e qualitativi di questi sistemi, anche attraverso campagne di monitoraggio eseguite sia sugli impianti a scala reale che su prototipi a scala ridotta in laboratorio. Ciò ha portato a stabilire il potenziale di questi sistemi nella gestione delle acque meteoriche. Nel 2021 sono stati installati nel Laboratorio di Idraulica e Idrologia Urbana dei nuovi modelli a scala ridotta rappresentativi dei sistemi di tipo Nature-Based, le pareti verdi (Green Wall) per continuare gli studi intrapresi negli anni precedenti sui tali sistemi. I pannelli vegetati oggetto di studio sono stati strumentati con sensoristica in grado di misurare le grandezze idrologiche (afflussi-deflussi) e le proprietà idrauliche dei mezzi porosi (contenuto idrico). Su tali installazioni, inserite all'interno del progetto I-BEST - Innovative Building Envelope through Smart Technology – sono state condotte analisi di tipo sperimentale (SWRC di mix di terreni da installare) e modellistica numerica al fine di stabilire una configurazione definitiva che è poi stata proposta per la realizzazione di una parete verde su un dimostratore a scala reale. Nel 2022 è stato installato il dimostratore con la finalità di monitorare i benefici idrologici/idraulici e proporre, a partire dai dati misurati, un modello idraulico rappresentativo opportunamente calibrato e validato. Inoltre, nel progetto PRIN 2020 URCA, dove il gruppo di ricerca è responsabile di un'unità operativa, è previsto uno studio che riguarda l'eventuale abbattimento/rilascio di contaminanti da tali sistemi. A tal fine, nel 2022 è iniziata la campagna sperimentale in laboratorio per analizzare le componenti dell'azoto (azoto nitrico, azoto nitroso, azoto ammoniacale) in uscita dalle NBS tramite la tecnica della spettrofotometria UV-VIS. La campagna sperimentale è tutt'ora in corso.

Nel 2023 sono state concluse le fasi realizzate di un dimostratore a scala reale nell'ambito del progetto "TOP FREE" - Tetti e Orti Pensili a "Filiera corta" per la Riqualficazione di Edifici Esistenti" al fine di studiare le caratteristiche idrologiche/idrauliche dei substrati colturali delle coperture a verde e stimare i benefici in termini di efficienza idraulica di tali sistemi.

2. MODELLAZIONE DEL FLUSSO IDRICO NEI MEZZI POROSI VARIABILMENTE SATURI

Un fattore limitante alla diffusione dei citati sistemi a basso impatto consiste nel fatto che per la simulazione dei loro effetti, spesso, sono utilizzati modelli semplificati che non riproducono i processi fisici che avvengono in questi sistemi. Gli stessi sono, inoltre, costruiti con materiali da costruzione assimilabili a mezzi porosi le cui caratteristiche idrauliche sono incognite. A tal fine, negli ultimi anni, la comunità scientifica, ed in particolare il gruppo di ricerca della Prof.ssa Piro, ha focalizzato l'attenzione sui modelli fisicamente basati, che fondano le loro basi teoriche nella risoluzione dell'equazione di Richards per flusso idrico variabilmente saturo, per simulare il comportamento idraulico di tali tecnologie.

La ricerca intrapresa negli anni precedenti ha visto, quindi, l'utilizzo di un noto modello idrologico/idraulico, HYDRUS 2D/3D, per la modellazione del flusso idrico all'interno dei sistemi Nature-Based o più in generale a basso impatto. A ciò si è aggiunta una rigorosa attività di laboratorio

atta a determinare, mediante strumenti e indagini dedicate, le proprietà dei materiali componenti le stratigrafie delle tecnologie oggetto di indagine. Ciò ha portato ad elaborare modelli idraulici accurati per simulare il comportamento idrologico/idraulico dei sistemi indagati.

Nel 2024 si propone di incrementare le indagini sperimentali sugli aspetti qualitativi dei sistemi di tipo Nature-Based e definire e sviluppare modelli di trasporto di diversi contaminanti con particolare attenzione ai nutrienti al fine di valutarne, eventualmente, il dilavamento verso i corpi idrici ricettori.

3. SVILUPPO DI UN SISTEMA SMART PER LA DIGITALIZZAZIONE DELLE RETI DI DRENAGGIO URBANO E L'INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITÀ

Tale linea di ricerca, riguarda lo sviluppo di “reti cognitive” per la gestione dei sistemi di drenaggio in tempo reale. In particolare, vengono esplorate le problematiche generali sottese all’implementazione di un sistema di controllo in tempo reale RTC (Real Time Control) in un sistema di drenaggio urbano UDS (Urban Drainage System), una metodologia diventata oggi una frontiera della ricerca su cui il mondo scientifico si sta focalizzando per risolvere le problematiche di gestione degli UDSs.

Tale attività, è stata focalizzata sull’elaborazione dell’architettura informatica e idraulica al fine di implementare un’interfaccia web che sulla base di specifici dati in input, richiesti per la simulazione del comportamento idrologico/idraulico dei sistemi di drenaggio, sia in grado di ricreare il modello della rete in ambiente SWMM, individuare le criticità e fornire all’utente possibili soluzioni. A tal fine, sono stati considerati reti urbane, o parti di esse, con la finalità di settare un algoritmo che consenta l’individuazione in “early warning” delle criticità della rete e, dunque, di eventuali aree allagabili.

4. STRATEGIE PER LA GESTIONE DEGLI ALLAGAMENTI IN AREA URBANA

Tale linea di ricerca riguarda lo sviluppo di tre azioni all’interno del progetto “PNRR Tech4You”. Nello specifico, saranno sviluppate, all’interno del Comune di Cerisano, le seguenti strategie smart e sostenibili per incrementare la resilienza al rischio di allagamenti in area urbana:

- Implementazione di un sistema di monitoraggio quali/quantitativo della rete di drenaggio urbano comunale a seguito di individuazione delle situazioni critiche mediante una fase di modellazione idrodinamica
- Sviluppo di una Early warning web Platform/App per gli allagamenti in area urbana
- Realizzazione di un sistema Nature-based per la gestione sostenibile delle acque di pioggia

5. ANALISI DELLE RETI IDRICHE: GLI APPROCCI DDA E PDA E LA CALIBRAZIONE

L’attività di ricerca nell’ambito delle reti idriche coinvolge sia aspetti legati alla gestione sia al calcolo delle reti.

L’approccio convenzionale per la verifica delle reti idriche di tipo Demand Driven Analysis (DDA) è stato per lungo tempo ritenuto soddisfacente in quanto lo scopo del calcolo di verifica idraulica è sempre stato quello di validare il dimensionamento della rete e di evidenziare, in caso di verifica negativa, la necessità di interventi correttivi. L’esigenza di calcolare, ai fini della valutazione degli indici di affidabilità, l’erogazione effettiva anche nelle situazioni di pressione insufficiente richiede, invece, un approccio diverso, indicato in letteratura come Pressure Driven Analysis (PDA), atto a identificare la soluzione che soddisfi non solo le consuete equazioni del moto e di continuità, ma anche le equazioni $Q_j=f(H_j)$ che mettono in relazione, in ogni nodo, la portata erogata con il carico effettivamente disponibile.

Il gruppo di ricerca ha proceduto, in questi anni a implementare l’approccio in PDA, sicuramente più aderente al reale funzionamento delle reti, all’interno delle procedure di calibrazione utilizzate sia ai fini della determinazione dei parametri di input del sistema a partire dalle misure su campo sia in altro tipo di analisi.

Sulla scorta delle analisi svolte applicando l'approccio di verifica in PDA sono stati portati avanti studi intesi a descrivere diversi scenari attraverso algoritmi che usano le reti neurali caratterizzando i parametri di output attraverso un modello di tipo binario che si è rivelato uno strumento utile per la classificazione delle reti.

L'analisi di sensitività basata sulla tecnica della perturbazione per fattori ha inoltre evidenziato la stabilità dei risultati relativi alla suddetta classificazione.

6. FUNZIONAMENTO DELLE RETI IN EMERGENZA

Quando una rete lavora in condizioni di emergenza, a causa della rottura di una condotta, è necessaria un'adeguata gestione del sistema. Questi eventi possono causare un disservizio agli utenti, perché la pressione in alcuni nodi della rete (nodi critici) diminuisce e la domanda richiesta dagli utenti non può essere soddisfatta. Una rottura di una condotta, per la sua riparazione, rende necessario isolare l'area in cui è posta l'elemento; in seguito, a tale chiusura si modifica il flusso circolante lungo i lati della rete e può verificarsi una riduzione della pressione in alcuni nodi.

Nella fase di gestione della rete lo scopo è pertanto quello di aumentare la pressione in modo da evitare il funzionamento in PDA della rete, e, inoltre, quello di ridurre al minimo le interruzioni nel tempo tra il guasto e la riparazione.

Gli studi portati avanti dal gruppo di ricerca hanno proposto, ai fini della mitigazione del disservizio, una metodologia basata sul controllo della domanda nodale. Il controllo della domanda in uscita dal nodo è possibile utilizzando valvole di controllo della pressione previa identificazione dei nodi in cui è più conveniente che vengano installate. I nodi di controllo possono essere scelti utilizzando matrici di sensibilità o approcci basati su tecniche di calibrazione.

7. POSIZIONAMENTO OTTIMALE DELLE VALVOLE IN UNA RETE IDRICA

La fase di gestione del sistema di distribuzione dell'acqua in condizioni di emergenza è fondamentale quando, per consentire interventi di riparazione delle condotte, si deve isolare una zona mediante l'attivazione di valvole di sezionamento. In queste condizioni, l'approccio più efficiente per l'analisi della rete di distribuzione idrica è ancora quella PDA, poiché tiene conto del valore effettivo del carico necessario per garantire il servizio alle utenze. L'analisi in condizioni PDA, in emergenza, è di frontiera in quanto, fino ad ora, i precedenti approcci erano basati sull'analisi del comportamento della rete in condizioni normale funzionamento. In condizioni di emergenza è invece possibile fornire una misura del funzionamento del sistema attraverso il valore assunto da una Funzione Obiettivo (OF). Tale Funzione guida il gestore nella definizione del numero ottimale di valvole aggiuntive al fine di ottenere un adeguato controllo del sistema. La Funzione Obiettivo tiene sempre conto della nuova topologia di rete ottenuta escludendo la zona in cui si trova la condotta danneggiata. I risultati finora ottenuti mostrano che la soluzione non migliora significativamente quando il numero di valvole ha raggiunto un valore di soglia. La procedura, applicata ad altri casi studio reali, sembra confermare l'efficacia della metodologia anche se sono necessarie ulteriori analisi in altri casi e in condizioni diverse.

8. SCELTA DEI PUNTI DI MISURA AI FINI DELLA CORRETTA CALIBRAZIONE DELLE RETI IDRICHE

La conoscenza delle reti idriche passa sia attraverso la ricognizione della topologia del sistema sia attraverso la conoscenza dei parametri idraulici alla base delle procedure di verifica del funzionamento della rete. La risoluzione del cosiddetto problema inverso consiste nel determinare quali sono i parametri di input della verifica, ossia la scabrezza dei lati e la portata erogata ai nodi, per ottenere i valori eventualmente misurati su campo. Ciò avviene utilizzando metodologie di calibrazione. L'approccio, ben noto in letteratura, è basato su procedure euristiche, o di minimizzazione di funzioni non lineari soggetti a vincoli non lineari. Si rende necessario, ai fini dell'ottenimento di risultati tecnicamente corretti, individuare i punti ottimali in cui posizionare misuratori di pressione e/o di portata per procedere al calcolo dei citati parametri (scabrezza ai lati e portate erogate).

Accanto ai metodi già indagati dal gruppo di ricerca, come ad esempio l'utilizzo delle matrici di sensitività, si stanno proponendo e valutando approcci alternativi per l'individuazione delle condotte più sensibili della rete sia ai fini della corretta calibrazione sia al fine di minimizzare il numero di misuratori necessari.

9. INTEROPERABILITÀ TRA SOFTWARE DI VERIFICA RETI E BIM

L'analisi e lo studio delle problematiche delle reti idriche sono da tempo dirette alla gestione delle stesse piuttosto che alla progettazione di nuovi sistemi.

Negli ultimi anni la sfida tecnico scientifica è stata rivolta allo studio di indicatori capaci di descrivere in maniera adeguata la topologia, le caratteristiche e il comportamento delle reti di distribuzione.

L'approccio alla progettazione e alla gestione dei sistemi di distribuzione ha reso necessario il ricorso, come per altri settori dell'ingegneria, al BIM (Building Information Modeling), al fine di creare un gemello digitale (Digital Twin) che sia in grado di descrivere sia le caratteristiche fisiche del sistema sia gli aspetti operativi e di funzionamento.

Gli attuali software basati sulla modellazione BIM presentano grosse limitazioni per quanto riguarda la descrizione delle reti idriche e la creazione del Digital Twin: la prima è legata alla possibilità di descrivere compiutamente tutti gli elementi del sistema e le proprietà che ne caratterizzano il funzionamento, la seconda è quella di garantire l'interoperabilità tra i modelli di verifica della rete consentendo, a esempio, di effettuare e avviare la fase di calcolo all'interno dell'ambiente BIM.

Lo scopo del lavoro di ricerca è quello di formalizzare i passi e le procedure per creare il modello digitale di un'opera idraulica, la rete di distribuzione, che contenga sia i parametri idraulici derivanti dal calcolo di verifica sia quelli descrittivi delle fasi di gestione ottenuti con modelli basati sull'analisi o sulla valutazione di misurazioni.

Il risultato ottenuto è di grande interesse tecnico: l'interoperabilità è stata garantita attraverso l'uso della libreria WNTR, dell'applicativo Autodesk Dynamo e con la creazione di file di interscambio tra i software in un formato aperto (.IFC).

10. ANALISI MORFODINAMICHE INDOTTE DALLA ROTAZIONE DI ELICHE DI NATANTI IN PRESENZA DI MOTO ONDOSI

Il sistema di propulsione maggiormente usato per le operazioni di manovra e navigazione di un natante sono i sistemi di propulsione ad elica, che producono un getto turbolento. Tale getto ha un impatto sul fondale e sulle sponde di aree portuali e canali di navigazione che si traduce in fenomeni di escavazioni e deposito di sedimenti a tergo dell'elica. Questi processi fisici sono generalmente indesiderati, oltre a problemi strutturali alle strutture di attracco, e alla risospensione di sedimenti che provoca la diffusione di inquinanti. Negli ultimi anni, per le suddette ragioni lo studio degli effetti indotti dalle eliche di natanti ha visto una crescente attenzione da parte di ingegneri marittimi, fluviali e navali, al fine di comprendere il meccanismo di scavo al fondo e di risospensione dei sedimenti, proponendo possibili contromisure e limitando i costi operativi per lavori di riparazione.

L'obiettivo della ricerca è quello di analizzare, attraverso esperimenti di laboratorio nei canali ondogeni delle Università di L'Aquila e del Salento, i fenomeni di scavo e deposito indotti dal getto di un'elica in assenza e presenza di una banchina portuale, in cui sia presente un moto ondoso regolare, e al variare delle sue caratteristiche di altezza e periodo, nonché della distanza dell'elica dal muro. Nelle campagne sperimentali sono state effettuate misure morfodinamiche, sia in fase transitoria che in fase di equilibrio, mediante Laser Scanner 3D e fotogrammetria. La finalità è quella di analizzare la formazione della fossa di scavo, calcolare il volume dei sedimenti erosi e depositati e la geometria della fossa stessa (massima profondità e larghezza) e del deposito all'equilibrio. La ricerca si prefigge, inoltre, di determinare formule semi-analitiche per la stima di queste grandezze in base alla variazione dei dati di input.

11. ANALISI DI TREND DI PARAMETRI DI MOTO ONDOSI

Il presente filone di ricerca riguarda un'analisi finalizzata all'identificazione e quantificazione di trend di moto ondoso nel mar Mediterraneo, considerando l'altezza d'onda significativa e il periodo di

picco. A livello di dati di moto ondoso, sono state analizzate lunghe serie temporali usando il database MeteOcean dell'Università di Genova. Le analisi di trend sono state effettuate attraverso il test non parametrico di Mann-Kendall. L'entità dell'incremento o del decremento dei parametri ondosi è stata stimata attraverso il metodo di Theil-Sen. Per i mari marginali del bacino del Mediterraneo, è stata adottata la tecnica della running trend analysis al fine di quantificare l'effetto della finestra temporale nell'individuazione del trend. Per le aree di studio, i suddetti aspetti hanno un significativo impatto sulle inondazioni, sulle variazioni delle linee di riva, sul progetto delle opere marittime e su future installazioni di convertitori di energia ondosa per la produzione di energia elettrica.

12. SOLLECITAZIONI INDOTTE DA ONDE IRREGOLARI SU STRUTTURE CILINDRICHE SCABRE

La presente attività di ricerca riguarda una serie di esperimenti svolti presso il laboratorio MEL (Marine Energy Laboratory) dell'Università di Reggio Calabria. La ricerca è incentrata sulla determinazione delle forze idrodinamiche orizzontali e verticali indotte da onde di vento a cresta corta su cilindri a giacitura orizzontale. In particolare, metà di queste strutture è stata resa idraulicamente liscia attraverso apposite vernici resistenti all'attacco della flora marina, mentre l'altra metà è stata coperta da una maglia artificiale di cirripedi. L'indagine sperimentale è stata caratterizzata da misure estensive di elevazione d'onda, attraverso 2 sonde ultrasoniche, e di pressioni sul contorno esterno delle opere, attraverso batterie di sensori di pressione, per la valutazione dei carichi idrodinamici agenti sulla struttura liscia e scabra, con l'obiettivo di confrontare le differenze fra le storie temporali delle azioni idrodinamiche sui cilindri lisci e scabri. L'obiettivo di tale ricerca è stato quello di calibrare formule semi-empiriche per la determinazione speditiva di tali sollecitazioni su strutture orizzontali cilindriche in mare.

13. MODELLAZIONE NUMERICA SPH DELLA DIFFUSIONE TURBOLENTE

In tale attività di ricerca, è stata sviluppata una modellazione delle varie sfaccettature della diffusione turbolenta (diffusione del momento, della massa, della densità e del calore) all'interno del solutore numerico Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH). Il trattamento è sviluppato considerando la modellazione Large Eddy Simulation (LES), caratterizzata da una chiusura turbolenta nell'equazione di continuità. Le novità introdotte sono la modellazione dell'equazione di advezione-diffusione attraverso la diffusività turbolenta della massa e la modellazione dell'equazione dell'energia interna attraverso la diffusività del calore. Inoltre, una calibrazione del termine di chiusura dell'equazione di continuità è stata proposta. Tre casi sono stati investigati per la validazione della modellazione. Il primo caso riguarda un problema 2D caratterizzato da un forte impatto fra 2 masse fluide, che è stato usato per la calibrazione del termine di diffusione turbolenta della densità. Il secondo caso ha riguardato un getto 2D soggetto ad una corrente idrica, parallela al getto stesso, e in cui è stata valutata l'evoluzione del campo di concentrazione. Infine, il terzo caso ha riguardato un getto 3D interagente con una corrente idrica, ortogonale al getto stesso, e in cui è stata modellata l'evoluzione del campo di concentrazione e di temperatura.

14. MODELLAZIONE NUMERICA SPH DELLE PRESTAZIONI DI UN CONVERTITORE DI ENERGIA ONDOSA

All'interno del progetto di ricerca PRIN PNRR "SMART - Sea wave energy converters and MARine Tidal turbines", la modellazione Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) è stata adottata per l'analisi delle prestazioni di un nuovo convertitore di energia ondosa, caratterizzato dalla presenza di una boa galleggiante incernierata al fondale marino. Test numerici sono stati effettuati per l'analisi delle oscillazioni libere smorzate del sistema e per la valutazione della potenza media immagazzinata dal sistema di conversione di energia ondosa, determinando, in questo caso, la massima potenza media in base alla variazione delle forzanti di moto ondoso (regolare e irregolare) in input e al coefficiente di smorzamento rotazionale della cerniera. I risultati numerici SPH sono stati confrontati, in termini di potenza media immaginata dal sistema, con un modello a potenziale utilizzato dall'Università degli Studi di Napoli "Federico II". Nel progetto di ricerca, è prevista un'attività sperimentale, sia nel

canale ondogeno della succitata Università e sia in mare presso il laboratorio MEL (Marine Energy Laboratory) dell'Università di Reggio Calabria, per la validazione dei risultati dedotti dai modelli numerici.

15. ANALISI DELLE INONDAZIONI COSTIERE PRODOTTE DA FORZANTI METEOMARINE ESTREME

Il presente studio, svolto all'interno del progetto PNRR "Tech4You", riguarda la definizione di un approccio integrato fra modellazione numerica, reti neurali e tecniche statistiche per la determinazione degli scenari di inondazione costiera indotti da forzante meteomarine estreme. L'analisi è stata applicata a 2 siti pilota nel Sud Italia, ovvero Cetraro (CS) e Metaponto (MT). Sono stati utilizzati dati meteomarini relativi ad onde, venti, pressioni atmosferiche e maree, oltre che dati topografici ad alta risoluzione per la modellazione della spiaggia sommersa ed emersa. Due modelli idrodinamici sono stati adottati. Il primo (modello SWAN) ha permesso la propagazione degli eventi di moto ondoso da largo a sottocosta, mentre il secondo (modello XBeach) ha permesso la valutazione delle aree costiere inondabili per effetto di diversi scenari RCP (Percorsi Rappresentativi di Concentrazione) accoppiati a condizioni meteomarine estreme.

16. STUDIO SU MODELLO FISICO E MATEMATICO PER LA VALUTAZIONE DEI PROCESSI DI IDRODINAMICA E MORFODINAMICA COSTIERA IN PROSSIMITA' DI UNA FOCE FLUVIALE

Lo studio che si intende effettuare è finalizzato alla valutazione dei processi di idrodinamica e morfodinamica costiera in prossimità di una foce fluviale. In particolare, l'attività di ricerca è volta alla simulazione delle variazioni morfologiche, longitudinali e trasversali, della zona antistante la foce, sottoponendo il fondale incoerente all'azione combinata di moto ondoso e correnti. Al fine di conseguire tale obiettivo saranno seguiti gli approcci sperimentale e numerico.

L'influenza di una corrente che si sovrappone ad un moto ondoso in un tratto di mare a largo o sottocosta è un fenomeno fisico molto frequente le cui caratteristiche determinano sostanzialmente delle trasformazioni, più o meno intense, del campo di moto oscillatorio e alcune modifiche della morfologia del fondo.

Le correnti presenti al largo sono dovute essenzialmente a diverse cause quali, maree, gradienti di densità e/o di temperatura, azione del vento sulla superficie libera. In prossimità della fascia costiera, oltre alle cause prima indicate, sono da annoverare poi quelle dovute alla presenza del moto ondoso che, come è noto, in condizioni di *shallow water* e nella *surf zone* è caratterizzato, oltre che dalle componenti oscillatorie, anche dalla presenza di correnti di massa, di intensità molto spesso non trascurabile.

Un ulteriore esempio di interazione tra moto ondoso e corrente lungo la fascia costiera è rappresentato dai processi di moto che si determinano in prossimità di una foce fluviale. In questo caso, la corrente si sviluppa in opposizione alla direzione di propagazione del moto ondoso e la zona interessata dal fenomeno di interazione si estende a tutto l'apparato di foce producendo modifiche che interessano non solo lo specchio d'acqua di mare prospiciente la foce stessa, ma anche un tratto più o meno esteso dell'asta terminale del corso d'acqua naturale. L'interazione idrodinamica onde-correnti determina, inoltre, modificazioni morfologiche (erosioni o accrescimenti dei fondali) che possono estendersi fino a profondità elevate.

Lo studio di tale fenomeno presenta notevoli difficoltà trattandosi di un processo di interazione fortemente non lineare tra le sollecitazioni dovute alla corrente e al moto ondoso e le modificazioni morfologiche indotte dall'azione combinata delle due forzanti. Il problema può essere trattato mediante un approccio di tipo matematico, fisico o mediante misure in situ. I modelli matematici che descrivono tali fenomeni, nonostante ipotesi semplificative introdotte nella trattazione idrodinamica e nella schematizzazione dell'evoluzione morfologica, si presentano particolarmente complessi e nel contempo poco attendibili. I modelli fisici sono invece più realistici fornendo, tuttavia, risultati qualitativi più che quantitativi a causa soprattutto degli effetti scala. Le misure in situ risultano

tecnicamente difficili da realizzare e molto costose, ma talvolta sono necessarie per interpretare correttamente i fenomeni modellati.

Sono state inoltre condotte analisi per diversi regimi d'interazione onda-duna: collisione, tracimazione, rottura con formazione di breccia", gli studi condotti sono stati finalizzati alla modellazione del fenomeno di interazione tra moto ondoso e barriere naturali in sabbia allo scopo di ottenere stime quantitative e fisicamente basate della resilienza e vulnerabilità, derivante da erosione o inondazione, di aree costiere protette da dune. Le operazioni di calcolo sono state effettuate mediante l'utilizzo di modelli analitici e numerici.

Gli obiettivi che si intende perseguire sono di tipo teorico e applicativo. In particolare, sarà studiata l'influenza dei parametri che caratterizzano la causa generatrice dei meccanismi di trasporto solido trasversale e litoraneo. Il secondo obiettivo, quello di carattere applicativo, sarà conseguito mediante gli approcci sperimentale e numerico.

La complessità dei fenomeni alla base delle dinamiche costiere impone il forte coinvolgimento della comunità scientifica che attraverso specifici programmi di ricerca e sperimentazione conduca ad uno stato di conoscenza indispensabile per affrontare in maniera globale i problemi di difesa e riqualificazione ambientale degli ambiti costieri su ampia scala.

Si auspica che i risultati derivanti dall'attività di ricerca potranno essere di interesse per tutti gli organismi preposti alla gestione dei corpi idrici in generale e in particolare delle aree costiere e costituiranno un utile approfondimento degli aspetti scientifici del problema.

17. SVILUPPO DI UNA PIATTAFORMA PROBABILISTICA BAYESIANA PER LA CALIBRAZIONE DINAMICA DI MODELLI IDROLOGICI DELLA ZONA VADOSA

L'attività di ricerca ha come finalità lo sviluppo di una piattaforma probabilistica Bayesiana *data-informed* computazionalmente efficiente per la calibrazione dinamica di modelli idrologici della zona insatura. In particolare, l'approccio intende fornire una base statistica per guidare gli idrologi e i decisori durante il processo di calibrazione del modello: 1) diagnosticando le anomalie e i cambiamenti di trend nelle misurazioni sia online che offline attraverso l'analisi delle serie temporali, 2) identificando i potenziali processi fisici sottostanti attraverso una valutazione Bayesiana ricorsiva della complessità del modello, 3) gestendo l'inadeguatezza strutturale del modello attraverso strategie conservative di mitigazione dell'incertezza.

L'approccio metodologico si basa sull'accoppiamento del modello idrologico, HYDRUS, con tecniche avanzate di inferenza Bayesiana e strategie di identificazione di anomalie nelle serie temporali di misurazioni. Misure sintetiche e di campo verranno utilizzate per la calibrazione probabilistica di diverse strutture modellistiche (e.g., porosità singola, porosità duale, etc). Le stesse verranno comparate utilizzando diversi indici statistici (Watanabe Information Criterion, Bayes Factor) per identificare dinamicamente la struttura modellistica più appropriata, e caratterizzare il comportamento idraulico del terreno.

18. METODI MONTE CARLO A CATENA DI MARKOV PER LA QUANTIFICAZIONE DELL'INCERTEZZA NELLA STIMA INVERSA DEI PARAMETRI IDROLOGICI

L'attività di ricerca ha come obiettivo l'analisi approfondita delle performance dei metodi Monte Carlo a catena di Markov (MCMC) per la calibrazione probabilistica di modelli idrologici. Gli algoritmi MCMC stanno trovando crescente utilizzo in idrologia. Applicati in combinazione con l'inferenza Bayesiana, gli stessi permettono di quantificare l'incertezza nella stima inversa di parametri idrologici, e verificare il contenuto informativo delle misurazioni. Tuttavia, le loro performance sono influenzate da diversi fattori (dimensionalità, forma delle distribuzioni, etc), i quali devono essere accuratamente valutati per un'analisi accurate dell'incertezza.

Una fase preliminare di benchmark su funzioni analitiche e dati sintetici verrà utilizzata per comparare algoritmi MCMC *gradient-based* e *gradient-free*. Successivamente, dati misurati verranno utilizzati in combinazione con gli algoritmi MCMC per la calibrazione probabilistica di diversi

modelli idrologici (e.g., HYDRUS, SWAT, KINEROS). I risultati verranno utilizzati per fornire delle linee guida di carattere generale per l'uso di tali algoritmi nella calibrazione idrologica.

19. CARATTERIZZAZIONE DEI PROCESSI DI TRASPORTO DI MICROPLASTICHE IN MEZZI POROSI VARIABILMENTE SATURI

L'attività di ricerca ha come finalità la caratterizzazione sperimentale e la simulazione numerica dei processi di trasporto di microplastiche in mezzi porosi variabilmente saturi. In particolare, vengono condotti esperimenti di laboratorio per analizzare la mobilità di microplastiche in colonne di terreno di diversa tessitura sottoposte a flusso continuo. Le curve misurate di breakthrough e i profili di ritenzione all'fine dell'esperimento sono utilizzate per identificare le parametrizzazioni modellistiche più adeguate. Nello specifico, sono comparati modelli basati sull'equazione di advezione-diffusione che includano funzioni di *blocking* di diverso tipo (Langmuir, depth-dependent, etc). L'analisi è estesa a microplastiche di diverso materiale, dimensione, e densità, in mezzi porosi artificiali o naturali. I risultati delle attività avranno grande importanza per comprendere i processi di trasporto delle microplastiche, e per sviluppare strategie di mitigazione dell'impatto ambientale.

20. SVILUPPO DI UN MODELLO SUOLO-PIANTA-FRUTTO PER L'OTTIMIZZAZIONE DELL'IRRIGAZIONE

L'attività di ricerca ha come finalità lo sviluppo e la validazione di un modello meccanicistico suolo-pianta per simulare il flusso d'acqua nel suolo, la traspirazione effettiva della pianta, e l'allocazione di acqua e carboidrati nei frutti. Un modello macroscopico di assorbimento dell'acqua da parte delle radici, basato sull'approccio dell'architettura idraulica delle radici, collega il modello HYDRUS, e una modellazione basata sulla fisica del trasporto di acqua e materiale secco nei frutti. I carboidrati scaricati dal floema sono allocati dinamicamente ad amido, zuccheri solubili e altri composti, tenendo conto dell'effetto dell'invecchiamento sull'estensibilità della parete cellulare, sulla riflettività della membrana del frutto, sull'assorbimento attivo degli zuccheri e sulla biosintesi dell'amido. Osservazioni provenienti da una campagna sperimentale condotta in Cina su pomodori in condizioni di irrigazione piena e deficitaria sono utilizzate per validare il modello. I dati sono combinati con l'inferenza bayesiana per calibrare il modello e valutarne l'accuratezza predittiva e l'incertezza. Una volta validato, il modello permetterà di ottimizzare l'irrigazione migliorando contemporaneamente la produzione agricola.

21. SVILUPPO DI UN INNOVATIVO TETTO VERDE MULTI-OBIETTIVO E DI SISTEMA SMART IOT DI RACCOLTA E RIUSO DELLE ACQUE METEORICHE

Tale linea di ricerca riguarda lo sviluppo delle seguenti due azioni nell'ambito del progetto "PNRR Tech4You", che saranno implementate presso un sito dimostrativo all'UNICAL:

- Sviluppo di un innovativo sistema di tetti verdi multi-obiettivo comprensivo di sistemi per la raccolta dell'acqua atmosferica e pannelli solari al fine di aumentarne l'efficienza idraulico-energetica.
- Sviluppo di un sistema smart IoT di raccolta e riuso dell'acqua piovana per l'irrigazione di tetti verdi al fine di migliorare l'impatto termico e ridurre l'impronta idrica dell'energia nell'edificio.

22. SVILUPPO DI UN DESIGN INNOVATIVO DI UN SISTEMA IBRIDO ACQUA-ENERGIA

Questa linea di ricerca riguarda lo sviluppo di un'azione nell'ambito del progetto "PNRR Tech4You". In particolare, il sistema sarà sviluppato e testato in un sito dimostrativo dell'UNICAL e le attività di ricerca riguardano:

- lo sviluppo un sistema ibrido acqua-energia a base solare con un'elevata efficienza nella produzione di calore, elettricità e pompaggio dell'acqua;
- l'analisi delle prestazioni del nuovo sistema ibrido acqua-energia per risolvere i problemi dei sistemi convenzionali di pompe solari, applicabili negli edifici, nei sistemi di distribuzione dell'acqua e in agricoltura.

S.S.D. CEAR-03/A – STRADE, FERROVIE E AEROPORTI

LINEE DI RICERCA A.A. 2023-2024

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD CEAR-03/A è così composto:

Rosolino Vaiana, PA

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. End of Waste: recupero e riciclo dei materiali nelle pavimentazioni stradale
2. Microsurfacing: Terapia Manutentiva per il ripristino delle Performance del Piano di Rotolamento Stradale
4. Sicurezza stradale: Road Accident Analysis ed infrastruttura stradale

Le principali linee di ricerca sono di seguito descritte.

1. END OF WASTE: RECUPERO E RICICLO DEI MATERIALI NELLE PAVIMENTAZIONI STRADALE

In linea con l'Agenda 2030 dell'ONU, l'eco-sostenibilità delle infrastrutture di trasporto, ed in particolare delle pavimentazioni stradali flessibili, trova oggi grande sviluppo nella ricerca e nello studio di nuovi materiali e/o componenti che possano limitare l'utilizzo di materie prime (risorse non rinnovabili), a vantaggio del riutilizzo o del riciclo di altri materiali (materie prime seconde) nel confezionamento dei conglomerati bituminosi e/o dei rilevati in terra.

In sintesi: il rifiuto prende il nome di "End of Waste" da intendersi come l'interruzione della qualifica di rifiuto per entrare in un processo (virtuoso) di recupero del rifiuto stesso, al termine del quale esso acquisisce la qualifica di prodotto, quale potenziale risorsa con assoluti e primari vantaggi di eco-sostenibilità ambientale anche in termini di minor conferimento in discarica Direttiva Quadro EU sui rifiuti (2008/98/CE)..

La linea di ricerca mira alla caratterizzazione prestazionale di leganti, conglomerati bituminosi e sottofondi stradali realizzati a partire dal riciclo/riuso principalmente di: i) scarti industriali (scorie d'altoforno, oli esausti, residui di lavorazione etc.) o scarti provenienti dalla filiera alimentare; ii) residui di attività di costruzioni/demolizioni (RAP = Reclaimed Asphalt Pavement ovvero vecchie pavimentazioni stradali fresate); iii) polverino di gomma proveniente dal riciclo dei PFU (Pneumatici Fuori Uso); iv) da pirolisi di RSU rifiuti solidi urbani e/o da termovalorizzazione.

In particolare, in questo biennio, sono state sviluppate ed applicate linee di stima della sostenibilità globale di tali processi di riciclo, attraverso lo studio del Life Cycle Assessment (LCA) una metodologia analitica e sistematica che valuta l'impronta ambientale di un prodotto, lungo il suo intero ciclo di vita. Il metodo spazia infatti dalle fasi di estrazione delle materie prime costituenti il prodotto, alla sua produzione, sua distribuzione, uso e sua dismissione finale, restituendo i valori di impatto ambientali associati al suo ciclo di vita.

La presente linea di ricerca trova coerenza con:

- [1] quanto previsto dalle attività del Progetto di Rilevante Interesse Nazionale finanziato dal MIUR (PRIN 2017 - "Urban safety, sustainability, and resilience: 3 paving solutions, 4 sets of modules, 2 platforms." Acronym: USR342 - Prot. 2017XYM8KC) | Concluso a settembre 2023;

[2] quanto previsto dalle attività del Progetto di Ricerca @CNR: ReScA – “ Capitale naturale risorse per il futuro dell’Italia. Recupero degli scarti da pirolisi di rifiuti urbani per potenziare e ripristinare asfalti” | Concluso a dicembre 2023.

2. MICROSURFACING: TERAPIA MANUTENTIVA PER IL RIPRISTINO DELLE PERFORMANCE DEL PIANO DI ROTOLAMENTO STRADALE

La pavimentazione stradale riveste oggi peculiare rilevanza in relazione al soddisfacimento di istanze primarie ed assolutamente generali quali la *sicurezza della locomozione*. Tale istanza concerne specificatamente le caratteristiche dello strato di superficie. Le performance del piano viario, rivestono un ruolo fondamentale poiché attengono a proprietà che sono in grado di condizionare tutti i fenomeni connessi al contatto tra pneumatico e superficie di rotolamento, i cui effetti interferiscono con la sicurezza del moto, con il comfort di marcia, nonché con la compatibilità ambientale del trasporto su gomma, tanto in termini di inquinamenti (rumore da rotolamento e vibrazioni) che di costi energetici (consumo di carburanti e pneumatici).

La ricerca mira alla caratterizzazione prestazionale delle performance superficiali (Aderenza, Drenabilità, Rugosità, Rumorosità) delle pavimentazioni stradali sia tradizionali che innovative (con utilizzo di aggregati lapidei artificiali e/o provenienti da scarti industriali, tecniche Slurry Seal/Microsurfacing etc.).

In particolare, in questo biennio, è stata completata la realizzazione di una strumentazione prototipo, MPU | MicroPaverUnical, per il confezionamento e la stesa in laboratorio di miscele Microsurfacing. Questa strumentazione ha già avuto il deposito brevettuale in ambito nazionale ed è in itinere l’iter per la protezione brevettuale in ambito internazionale.

La presente linea di ricerca trova coerenza con quanto previsto:

- i) dalle attività del Progetto di Rilevante Interesse Nazionale finanziato dal MIUR (PRIN 2017 | Urban safety, sustainability, and resilience: 3 paving solutions, 4 sets of modules, 2 platforms.” Acronym: USR342 - Prot. 2017XYM8KC);
- ii) dalle attività della Task Force TG2 – Cold bitumen emulsion mixtures | Interlaboratory Testing Programme in seno al Comitato Tecnico TC 280-CBE: Multiphase Characterisation of Cold Bitumen Emulsion Materials del RILEM;
- iii) Collaborazione scientifica con l’Università di Bologna, prof. Cesare Sangiorgi;
- iv) Collaborazione scientifica con l’Università del Minho (Portogallo), prof. Joel R. M. Oliveira.

3. SICUREZZA STRADALE: ROAD ACCIDENT ANALYSIS ED INFRASTRUTTURA STRADALE

Gli orientamenti comunitari attraverso il 5th Road Safety Action Programme incoraggiano l'estensione delle misure della Direttiva 2019/1936/EC a tutte le strade cofinanziate dall'UE e alle principali strade urbane ed extraurbane, con l'obiettivo specifico di ridurre del 50% il numero di morti e feriti per incidenti stradali tra il 2020 e il 2030.

L'introduzione in forma sistematica e cogente di queste procedure nel panorama normativo italiano, avviene con il D.Lgs. n.35/11 come conseguenza diretta dell’attuazione della Direttiva 2019/1936/EC sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali.

È in questo contesto si è sviluppata la ricerca, con particolare riferimento ad applicazioni sperimentali nel contesto della viabilità regionale calabrese (ricerca di nessi correlativi tra carenze infrastrutturali e eventi incidentali).

S.S.D. CEAR-03/B – TRASPORTI

LINEE DI RICERCA A.A. 2023-2024

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD CEAR-03/B è così composto:

Gabriella Mazzulla, Prof.ssa di I Fascia
Vittorio Astarita, Prof. di II Fascia
Laura Eboli, Prof.ssa di II Fascia
Giuseppe Guido, Prof. di II Fascia
Carmen Forciniti, Prof. di II Fascia

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. qualità dei servizi di trasporto
2. sicurezza stradale
3. nuove tecnologie e trasporti intelligenti (ITS)
4. mobilità pedonale e ciclabile
5. mobilità sostenibile e mobility management

Le principali linee di ricerca sono di seguito descritte.

1. QUALITÀ DEI SERVIZI DI TRASPORTO

1.1. ANALISI DELLA QUALITÀ PERCEPITA PER IL TRASPORTO COLLETTIVO SU GOMMA E SU FERRO

La misura della qualità dei servizi di trasporto collettivo rappresenta una tematica di ricerca di notevole e attuale interesse, data l'importanza di incentivare l'utilizzo dei sistemi di trasporto collettivo a discapito dell'autovettura, al fine di raggiungere una mobilità di tipo sostenibile. In questo ambito, l'analisi delle percezioni degli utenti sui servizi rappresenta una conveniente misura di qualità dei servizi; le percezioni vengono raccolte tramite indagini ad hoc, le ben note indagini di Customer Satisfaction. Risulta fondamentale indagare i fattori di qualità che caratterizzano il servizio, allo scopo di stabilire quali di essi sono maggiormente determinanti e critici per il servizio. Il gruppo di ricerca dell'Unical sta da diversi anni sviluppando ricerche nell'ambito di questa tematica, progettando e realizzando diverse indagini rivolte agli utenti, applicando e proponendo diverse tecniche di analisi e modelli per misurare la qualità (e.g. modelli di regressione, modelli ad equazioni strutturali, modelli di scelta discreta).

L'attività di ricerca relativa al trasporto su gomma è stata focalizzata a indagare sulle percezioni degli utenti e dei potenziali utenti, al fine di attirare nuova utenza per il trasporto collettivo. In questo ambito si definisce il concetto di qualità desiderata, propria dei potenziali utenti, e differente dalla qualità attesa, propria degli utenti del servizio. Nell'ambito del trasporto su ferro (ferrovie regionali e metropolitane) l'attività di ricerca è stata orientata sull'analisi della eterogeneità delle percezioni degli utenti mediante modelli innovativi ad equazioni strutturali (SEM-MIMIC) e sulla relazione tra i giudizi degli utenti il Critical Incident, ovvero un episodio accaduto all'utente relativamente ad un determinato aspetto di qualità del servizio. Nel biennio 2024-2025 la ricerca è orientata ad indagare sulle problematiche emerse dopo la pandemia da COVID-19 e su come la crisi sanitaria ha influito sulle percezioni degli utenti dei trasporti collettivi.

1.2. VALUTAZIONE DEI PARAMETRI DI PRESTAZIONE DEI SERVIZI DI TRASPORTO COLLETTIVO SU GOMMA

Il gruppo di ricerca ha, peraltro, avviato una sperimentazione di una piattaforma integrata Hardware/Software per la determinazione di parametri fisici finalizzata alla stima della qualità del servizio di trasporto pubblico. La piattaforma consente, tra le altre funzioni, di certificare la qualità del servizio offerto dalle aziende di trasporto collettivo sulla base di diversi criteri definiti dalla Commissione Europea e condivisi attraverso la cosiddetta “Matrice della Qualità”. I criteri sono relativi alla disponibilità del servizio, all’accessibilità al servizio stesso, alle informazioni disponibili, al tempo inteso come durata degli spostamenti e rispetto degli orari, all’attenzione verso gli utenti, al comfort, alla sicurezza e all’impatto ambientale. La necessità di sviluppare una siffatta piattaforma nasce dall’esigenza di standardizzare e certificare i servizi in un processo di garanzia della qualità. L’Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione (ISO) definisce infatti gli standard da adottare come “accordi documentati, contenenti specifiche tecniche od altri precisi criteri da adottare stabilmente come regole, linee guida o definizioni di caratteristiche, per garantire che i fattori produttivi, i prodotti, i processi ed i servizi siano adatti ai propri scopi”.

Nel biennio 2024-2025, continuerà la fase di sviluppo della ricerca focalizzata su soluzioni innovative, basate su modelli avanzati di analisi dei dati tramite applicazioni di Intelligenza Artificiale, per rispondere alle esigenze delle aziende di trasporto collettivo, da un lato, e ai desiderata degli utenti, dall’altro.

1.3. TRASPORTO AEREO

L’analisi della qualità trasporto aereo è alquanto complessa, essendo caratterizzata da una differenziazione di servizi offerti dai gestori aeroportuali (lato terra) e di servizi offerti dalle compagnie aeree (lato aria). Sono numerosi e molto diversi tra loro i fattori che caratterizzano le due tipologie di servizi. Per questa ragione si sta lavorando, da qualche anno, ad una analisi degli studi più rilevanti nella letteratura al fine di dare un quadro di quelli che sono gli aspetti indagati, le metodologie adottate per l’analisi, e i risultati ottenuti dai vari studi. Allo stesso tempo si stanno proponendo diverse tecniche di analisi e modelli per identificare gli aspetti più importanti dei servizi offerti dall’aeroporto di Lamezia Terme. Contestualmente, sono state avviate analisi di dati raccolti mediante una indagine online finalizzata a raccogliere le percezioni degli utenti sui servizi lato aria, dati generalmente non facili da reperire perché raccolti dalle diverse compagnie aeree. Tra i vari aspetti, si sta indagando sulla differenza delle scale di misurazione utilizzate nelle indagini di Customer Satisfaction, al fine di verificare la differenza tra il giudizio di qualità e il livello di soddisfazione. In particolare, sono state proposte tecniche di analisi di dati relativi ai giudizi di qualità e ai livelli di soddisfazione, e tecniche per analizzare dati di tipo Stated Preferences (SP), che sono stati raccolti nell’ambito della indagine online. Nel biennio 2024-2025, particolare attenzione è rivolta all’analisi della eterogeneità nelle percezioni degli utenti, ovvero delle differenze di percezione degli attributi di qualità tra diverse categorie di utenti. A questo scopo, si stanno sviluppando modelli di tipo SEM-MIMIC, e modelli di scelta discreta che consentono di investigare sulla eterogeneità delle percezioni, quali i modelli di tipo Random Parameter Logit (RPL) e Latent Class (LC).

2. SICUREZZA STRADALE

2.1. L’ANALISI DEGLI INCIDENTI STRADALI

Nel campo della sicurezza stradale la ricerca è da tempo orientata verso l’analisi del fenomeno dell’incidentalità, delle cause che provocano gli incidenti e del comportamento di guida dei conducenti. Sono stati condotti studi sullo stile di guida dei conducenti sulla base del rilievo di fattori “oggettivi” (velocità, accelerazioni) e di fattori soggettivi (condizioni psico-fisiche), e studi

sull'analisi della percezione del rischio di incidente.

La ricerca è stata focalizzata sull'analisi statistica dei dati relativi agli incidenti avvenuti in Italia negli ultimi anni, al fine di comprendere come le caratteristiche dell'incidente (e.g. condizioni della strada, ambiente esterno, caratteristiche del conducente e del veicolo) e le circostanze che conducono al verificarsi dell'incidente stesso (e.g. guida distratta, eccesso di velocità) possano contribuire alla severità dell'evento.

Nel biennio 2024-2025, continuerà la fase di sviluppo della ricerca, con enfasi su metodologie di analisi della sicurezza stradale basate su applicazioni di algoritmi genetici, reti neurali e machine learning che supportino la valutazione dei potenziali fattori che maggiormente incidono sulla incidentalità stradale.

2.2. MODELLI PREVISIONALI DEGLI INCIDENTI

La ricerca è stata focalizzata sullo sviluppo e sull'applicazione di modelli previsionali atti a definire le correlazioni quantitative tra i parametri caratterizzanti l'incidentalità sugli archi di una rete stradale e le caratteristiche infrastrutturali e funzionali di ciascun arco.

L'utilizzo delle Funzioni di Prestazione della Sicurezza (FPS), che assegnano il livello di sicurezza di una infrastruttura stradale, sono alla base di alcuni dei modelli previsionali adottati per analizzare le relazioni tra le componenti esterne e l'incidentalità.

Nel biennio 2024-2025, continuerà lo studio di modelli previsionali di incidenti stradali basati, tra gli altri, su metodi Bayesiani Empirici (EB), Modelli Lineari Generalizzati (GLM) e Reti Neurali Artificiali (ANN).

2.3. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRADALE TRAMITE SIMULAZIONE

Un particolare filone di ricerca sulla sicurezza stradale è stato focalizzato sull'analisi degli impatti delle moderne tecnologie di localizzazione (es. satellite-based e mobile-data-based) sul miglioramento della sicurezza stradale tramite strumenti di simulazione. La simulazione del deflusso veicolare su reti di test o su rappresentazioni delle reti stradali reali consente infatti di riprodurre gli effetti indotti dalla realizzazione di sistemi di connessione vehicle-to-vehicle (V2V) e vehicle-to-infrastructure (V2I) sul traffico veicolare e, quindi, sulla congestione delle reti stradali stesse. In questa direzione, le linee di ricerca del gruppo intendono fornire un contributo allo sviluppo e all'ampliamento delle potenzialità di queste metodologie e di queste tecnologie, nonché alla loro diffusione attraverso l'implementazione di sistemi cooperativi, basati anche sul coinvolgimento degli utenti (es. social network).

Nell'ambito dello stesso tema di ricerca sono stati sviluppati innovativi modelli di interazione tra i veicoli implementati in package di simulazione per la valutazione del rischio di incidente stradale e per la individuazione di punti neri (black spot).

Nel corso del biennio 2024-2025 continuerà l'attività di implementazione di nuovi modelli di interazione tra i veicoli e gli altri "oggetti" presenti sulle reti simulate, introducendo nel panorama della letteratura scientifica un nuovo approccio all'analisi della sicurezza stradale. Il presupposto sul quale si basa la metodologia proposta è che si possano "generare" in simulazione condizioni di incidente (o *near miss*) e si possa, pertanto, valutare anche la severità dei crash in termini di energia dissipata nell'impatto.

3. NUOVE TECNOLOGIE E TRASPORTI INTELLIGENTI (ITS).

Le nuove tecnologie dell'informatica e telematica e l'introduzione di veicoli 'autonomi' e 'connessi' cambieranno lo scenario del settore dei trasporti. Questa linea di ricerca intende approfondire l'impatto di queste nuove tecnologie nel settore dei trasporti. L'obiettivo è di sviluppare soluzioni

innovative che possano anche attrarre finanziamenti di ricerca. Alcune delle nuove tecnologie che saranno considerate saranno:

- Intelligenza artificiale (IA): applicazioni dell'intelligenza artificiale alla gestione sostenibile della sicurezza stradale.
- Wireless Internet e 5G
- Sistema di navigazione Europeo Galileo
- Internet delle cose (IOT).
- Sensori distribuiti per la valutazione dell'inquinamento atmosferico (distributed sensors for pollution evaluation)
- Veicoli 'connessi': sistemi adattivi per la gestione e controllo della mobilità urbana basati su IA e comunicazioni intelligenti vehicle-to-network per la riduzione dell'impatto ambientale.
 - Veicoli 'autonomi' e 'semi-autonomi': l'immissione sul mercato di veicoli con sistemi di assistenza alla guida e lo sviluppo di veicoli "autonomi" comportano nuove problematiche di sicurezza e gestione delle reti di trasporto. Modelli e metodi per la simulazione del traffico e per la valutazione delle problematiche connesse saranno oggetto di attenzione.
 - Smart Cities: sistemi di Smart-Mobility per aree urbane ed extraurbane basati sulle tecnologie sopra-indicate.

Nel biennio 2024-2025, continuerà l'attività di implementazione di un sistema innovativo per l'analisi delle prestazioni di guida e la valutazione dell'impatto ambientale da traffico veicolare con l'adozione di tecniche di intelligenza artificiale.

4. MOBILITA' PEDONALE E CICLABILE

La mobilità pedonale e quella ciclabile rappresentano delle alternative di mobilità sostenibile di particolare attualità, viste le problematiche che affliggono le città (e.g. inquinamento atmosferico e acustico, incidentalità stradale, congestione del traffico). In questa ottica, risulta necessario offrire agli utenti dei percorsi pedonali e ciclabili caratterizzati da adeguati livelli di qualità e sicurezza, al fine di incentivarne l'utilizzo a discapito della autovettura. A questo scopo, è necessario sviluppare metodologie di raccolta e analisi di dati sulla qualità e sulle performance dei percorsi pedonali e ciclabili, al fine di individuare gli aspetti su cui puntare per incrementare le performance e il livello di qualità percepita delle persone che utilizzano i percorsi e di attirare nuova utenza. In questo ambito, nel 2019 è stata avviata una campagna di indagini per la raccolta di dati sui percorsi pedonali e ciclabili situati nei comuni di Cosenza e Rende, finalizzata a rilevare le caratteristiche tecniche dei percorsi e le percezioni degli utenti che li utilizzano. Si è quindi avviata l'analisi dei dati raccolti. In particolare, sono state sviluppate tecniche e modelli per l'analisi delle percezioni degli utenti dei percorsi pedonali e ciclabili al fine di stabilire quali sono gli aspetti che maggiormente influiscono sulla qualità dei percorsi e sulle scelte delle persone di utilizzarli o meno. Contestualmente, ci si è concentrati sulla progettazione di percorsi che possano offrire agli utenti i livelli di qualità desiderati. Nell'ambito di questa tematica di ricerca, nel biennio 2024-2025 si continuerà a rivolgere l'attenzione all'analisi delle percezioni dei pedoni in base alle loro caratteristiche socio-economiche. Diversi studi sono stati focalizzati alle differenze di genere nelle percezioni della qualità dei percorsi pedonali e ciclabili.

5. MOBILITA' SOSTENIBILE E MOBILITY MANAGEMENT

In tema di sostenibilità, sul presupposto del raggiungimento degli obiettivi di Agenda 2030, lo sviluppo di questa linea di ricerca intende indagare l'impatto delle nuove forme di mobilità sull'ambiente e sugli aspetti sociali ed economici, declinando le attuali disposizioni normative in tema di mobility management.

L'obiettivo principale della ricerca è quello di sviluppare un approccio ibrido per valutare e classificare le potenziali misure di *smartification*, tenendo presenti gli obiettivi di mobilità sostenibile. L'approccio, nelle prime fasi di sviluppo, integra la metodologia di analisi denominata Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) con la tecnica denominata Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), tra le tecniche maggiormente diffuse nell'analisi multi-criteri (MCDM o MCDA), con l'obiettivo di valutare esplicitamente più criteri contrastanti nel processo decisionale.

Sul tema del mobility management, particolarmente rilevante nelle aree urbane, dove la densità di popolazione ed i volumi di traffico sono elevati, l'attenzione sarà posta sullo sviluppo di metodologie di pianificazione e sull'implementazione di misure adeguate a migliorare l'efficienza del sistema di trasporti, ridurre la congestione e minimizzare l'inquinamento soprattutto attraverso il ricorso a sistemi di trasporto intelligente (ITS), che utilizzano tecnologie informatiche e di comunicazione per ottimizzare i flussi di traffico e migliorare la gestione dei trasporti pubblici. Particolare attenzione sarà rivolta ai temi della Mobility as a Service (MaaS) e alla Mobility as a Feature (MaaS), la MaaS di seconda generazione che coinvolge le attività commerciali, in un approccio multiservizio che riconosca la comodità dei veicoli privati e li integri nella MaaS.

Nel biennio 2024-2025, l'attività sarà focalizzata allo sviluppo di approcci ibridi per la valutazione degli effetti indotti dalle misure di mobility management e dall'implementazione di forme di mobilità sostenibile supportate da tecnologie innovative.

SSD CEAR-05/A – GEOTECNICA

LINEE DI RICERCA A.A. 2023-2024

Il Gruppo di Ricerca del SSD CEAR-05/A è così composto:

Enrico Conte, Prof. Ordinario
Antonello Troncone, Prof. Ordinario
Ernesto Ausilio, Prof. Associato
Roberto Cairo, Prof. Associato
Luigi Pugliese, RTDa

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. Moto sismico di progetto e analisi di risposta sismica locale
2. Stabilità dei pendii, previsione e mitigazione del rischio frana

Le principali linee di ricerca sono di seguito descritte.

1. MOTO SISMICO DI PROGETTO E ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

1.1. VARIABILITÀ SPAZIALE DEL MOTO SISMICO PER STRUTTURE CON GRANDE SVILUPPO PLANIMETRICO

Il progetto delle strutture in condizioni sismiche viene convenzionalmente condotto assumendo che l'azione sismica sia la stessa in qualunque punto della fondazione di un'opera. Nel caso di opere con sviluppo planimetrico significativo, come ad esempio ponti, gasdotti, sistemi di arginature fluviali, etc., tale assunzione non consente una rappresentazione realistica dell'effettiva eccitazione sismica, in quanto il moto può avere caratteristiche variabili lungo lo sviluppo dell'opera stessa. La variabilità spaziale del moto sismico è dovuta a tre fattori: perdita di coerenza delle onde sismiche con la distanza (incoherence effect); differenza nei tempi di arrivo delle onde sismiche in punti diversi dell'opera (wave passage effect); effetti stratigrafici e topografici del sito (site effect).

Inoltre, è stato dimostrato che anche la variabilità spaziale del moto sismico verticale influenza la risposta dei ponti. Comunque, studi specifici sulla variabilità spaziale della componente verticale sono limitati in letteratura in confronto con quelli associati alla componente orizzontale. Pertanto la funzione di coerenza verticale, almeno per quanto riguarda l'effetto di incoerenza, viene assunta uguale a quella orizzontale.

La principale finalità della ricerca, sviluppata nell'ambito del progetto RELUIS finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile Nazionale, è lo sviluppo di un approccio completo in cui siano inclusi anche gli effetti di sito, con particolare riferimento a quelli topografici.

Inoltre, tramite simulazioni numeriche si valuteranno tutti i termini della funzione di coerenza verticale per poter definire dei modelli di coerenza verticale da confrontare con quelli orizzontali.

1.2. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE CON MODELLAZIONE 2D

L'analisi di risposta sismica locale nei terreni orizzontalmente stratificati viene affrontata con una modellazione bidimensionale in cui si tiene conto della propagazione accoppiata di onde di compressione P e di onde di taglio SV.

L'analisi permette di simulare il comportamento non lineare del terreno attraverso un approccio

lineare equivalente semplificato che possa tenere conto: (i) dell'accelerazione massima attesa a piano campagna, in funzione della categoria di sottosuolo, dello stato limite considerato, e dell'importanza dell'opera; (ii) la variazione delle proprietà meccaniche degli strati di terreno con la frequenza. Infine, la presenza di contorni irregolari verrà simulata attraverso tecniche di tipo BEM.

2.2. STABILITÀ DEI PENDII, PREVISIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO FRANA

2.1. FRANE SISMO-INDOTTE

Le frane innescate da terremoti rappresentano un grande problema per le aree collinari e montane ricadenti in regioni sismicamente attive. Negli ultimi decenni sono stati profusi notevoli sforzi per migliorare la valutazione, ad ampia scala, del rischio connesso con il verificarsi di frane sismo-indotte. Gli studi si sono concentrati sulle distribuzioni spaziali degli eventi, al fine di definire la distanza limite dalla zona epicentrale entro la quale si sono verificati fenomeni franosi. Tali distanze sono utilizzate per individuare le aree di maggiore suscettibilità in occasione di futuri terremoti. Tuttavia, è ben noto che l'innescamento delle frane è legato anche ai parametri del moto sismico. Di conseguenza, sarebbe particolarmente utile definire una correlazione tra la distribuzione spaziale delle frane ed il valore dell'accelerazione o della velocità del moto sismico atteso. Ciò costituisce il principale obiettivo della ricerca. La ricerca analizza, inoltre, la distribuzione spaziale delle frane indotte da una sequenza sismica rispetto a quella generata da un singolo evento.

2.2. ANALISI SISMICA DI PENDII IN TERRENI POTENZIALMENTE LIQUEFACIBILI

I terremoti sono riconosciuti come una delle principali cause di frane, sia nei pendii naturali che in quelli artificiali quali dighe, argini o rilevati.

Il presente studio, svolto nell'ambito di un progetto PRIN 2022, è finalizzato all'analisi dei complessi processi deformativi coinvolti nelle frane indotte da terremoti, concentrandosi principalmente sulle fasi di rottura e post-rottura delle frane tipo flusso che generalmente hanno le maggiori conseguenze in termini di perdite economiche e vittime umane. A tal fine vengono utilizzati sia approcci tradizionali, opportunamente estesi per tenere conto di alcuni importanti effetti, sia metodi numerici avanzati. Nello specifico, viene sviluppato un metodo per tenere conto della riduzione della resistenza al taglio del terreno e delle modifiche nella geometria del pendio che si verificano durante l'azione sismica, e per prevedere il processo di run-out della frana in conseguenza dell'instabilità del pendio causata dal terremoto.

2.3. ANALISI NUMERICHE AVANZATE DI FENOMENI FRANOSI: DALLA FASE PRE-ROTTURA ALLA FASE POST-ROTTURA

I metodi numerici tradizionali (FEM, FDM) sono di solito utilizzati per analizzare i processi deformativi che conducono all'instabilità dei pendii, per i quali l'ipotesi di piccole deformazioni è generalmente ritenuta accettabile. L'analisi della fase evolutiva di una frana, dopo la rottura, richiede invece l'utilizzo di metodi in grado di simulare adeguatamente il verificarsi di elevate deformazioni. Il Metodo del Punto Materiale (MPM) è una tecnica numerica avanzata con queste caratteristiche. Il metodo è stato utilizzato con successo per analizzare l'intero processo deformativo (dalla fase pre-rottura alla fase post-rottura) di un gran numero di frane di grandi dimensioni imputabili a cause diverse (piogge, innalzamento della falda, terremoti, scavi ed erosione al piede), alcune delle quali si sono verificate in Calabria. L'approccio numerico utilizzato ha permesso di individuare i complessi meccanismi che hanno determinato l'innescamento della frana e la sua evoluzione, permettendo una razionale spiegazione del fenomeno franoso occorso.

I più recenti studi hanno riguardato, in particolare, l'analisi di fenomeni franosi in argille sensitive. Siffatte argille risultano particolarmente complesse da studiare in quanto perdono in misura considerevole la loro resistenza se soggette a rimaneggiamento. Nello specifico, è stato proposto un metodo di interesse pratico per la simulazione dell'intero evento franoso che comprende la fase di

innesco del fenomeno d'instabilità, la sua propagazione verso monte con la completa definizione del volume di terreno instabile, nonché il profilo finale del corpo di frana.

2.4. FRANE PLUVIO-INDOTTE

Le frane superficiali pluvio-indotte si verificano principalmente in pendii ripidi costituiti da terreni parzialmente saturi. In siffatte condizioni, infatti, la stabilità del pendio è in genere assicurata dalla suzione che conferisce al terreno una sorta di coesione apparente che ne incrementa la resistenza. In occasione di eventi piovosi, però, l'infiltrazione dell'acqua nel pendio provoca una progressiva riduzione della suzione e conseguentemente della resistenza al taglio del terreno, fino ad innescare un fenomeno di rottura. Nonostante i ridotti spessori di terreno (da alcuni decimetri fino a pochi metri), le frane superficiali possono risultare estremamente pericolose per la rapidità di innesco e la mancanza, spesso, di segni premonitori che ne rendono problematica la previsione. Il ricorso a complessi metodi numerici appare in molti casi non appropriato, se non addirittura vanificato per mancanza di specifici dati riguardanti le proprietà idro-meccaniche dei terreni interessati. La ricerca ha permesso di sviluppare un metodo di pratica utilità in grado di correlare direttamente l'evento franoso alle piogge attese e che richiede in input un numero limitato di parametri, dal chiaro significato fisico e facilmente determinabili da prove geotecniche convenzionali. Il metodo sviluppato utilizza alcune soluzioni in forma chiusa per valutare le variazioni di suzione nel terreno a seguito dell'infiltrazione della pioggia e il semplice schema del pendio indefinito per definire le eventuali condizioni di rottura.

L'analisi della fase evolutiva di una frana, dopo la rottura, ha richiesto invece l'utilizzo del Metodo del Punto Materiale (MPM) che, come già detto, è in grado di simulare adeguatamente il verificarsi di elevate deformazioni.

Dopo le fasi di rottura e post-rottura, alcune frane sono soggette a riattivazioni a causa, ad esempio, di un significativo innalzamento della falda idrica. Siffatte frane sono definite attive e, in genere, sono caratterizzate da velocità contenute e movimenti periodici tipo "blocco rigido". Nell'ambito di questa ricerca, è stata sviluppata una metodologia analitica per la previsione della velocità di frane attive soggette a variazioni stagionali del livello di falda, a seguito di piogge, ed in presenza di una o più file di pali con funzione stabilizzante. In particolare, il metodo consente di prevedere gli spostamenti della frana direttamente da scenari attesi della pioggia.

Siffatti metodi costituiscono la base di un nuovo approccio per la prevenzione del rischio frane pluvio-indotte in fase di implementazione su piattaforme innovative, nell'ambito dello Spoke1- Tech4You Ecosystem.

2.5. EFFICACIA DEI PALI COME RIDUTTORI DEI MOVIMENTI DI FRANE ATTIVE PER EFFETTO DELLE PIOGGE

L'installazione di una o più file di pali in pendii instabili è riconosciuta come una misura efficace per la loro stabilizzazione. L'efficacia di una siffatta soluzione progettuale viene solitamente quantificata in termini di un fattore di sicurezza rispetto all'eventuale riattivazione del corpo di frana. Tuttavia, un tale evento potrebbe comunque verificarsi, ad esempio a causa di un significativo innalzamento del livello della falda, come avviene nel caso delle frane attive in argilla durante i periodi piovosi. Sebbene la mobilità di questo tipo di frane venga solitamente impedita o attenuata mediante l'installazione di un idoneo sistema di drenaggio, i pali potrebbero essere dimensionati per svolgere anche una funzione di riduzione dello spostamento della frana durante le fasi di riattivazione. Pertanto, un approccio progettuale più razionale ed economico rispetto al tradizionale metodo dell'equilibrio limite, consiste nell'ammettere il verificarsi, in alcuni intervalli di tempo, di condizioni limite del pendio in presenza dei pali, e nel valutare l'efficacia dell'intervento in termini di spostamenti permanenti accumulati dalla massa di terreno instabile. Gli spostamenti risultanti dovrebbero essere tali da scongiurare il verificarsi di danni alle strutture esistenti e preservare la loro funzionalità.

In tale contesto, nel presente studio è utilizzata una metodologia semplificata per prevedere gli

spostamenti di una frana indotti dalle piogge, tenendo conto della presenza di pali. Nello specifico, il metodo proposto utilizza un'equazione di bilancio idrico, per collegare le precipitazioni alle conseguenti variazioni del livello della falda, e un'equazione del moto del corpo di frana, rappresentato mediante un sistema a due blocchi, per mettere in relazione i livelli freatici risultanti con gli spostamenti della frana, portando in conto la resistenza passiva fornita dai pali. In particolare, la forza esercitata dai pali è valutata sulla base della loro disposizione e del possibile meccanismo di rottura, utilizzando alcune soluzioni di uso pratico disponibili in letteratura. Il metodo viene applicato ad alcuni casi di studio per quantificare l'efficacia dei pali nel ridurre la mobilità delle frane e mostrare come lo stesso metodo possa essere utilizzato a fini predittivi. I risultati ottenuti dimostrano che la presenza dei pali può ridurre significativamente i movimenti della frana durante le fasi di riattivazione. L'efficacia dell'intervento dipende principalmente dalla posizione dei pali, in relazione alla superficie di scorrimento, e dalle caratteristiche geometriche e materiali dei pali, che a loro volta influenzano il tipo di meccanismo di rottura che si verifica.

S.S.D. CEAR-06/A – SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

LINEE DI RICERCA A.A. 2023-2024

Il gruppo dei docenti incardinati nel SSD CEAR-06/A è così composto:

Fabrizio Greco, Prof. Ordinario
Paolo Lonetti, Prof. Ordinario
Salvatore Lopez, Prof. Associato
Paolo Nevone Blasi, Prof. Associato
Giacinto Porco, RTI
Lorenzo Leonetti, RTDb
Umberto De Maio, RTDa
Arturo Pascuzzo, RTDa
Andrea Pranno, RTDa
Girolamo Sgambitterra, RTDa

Le linee di ricerca riferite all'A.A. 2023-2024 riguardano le seguenti tematiche:

1. Analisi della propagazione della frattura nelle strutture in c.a., anche rinforzate esternamente con sistemi FRP, mediante un approccio di interfaccia inter-elemento;
2. Analisi della delaminazione indotta dai fenomeni di “buckling” nei laminati con fibre ad orientamento variabile;
3. Studio del comportamento macroscopico di compositi periodici micro-fratturati in presenza di interfacce imperfette soggette a contatto unilatero senza attrito ed a fenomeni coesivi, e relativi problemi di stabilità e unicità;
4. Modelli multi-scala ibridi per lo studio della risposta non-lineare di compositi bio-ispirati;
5. Modelli microscopici dettagliati per l'analisi a collasso di strutture in muratura, basati su approcci coesivi inter-elemento;
6. Approcci multi-scala adattivi per l'analisi di danneggiamento di murature;
7. Modelli multi-scala gerarchici continui/discontinui per l'analisi a collasso di strutture e materiali eterogenei;
8. Modelli avanzati per la risposta dinamica di ponti di grande luce soggetti a carichi viaggianti;
9. Analisi del comportamento non-lineare dei ponti di grande luce, con particolare riferimento ai ponti ad arco a via inferiore;
10. Modelli accoppiati fluido/struttura di tipo avanzato per l'analisi di vulnerabilità di costruzioni di interesse strategico sotto l'azione di inondazioni e tsunami;
11. Monitoraggio statico e dinamico per l'esecuzione di verifiche di affidabilità strutturale;
12. Analisi dinamica di strutture in regime di grandi spostamenti;
13. Analisi a collasso di elementi strutturali in calcestruzzo ad alte prestazioni additivato con nanomateriali;
14. Modelli e tecniche avanzate per l'identificazione del danno ed il monitoraggio dei ponti esistenti;
15. Analisi nonlineare della risposta statica e dinamica nei metamateriali con microstruttura bio-ispirata e/o ingegnerizzata, mediante l'utilizzo di modelli micromeccanici in regime di grandi deformazioni, con particolare riguardo anche allo studio dei fenomeni di propagazione delle onde ed al loro controllo;
16. Analisi del danneggiamento di materiali compositi nano-rinforzati mediante l'utilizzo combinato della tecnica delle mesh mobili e dei modelli di frattura di tipo “phase field”.
17. Metodi di integrazione al passo con caratteristiche avanzate per l'analisi dinamica lineare e non lineare delle strutture.

18. Impiego dell'Intelligenza Artificiale e del controllo Ultrasonoro per monitorare l'evoluzione del quadro fessurativo nei calcestruzzi autoriparanti impiegati nell'Ingegneria Civile.

In particolare, le tematiche 1–4 rientrano nell'ambito del Progetto PRIN 2017 “MULTISCALE INNOVATIVE MATERIALS AND STRUCTURES (MIMS)”, (Coordinatore Nazionale del Progetto: FRATERNALI Fernando) finanziato con D.D. MIUR n.453 del 13.03.2019 con un punteggio complessivo pari a 100/100 (LINEA C) e ammesso al finanziamento con D.D. n. 1162 del 17.06.2019, Contributo complessivo del progetto pari a € 716.790, Contributo dell'unità di ricerca dell'Università della Calabria pari a € 113.053,00. Progetto sottomesso in data 29.03.2018. Codice Progetto 2017J4EAYB.

Le tematiche 4 e 7 rientrano nell'ambito del Progetto PRIN 2022 PNRR “SUSTainable composite structures for energy-harvesting and carbon-storing BUILDings (SUSTBUILD)” (Coordinatore Nazionale del Progetto: Ada AMENDOLA), finanziato con D.D. MUR n. 1409 del 14.09.2022 e ammesso al finanziamento con D.D. n. 1385 del 01.09.2023, Codice Progetto P2022PE8BT.

La tematica 5 rientra nell'ambito del Progetto Tech4You, Spoke 4 – GO4.4 – PP1 – Azione 8 “Modelli numerici avanzati per l'analisi della sicurezza strutturale di edifici in muratura di rilevante interesse storico e culturale” (Responsabile di azione: Fabrizio GRECO).

Le tematiche 5–7 rientrano nell'ambito del Progetto PON R&I 2014-2020, con riferimento all'Azione IV.6 “Contratti di ricerca su tematiche Green”.

La tematica 10 rientra nell'ambito del Progetto Tech4You, Spoke 1 – GO1.2 – PP1 – Azione 3 “Modellazione dei fenomeni di interazione fluido-struttura per la valutazione della vulnerabilità strutturale in presenza di eventi alluvionati” (Responsabile di azione: Fabrizio GRECO).

La tematica 14 rientra nell'ambito del Progetto PON R&I 2014-2020, con riferimento all'Azione IV.4 “Dottorati e contratti di ricerca su tematiche dell'innovazione”. Titolo delle ricerche “Nuovi modelli e tecniche avanzate per l'identificazione del danno ed il monitoraggio dei ponti esistenti” e “Metodi di analisi e strategie innovative per il monitoraggio e la sicurezza di ponti e viadotti esistenti”.

Le tematiche 3 e 15 rientrano nell'ambito del Progetto PRIN 2022 “Innovative tensegrity lattices and architected metamaterials (ILAM)” (Coordinatore Nazionale del Progetto: Fernando FRATERNALI), finanziato con D.D. MUR n. 104 del 02.02.2022 e ammesso al finanziamento con D.D. n. 961 del 30.06.2023, Codice Progetto 20224LBXMZ.

Infine, la tematica 16 rientra nell'ambito del Progetto PRIN 2020 “OPPORTUNITIES AND CHALLENGES OF NANOTECHNOLOGY IN ADVANCED AND GREEN CONSTRUCTION MATERIALS”, (Coordinatore Nazionale del Progetto: FEO Luciano) finanziato con D.D. MUR n. 1628 del 16.10.2020 con un punteggio complessivo pari a 100/100 e ammesso al finanziamento con D.D. n. 2436 del 20.10.2021, Contributo MUR del progetto pari a € 774.178, Codice Progetto 2020EBLPLS.

La tematica 18 rientra nell'ambito di un progetto PRIN 2022 dal titolo – “Integration of Artificial Intelligence and Ultrasonic Techniques for Monitoring Control and Self-Repair of Civil Concrete Structures” CAIUS.

1. ANALISI DELLA PROPAGAZIONE DELLA FRATTURA NELLE STRUTTURE IN C.A., ANCHE RINFORZATE ESTERNAMENTE CON SISTEMI FRP, MEDIANTE UN APPROCCIO DI INTERFACCIA INTER-ELEMENTO

La tematica di ricerca riguarda la modellazione dell'innesco e della propagazione di fratture multiple nei materiali quasi-fragili (simili al calcestruzzo) mediante un approccio coesivo di tipo inter-elemento, cioè diffusi lungo i bordi di mesh agli elementi finiti.

Le ben note problematiche correlate a modelli di frattura simili a quello proposto, già esistenti in letteratura, e cioè la dipendenza dei risultati globali dalla taglia e dall'orientazione della mesh, sono stati risolti proponendo una tecnica micromeccanica per la calibrazione dei principali parametri

elastici e inelastici delle interfacce coesive inglobate nella mesh computazionale.

In particolare, ai fini della validazione numerica dell'approccio di modellazione proposto, sono stati introdotti opportuni modelli di confronto in grado di stimare in modo accurato l'effetto di sovrastima della resistenza alla frattura legato alla tortuosità artificiale delle fessure indotta dalla mesh.

L'approccio coesivo inter-elemento sviluppato è stato poi integrato in un modello numerico più sofisticato per l'analisi del danno nelle strutture in calcestruzzo sia armato che non armato. Tale modello consente di descrivere la crescita diffusa del danno in tali strutture, senza rinunciare alla descrizione della natura discreta delle micro-fratture, e pertanto si configura come un'alternativa ai più utilizzati modelli di danno continuo, specialmente nei casi in cui sia importante stimare, oltre che la resistenza e la duttilità globale (specialmente in condizioni ultime), anche la distanza e l'apertura media delle fessure in condizioni di esercizio.

Infine, l'approccio proposto è stato indagato per determinare la capacità portante di strutture in c.a. rinforzate esternamente con sistemi di tipo FRP, nei casi in cui si verifichi la modalità di collasso per delaminazione con distacco del copriferro. L'affidabilità dell'approccio proposto nel cogliere sia il livello di resistenza che il percorso delle fratture principali è stata poi verificata attraverso opportuni confronti con risultati sperimentali reperiti in letteratura.

2. ANALISI DELLA DELAMINAZIONE INDOTTA DAI FENOMENI DI “BUCKLING” NEI LAMINATI CON FIBRE AD ORIENTAMENTO VARIABILE

Vengono proposti dei modelli numerici avanzati per l'analisi della delaminazione indotta dai fenomeni di “buckling” nei laminati VAT (“Variable Angle Tow”), detti anche laminati a rigidità variabile. Tali laminati hanno la peculiarità di possedere un rinforzo realizzato attraverso la deposizione di fibre curvilinee con macchine di alta precisione. La presenza di fibre che seguono un preciso percorso, con un angolo di laminazione variabile, ha come importante conseguenza la variabilità puntuale della rigidità del composito. Dunque, rispetto ai laminati tradizionali, i VAT permettono di raggiungere una libertà molto maggiore in termini di “tailoring”, in quanto è possibile variare le caratteristiche meccaniche punto per punto e non strato per strato.

I modelli numerici proposti includono un modello “layerwise” in grandi deformazioni, in cui il singolo strato è modellato con elementi di tipo “continuum shell”, in combinazione con un modello di interfaccia coesiva in grado di cogliere i fenomeni di innesco e propagazione della frattura in condizioni di modo misto.

3. STUDIO DEL COMPORTAMENTO MACROSCOPICO DI COMPOSITI PERIODICI MICRO-FRATTURATI IN PRESENZA DI INTERFACCE IMPERFETTE SOGGETTE A CONTATTO UNILATERO SENZA ATTRITO ED A FENOMENI COESIVI, E RELATIVI PROBLEMI DI STABILITÀ E UNICITÀ

L'interazione tra i fenomeni di instabilità e contatto su scala microscopica è un problema di rilievo nell'ambito della teoria dell'omogeneizzazione di materiali compositi in presenza di difetti, in quanto il collasso macroscopico spesso viene indotto da microfratture o debonding all'interfaccia tra i diversi micro costituenti.

Un'analisi rigorosa dell'instabilità microstrutturale che tenga conto anche del contatto tra le superfici delle microfratture per materiali compositi con microstruttura periodica richiederebbe la descrizione dettagliata della microstruttura e dovrebbe essere effettuata su di un assemblaggio di celle unitarie non noto a priori. La presenza delle non-linearità geometriche e materiali e del contatto comporterebbe un notevole dispendio computazionale. Sarebbe preferibile, quindi, analizzare la stabilità mediante le proprietà omogeneizzate del solido determinate sulla cella unitaria. La validità

di tale analisi omogeneizzata richiede comunque uno studio accurato sulle relazioni tra la stabilità microscopica e macroscopica.

In tale ambito è fondamentale analizzare alcuni aspetti della stabilità della risposta omogeneizzata di solidi compositi elastici di tipo periodico contenenti microfratture in condizioni di contatto unilatero senza attrito. Tale condizione è spesso trascurata nelle usuali tecniche di omogeneizzazione di solidi compositi in deformazioni finite.

Vengono, quindi, determinati criteri di stabilità e di unicità della risposta incrementale per solidi con microstruttura composita guidati lungo percorsi di equilibrio quasi-statico per mezzo di macro-deformazioni imposte, tenendo conto degli effetti di microfratture e del contatto privo di attrito tra le superfici delle fratture. Si propongono limiti superiori e inferiori ai carichi di instabilità e di biforcazione mediante l'introduzione di problemi di confronto lineari ottenuti imponendo condizioni cinematiche in forma incrementale sulle superfici delle fratture in auto-contatto corrispondenti alla perfetta adesione o alla libera compenetrazione. I risultati sono, poi, illustrati mediante simulazioni numeriche agli elementi finiti condotte su modelli piani di compositi iperelastici con fibre di rinforzo continue e in presenza di debonding all'interfaccia fibra/matrice, mediante un approccio agli elementi finiti accoppiato sviluppato per una microstruttura guidata lungo un percorso di macro-deformazione. Successivamente vengono analizzate diverse classi di problemi di omogeneizzazione caratterizzate da contatto effettivo e da dati auto-aggiunti che consentono di semplificare l'analisi non-lineare. Viene messa in evidenza la presenza di termini non-standard definiti sulle superfici di frattura derivanti dalle reazioni incrementali di auto-contatto. A causa di questi termini fortemente non-lineari le condizioni di stabilità e di non-biforcazione differiscono da quelle classiche valide per problemi incrementalmente lineari e la condizione di stabilità non è critica in quanto la perdita di stabilità non corrisponde necessariamente a una soluzione del problema incrementale per incrementi di carico nulli. Sono individuate classi di tali termini che comportano situazioni di contatto effettivo e di carichi autoaggiunti.

Sono, infine, studiati i rapporti tra i meccanismi di instabilità microstrutturali e quelli macroscopici rilevati dalla perdita di ellitticità o dal softening nel tensore dei moduli costitutivi tangenti associato a misure coniugate di tensione e deformazione. I risultati numerici presentati, sviluppati attraverso un modello agli elementi finiti accoppiato, con riferimento a compositi micro-fratturati guidati lungo percorsi di macro-deformazione uniassiali e biassiali, sottolineano la sequenza dei carichi di biforcazione e instabilità per diverse micro-geometrie e le relazioni tra i domini di stabilità relativi alla micro-scala e alla macro-scala.

La formulazione teorica viene anche estesa per includere la presenza di leggi costitutive d'interfaccia di tipo coesivo in regime di deformazioni finite, dimostrando la validità di tali formulazioni con applicazioni numeriche a microstrutture di tipo laminato.

4. MODELLI MULTI-SCALA IBRIDI PER LO STUDIO DELLA RISPOSTA NON-LINEARE DI COMPOSITI BIO-ISPirati

La linea di ricerca riguarda lo studio del comportamento meccanico dei materiali bio-ispirati. Tali materiali, caratterizzati dalla presenza di fasi con proprietà elastiche molto diverse tra loro e disposte secondo architetture dalla geometria complessa, esibiscono proprietà meccaniche superiori rispetto ai materiali compositi convenzionali, e possono essere considerati a tutti gli effetti dei metamateriali, con proprietà esotiche anche in ambito multi-fisico.

A tal fine, è stato condotto lo sviluppo, con successiva validazione numerica, di modelli multi-scala innovativi di tipo ibrido concorrente/gerarchico per l'analisi della risposta meccanica non-lineare di tali compositi bio-ispirati, con particolare riferimento a quelli con microstruttura simile alla madreperla. L'attenzione si è concentrata sulla competizione tra le proprietà di resistenza alla penetrazione e di flessibilità, entrambe desiderabili per le applicazioni pratiche di tali materiali.

I metodi ed i modelli sviluppati sono stati, così, impiegati per indagare l'influenza dei principali

parametri micro-geometrici (cioè rapporto di forma e frazione di volume delle piastrene) sulle proprietà meccaniche globali, mostrando così le potenzialità delle tecniche multi-scala per la progettazione rapida e l'ottimizzazione parametrica di tali microstrutture.

5. MODELLI MICROSCOPICI DETTAGLIATI PER L'ANALISI A COLLASSO DI STRUTTURE IN MURATURA, BASATI SU APPROCCI COESIVI INTER-ELEMENTO

Nella letteratura in argomento, il comportamento meccanico delle strutture in muratura è stato investigato utilizzando diverse strategie di modellazione, che comprendono sia i modelli puramente microscopici che quelli puramente macroscopici. I primi, benché computazionalmente onerosi, sono i più accurati nel descrivere tutti i fenomeni microscopici non-lineari che influenzano la rigidità e la resistenza di tali strutture. Nell'ambito dei modelli microscopici, quelli semplificati, basati sull'utilizzo di elementi di interfaccia per rappresentare i giunti di malta tra mattone e mattone, sono tra i più utilizzati poiché consentono un risparmio di tempo in fase di costruzione del modello e di esecuzione delle simulazioni numeriche. Tuttavia tali modelli trascurano totalmente la competizione tra i due diversi meccanismi di collasso a livello "microscopico" in corrispondenza dei giunti, cioè il distacco tra malta e mattone e la fessurazione all'interno della malta. Tale competizione gioca un ruolo particolarmente importante nelle murature con giunti spessi e/o riempiti con malta ad elevate prestazioni (alta resistenza e/o tenacità).

Il principale obiettivo della linea di ricerca consiste nello sviluppo e nella successiva validazione numerica di nuovi modelli microscopici dettagliati per l'analisi a collasso di strutture in muratura, in grado di tener conto della natura discreta dei diversi fenomeni di frattura che avvengono alla micro-scala. Tali modelli si basano su approcci di frattura inter-elemento diffusi, nell'ambito dei modelli di interfaccia coesivi. Una delle principali novità dei modelli sviluppati consiste nell'accoppiamento dei fenomeni di attrito e di danno in presenza di percorsi di carico che inducono regimi di taglio/compressione nei giunti di malta.

I modelli dettagliati sviluppati sono in corso di sperimentazione numerica, rivolta a geometrie e condizioni di carico complesse. La validazione numerica si basa su opportuni confronti con i risultati sperimentali reperiti in letteratura, oltre che con i risultati di simulazioni numeriche condotte con micro-modelli semplificati di tipo tradizionale. I risultati ottenuti sono incoraggianti e rendono tali modelli ottimi candidati per il loro incorporamento all'interno di più sofisticati modelli multi-scala per l'analisi rapida ed al contempo accurata dei fenomeni non-lineari delle murature, sia periodiche che irregolari.

6. APPROCCI MULTI-SCALA ADATTIVI PER L'ANALISI DI DANNEGGIAMENTO DI MURATURE

Sulla base dei risultati desunti dall'ampia letteratura in argomento, i modelli multi-scala sono ormai considerati pienamente affidabili per indagare in maniera efficiente ed al contempo accurata il comportamento meccanico globale di diverse strutture eterogenee, quali calcestruzzi e materiali compositi, anche in presenza di una crescita del danno e di altri fenomeni non-lineari, con l'obiettivo finale di ridurre l'elevato costo computazionale dei modelli puramente microscopici. Nell'ambito della presente tematica di ricerca vengono sviluppati e sperimentati nuovi metodi e modelli multi-scala di tipo concorrente per le strutture in muratura, in grado di superare le principali limitazioni delle attuali tecniche di omogeneizzazione, non adeguate se in presenza di fenomeni di localizzazione della deformazione che interessano tali strutture, in quanto intrinsecamente fragili. I metodi in fase di sviluppo sono indirizzati all'analisi del danneggiamento nei pannelli in muratura periodica caricati nel piano, sulla base di un approccio di decomposizione del dominio multi-livello dotato di un criterio di zoom-in adattivo in grado di rilevare le zone soggette a localizzazione della deformazione. Sono

state proposte diverse versioni del criterio di zoom-in, di cui alcune ancora in fase di sperimentazione numerica, al fine di indagarne le prestazioni in termini di onere computazionale ed accuratezza numerica. La validità delle strategie multi-scala proposte viene dimostrata eseguendo simulazioni numeriche con riferimento a semplici prove di laboratorio su campioni di piccola e media scala, e confrontando i relativi risultati con quelli ottenuti da modelli puramente microscopici. Ulteriori confronti sono stati effettuati con i risultati sperimentali reperibili in letteratura.

7. MODELLI MULTI-SCALA GERARCHICI CONTINUI/DISCONTINUI PER L'ANALISI A COLLASSO DI STRUTTURE E MATERIALI ETEROGENEI

La linea di ricerca riguarda lo sviluppo di modelli multi-scala efficienti per l'analisi a collasso di diverse tipologie di strutture e materiali eterogenei con organizzazione periodica dei costituenti (materiali compositi rinforzati con fibre e/o particelle, strutture in muratura, metamateriali con microstruttura cellulare o reticolare, nanocompositi, etc.). Tali modelli sono di tipo gerarchico, in cui le informazioni vengono a trasmesse "a senso unico" dalla micro-scala alla macro-scala, senza dover, quindi, ricorrere ad onerose procedure iterative di omogeneizzazione computazionale. In particolare, al fine di cogliere in maniera obiettiva il comportamento di tipo "softening" delle strutture e microstrutture considerate, viene introdotto un approccio ibrido continuo/discontinuo, attraverso cui l'omogeneizzazione sul volume riguarda la porzione solida con comportamento elastico lineare o non-lineare inelastico, mentre l'omogeneizzazione sulla superficie (basata su modelli coesivi inter-elemento) riguarda la restante porzione, soggetta a fenomeni di localizzazione del danno. Tali modelli multi-scala, in corso di elaborazione e sperimentazione numerica, sono in grado di cogliere diversi meccanismi di collasso quasi-fragile, in presenza di frattura (di modo I o di modo misto), contatto tra le facce delle fessure, attrito, etc.

8. MODELLI AVANZATI PER LA RISPOSTA DINAMICA DI PONTI DI GRANDE LUCE SOGGETTI A CARICHI VIAGGIANTI

Durante gli ultimi anni, i ponti di grande luce hanno riscontrato notevole interesse e diverse sono state le applicazioni relative alle tipologie di ponte strallato, sospeso e ad arco a via inferiore. I problemi principali di tali tipologie strutturali risultano strettamente connessi alla deformabilità sotto l'azione di carichi statici e dinamici viaggianti, che è fortemente influenzata dalla geometria. In particolare, per i ponti ad uso ferroviario o stradale all'aumentare della luce si possono innescare meccanismi di deformazione che inducono ad una limitazione dell'uso del ponte nelle condizioni di esercizio o nei casi più drastici ad un collasso globale della struttura. Nell'ambito della tematica di ricerca si è proposto uno studio dinamico dei sistemi comuni di ponti con riferimento agli schemi di tipo strallato, sospeso e ad arco a via inferiore. L'analisi è indirizzata all'identificazione dei parametri ingegneristici fondamentali che governano la deformabilità strutturale del ponte. Inizialmente, si è utilizzato un approccio di tipo analitico al fine di modellare gli aspetti essenziali che governano la risposta dinamica della struttura in relazione ai modi propri di vibrare. Sono state sviluppate soluzioni di tipo analitico, basate su modellazioni di tipo continuo del ponte, fornendo risultati sintetici, ma significativi, che identificano i meccanismi principali di deformazione in funzione di parametri caratteristici propri della struttura. Parallelamente si è utilizzato un approccio numerico mediante tecniche agli elementi finiti, al fine di confrontare i risultati ottenuti con la soluzione al continuo. La modellazione degli elementi è stata sviluppata mediante formulazioni coerenti con il comportamento fisico del ponte, considerando quindi i diversi fenomeni di non-linearità dovuti alla presenza dei cavi di sospensione. L'analisi è stata successivamente estesa considerando il comportamento dei ponti di grande luce sotto l'azione di carichi mobili. La risposta elastica sotto i carichi mobili è stata studiata valutando gli incrementi di spostamento e di tensione a partire dalla configurazione iniziale sotto peso

proprio secondo una procedura di tipo incrementale. L'analisi è stata opportunamente integrata nel tempo secondo un metodo diretto. La formulazione è stata sviluppata coerentemente con il metodo agli elementi finiti risolvendo un sistema di equazioni di tipo integro-differenziale. Gli effetti dinamici legati alla natura dei carichi viaggianti sono stati considerati mediante un'analisi accurata tenendo conto dei contributi non standard legati alla variazione delle masse del sistema. Si è potuto notare come il comportamento dinamico sotto carichi viaggianti acquisti particolare rilevanza nel caso di carichi di consistente inerzia con elevate velocità di transito. Di conseguenza, per una corretta impostazione del problema dinamico, sono stati considerati gli effetti inerziali dei carichi mobili, fornendo altresì risultati di sensitività in funzione dei parametri adimensionali legati alle caratteristiche fisiche dei ponti considerati.

9. ANALISI DEL COMPORTAMENTO NON-LINEARE DEI PONTI DI GRANDE LUCE, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO AI PONTI AD ARCO A VIA INFERIORE

Nell'ambito della tematica di ricerca sul comportamento non-lineare dei ponti di grande luce, particolare attenzione è stata dedicata allo studio dei fenomeni di instabilità nei ponti ad arco a via inferiore. In particolare, è stato condotto uno studio numerico per stimare la resistenza all'instabilità di ponti ad arco a via inferiore dovuta ai carichi verticali, tenendo in considerazione la configurazione "initial stress" e gli effetti delle non-linearità geometriche coinvolte nelle diverse componenti strutturali.

Il principale obiettivo della linea di ricerca consiste nell'effettuare confronti tra i modelli numerici proposti ed i principali modelli semplificati utilizzati nelle normative di riferimento per le verifiche strutturali (in particolare, l'Eurocodice 3). Nello specifico, si intende dimostrare l'esistenza di particolari scenari in cui i metodi di progetto semplificati producono una sovrastima della resistenza all'instabilità di tali strutture.

Infine, diverse analisi parametriche, effettuate nell'ambito di un nuovo approccio di progettazione per i ponti ad arco, hanno consentito di quantificare con estrema accuratezza il grado di efficacia dell'effetto stabilizzante dei diversi sistemi di controventamento sul comportamento globale di tali strutture.

10. MODELLI ACCOPPIATI FLUIDO/STRUTTURA DI TIPO AVANZATO PER L'ANALISI DI VULNERABILITÀ DI COSTRUZIONI DI INTERESSE STRATEGICO SOTTO L'AZIONE DI INONDAZIONI E TSUNAMI

L'analisi di vulnerabilità delle costruzioni di interesse strategico (con particolare riferimento alle strutture da ponte) deve necessariamente considerare scenari estremi in cui l'azione di inondazioni e tsunami produca sulla struttura una elevata variabilità dei carichi, sia nel tempo che nello spazio. Nell'ambito della tematica vengono sviluppati modelli numerici per effettuare le analisi di vulnerabilità sia in due che in tre dimensioni, basati sulla modellazione "solida" dei sistemi strutturali e sulla teoria "phase field" per il fluido circostante. Gli effetti di accoppiamento fluido/struttura sono simulati mediante la tecnica delle mesh mobili, basata su un approccio "arbitrary Lagrangian-Eulerian" (ALE), che tenga in conto la deformabilità del ponte e le condizioni di "parete mobile". I modelli proposti sono implementati nell'ambito della formulazione agli elementi finiti, la cui soluzione è ottenuta mediante un approccio a sotto-strutture con l'ausilio di operatori di proiezione in grado di connettere i sistemi solidi e fluidi. Vengono considerati diversi scenari di carico, legati all'impatto iniziale o a fenomeni di collasso di dighe. Il principale obiettivo è quello di quantificare gli effetti di amplificazione dinamica delle variabili di tensione e deformazione prodotti dai carichi esterni rispetto alle analisi statiche convenzionali.

11. MONITORAGGIO STATICO E DINAMICO PER L'ESECUZIONE DI VERIFICHE DI AFFIDABILITÀ STRUTTURALE

Il problema del controllo del livello di affidabilità strutturale di ponti, viadotti e di strutture di interesse strategico negli ultimi anni ha riscosso notevole interesse. E' in questo ambito che si colloca la linea di ricerca che ha come obiettivo la individuazione di sistemi integrati statici e dinamici con i quali sviluppare procedure di analisi e controllo strutturale.

La ricerca è sostanzialmente costituita da due linee principali la prima dedicata al controllo dei livelli di deformazione su strutture esistenti e di nuova realizzazione mediante sensori a basso costo con tecnologia a fibra ottica. La seconda linea di studio è invece orientata al controllo strutturale globale sempre con sistemi di acquisizione ma di grandezze dinamiche con le quali, a seguito di opportune elaborazioni numeriche, sarà possibile diagnosticare la presenza di difetti, danni e l'eventuale perdita di prestazionalità strutturale. Le ricadute principali delle tematiche di controllo attualmente in via di sviluppo sono, nel campo delle opere infrastrutturali quali i ponti per individuare danneggiamenti sulle sezioni resistenti e/o sugli apparecchi di appoggio, nel campo delle energie alternative per avviare al controllo degli impianti quali le torri eoliche e nel campo dell'edilizia comune per le verifiche in esercizio o a valle di eventi significativi di edifici strategici.

12. ANALISI DINAMICA DI STRUTTURE IN REGIME DI GRANDI SPOSTAMENTI

La tematica è affrontata tramite lo studio della tecnica co-rotazionale e modelli con alti ordini di non linearità nelle equazioni di compatibilità. In particolare sono sviluppate formulazioni Total Lagrangian nell'ipotesi di grandi spostamenti e piccole deformazioni basate su elementi finiti isoparametrici a 4 nodi bidimensionali, a 8 nodi tridimensionali e di tipo flat per gusci. Le formulazioni messe a punto hanno la proprietà di bypassare l'uso delle matrici di rotazione in modo tale da mantenere conservativa la descrizione delle forze interne ed operare con operatori di trasformazione non singolari. Il campo cinematico all'interno dell'elemento finito, inoltre, resta completamente istruibile a livello lineare dove le problematiche connesse al fenomeno del locking ed alla distorsione della mesh sono più facilmente affrontabili. I modelli realizzati sono basati sull'approccio potenziale compatibile con tecniche di integrazione selettiva. Il passaggio al regime di grandi spostamenti si ottiene tramite la definizione di misure della deformazione invarianti alle rotazioni finite. L'analisi dinamica tramite tecniche di integrazione al passo è svolta perseguendo un approccio misto nella discretizzazione temporale. Alla base di tali algoritmi c'è la rappresentazione dell'equazione del moto in differenti gruppi di variabili di stato. In particolare si fa riferimento agli spostamenti definiti nel sistema di riferimento globale che descrivono la parte dinamica del modello ed a variabili locali di rotazione con le quali si descrivono le forze interne elastiche. Inoltre, sono indagati e migliorati schemi di integrazione al passo di tipo implicito nelle loro caratteristiche computazionali: stabilità, consistenza, filtro delle alte frequenze. Il tutto affinché il processo risulti stabile anche con passi più ampi ed ottenga una buona approssimazione dell'evoluzione temporale.

13. ANALISI A COLLASSO DI ELEMENTI STRUTTURALI IN CALCESTRUZZO AD ALTE PRESTAZIONI ADDITIVATO CON NANOMATERIALI

La linea di ricerca riguarda lo studio numerico del comportamento a frattura di elementi strutturali e strutture in calcestruzzo ad alte prestazioni additivato con diversi tipi di nanomateriali (nanotubi di carbonio, grafene, etc.). L'inserimento di tali nanomateriali è stato, infatti, proposto nella letteratura recente con l'obiettivo di migliorare le prestazioni meccaniche e di durabilità del calcestruzzo, con

particolare riferimento al controllo del danneggiamento sia in esercizio (fenomeni di fessurazione) che in condizioni ultime (fenomeni di collasso locale o globale). Gli attuali modelli di danno, molto diffusi per simulare il comportamento non-lineare di tipo softening dei conglomerati cementizi, non sono in grado di prevedere in modo accurato lo sviluppo della fessurazione nei calcestruzzi nano-rinforzati, anche a causa della forte interazione tra la scala microscopica (scala del nano-rinforzo) e la scala macroscopica (scala strutturale). Pertanto, il gruppo di ricerca ha sviluppato e successivamente validato approcci innovativi per la simulazione numerica della propagazione delle fratture in tali materiali, basati sull'impiego di interfacce coesive inter-elemento opportunamente dotate di leggi costitutive in grado di cogliere l'effetto tenacizzante del nano-rinforzo sotto diverse condizioni di carico. Tali approcci sono stati poi utilizzati per studiare l'effetto del contenuto di nano-rinforzo sul comportamento globale di semplici provini di laboratorio e di elementi strutturali più complessi realizzati in calcestruzzo armato con rinforzo ibrido di tipo microscopico (fibre di vetro) e nanoscopico (piastrine di grafite).

14. MODELLI E TECNICHE AVANZATE PER L'IDENTIFICAZIONE DEL DANNO ED IL MONITORAGGIO DEI PONTI ESISTENTI

La linea di ricerca riguarda lo sviluppo di modelli e metodi numerici avanzati da impiegare nel contesto del monitoraggio dei ponti esistenti e, più in generale, della valutazione della loro sicurezza strutturale. Tali modelli, in corso di sviluppo, integrano raffinate tecniche numerica per la simulazione dell'evoluzione del danneggiamento sotto l'azione dei carichi esterni (come quelli derivanti dal vento o dal traffico veicolare). In particolare, una rappresentazione dettagliata del danneggiamento consente di cogliere i molteplici meccanismi di crisi per le diverse tipologie di ponte (a travata, ad arco, sospeso, strallato, etc.) e per le diverse configurazioni geometriche e di carico. Due tipologie di modelli sono in corso di sperimentazione: modelli di frattura, in grado di rappresentare esplicitamente le discontinuità strutturali nonché di tener conto dei fenomeni di contatto e coesione, e modelli di danno, in grado di incorporare i fenomeni di fessurazione diffusa in modo computazionalmente efficiente. I modelli sviluppati verranno utilizzati in combinazione con metodi di identificazione del danno strutturale basati sull'analisi delle proprietà dinamiche dei sistemi strutturali studiati, al fine di prevedere con sufficiente accuratezza la localizzazione e l'estensione del danno, e quindi, di stimare il livello di sicurezza dell'opera.

15. ANALISI NONLINEARE DELLA RISPOSTA STATICA E DINAMICA NEI METAMATERIALI CON MICROSTRUTTURA BIO-ISPIRATA E/O INGEGNERIZZATA, MEDIANTE L'UTILIZZO DI MODELLI MICROMECCANICI IN REGIME DI GRANDI DEFORMAZIONI, CON PARTICOLARE RIGUARDO ANCHE ALLO STUDIO DEI FENOMENI DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE ED AL LORO CONTROLLO;

La linea di ricerca riguarda l'analisi delle vibrazioni nei materiali compositi bio-ispirati simili alla madreperla, alleggeriti mediante inserimento di cavità disposte secondo pattern microscopici di tipo periodico. In particolare, vengono investigate le proprietà di dispersione delle onde mediante la teoria di Bloch-Floquet applicata a modelli micromeccanici avanzati in grado di cogliere il comportamento strutturale non-lineare in regime di grandi deformazioni. Inoltre, viene proposto un metodo di ottimizzazione strutturale alla micro-scala in grado di ottenere il controllo delle vibrazioni nei diversi intervalli di frequenza in funzione della specifica applicazione. I risultati mostrano che è possibile ottenere un ottimo isolamento dalle vibrazioni facendo variare opportunamente, non soltanto i parametri geometrici ed elastici della microstruttura, ma anche lo stato di presollecitazione, che produce una notevole variazione di configurazione in virtù del comportamento elastico non-lineare

della matrice.

Accanto allo studio della risposta dinamica, viene anche sviluppata l'analisi non-lineare statica della risposta meccanica utile per determinare lo stato di pretensione e predeformazione a partire dal quale determinare i fenomeni di propagazione delle onde infinitesime superimposte, nonché eventuali fenomeni non-lineari (microbuckling, ad esempio) esibiti dal materiale lungo il percorso di carico fondamentale.

16. ANALISI DEL DANNEGGIAMENTO DI MATERIALI COMPOSITI NANO-RINFORZATI MEDIANTE L'UTILIZZO COMBINATO DELLA TECNICA DELLE MESH MOBILI E DEI MODELLI DI FRATTURA DI TIPO "PHASE FIELD"

La linea di ricerca riguarda lo sviluppo di modelli e metodi numerici avanzati da impiegare per l'analisi del danneggiamento dei materiali compositi rinforzati con nano-particelle (tra cui i calcestruzzi fibrorinforzati additivati con nanomateriali). In particolare, tali modelli includono modelli di frattura non-locale (con particolare riferimento ai modelli "phase field"), che hanno il vantaggio di cogliere la dimensione caratteristica (alla nanoscala) del materiale nella risposta meccanica (specialmente in regime di softening), e dunque, di rappresentare in modo accurato gli effetti di scala tipicamente osservati negli esperimenti. Tali modelli sono usati in combinazione con la tecnica delle mesh mobili, al fine di ridurre l'onere computazionale tipicamente richiesto per utilizzare tali modelli nel caso in cui il percorso delle fratture non è noto a priori, ma si ottiene come risultato della simulazione. La tecnica delle mesh mobili consente di ottenere un modello di frattura adattivo molto efficiente dal punto di vista computazionale, in quanto la mesh è mantenuta fitta solo nella zona di processo e non si richiede alcuna operazione di "remeshing" durante la propagazione della frattura.

17. METODI DI INTEGRAZIONE AL PASSO CON CARATTERISTICHE AVANZATE PER L'ANALISI DINAMICA LINEARE E NON LINEARE DELLE STRUTTURE

La linea di ricerca riguarda lo sviluppo di metodi avanzati per l'integrazione al passo nelle analisi dinamiche lineari e non lineari delle strutture. Tali metodi includono:

- Un metodo implicito stabile per l'analisi dinamica lineare e non lineare, basato su uno schema di approssimazione al secondo ordine di tipo non dissipativo. Nel caso non lineare, tale metodo mostra le stesse caratteristiche numeriche di dissipazione e dispersione del metodo di Newmark, ma un sostanziale miglioramento della stabilità numerica.
- Un metodo esplicito basato sullo schema di Verlet con caratteristiche migliorate in termini di dispersione numerica. Tale metodo è di facile implementazione e mantiene le stesse caratteristiche ottimali in termini di dissipazione e stabilità dello schema di Verlet originale.

18. INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ULTRASONIC TECHNIQUES FOR MONITORING CONTROL AND SELF-REPAIR OF CIVIL CONCRETE STRUCTURES

La linea di ricerca riguarda lo sviluppo ed il controllo di calcestruzzi autoriparanti, con l'obiettivo di aumentare la vita utile delle strutture dell'ingegneria civile.

Lo stato fessurativo, infatti, favorisce la penetrazione di agenti aggressivi con conseguente corrosione dei ferri e distruzione della microstruttura. Per ridurre tali effetti notevole interesse ha suscitato l'impiego di calcestruzzo con l'aggiunta di additivi cristallini (CAs) dall'effetto autorigenerante. Tali sostanze attive in polvere, reagendo con acqua e cemento producono precipitati che chiudono le fessure e consentono di recuperare parzialmente la capacità di carico. Il conglomerato così progettato necessita di ulteriori test funzionali per validarne l'applicazione, impiegando tecniche quali la

diffattometria a raggi X per indagare composizione e formazione delle parti ricostituenti; la microscopia elettronica a scansione per valutare il cambiamento della morfologia della frattura; e i test di *Ultrasonic Pulse Velocity* per valutare gli effetti autorigeneranti sulle proprietà meccaniche del calcestruzzo. La linea di ricerca, pertanto, mira a valutare principalmente con tecniche non invasive il mantenimento delle prerogative di sicurezza una volta conclusi i fenomeni di autoriparazione.

S.S.D. CEAR-07/A – TECNICA DELLE COSTRUZIONI

LINEE DI RICERCA A.A. 2023-2024

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD CEAR-07/A è così composto:

Luciano Ombres, Prof. Ordinario
Fabio Mazza, Prof. Associato
Francesco Bencardino, Professore Associato
Alessio Cascardi, RTDb

Le linee di ricerca sviluppate nel biennio 2023-2024 dal Gruppo di Ricerca riguardano le seguenti tematiche:

INGEGNERIA SISMICA

1. Isolamento alla base

- Affidabilità di modelli numerici per la simulazione della risposta sismica non lineare di elementi non strutturali di strutture ospedaliere.
- Isolamento sismico in direzione orizzontale e verticale di strutture in c.a. soggette a terremoti con elevata componente verticale.

2. Dissipazione supplementare di energia

- Procedura di progetto prestazionale di esoscheletri dissipativi isteretici per l'adeguamento antisismico di edifici in c.a..

INGEGNERIA DEI MATERIALI E DELLE STRUTTURE

3. Materiali innovativi per l'edilizia

- Sviluppo di eco-malte e sistemi di rinforzo ecologici per la protezione sismica ed il rinforzo delle strutture in muratura
- Stato dell'arte e attività sperimentale relative all'impiego di malte e calcestruzzi green
- Barre di FRP (Carbonio, Vetro) nella realizzazione di travi di calcestruzzo armato con sistemi ibridi di armatura interna.
- Formulazione di geo-polimeri innovativi per matrici termo-meccaniche in compositi inorganici (FRCM/CRM)

4. Materiali compositi fibrorinforzati

- Caratterizzazione meccanica dei materiali compositi fibrorinforzati a matrice cementizia (FRCM)
- Analisi del comportamento all'interfaccia composito/substrato: sperimentazione e

- modellazioni analitiche e numeriche
- Durabilità dei materiali compositi fibrorinforzati a matrice inorganica

5. Elementi strutturali rinforzati esternamente con materiali compositi fibrorinforzati

- Analisi sperimentale e modellazione analitica e numerica di strutture in calcestruzzo armato e/o muratura rinforzate esternamente con materiali compositi a matrice organica (FRP) o inorganica (FRCM, SRG).
- Analisi del comportamento meccanico di travi in calcestruzzo rinforzate con armatura ibrida (barre in FRP ed acciaio)

Le principali linee di ricerca sono di seguito descritte:

1. ISOLAMENTO ALLA BASE

1. ISOLAMENTO ALLA BASE

1.1 AFFIDABILITÀ DI MODELLI NUMERICI PER LA SIMULAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA NON LINEARE DI ELEMENTI NON STRUTTURALI DI STRUTTURE OSPEDALIERE

(Tokyo Metropolitan Resilience Project, NIED)

Gli ospedali con isolamento sismico alla base sono frequentemente preferiti a quelli a base fissa grazie alle loro migliori prestazioni strutturali. Tuttavia, rimane aperto il problema di valutare la convenienza di queste moderne tecniche di protezione sismica rispetto ad altre soluzioni convenzionali, allorquando si considera un approccio olistico basato anche sulla limitazione del danneggiamento non strutturale e sulla operatività nella fase immediatamente successiva ad un evento sismico. Due strutture ospedaliere in acciaio di quattro (base fissa) e tre (base isolata) piani sono state realizzate in scala reale e sottoposte a prove su tavola vibrante tridimensionale presso il National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (Japan), ponendo particolare attenzione alla valutazione ed alla classificazione di alcune componenti non strutturali e attrezzature mediche vitali. Una campagna sperimentale in due fasi è stata condotta considerando due terremoti scalati a differenti livelli di intensità ed applicati secondo le direzioni orizzontali principali e la direzione verticale. Lo studio è stato mirato alla “valutazione alla cieca” della risposta numerica strutturale e non strutturale dei suddetti edifici. Un codice di calcolo è stato implementato in C++ per la modellazione a plasticità concentrata degli elementi strutturali in acciaio e la modellazione della variabilità del coefficiente di attrito di isolatori a pendolo doppio con superficie di scorrimento sferica. Inoltre, tre elementi non strutturali sono stati modellati nella struttura a base fissa: i) sistemi ad un grado di libertà a comportamento elastico descrivono due serbatoi riempiti di sabbia disposti sul quarto piano; ii) elementi trave a comportamento elastico rappresentano le tubazioni presenti al terzo piano; iii) un macro-modello a cinque elementi riproduce la risposta non lineare nel piano e fuori dal piano di pannelli di tramezzatura disposti al primo piano. L’identificazione dei periodi di vibrazione predominanti della struttura a base fissa è stata condotta sulla base di un codice numerico implementato in Matlab utilizzando le trasformate wavelet continue. Infine, lo scorrimento e l’oscillazione di tre tipologie di attrezzature mediche (un incubatore al terzo piano, una macchina per la dialisi al secondo piano ed un letto chirurgico al primo piano) sono state analizzate mediante un codice implementato in Matlab, considerando la storia temporale dell’accelerazione di alcuni nodi strutturali della struttura a base fissa.

1.2 ISOLAMENTO SISMICO IN DIREZIONE ORIZZONTALE E VERTICALE DI STRUTTURE IN C.A. SOGGETTE A TERREMOTI CON ELEVATA COMPONENTE VERTICALE (progetto D.P.C.-Re.L.U.I.S. 2022-2024 e 2024-2026)

È noto che gli isolatori elastomerici e quelli ad attrito non possono garantire un efficace isolamento sismico verticale di una struttura intelaiata a causa della loro elevata frequenza di vibrazione in tale direzione. L'amplificazione dell'accelerazione verticale lungo l'altezza di un edificio è documentata nell'area vicino faglia, dove si verificano valori del rapporto tra le accelerazioni spettrali verticali e orizzontali maggiori di uno nell'intervallo corrispondente al campo dei bassi periodi di vibrazione. Inoltre, effetti di migrazione del punto di risonanza nella direzione verticale sono anche attesi a seguito della traslazione dei periodi di vibrazione dominanti, dovuta al comportamento non lineare della sovrastruttura e del sistema di isolamento alla base. Recentemente, sono stati proposti nuovi sistemi di isolamento sismico in grado di sostenere i carichi verticali garantendo, al contempo, una bassa rigidità verticale; tuttavia, la calibrazione del grado di isolamento verticale (definito come il rapporto tra i periodi fondamentali di vibrazione nella direzione verticale di strutture con e senza isolamento sismico verticale) non è stato ancora affrontato. L'obiettivo dello studio è quello di valutare il grado di isolamento nella direzione verticale richiesto per garantire un efficace protezione nei riguardi della componente verticale di terremoti vicino faglia. Per ottenere questo risultato è stato effettuato l'isolamento alla base orizzontale e verticale di un padiglione del campus ospedaliero di Avellino. A tal fine, è stata considerata la combinazione verticale in serie di un isolatore elastomerico ad alto smorzamento (HDRB, "high-damping-rubber bearing") e di uno strato elastomerico ad alto smorzamento (HDRL, "high damping rubber layer"), quest'ultimo indipendente dalla risposta orizzontale e verticale (in trazione) dell'isolatore elastomerico ma in grado di ridurre la rigidità verticale del sistema di isolamento in presenza di sforzi di compressione. Le proprietà di progetto degli isolatori elastomerici HDRB sono valutate in linea con le prescrizioni dell'Eurocodice 8, mentre lo spessore dello strato elastomerico HDRL è stato variato in funzione di otto valori del rapporto di rigidità (calcolato come il rapporto tra le rigidità nominali verticale ed orizzontale del sistema di isolamento) delle strutture isolate alla base. L'implementazione numerica della struttura test in un codice di calcolo in C++ adotta un modello a plasticità concentrata per gli elementi strutturali in c.a., mentre per gli isolatori HDRB si tiene conto dei principali fenomeni osservati sperimentalmente (accoppiamento tra il moto orizzontale e quello verticale, variazione del carico critico dovuto ad un significativo spostamento orizzontale, cavitazione). Un codice di calcolo in Matlab basato sull'analisi wavelet è implementato per investigare gli effetti della variabilità temporale della risposta strutturale sull'isolamento sismico verticale. Analisi dinamiche lineari e non lineari sono condotte al fine di calibrare i risultati dell'analisi wavelet, considerando due gruppi di quindici terremoti vicino faglia, caratterizzati da una componente impulsiva in direzione orizzontale con e senza comportamento impulsivo in direzione verticale. L'analisi wavelet si dimostra essere uno strumento utile e semplice per la selezione ottimale del grado di isolamento verticale, richiedendo soltanto i risultati di analisi dinamiche elastiche della struttura test.

2. DISSIPAZIONE SUPPLEMENTARE DI ENERGIA

2.1. PROCEDURA DI PROGETTO PRESTAZIONALE DI ESOSCHELETRI IN ACCIAIO CON DISSIPATORI ISTERETICI PER L'ADEGUAMENTO ANTISISMICO DI EDIFICI IN C.A.. (progetto D.P.C.-Re.L.U.I.S. 2024-2026)

Una delle principali sfide nell'adeguamento sismico di edifici ospedalieri è la ricerca di una soluzione strutturalmente efficace ed al contempo in grado di non interrompere l'operatività di tali strutture. A tal fine, l'utilizzo di un esoscheletro dissipativo in acciaio (DEX, "dissipative exoskeleton"), disposto parallelamente alle facciate dell'edificio e dotato di una propria fondazione, rappresenta una tecnica adeguata. Nel presente studio è proposta una procedura di progetto basata sul controllo degli spostamenti (DBD, "displacement-based design procedure") di esoscheletri in acciaio con controventi dissipativi isteretici, ponendo attenzione alla limitazione del danneggiamento strutturale e non strutturale della

struttura originaria. L'attenzione è concentrata sulla risposta non lineare nel piano e fuori dal piano della tamponatura. Un padiglione del campus ospedaliero di Avellino, avente una struttura intelaiata in c.a. di cinque piani e tamponature disposte nelle campate interne dei telai di perimetro, è considerato come caso studio e adeguato in una zona ad alto rischio sismico mediante l'utilizzo di esoscheletri dissipativi isteretici. Tre configurazioni dell'esoscheletro dissipativo, disposte parallelamente a tutte le facciate dell'edificio, sono state poste a confronto: concentrata (DEX.L, "lumped DEX") e distribuita (DEX.D, "distributed DEX"), posizionate lungo alcune o tutte le campate perimetrali; mista (MDEX.L, "mixed DEX.L"), nella quale la soluzione DEX.L è combinata con un esoscheletro in acciaio (EX) parallelo alle sole campate perimetrali d'angolo. Un modello a plasticità concentrata è utilizzato per descrivere gli elementi in c.a., mentre un macro-modello a cinque elementi è considerato per i pannelli di tamponatura. Un comportamento elastico-lineare senza fenomeni di instabilità è assunto per gli elementi in acciaio dell'esoscheletro, mentre i controventi dissipativi isteretici sono modellati mediante un elemento pendolare con legame forza-spostamento bilineare. Lo spostamento prestazionale di progetto è determinato dalla curva di capacità della struttura tamponata originaria nella quale sono considerati i contributi nel piano e fuori dal piano delle tamponature parallele e perpendicolari alla direzione dei carichi sismici orizzontali. L'analisi statica non lineare è condotta assumendo distribuzioni verticali lineare ed uniforme delle forze sismiche di piano, in ambedue i casi proporzionali alle masse di piano ed alla massa concentrata fuori piano della tamponatura. L'efficacia e l'affidabilità della procedura di progetto proposta è valutata confrontando la risposta sismica (dinamica) non lineare della struttura prima e dopo l'intervento di adeguamento.

3. MATERIALI INNOVATIVI PER L'EDILIZIA

3.1. SVILUPPO DI ECO-MALTE E SISTEMI DI RINFORZO ECOLOGICI PER LA PROTEZIONE SISMICA ED IL RINFORZO DELLE STRUTTURE IN MURATURA - *STRIPES* (PROGETTO PRIN 2022 PNRR)

Il consolidamento e la riparazione di strutture deteriorate sono sfide cruciali per l'ingegneria civile, specialmente nelle aree sismiche europee, dove molti edifici storici necessitano di interventi urgenti. Le malte e i compositi rinforzati con tessuti sono particolarmente adatti per il rinforzo sismico grazie alle loro elevate prestazioni meccaniche, leggerezza e costi competitivi. Tuttavia, l'aumento della domanda di malte a base di cemento solleva preoccupazioni ambientali a causa del consumo di energia e materie prime. Per questo motivo, è fondamentale sviluppare materiali e sistemi ecologici per migliorare la sostenibilità dell'industria delle costruzioni. Il progetto *STRIPES* (*Sustainable Textile Reinforced mortar for strengthenIng and rePair Existing masonry Structures*) promuove eco-malte e sistemi di rinforzo ecologici, che riducono la massa sismica e le emissioni di CO₂, migliorando la durabilità e le proprietà meccaniche degli edifici. I risultati del progetto contribuiranno alla comprensione fondamentale delle prestazioni dei materiali innovativi eco-compatibili e apriranno la strada a una nuova generazione di sistemi di rinforzo sostenibili. Sicuramente l'applicabilità dei sistemi proposti, sia per la riparazione che per il rafforzamento delle strutture in muratura, migliorerà le prestazioni degli edifici esistenti, riducendo al minimo il rischio di danni e di crolli strutturali.

3.2. STATO DELL'ARTE E ATTIVITÀ SPERIMENTALE IN RELAZIONE ALL'IMPIEGO DI MALTE E CALCESTRUZZI GREEN (PROGETTO D.P.C.-RE.L.U.I.S. 2024-2026)

È ormai ben chiaro che il recupero ed il riutilizzo dei materiali di scarto destinati allo smaltimento in discarica rappresenta una delle soluzioni principali per la riduzione dell'inquinamento e delle emissioni di anidride carbonica nell'atmosfera.

L'obiettivo è quello di fornire contributi normativi e/o pre-normativi per l'impiego di calcestruzzi e malte green partendo dallo stato dell'arte. Lo studio riguarda in particolar modo lo sviluppo e l'analisi

di due database distinti “calcestruzzi green” e “malte green” basati su risultati scientifici reperiti in letteratura. Considerate le notevoli variazioni nei metodi di studio (tipologia di materiale da riciclo utilizzato, dimensione e tipo di materiale da riciclo impiegato, dei test effettuati, dei set-up di prova e delle corrispondenti linee guida/normative utilizzate) e la complessità delle ricerche, risulta necessario elaborare i dati classificandoli in sottocategorie o sottogruppi in base a specifici aspetti indagati quali ad esempio: materiale utilizzato, durabilità, resistenza, impiego, ecc..., al fine di ottenere dati più omogenei e fornire prime indicazioni di natura progettuale.

L'attività sperimentale è invece finalizzata alla definizione delle caratteristiche meccaniche e di durabilità di malte sostenibili realizzate con fibre di cellulosa derivanti dai fanghi di deink, materiale di scarto dell'industria cartaria.

3.3. BARRE FRP NEI SISTEMI DI RINFORZO IBRIDI

L'attività di ricerca si concentra sull'utilizzo combinato di barre in materiale composito fibrorinforzato (FRP – *Fiber Reinforced Polymer*) e barre in acciaio per migliorare le prestazioni strutturali degli organismi resistenti. Questo approccio ibrido mira a sfruttare i vantaggi complementari di entrambi i materiali: le barre FRP offrono resistenza meccanica ed eccellente resistenza alla corrosione e leggerezza, mentre le barre in acciaio forniscono resistenza meccanica e duttilità.

L'obiettivo principale del progetto è sviluppare sistemi di rinforzo innovativi che aumentino la durabilità e la capacità portante delle strutture, riducendo contemporaneamente i costi di manutenzione a lungo termine. La combinazione di barre in acciaio e di barre di FRP, in vetro (G-FRP) o in carbonio (C-FRP), potrebbe risolvere problemi comuni nelle costruzioni tradizionali, come la corrosione dell'acciaio in ambienti aggressivi e la necessità di rinforzi pesanti che aumentano la massa sismica degli edifici.

Il progetto prevede una serie di test sperimentali e simulazioni numeriche per valutare il comportamento di travi di calcestruzzo armato realizzate con sistemi ibridi, sotto carichi statici (di servizio ed ultimi). Lo studio del comportamento sperimentale e l'analisi teorica sotto diverse condizioni di carico forniranno dati essenziali per sviluppare modelli computazionali avanzati, che permetteranno di prevedere il comportamento delle strutture in scala reale.

3.4. FORMULAZIONE DI GEO-POLIMERI INNOVATIVI PER MATRICI TERMO-MECCANICHE IN COMPOSITI INORGANICI (FRCM/CRM)- sTructurAl and eneRGy rEnovation for susTainable buildingS – TARGETS. Decreto Direttoriale n. 1409 del 14 settembre 2022. PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR). Missione 4 “Istruzione e Ricerca” - Componente C2 Investimento 1.1, “Fondo per il Programma Nazionale di Ricerca e Progetti di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN) 2024-2025”.

Per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione del 2050, la maggior parte degli edifici italiani necessita di una profonda ristrutturazione, soprattutto nelle regioni del Sud. Recentemente è stata sviluppata una vasta gamma di soluzioni in molti progetti europei riguardanti metodi tecnici, modelli di business e schemi di finanziamento per le pratiche di eco-rinnovamento. Allo stesso tempo, la debolezza strutturale è rilevante quando si ha a che fare con patrimoni edilizi datati, che generalmente manifestano un'elevata vulnerabilità alle azioni naturali e antropiche, a causa del degrado e della scarsa manutenzione, mentre sono necessarie nuove prestazioni che affrontino obiettivi di resilienza e sostenibilità. Tuttavia, uno dei principali ostacoli resta l'inerzia del mercato nel reagire alle innovazioni a causa della complessità degli interventi; spesso legati a soluzioni separate nella risoluzione degli inconvenienti energetici o strutturali. Di conseguenza, negli ultimi anni è cresciuto costantemente l'interesse per nuovi materiali e tecniche per il retrofitting combinato con l'obiettivo di contribuire efficacemente all'obiettivo di città sicure, resilienti e sostenibili. Inoltre, anche il riutilizzo dei materiali di scarto dovrebbe essere considerato e sfidato al fine di supportare il Piano di Economia Circolare.

In questo scenario è stata recentemente indagata l' idoneità dei geopolimeri, come alternativa ai cementizi per i sistemi IMC (Inorganic Matrix Composites). Nel progetto, saranno sviluppati nuovi sistemi compositi (privi di cemento e corrosione) considerando sia le proprietà meccaniche che termiche in una soluzione olistica rivoluzionaria (strutturale + termica). L'obiettivo è fornire risposte di mitigazione e adattamento climatico verso la profonda ristrutturazione di una delle fonti più inquinanti: gli edifici. Allo stesso tempo si punta anche al miglioramento della sicurezza strutturale. A questo scopo si propone un programma sperimentale focalizzato su edifici in c.a. con tamponamenti e struttura in muratura con diaframma a volta. Le prove sono finalizzate a determinare il miglioramento sia della capacità meccanica che termica, anche in confronto con le tecniche disponibili e quelle più comunemente utilizzate nel territorio indagato (Regioni del Sud Italia). Inoltre, verranno identificati alcuni casi di studio rappresentativi e verrà validato il trasferimento dei risultati ottenuti in applicazioni pratiche. Le soluzioni tradizionali consistono generalmente in una copertura a carattere isolante incapace di migliorare le prestazioni strutturali. In caso di azioni meccaniche (vento, terremoto, assestamenti del terreno, ecc.) lo strato isolante può essere gravemente compromesso e la sua riparazione è drammaticamente costosa. In questa prospettiva, la ricerca proposta cerca un'alternativa più sostenibile e duratura. Sostenibile perché proveniente da materiale riciclato e durevole perché meno vulnerabile alle sollecitazioni a cui potrebbe essere sottoposto durante la vita utile.

4. MATERIALI COMPOSITI FIBRORINFORZATI

4.1 ANALISI E MODELLAZIONE DEL DEGRADO DEL LEGAME D'INTERFACCIA COMPOSITO/SUBSTRATO IN MURATURA PER EFFETTO DI CICLI TERMICI (finanziamento progetto D.P.C.-Re.L.U.I.S. 2024-2026)

L'uso di sistemi FRCM come sistema di rinforzo di strutture in muratura permette di aumentare la resistenza a flessione e taglio pannelli murari e la capacità portante delle colonne compresse e/o pressoinflesse. La mancanza di conoscenze sul comportamento dei sistemi FRCM quando sono sottoposti agli effetti di severe condizioni ambientali quali quelle associate all'esposizione a temperature elevate o al fuoco ne ostacola ancora l'uso nelle costruzioni.

La mancanza di conoscenze si riflette anche negli attuali codici normativi, dove non vengono fornite informazioni sulla progettazione antincendio di strutture rinforzate con FRCM.

In questo contesto, la ricerca si propone di eseguire un'indagine sugli effetti dell'esposizione ciclica a temperature medio-alte e/o a cicli di gelo/disgelo sul degrado dell'aderenza tra compositi in FRCM e substrato in muratura.

Si prevede di sviluppare l'attività di ricerca con riferimento a sistemi in FRCM su supporti in muratura di mattoni e pietrame al variare dei principali parametri meccanici e geometrici coinvolti.

In dettaglio sono previste le seguenti fasi operative:

I ^fase: l'analisi delle caratteristiche meccaniche dei materiali componenti (fibra e matrice) e del sistema composito (fibra + matrice) nelle condizioni ambientali di normale esercizio;

II^ FASE: condizionamento mediante cicli gelo/disgelo e cicli termici (riscaldamento/raffreddamento) a temperature elevate di provini in muratura rinforzati con FRCM. I parametri variabili previsti sono: il tipo di fibra e di matrice, lo spessore della malta, il quantitativo di fibra, il numero di cicli gelo/disgelo, la temperatura dei cicli termici, il tempo di esposizione alla temperatura, il numero di cicli termici;

III^ FASE: esecuzione delle prove di aderenza sui provini a temperatura ambiente. Modellazione analitico/numerico della risposta tensione di aderenza-scorrimento al variare dei parametri considerati. Obiettivo dell'attività di ricerca è quello di definire opportune relazioni progettuali del legame di aderenza composito FRCM-muratura al variare del grado di severità delle condizioni ambientali.

4.2. ANALISI E MODELLAZIONE DEL LEGAME D'INTERFACCIA COMPOSITO/SUBSTRATO (finanziamento progetto D.P.C.-Re.L.U.I.S. 2022-2024)

La ricerca condotta sull'analisi dell'aderenza tra il sistema di rinforzo in FRCM ed il substrato in calcestruzzo ed in muratura. Il comportamento all'interfaccia rinforzo/matrice è fondamentale per la definizione del comportamento meccanico dei sistemi di rinforzo in FRCM: le modalità di crisi del sistema di rinforzo e delle strutture rinforzate dipendono infatti del rinforzo fibroso all'interno della matrice. Il comportamento all'interfaccia dipende tuttavia dal tipo di rinforzo utilizzato, dal trattamento superficiale delle fibre, dal tipo di matrice, dalla natura del sottofondo, etc. La definizione del legame all'interfaccia fibra/matrice è tuttavia complesso proprio a causa dei numerosi parametri meccanici e geometrici coinvolti. La ricerca prevede uno sviluppo sperimentale con l'esecuzione di numerose prove di aderenza tipo *direct shear tests*, tra sistemi FRCM e calcestruzzo ed FRCM e muratura. I risultati sperimentali consentono quindi di definire una forma analitica dello stesso legame da utilizzare in fase di progettazione del sistema di rinforzo. La ricerca prevede altresì la definizione di una procedura numerica agli elementi finiti con la quale prevedere e descrivere il legame d'interfaccia FRCM/matrice ed FRCM/substrato in calcestruzzo e/o muratura. Le indagini sperimentali sono condotte sia a temperatura ambiente sia a seguito di trattamenti termici dei provini ad elevate temperature (fino a 500°C) per valutare l'influenza del danneggiamento termico sul legame d'aderenza. La ricerca consente di definire i meccanismi di collasso locale dei sistemi FRCM e di mettere a punto, attraverso l'analisi dei risultati sperimentali, la modellazione dei legami d'aderenza FRCM/calcestruzzo ed FRCM muratura.

Tali legami sono stati utilizzati anche nelle modellazioni numeriche messe a punto per lo studio degli elementi strutturali in calcestruzzo armato (travi rinforzate a flessione e/o a taglio) ed in muratura (colonne confinate) con i sistemi FRCM.

5. ELEMENTI STRUTTURALI RINFORZATI CON MATERIALI COMPOSITI FIBRORINFORZATI

5.1. ANALISI SPERIMENTALE E MODELLAZIONE ANALITICA E NUMERICA DI STRUTTURE IN C.A. RINFORZATI ESTERNAMENTE CON MATERIALI COMPOSITI FIBRORINFORZATI A MATRICE INORGANICA (FRCM)

Una vasta attività di ricerca è stata condotta sul comportamento meccanico di elementi strutturali in calcestruzzo rinforzate con materiali compositi fibrorinforzati a matrice cementizia (FRCM, Fabric Reinforced Cementitious Matrix) ed SRG (Steel Reinforced Grout). Sono stati analizzati i principali aspetti del comportamento meccanico di travi in calcestruzzo armato rinforzate esternamente sia a flessione sia a taglio con i sistemi in FRCM (comportamento in esercizio, meccanismi di collasso prematuro, capacità resistente, duttilità, interazione tra le armature interne in acciaio ed il rinforzo esterno in FRCM) al variare del tipo di sistema di rinforzo fibroso (Carbonio, PBO, acciaio, basalto, acciaio), del quantitativo di rinforzo applicato, della configurazione del rinforzo (inclinazione delle fibre rispetto all'asse degli elementi strutturali), del tipo di matrice.

L'efficacia dei rinforzi in FRCM sul confinamento del calcestruzzo compresso, viene analizzata sia dal punto di vista sperimentale sia dal punto di vista analitico. A tal fine, viene condotta un'ampia indagine sperimentale su provini in calcestruzzo in piccola scala confinati con nastri in PBO-FRCM e su colonne in calcestruzzo armato confinate con C-FRCM (fibre di carbonio) e PBO-FRCM. I risultati sperimentali verranno utilizzati per la messa a punto di relazioni analitiche per la previsione della risposta meccanica del calcestruzzo confinato sia in termini di resistenza sia in termini di deformazione.

L'analisi è estesa anche al comportamento meccanico di travi in c.a. rinforzate esternamente con FRCM ed esposte a temperature elevate. Si prevede l'esecuzione di prove sperimentali sui materiali

componenti il sistema di rinforzo (fibra e matrice), sul sistema in composito (fibra+matrice) e su travi in piccola scala dopo l'esposizione a temperatura elevata (fino a 300°C). I risultati ottenuti possono essere utilizzati per la messa a punto di modelli previsionali delle prestazioni meccaniche dei sistemi FRCM e delle travi in c.a. rinforzate con tali sistemi.

5.2 ANALISI DEL COMPORTAMENTO MECCANICO DI TRAVI IN CALCESTRUZZO RINFORZATE CON ARMATURA IBRIDA (finanziamento progetto D.P.C.-Re.L.U.I.S. 2024-2026)

Il rinforzo delle strutture in calcestruzzo con barre non metalliche, benchè consente di ottenere significativi incrementi di resistenza e rilevanti incrementi della durabilità, non è in grado di garantire adeguati valori di duttilità e di contenere la deformabilità rispetto alle tradizionali strutture rinforzate con barre metalliche.

Tra le soluzioni proposte per ridurre i suddetti inconvenienti, è di particolare interesse applicativo quella basata sull'utilizzo combinato delle armature metalliche in acciaio e di quelle non metalliche in FRP (armatura ibrida).

Anche se sono disponibili alcuni risultati sperimentali, a causa dell'elevato numero di parametri in gioco quali la tipologia delle barre non metalliche (geometria, finitura superficiale, tipo di fibra), il rapporto di armatura (percentuale di armatura non metallica rispetto all'armatura metallica), la configurazione del rinforzo (valori dei ricoprimenti di calcestruzzo), il diverso legame di aderenza tra le barre ed il calcestruzzo, non sono stati ancora completamente definiti tutti gli aspetti del comportamento meccanico delle travi in calcestruzzo con armatura ibrida.

La ricerca si prefigge di indagare il comportamento in esercizio di travi inflesse in calcestruzzo con armatura ibrida (fessurazione e deformazione) sia attraverso una fase sperimentale sia attraverso una modellazione analitico/numerica con l'obiettivo di prevenire a formulazioni progettuali.

Si prevede di sviluppare la ricerca nelle seguenti fasi:

I^ FASE: analisi dello stato dell'arte al fine di identificare i parametri geometrici e meccanici più influenti sul comportamento meccanico delle travi in calcestruzzo con armatura ibrida;

II^ FASE: Esecuzione di prove sperimentali per la caratterizzazione meccanica delle barre in FRP. Prove di flessione su travi;

III^ FASE: analisi dei dati sperimentali in termini di configurazione delle fessurazione (numero di fessure, distanza tra le fessure, ampiezza delle fessure), di valori degli spostamenti. Definizioni di modelli analitico/numerici di previsione del comportamento meccanico delle travi con armatura ibrida.

5.3 CONTRIBUTI NORMATIVI RELATIVI A MATERIALI INNOVATIVI PER INTERVENTI SU COSTRUZIONI ESISTENTI Contributi Normativi per interventi con sistemi FRP/FRCM (Progetto D.P.C. – Re.L.U.I.S. 2022-2024)

Obiettivo della ricerca è fornire contributi per l'implementazione di relazioni e raccomandazioni progettuali utili all'aggiornamento delle attuali linee guida, o alla formulazione delle future normative tecniche, relativamente agli interventi su costruzioni esistenti mediante l'utilizzo di compositi a matrice polimerica (FRP) e compositi a matrice inorganica (FRCM).

L'impiego di materiali FRP è attualmente supportato da un quadro normativo sufficientemente esaustivo. Tale quadro normativo risulta tuttavia riferito ad un limitato numero di tipologie di rinforzo e necessita di una più approfondita validazione relativamente a specifici aspetti di qualificazione e progettazione. E' emersa inoltre, l'esigenza di fornire indicazioni progettuali, supportate da sperimentazioni e modellazioni, relativamente ad alcune tematiche ad oggi trattate solo qualitativamente nei documenti tecnici disponibili.

L'attività di ricerca relativa ai materiali FRP è pertanto indirizzata verso lo studio per l'implementazione, ovvero la revisione/estensione delle relazioni progettuali già disponibili ai sistemi

non ancora contemplati nei documenti tecnici, con particolare riferimento ai compositi SFRP (Steel Fiber Reinforced Polymer).

Per i materiali FRCM risulta necessaria una adeguata validazione delle relazioni/indicazioni progettuali, proposte in letteratura e nelle recenti linee guida, oltre alla definizione di relazioni/indicazioni progettuali per ambiti attualmente ancora trattati a livello solo embrionale. In riferimento alle costruzioni esistenti sono forniti contributi prevalentemente sperimentali finalizzati a definire relazioni progettuali per interventi su elementi strutturali di calcestruzzo armato soggetti a flessione e taglio (travi, sottoposte a carichi monotoni crescenti e carichi ripetuti) e su elementi di muratura prevalentemente compressi (pilastri).

Risulta, inoltre, necessario validare con adeguati livelli di affidabilità le relazioni quantitative che mettono in conto i possibili fenomeni di crisi per aderenza (fibra-matrice, composito-substrato, ecc.) nella previsione delle prestazioni strutturali. In questo ambito, sono rappresentative le prove di aderenza (*direct single-lap shear test*) di sistemi FRCM applicati su substrato di calcestruzzo e/o muratura.

SSD CEAR 08/A – ARCHITETTURA TECNICA

LINEE DI RICERCA Anni 2023-2024

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD CEAR 08/A è così composto:

Laura Greco, Prof.ssa Associata

Da febbraio 2024 è in servizio come assegnista di ricerca l'Ing. Francesco Spada.

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. Analisi degli sviluppi della prefabbricazione e dell'industrializzazione edilizia negli edifici per la produzione realizzati in Italia nel periodo 1945-1970.
2. Analisi degli sviluppi della prefabbricazione leggera in Calabria finalizzata alla conoscenza e alla riqualificazione degli edifici realizzati in Calabria nel secondo Novecento. Lo studio è in corso nel quadro del PRIN 2022 DD 104. Finanziato dall'Unione europea – Next Generation EU dal titolo “La prefabbricazione leggera: conoscenza, monitoraggio e riqualificazione del patrimonio architettonico del secondo Novecento nelle regioni Calabria e Lazio”.

Gli studi e i progetti di ricerca suddetti si inquadrano nella linea di ricerca di seguito descritta

1. Studio dell'evoluzione dei caratteri architettonici e costruttivi del patrimonio italiano del Novecento.

La linea di ricerca, collocandosi nell'ambito riconosciuto internazionalmente come *Construction History*, si propone di approfondire la conoscenza dei caratteri architettonici e costruttivi del patrimonio italiano del Novecento, nel quale materiali, tecniche costruttive, soluzioni di dettaglio assumono un ruolo di particolare importanza, determinandone la qualità e l'identità architettonica. Attraverso lo studio di *corpus* di realizzazioni, o di opere esemplari, s'intende contribuire a distinguere la vicenda italiana nel quadro internazionale, a riconoscerne il valore rilanciandone il ruolo culturale, e a fornire, ove possibile, linee guida per una corretta attività di recupero e riqualificazione.

Contenuti

Il settore di ricerca indaga sul rapporto tra tecniche costruttive e qualità architettonica, incentrando l'attenzione sulle modalità con le quali tale rapporto si è espresso, sia nell'ambito di opere singolari che in *corpus* di realizzazioni, attraverso le esperienze e le tendenze dell'architettura moderna e contemporanea.

L'interesse ad approfondire indagini storiche su questo aspetto nasce da tre ragioni principali:

- a) la centralità che il rapporto tecnica costruttiva–architettura assume a partire dalla fine dell'Ottocento, protraendosi con sempre maggiore enfasi fino alla produzione contemporanea;
- b) la consapevolezza delle lacune ancora esistenti nella produzione scientifico-storiografica relativa all'architettura del Novecento italiano, da cui scaturisce l'opportunità di affrontare la conoscenza, non generica, delle tecniche costruttive impiegate per opere attraverso le quali è possibile contribuire a delineare l'identità del patrimonio costruito italiano, tracciandone i caratteri evolutivi nel suo sviluppo storico;
- c) la necessità di assumere il costruito come il repertorio concreto delle tecniche costruttive dell'architettura, già composto nella sua articolazione e nelle sue regole, da scoprire, analizzare e decodificare nelle sue complessità, per essere impiegato quale strumento conoscitivo alla base del

progetto di recupero e di riqualificazione.

Tale conoscenza viene pertanto descritta non mediante letture storico-critiche ad ampio raggio, ma essenzialmente attraverso analisi mirate a quei contesti specifici che hanno contribuito all'affermazione di un linguaggio architettonico moderno in Italia. Gli strumenti su cui si basa l'indagine s'identificano, nello studio, in gran parte inedito, della documentazione d'archivio relativa alle vicende costruttive degli oggetti esaminati.

I temi di ricerca comprendono quindi l'analisi puntuale di opere ed elementi costruttivi, e implicano la ricostruzione delle vicende progettuali ed esecutive inserite all'interno del quadro evolutivo nazionale. Al centro di molti dei temi approfonditi si trovano la prefabbricazione e l'industrializzazione delle tecniche costruttive e le loro applicazioni in diversi settori tipologici. I casi considerati in questo ambito hanno finora riguardato prevalentemente la seconda metà del Novecento (1945-1970) e si concentrano su opere emblematiche come i complessi per uffici (Torre Galfa, Palazzo uffici Eni, Palazzo Galbani, Palazzo Olivetti a Milano, sede Esso all'EUR), alcuni complessi industriali legati principalmente al patrimonio Fiat, repertori (autogrill, stazioni di servizio e motel autostradali Pavesi, Motta, Agip ed Esso), prototipi e sperimentazioni per la produzione a catalogo di case prefabbricate con sistemi leggeri. Attualmente l'analisi è stata estesa a ulteriori complessi industriali siti nell'Italia centro-settentrionale e, nell'ambito del progetto PRIN 2022 "La prefabbricazione leggera: conoscenza, monitoraggio e riqualificazione del patrimonio architettonico del secondo Novecento nelle regioni Calabria e Lazio", alle realizzazioni rintracciabili nella regione Calabria. Il progetto, finanziato dall'Unione Europea-NextGenerationEU, è in corso di svolgimento tra il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università della Calabria e il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica dell'Università di Roma Tor Vergata.

S.S.D. CEAR-09/A – COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA E URBANA

LINEE DI RICERCA A.A. 2022-2023

Il Gruppo di Ricerca afferente al SSD CEAR-09/A è così composto:

Roberta Lucente, Prof.ssa Associata

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. logiche dell'opera architettonica
2. il fondamento scientifico del processo progettuale attraverso gli studi tipologici.
3. la dimensione transcalare nello sviluppo delle aree urbane complesse
4. intersezioni linguistiche tra architettura e altri saperi.

Le principali linee di ricerca sono di seguito descritte.

LOGICHE DELL'OPERA ARCHITETTONICA

Il fondamento teorico della ricerca nel campo della Composizione architettonica e urbana mira, tra i suoi primi obiettivi, a esplorare l'iter metodologico che sostiene l'ispirazione e quindi l'elaborazione progettuale. Terreno tanto più fertile quello offerto dalle architetture alle quali si riconosce valore significativo ed esemplare, quando non di "capolavori", opere il cui percorso genetico offre dunque fecondi spunti di riflessione sulla dimensione teoretica del progetto di architettura e sulla sua costruzione. In questo quadro si collocano le letture in chiave storico-critica di opere di architettura premoderne, moderne e contemporanee svolte sulla base di disegni e documenti di archivio e di testimonianze dirette e indirette riferibili alle opere stesse o ai loro autori. Lo scopo è quello di contribuire alla conoscenza dell'iter evolutivo della concezione delle architetture oggetto di studio per trarne conclusioni critiche e di metodo, sia ai fini dell'aggiornamento delle metodologie per il progetto architettonico e urbano, sia per il corretto intervento sulle opere stesse in caso di un loro recupero e riuso.

Contenuti

Con riferimento a questo ambito tematico, la docente ICAR 14 del DINCI, insieme a Giuseppe Canestrino, assegnista di ricerca nello stesso SSD a decorrere dal gennaio 2024, ha pubblicato lo studio, svolto nell'anno precedente, sulla definizione teorica dell'architettura parametrica proposta da Luigi Moretti negli anni '60 e sull'applicazione di tali principi all'interno dell'opera del maestro romano, con particolare riferimento al complesso delle Terme di Fiuggi sulla prestigiosa rivista di classe A "RIBA Journal of Architecture".

Nello stesso ambito tematico, Roberta Lucente, con Giuseppe Canestrino, ha proseguito nello studio avviato sull'opera dell'architetto svizzero-tedesco Silvio Galizia. Ha quindi presentato due contributi, selezionati per la presentazione e la pubblicazione, a due convegni internazionali che avranno luogo nei mesi di giugno e agosto 2024, presso la sede dell'ETH di Zurigo, sulle tematiche relative al rapporto tra concezione architettonica e dimensione costruttiva e strutturale nell'opera dell'architetto svizzero-tedesco, e sulla base di inediti materiali d'archivio.

La docente Icar 14 ha inoltre svolto, nel periodo 2023/2024, un lavoro di ricerca sul progetto della tomba di Rocco Scotellaro a Tricarico dei BBPR, nel quadro del centenario della nascita del poeta lucano, figura di spicco del meridionalismo degli anni '50. Per tale lavoro, la stessa docente ha ottenuto un finanziamento dalla Fondazione Carical, che è stato impiegato per l'allestimento di una mostra sulla base di disegni inediti del gruppo dei celebri progettisti milanesi, rinvenuti presso, il fondo BBPR del MAXXI e oggetto di approfondite letture esegetiche da parte di Roberta Lucente. e la pubblicazione del relativo catalogo, curato dalla stessa docente, con un suo saggio introduttivo e altri saggi a firma di studiosi autorevoli dello stesso settore. Il lavoro è partito nel 2023 e si concluderà a fine giugno 2024 con la presentazione dello stesso catalogo e la chiusura della mostra.

IL FONDAMENTO SCIENTIFICO DEL PROCESSO PROGETTUALE ATTRAVERSO GLI STUDI TIPOLOGICI.

L'attitudine tassonomica propria degli studi tipologici da sempre alimenta il fondamento scientifico del processo progettuale, rafforzandone la finalità conoscitiva. Centrali sono dunque la verifica di questo assunto, attraverso la lettura in prospettiva storica dei tessuti urbani, e la riflessione in chiave critica sul valore e sull'utilità che gli strumenti tipologici possono oggi ancora conservare, se utilizzati opportunamente e in una declinazione contemporanea. Questo genere di studi trova altresì applicazione, naturalmente, alla scala architettonica, dando vita alle diverse articolazioni degli studi tipologici tradizionali, oggi revisionati nell'ottica della necessità di immaginare assetti più flessibili e resilienti per gli edifici contemporanei, compresi quelli specialistici, e confacenti alle oggi imprescindibili questioni di sostenibilità ambientale. Le applicazioni a scala urbana, sui tessuti stratificati, storici come di più recente realizzazione, continuano ad essere necessarie e a rivelarsi fruttuose.

Contenuti

Il gruppo ICAR 14 del DINCI ha conseguito nel 2023 un finanziamento PNRR attraverso un partenariato sottoscritto con il comune di Morano Calabro e la partecipazione a uno dei bandi destinati alle aree interne. Tale finanziamento, nell'anno 2025 sarà destinato all'emanazione di un bando per un assegno di ricerca nel settore. Nel frattempo, il gruppo di docenti e contrattisti ICAR 14, ha concorso a un lavoro di indagine preliminare sul comune di Morano che avrà come esito prossime pubblicazioni e farà da base propedeutica a studi successivi nell'arco dell'anno.

LA DIMENSIONE TRANSCALARE NELLO SVILUPPO DELLE AREE URBANE COMPLESSE

La progettazione architettonica e urbana ha visto, soprattutto negli ultimi trent'anni, amplificare la propria capacità transcalare nello sviluppo delle aree urbane complesse: a partire dal governo delle scelte strategiche a livello territoriale e paesaggistico fino al controllo delle scale del dettaglio, architettonico come urbano. Negli ultimi anni, tale tematica ha incrociato quella della sostenibilità ambientale, e ha imposto una riflessione più mirata sulla stessa nozione di complessità, e sugli strumenti per governarla nell'interfaccia con le diverse scale dell'architettura.

Contenuti

La docente ICAR 14, da 19 anni impegnata nell'organizzazione di un seminario annuale nella città spagnola di Barcellona, proseguirà in tale attività anche nel corso dell'anno 2023, riproponendo un ulteriore seminario annuale, che costituirà la base per prossime letture analitiche di lavori progettuali e conseguenti pubblicazioni.

INTERSEZIONI LINGUISTICHE TRA ARCHITETTURA E ALTRI SAPERI

L'intrinseca attitudine dell'architettura all'interlocuzione interdisciplinare, si pone oggi come prerogativa strategica ai fini del superamento di molte delle sfide della contemporaneità in relazione all'uomo e all'ambiente naturale e costruito. Il confronto tra la Progettazione architettonica e urbana e alcune discipline come la matematica, l'informatica, la musica, l'ecologia, la sociologia, sollecita la riflessione su questa capacità del progetto di architettura di accoglimento e ascolto di linguaggi "altri", con i quali esso intrattiene proficui dialoghi e sperimenta feconde intersezioni.

Contenuti

Nell'ambito di tale linea di ricerca, docenti, dottorandi e assegnisti del gruppo ICAR 14 del DINCI hanno attivato negli ultimi anni un filone di studi sull'uso degli strumenti parametrici nel progetto architettonico e urbano, nella morfogenesi come nell'ottimizzazione di alcuni aspetti relativi alla performance dell'edificio in relazione, ad esempio, a criteri tipologici e a fattori ambientali o strutturali. Tali studi, hanno già prodotto alcune interessanti sperimentazioni applicative relative alla scala urbana e, nello specifico, alla città di Aleppo, e hanno avuto come esiti due tesi di dottorato in ICAR 14 e varie pubblicazioni.

In questo ultimo anno, il settore ha inoltre avviato un lavoro di ricerca, a seguito di un finanziamento ottenuto nel quadro dei PRIN 2022, con intersezioni disciplinari con il settore della Storia M-STO 02 e con il settore della Sociologia Urbana SPS/10, sul tema delle "Fortezza alla Moderna". Questa nuova intersezione disciplinare si pone in continuità con la linea di ricerca sopra descritta. Un primo risultato è stata l'attribuzione di un assegno di ricerca nel settore ICAR 14 bandito su fondi PRIN. La ricerca sulla tematica individuata dal progetto finanziato è dunque partita con sopralluoghi alle aree oggetto di studio da parte della docente e dell'assegnista ICAR 14 e dalla docente SPS/10 dell'Unical – a Ferrara e a Castelfranco Emilia - e con la partecipazione, da parte della docente e dell'assegnista di ricerca, a un convegno internazionale con un contributo sul tema. La ricerca proseguirà nel corso del 2024 e sono già in corso di preparazione due articoli su rivista in classe A.

S.S.D. CEAR-10/A – DISEGNO

LINEE DI RICERCA A.A. 2023-2024

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD CEAR-10/A è così composto:

Giuseppe Fortunato, P.A.
Antonio A. Zappani, P.A.

Le ricerche nel periodo di riferimento riguardano i seguenti temi:

1. Rilievo dell'architettura nell'ambito del costruito storico e/o monumentale
2. Costruzione di modelli informativi di beni storici.
3. Applicazioni di realtà aumentata per conoscere/comunicare un bene architettonico attraverso attività di rilevamento

Le principali linee di ricerca sono di seguito descritte.

1. RILIEVO IN AMBITO ARCHEOLOGICO E ARCHITETTONICO

Nel campo del rilevamento, le attuali strumentazioni/tecniche di misura hanno rivoluzionato il tradizionale modo di procedere nell'acquisizione dei dati, nella loro gestione e rappresentazione, e inducono gli operatori coinvolti ad ampliare il proprio bagaglio di conoscenze ben oltre quello legato all'abilità tecnica di adoperare uno strumento di misura.

La gestione ed il processamento dei dati acquisiti impone, inoltre, una conoscenza approfondita circa il trattamento delle immagini e la creazione di modelli digitali tridimensionali. Le restituzioni derivanti, oltre a garantire una maggiore affidabilità metrica rispetto ai rilievi del passato, aprono a nuove strategie di analisi dei dati e a nuove modalità di rappresentazione e divulgazione dei risultati ottenuti.

La maggiore accuratezza del modello 3D, inoltre, fornisce un importante contributo soprattutto nello studio della vulnerabilità del costruito storico e/o monumentale.

In un territorio così fragile come il nostro, la digitalizzazione in alta risoluzione del patrimonio costruito storico, oltre a costituire una prima forma di tutela, consente ai ricercatori la preziosa opportunità di re-interrogare il dato in ogni momento consentendo sia nuove letture sia il confronto delle trasformazioni avvenute nel tempo.

Il gruppo di ricerca opera su temi inerenti all'edilizia in generale ed ai beni culturali in particolare. Più precisamente si occupa di: problematiche legate al rilevamento strumentale (termocamera, laser scanner, fotogrammetria digitale); trattamento delle immagini e delle conoscenze (problemi legati sia all'analisi e conoscenza scientifica, che alla presentazione e divulgazione delle informazioni acquisite).

Nel periodo di riferimento, è impegnato nelle seguenti attività di ricerca finanziata:

- 1) Progetto PRIN 2022 dal titolo *SPLASCH*, acronimo di *Smart PLatform and Applications for Southern Cultural Heritage*, attraverso il quale si intende promuovere lo sviluppo e l'implementazione di una piattaforma digitale dedicata allo studio e alla divulgazione scientifica dei Beni Culturali per sfruttare appieno le potenzialità del Digital Twin per preparare modelli 3D di beni materiali del patrimonio culturale, accessibili, interrogabili, interoperabili, dinamici.
- 2) Progetto Tech4You, attraverso il quale si intende promuovere il rilievo, lo studio e la ricostruzione 3D di architetture antiche.

Attraverso i progetti pilota adottati al loro interno la ricerca mira ad approfondire, e tramite l'acquisizione e lo studio dei casi affrontati (eterogenei per dimensione, struttura geometrico-architettonica, stato di conservazione, epoca storica ...), le tematiche:

- 1) della ricostruzione virtuale dello stato originario di monumenti parzialmente/totalmente modificati o scomparsi, anche attraverso lo studio storico-critico e delle fonti documentarie (ad esempio, il rilievo 3D dei ruderi del convento di San Domenico a Soriano Calabro e della chiesa tardo-cinquecentesca della Certosa di Serra San Bruno).
- 2) della costruzione di modelli informativi, a partire da rilievi 3D accurati, applicati al patrimonio esistente e finalizzati alla conoscenza approfondita del bene, utili come base per eventuali azioni future (restauro, consolidamento, valorizzazione, ...).

2. APPLICAZIONI DI REALTÀ AUMENTATA PER CONOSCERE/COMUNICARE UN BENE ARCHITETTONICO ATTRAVERSO ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO

La tecnologia mette a disposizione del rilevatore modalità conoscitive sempre più variegata per approfondire lo studio di una fabbrica architettonica e per comunicare/divulgare i risultati ottenuti.

Tra queste, si segnalano un enorme sviluppo ed una rapida diffusione delle applicazioni che fanno uso di sistemi interattivi/immersivi, che consentono il facile utilizzo di dati sempre più complessi ed arricchiscono le possibilità di coinvolgimento dell'utente finale.

La ricerca intende approfondire le potenzialità di tali sistemi e sperimentare delle applicazioni utili nel campo del rilievo e della conoscenza di un bene architettonico a partire da alcuni casi-studio adottati (mulino di san Francesco a Paola (CS) e Sala capitolare dell'abbazia della Matina a San Marco Argentano (CS));

S.S.D. CEAR-11/B – RESTAURO DELL'ARCHITETTURA

LINEE DI RICERCA A.A. 2023-2024

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD CEAR-11/B è così composto:

Brunella Canonaco, RTI

da febbraio 2024 è in servizio l'assegnista di ricerca dott.ssa Francesca Bilotta nell'ambito del PNRR Missione 1 – Digitalizzazione, innovazione, competitività cultura. Componente 3 – Cultura 4.0 (m1c3). Misura 2 “rigenerazione di piccoli siti culturali, patrimonio culturale, religioso e rurale”, Investimento 2.1: “Attività dei borghi storici”, finalizzato dall'Unione Europea – NextgenerationEU – Linea d'azione: realizzazione iniziative per l'incremento dell'attrattività residenziale e contrastare l'esodo demografico. Progetto: “Ri_AbitareMorano: Contratto di rigenerazione urbana per la valorizzazione culturale e sociale del centro storico di Morano Calabro

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. Metodologie e procedure di analisi per la conoscenza di base e per gli interventi di conservazione, restauro e recupero nei centri storici.
2. La conservazione, la tutela e la valorizzazione del patrimonio di archeologia industriale nel meridione d'Italia.

Le linee di ricerca sono di seguito descritte.

1. Metodologie e procedure di analisi per la conoscenza di base e per gli interventi di conservazione, restauro e recupero nei centri storici.

Questa linea di ricerca parte dall'assunto, inderogabile per chi si occupa di ambiti storici, della ri-fruizione dei nuclei storici con operazioni di conservazione e di recupero dei valori.

Lo studio propone una base conoscitiva storico-critica e procede per questo obiettivo e per fasi successive all'acquisizione di dati anche diversi tra loro attraverso differenti operazioni analitiche intese come una lettura puntuale dei brani storici.

La ricerca si prefigge di definire una metodologia per gli interventi nei centri storici, partendo dalla conoscenza dei beni attraverso lo studio delle fonti documentali e di differenti procedure analitiche storico-critiche, i cui dati incrociati tra loro possano produrre saperi imprescindibili per gli eventuali interventi di conservazione dei caratteri di identità e di ri-fruizione degli insediamenti consolidati.

Lo studio delle fonti è un'azione determinante per la conoscenza dei beni architettonici, permettendo di ricostruire attraverso la lettura interpretativa dei documenti le fasi diacroniche di fabbriche architettoniche e di intere parti di città.

Tramite lo studio di diversi ambiti storici e/o di beni culturali emblematici, s'intende contribuire a riconoscere i valori da conservare e da riconsegnare alla contemporaneità e fornire protocolli per una corretta attività di conservazione e di successiva ri-fruizione.

Contenuti

Con riferimento a questo ambito tematico, la ricercatrice ICAR/ 19 del DINCI è impegnata, al momento, in studi e ricerche relative al centro storico di Morano nell'ambito del PNRR Missione 1 –

Digitalizzazione, innovazione, competitività cultura. Componente 3 – Cultura 4.0 (m1c3). Misura 2 “rigenerazione di piccoli siti culturali, patrimonio culturale, religioso e rurale”, Investimento 2.1: “Attività dei borghi storici”, finalizzato dall’Unione Europea – NextgenerationEU – Linea di azione: realizzazione iniziative per l’incremento dell’attrattività residenziale e contrastare l’esodo demografico, il Comune di Morano Calabro ha attivato il Progetto: “Ri_AbitareMorano: Contratto di rigenerazione urbana per la valorizzazione culturale e sociale del centro storico di Morano Calabro” Tra gli interventi previsti nel progetto, la scheda 8 fa riferimento a: Workshop abitare Morano: i luoghi dell'abitare storico.

Il Comune di Morano ha ravvisato l’opportunità di affidare l’incarico di svolgimento delle attività previste e la consulenza tecnico-scientifica al Dipartimento di Ingegneria Civile dell’Università della Calabria, in particolare a docenti e personale tecnico del DINCI esperti nell’ambito del restauro architettonico. E’ stato perciò sottoscritto un accordo di partenariato tra le parti in data 20/11/2023.

Lo studio prevede la conoscenza storico critica del borgo e delle emergenze che in questo ricadono. L’attenzione è posta sullo sviluppo diacronico dell’insediamento evidenziando le permanenze e le variazioni intercorse nei secoli; sul sistema fortificato esistente; sulle emergenze architettoniche. Attraverso le azioni di conoscenza e le diverse analisi eseguite su alcuni beni campione si vogliono attuare azioni di conservazione e restauro dei beni architettonici, prevedendo attraverso scenari di ri-fruizione anche nuove destinazioni d’uso a carattere culturale e/o turistiche e interessando in alcuni casi la rigenerazione delle aree in cui i beni ricadono. Scopo di tali studi è costituire una base conoscitiva per riammettere il borgo nel circuito della vita associata con azioni di restauro, conservazione, riqualificazione e riutilizzo di edifici, spazi pubblici, per attivare azioni economiche, sociali e culturali a beneficio della collettività e/o del turismo.

La ricercatrice è inoltre impegnata in un progetto di ricerca di rilevante interesse nazionale dal titolo: “SPLASCH | Smart Platform and Applications for Southern Cultural Heritage – CUP H53D23006960006 - Bando PRIN 2022 - D.D.104 del 02-02-2022;

Nel progetto di ricerca, per l’unità operativa afferente all’Università degli studi della Calabria, si pone l’attenzione sulla conoscenza storico-architettonica e urbana dell’ambito delle Serre Vibonesi nella Calabria Ultra, dopo l’evento sismico del 1783. In particolare si prevede lo studio dei centri di Serra San Bruno e Soriano Calabro e dei borghi che intorno a questi gravitano.

Si intende sviluppare uno studio centrato sulla sperimentazione di metodologie integrate in grado di aumentare i livelli di conoscenza dell’identità del patrimonio culturale-architettonico e di sistematizzarne la divulgazione, perseguendo e/o proponendo scenari per una rinnovata fruibilità dell’ambito considerato, attualmente affetto da fenomeni di spopolamento e di incisiva perdita di identità. All’interno del progetto è stata attivata una consulenza a esperti di comprovata competenza nell’ambito del restauro, relativo alla catalogazione e alla ricerca di archivio, la vincitrice è risultata la dott.ssa Federica Castiglione.

Sono stati, inoltre, condotti altri studi sulla conservazione e rivitalizzazione dell’architettura popolare mediterranea, esaminando nello specifico alcuni borghi della fascia tirrenica calabrese, e altri centri con caratteri vernacolari posti nella valle dell’Esaro.

Altre applicazioni di lettura storico-critica sono state effettuate sulle architetture difensive della piana di Sibari, in un’ottica di valorizzazione e ri-fruizione di tale sistema territoriale.

2. La conservazione, la tutela e la valorizzazione del patrimonio di archeologia industriale nel meridione d’Italia

Questa linea di ricerca vuole proporre la conoscenza, la conservazione e il riuso del patrimonio di archeologia industriale presente nel panorama nazionale e nel sud dell’Italia, ambito, ad oggi, poco indagato.

La ricerca evidenzia il vasto patrimonio di fabbriche proto-industriali presenti nel meridione, ponendo l’attenzione non solo sugli esempi più noti ma su quel patrimonio di opere significative ancora sconosciute e non ancora censite di cui il territorio del sud è ricco. Si vogliono evidenziare i caratteri

varianti e invariati, formali, tipologici, costruttivi degli opifici nella loro complessità unitamente all'individuazione delle fabbriche ancora sconosciute e alla divulgazione del patrimonio del lavoro. La conoscenza acquisita sarà alla base delle corrette operazioni di conservazione, di restauro, tutela dei caratteri distintivi e di riqualificazione dei manufatti.

Contenuti

Con riferimento a questo ambito tematico, la ricercatrice ICAR/ 19 del DINCI è stata impegnata nel 2023 in studi inediti, che in parte proseguiranno nel 2024, relativi ai manufatti di archeologia industriale nel sud dell'Italia e in particolare in Calabria Citra. Gli opifici proto-industriali sono oggi abbandonati e versano in una condizione di estremo degrado, si vuole creare un repertorio di esempi per innescare processi di salvaguardia di tali testimonianze e avviare azioni per la loro ri-fruibilità. Sono in essere, studi sugli edifici molitori, zuccherifici, masserie, frantoi, tonnare, saline, presenti nell'ambito considerato.

Uno studio significativo è stato destinato alle filande presenti nel meridione, tra i secoli XIX-XX, con un'attenzione particolare alla Sicilia e alla Calabria, delineandone i caratteri peculiari, l'evoluzione tipologica, le fasi di formazione e trasformazione, la consistenza materico-costruttiva.

Lo studio tratteggia un quadro architettonico-costruttivo della filanda nel sud a cominciare dall'area dello Stretto di Messina.

Al momento la ricerca si è focalizzata sui manufatti molitori presenti in Calabria e nel sud dell'Italia. I primi esiti di questo studio sono stati presentati recentemente al convegno "Dall'archeologia industriale all'industria 4.0 in Calabria" presso l'Università della Calabria.

Recentemente è stato condotto uno studio sulle imprese della cannamele in Calabria e Sicilia.

La conoscenza acquisita su tale patrimonio industriale vuole innescare una nuova sensibilità verso questi manufatti, prevedendo azioni di conservazione, di restauro e di ri-fruibilità architettonica, culturale e/o turistica.

S.S.D. CEAR-12/A - TECNICA E PIANIFICAZIONE URBANISTICA

LINEE DI RICERCA A.A. 2023-2024

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD CEAR-12/A è così composto:

Mauro Francini, Prof. Ordinario
Annunziata Palermo, Prof.ssa Associata
Maria Francesca Viapiana, Prof.ssa Associata

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. Saldature e periferie urbane. Una metodologia a supporto dei processi di rigenerazione urbana sostenibile
2. L'integrazione tra i processi di rigenerazione urbana e l'utilizzo di tecniche di Intelligenza Artificiale e analisi geo-spaziale dei dati (GeoAI).
3. Città compatte e vivibili. Metodi per la valutazione del giusto equilibrio tra densificazione e inverdimento dell'ambiente costruito.
4. Definizione di supporti innovativi per la conoscenza, la gestione e il monitoraggio dei contesti urbani, ambientali e territoriali.
5. Polo per la democrazia locale e la rigenerazione urbana. Politiche di pianificazione e gestione partecipate nei processi di rigenerazione urbana.
6. La resilienza urbana nella pianificazione di emergenza. Un framework di metodo per gli elementi urbani strategici.
7. Pianificazione di infrastrutture e comunità resilienti al clima. Applicazioni in aree urbane, rurali e costiere.
8. Un modello *Smart Planning* di integrazione territoriale per la riconnessione funzionale e la sicurezza ambientale di centri di media e piccola dimensione.
9. Strumenti *data-driven* per la strategia *Smart Land* delle aree interne: monitoraggio degli interventi e valorizzazione turistica.
10. *Blue Community*: un modello per la pianificazione di servizi ecosistemici sostenibili in aree costiere.
11. Strategie e tecniche di intervento per la rigenerazione di distretti in disuso (aree dismesse e centri storici).
12. Parametri di valutazione delle politiche comunitarie per la programmazione della qualità dell'abitare.
13. I fattori urbanistici nella certificazione della sostenibilità alla scala urbana.

Le linee di ricerca sono di seguito descritte.

1. SALDATURE E PERIFERIE URBANE. UNA METODOLOGIA A SUPPORTO DEI PROCESSI DI RIGENERAZIONE URBANA SOSTENIBILE

La rigenerazione urbana va intesa non solo come riqualificazione di grandi aree dismesse, esito del passaggio dall'economia industriale a quella post-industriale, ma anche come trasformazione in chiave sostenibile degli ambiti urbani, delle comunità e dell'economia locale, in cui i capitali (umano, sociale, economico e ambientale) le strategie di sostenibilità e le nuove tecnologie devono essere i principali driver.

Muovendo dall'identificazione delle criticità degli strumenti di pianificazione e gestione dei processi di rigenerazione urbana, l'obiettivo della ricerca è di proporre una metodologia multi-scala oggettiva ed esaustiva attraverso la quale individuare aree residuali da sottoporre a interventi di rigenerazione urbana sostenibile, nonché misurare la loro capacità di trasformazione considerando la dimensione ambientale, sociale ed economica.

Allo stato attuale della ricerca, la metodologia analizza, attraverso innovativi indicatori, specifiche aree urbane funzionali ed intende evolvere verso l'analisi della scala di quartiere al fine determinare e promuovere

innovative strategie di rigenerazione urbana.

Per l'acquisizione, gestione ed elaborazione dei dati, la ricerca intende impiegare diversi metodi e strumenti, quali il telerilevamento per l'acquisizione di immagini satellitari multi-temporali RGB e multispettrali, i droni per l'acquisizione di immagini aeree RGB e multispettrali ad alta risoluzione, i sensori di misura per il monitoraggio di dati territoriali e ambientali, e i Sistemi Informativi Geografici (GIS) per l'importazione, l'analisi dei risultati e la loro elaborazione, mappatura e spazializzazione.

I risultati della ricerca saranno resi disponibili attraverso la predisposizione di una piattaforma WebGIS dedicata, quale strumento indispensabile nella definizione di innovativi processi di rigenerazione urbana.

2. L'INTEGRAZIONE TRA I PROCESSI DI RIGENERAZIONE URBANA E L'UTILIZZO DI TECNICHE DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE E ANALISI GEO-SPAZIALE DEI DATI (GEOAI)

Il rapido processo di urbanizzazione ha determinato una serie di sfide in ambito urbano, come il consumo delle risorse e il verificarsi di fenomeni di congestione. La ricerca quantitativa sul rapporto tra uso del suolo e attività nelle città è di fondamentale importanza per promuovere lo sviluppo di città sostenibili e intelligenti. Negli ultimi anni, con lo sviluppo della tecnologia delle reti informatiche, è emersa un'enorme quantità di big data che hanno fornito una nuova prospettiva per comprendere meglio la struttura spaziale urbana e individuare, anche preventivamente, gli impatti che l'attività antropica e le politiche di pianificazione determinano sull'uso del territorio.

L'integrazione tra i processi di rigenerazione urbana e l'utilizzo di tecniche di intelligenza artificiale e di analisi geospaziale dei dati (GeoAI) rappresenta un'importante frontiera di ricerca, ancora inesplorata, per promuovere lo sviluppo urbano sostenibile e l'ottimizzazione dei processi di pianificazione urbana.

Questa ricerca vuole esplorare la possibilità di supportare i processi di rigenerazione urbana attraverso l'utilizzo di nuove metodologie, basate sull'integrazione tra gli algoritmi di intelligenza artificiale e di analisi geospaziale dei dati (GeoAI), nell'identificazione puntuale delle trasformazioni urbane e territoriali in atto, nell'analisi delle loro tendenze spazio-temporali e nella verifica ex-post delle strategie di intervento.

Questi nuovi strumenti possono essere di supporto ai tecnici, urbanisti e ricercatori nel definire e verificare in modo più puntuale i processi di trasformazione e qualificazione delle città e dei territori.

3. CITTÀ COMPATTE E VIVIBILI. METODI PER LA VALUTAZIONE DEL GIUSTO EQUILIBRIO TRA DENSIFICAZIONE E/O INVERDIMENTO DELL'AMBIENTE COSTRUITO

Nell'ambito dei processi di trasformazione delle città, alla luce delle sfide poste dal cambiamento climatico e dalla transizione ecologica in atto, è emersa la necessità di definire nuovi metodi per la rigenerazione urbana sostenibile in cui le azioni di densificazione e di inverdimento urbano, riconosciute come azioni capaci di perseguire la sostenibilità dello sviluppo urbano se correttamente implementate, vengono entrambe simultaneamente promosse.

Al fine di garantire adeguati livelli di vivibilità e di sostenibilità urbana, la pianificazione urbana deve essere in grado di proporre un adeguato *mix* di interventi di densificazione e di azioni orientate alla tutela degli spazi verdi esistenti e alla realizzazione di nuovi. La scelta delle azioni da implementare nei differenti contesti urbani, caratterizzati da specifiche necessità e priorità, e la valutazione del grado di intervento delle due specifiche azioni richiede l'utilizzo di strumenti e tecniche di valutazione più innovativi e flessibili.

Partendo da tali presupposti, la ricerca propone uno strumento di diagnosi delle potenzialità e criticità del territorio, basato su specifici criteri, utile per individuare, partendo da un contesto generale di riferimento, quali ambiti urbani siano prioritariamente da sottoporre a interventi di densificazione e/o inverdimento e il loro livello di potenzialità. La metodologia di diagnosi del territorio analizza specifici indicatori relativi a cinque dimensioni dell'ambiente costruito, quali la vulnerabilità economica e sociale, la morfologia urbana, l'uso misto del suolo, le aree verdi pubbliche e i trasporti e la mobilità. La valutazione degli indicatori e la loro aggregazione consentono di mappare e misurare la potenzialità dell'ambiente costruito ad essere sottoposto a interventi di densificazione e inverdimento in maniera combinata o alternata. Il metodo identifica cinque specifici livelli di potenzialità alla densificazione sostenibile, molto alta, alta, media, bassa e molto bassa, ai quali, rispettivamente, corrispondono specifiche strategie di densificazione e/o inverdimento (densificazione hard, densificazione soft con controllo delle criticità locali, densificazione soft con contestuale incremento della permeabilità, densificazione volta all'aumento delle funzioni accompagnata da azioni di rinverdimento,

esclusivo potenziamento dei servizi e aumento della permeabilità e del verde, anche attraverso azioni di deimpermeabilizzazione, rispettando il principio di equità di accesso ai medesimi).

Attraverso l'avvio della collaborazione con il Dipartimento di Architettura dell'Università di Bologna, la metodologia proposta è stata applicata su un caso di studio, l'Unione dei Comuni delle Terre d'Argine in Provincia di Modena. L'Unione dei Comuni oggetto di analisi comprende i Comuni di Carpi, Soliera, Novi di Modena e Campogalliano e risulta rappresentativo ai fini della sperimentazione in quanto caratterizzato da specificità territoriali differenti.

In sintesi, la ricerca intende definire uno strumento di supporto alle decisioni capace di indirizzare la pianificazione delle strategie di rigenerazione urbana in termini di intensificazione dell'ambiente costruito e di miglioramento della qualità urbana e ambientale.

4. DEFINIZIONE DI SUPPORTI INNOVATIVI PER LA CONOSCENZA, LA GESTIONE E IL MONITORAGGIO DEI CONTESTI URBANI, AMBIENTALI E TERRITORIALI

Nel corso dell'ultimo decennio, lo sviluppo delle tecnologie legate al telerilevamento ha assunto un ruolo fondamentale nella pianificazione e nella gestione del territorio, nonché nel monitoraggio e nel controllo dei processi ambientali. L'utilizzo integrato di tecniche basate sull'intelligenza artificiale all'interno di tali processi assume un'importanza strategica.

Le interconnessioni esistenti tra le scienze informatiche e le scienze ambientali hanno fatto emergere una nuova disciplina, nota come informatica ambientale, che rappresenta un'area multidisciplinare che studia dati territoriali e ambientali al fine di ottenere una migliore comprensione dell'ambiente, di identificare e gestire i rischi e di valutare le opportunità offerte dall'interazione tra i sistemi naturali e le attività antropiche.

L'obiettivo della ricerca è quello di contribuire ad un significativo avanzamento della ricerca nel settore, proponendo una metodologia basata sull'utilizzo di droni, capaci di acquisire informazioni sia in volo che da terra, che non richiede l'intervento dell'uomo.

Verranno sviluppate metodologie e tecniche innovative per il rilevamento e l'acquisizione di immagini ad elevata risoluzione basate, in particolar modo, sull'utilizzo di droni e altra strumentazione specifica come LIDAR, fotocamere con sensori multi-spettrali, etc. Tali strumenti consentono l'acquisizione di dati funzionali alla conoscenza, alla gestione e al monitoraggio urbano, ambientale e territoriale attraverso il riconoscimento delle risposte spettrali, permettendo la realizzazione di mappe tematiche mirate, tramite le quali realizzare modelli innovativi, per definire dei fattori che potrebbero portare, nel tempo, al verificarsi di scenari critici.

Una volta individuati i fattori da indagare, il drone attrezzato con la strumentazione specifica per l'acquisizione da remoto dei dati necessari, si avrà un rilevamento costante di immagini e informazioni. La fase di acquisizione dati sarà seguita da una fase di controllo e validazione dei dati stessi, consentendo l'analisi dell'evoluzione temporale dei contesti oggetto di studio. I dati acquisiti verranno selezionati, processati, validati e, infine, disposti nello spazio geografico di riferimento sia in ambiente bi-dimensionale che tri-dimensionale. I risultati ottenuti dall'applicazione delle tecniche di rilievo avanzate e dei modelli predittivi altamente performanti, inoltre, verranno integrati in una piattaforma WebGis consentendone la fruizione e l'uso da remoto. Questo dovrebbe consentire di realizzare dei modelli a supporto delle decisioni.

Le attività di ricerca si articoleranno in più fasi:

- sviluppo di modelli, metodologie e tecniche innovative per il rilevamento e l'individuazione di dati specifici al perseguimento degli obiettivi fissati;
- progettazione e acquisizione di dati geografici, territoriali e ambientali tramite telerilevamento da Drone, Laserscan, ecc.;
- elaborazione dei dati mediante software specifici per il trattamento e classificazione di immagini multibanda;
- produzione e restituzione di output tematici basati sulle richieste specifiche;
- sviluppo di modelli predittivi basati sulla statistica multivariata e, laddove fossero applicabili, su algoritmi di Machine Learning e Deep Learning che consentiranno l'implementazione di Sistemi di Supporto alle Decisioni (SSD).

Sulla base di queste premesse, si vuole verificare la possibilità di sviluppare una piattaforma interattiva che, attraverso l'utilizzo di questi nuovi strumenti, possa supportare i vari "utilizzatori del territorio" nella definizione delle nuove politiche di pianificazione urbana e territoriale, partendo da una conoscenza quanto più approfondita del territorio.

5. POLO PER LA DEMOCRAZIA LOCALE E LA RIGENERAZIONE URBANA. POLITICHE DI PIANIFICAZIONE E GESTIONE PARTECIPATE NEI PROCESSI DI RIGENERAZIONE URBANA

I processi di rigenerazione urbana dei centri storici, pur rientrando nell'ambito della pianificazione urbana e territoriale, coinvolgono un insieme di fattori multidisciplinari: politici, sociali, ambientali, senza dimenticare le dinamiche legate alla questione abitativa e/o del mercato immobiliare.

Il progetto di ricerca in oggetto, avviato in collaborazione con il Dipartimento di Scienze Politiche e Sociali, si basa sull'assunto che i processi di rigenerazione urbana, ove "la partecipazione dal basso" è rilevante - perseguendo simultaneamente obiettivi di miglioramento della qualità urbana e di rilancio economico e sociale - generano più facilmente nuove opportunità di crescita, coesione sociale e di civismo, anche grazie alle risorse di *self-help* della comunità locale, di volontariato diffuso e di valorizzazione delle forme di welfare di prossimità.

Questa ipotesi mette al centro dell'analisi le modalità di espressione e di influenza dei cittadini, coi loro bisogni primari e secondari collegati con il contesto urbano. Inoltre, essa rende visibile il pluralismo di attori e pratiche soprattutto informali, con le conseguenti domande di riappropriazione di spazi e beni pubblici come parte essenziale di un nuovo di "diritto alle città" (Lefebvre 1996; Harvey 2013).

Per verificare questa premessa, la ricerca si sviluppa in due fasi. Nella prima fase il progetto di ricerca prevede la messa a fuoco di un "possibile" modello di rigenerazione urbana strettamente connesso alle "potenzialità" della democrazia locale. Questo primo sguardo implica l'analisi approfondita delle strategie organizzative e di processo, di disegno urbano e di marketing, di partecipazione dei centri storici italiani, e di come queste siano diventate un ingrediente di base per cogliere e integrare nel contesto urbano crescita, coesione sociale e partecipazione attiva. Diversamente, la seconda fase consiste nel verificare questo modello di ricerca-azione in un quartiere del centro storico di Cosenza, inteso come un caso-pilota di questi know-how maturati sul territorio nazionale e regionale. In tale quadro, un ruolo cruciale sarà costituito dalla attivazione di un Polo stabile di informazione, confronto e partecipazione con gli abitanti dell'area pilota e al centro di una rete partenariale che ha come protagonisti l'IC Santo Spirito di Cosenza Vecchia e la Scuola di Formazione Permanente "Abitare l'Inabitabile" attivata nell'estate del 2021 dal DISPeS e dal Liaison Office dell'UNICAL.

6. LA RESILIENZA URBANA NELLA PIANIFICAZIONE DI EMERGENZA. UN FRAMEWORK DI METODO PER GLI ELEMENTI URBANI STRATEGICI

Nell'ambito dei processi di evoluzione, di cambiamento, di transizione che i sistemi urbani vivono e/o subiscono, emerge l'esigenza di identificare nuovi approcci pianificatori che mirino a rispondere prontamente ed efficacemente alle numerose necessità mutevoli e improvvise.

Nonostante, infatti, nel corso degli anni i temi del rischio e della sicurezza abbiano, in maniera più o meno spontanea, contribuito a orientare le modalità di governo dei territori, ancora oggi, al verificarsi di una crisi, emergono chiare criticità irrisolte che spingono l'urbanistica a interrogarsi sulle nuove sfide da intraprendere, specie in termini di gestione dell'emergenza.

Il percorso di ricerca in oggetto, dunque, partendo da una riflessione teorica sugli orientamenti pianificatori attuali e sul concetto di resilienza urbana, evolve verso un nuovo approccio metodologico che tenta di offrire ai Piani di Emergenza una caratterizzazione maggiormente strutturale e non solo operativa.

In particolare, attraverso il focus tematico sulla viabilità strategica, la ricerca in oggetto riguarda un approccio *performance-based* che offre una procedura formale per individuare tale viabilità sul territorio, al fine di pianificare già in "tempo di pace" le alternative migliori da percorrere per giungere in sicurezza alle aree preposte dalla Protezione Civile in caso di evento.

L'analisi delle relazioni fisiche e funzionali che intercorrono tra i diversi elementi strategici del territorio sposta il focus dell'emergenza da un approccio puntuale a uno maggiormente integrato, capace di indirizzare in modo più opportuno le future decisioni relative all'assetto urbanistico del territorio, proprie della pianificazione spaziale.

La ricerca in una prima fase è stata avviata dal Laboratorio di Pianificazione per l'Ambiente e il Territorio del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università della Calabria in collaborazione con la Protezione Civile della Regione Calabria e nella seconda fase in collaborazione con il Disaster Resilience Laboratory del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica del Politecnico di Torino.

Nel dettaglio, la prima fase della ricerca ha avuto l'obiettivo di definire una procedura finalizzata a rendere più efficace l'azione della Protezione Civile nel territorio calabrese.

Tale fase è stata strutturata in tre diversi livelli di intervento:

- un “livello base”, finalizzato alla costruzione e implementazione, in tempi molto brevi, di un portale WebGIS di informazioni essenziali utili ai fini di Protezione Civile; uno strumento omogeneo, completo dei PEPC per l’intero territorio calabrese, consultabile online anche da soggetti non “istituzionali” ed editabile in maniera rapida e veloce dai soggetti competenti. Il livello è, quindi, relativo a un’attività esclusivamente ricognitiva e non valutativa;
- un “livello standard”, caratterizzato preliminarmente dalla elaborazione di Linee Guida e di un Manuale operativo, anche al fine di favorire una elaborazione congiunta dei PEPC e dei Piani di Evacuazione;
- un “livello regionale”, finalizzato all’elaborazione di un Piano Regionale di Protezione Civile in grado di mettere a sistema le informazioni già presenti e di raccogliere ed elaborare, a scala regionale, tutte le diverse banche dati gestite sia dalla Protezione Civile che da tutte le altre strutture competenti.

Questa fase della ricerca ha interessato, a oggi, il solo “livello base” di sperimentazione, volto appunto all’acquisizione di un patrimonio omogeneo di informazioni dei 409 comuni calabresi. Ciò ha permesso alla Unità Organizzativa Autonoma (U.O.A.) della Protezione Civile della Regione Calabria di avere a disposizione, in tempi brevissimi, un database utile alla conoscenza di base, attraverso un “linguaggio” omogeneo e codificato, dell’intero livello regionale.

La seconda fase della ricerca, invece, ha previsto la condivisione di un metodo atto a valorizzare l’interdipendenza tra due componenti fisiche della città in caso di sisma, quali il patrimonio edilizio e le infrastrutture stradali. In particolare, in questa fase si è proposto di valutare la vulnerabilità sismica degli edifici di un dato contesto urbano, predicendo il danno potenziale di ciascuno di essi in riferimento a un particolare evento sismico ipotizzato. Una volta noto il livello di danno dei singoli edifici, è possibile definire l’entità dei danni che la struttura viaria potrebbe subire a causa di detriti generati dal crollo degli edifici, definendo pertanto la possibile percorribilità delle infrastrutture stradali interessate.

7. PIANIFICAZIONE DI INFRASTRUTTURE E COMUNITÀ RESILIENTI AL CLIMA. APPLICAZIONI IN AREE URBANE, RURALI E COSTIERE

La ricerca affronta la questione del cambiamento climatico dalla prospettiva della pianificazione urbana e territoriale per identificare soluzioni alle sfide ambientali, attuali e future, e accrescere la resilienza climatica di infrastrutture e comunità in aree urbane, rurali e costiere.

La ricerca è legata al *R&I General Objective 1 “A European Green Deal”* e precisamente all’obiettivo specifico 1.1 *“High-quality science, knowledge and innovative solutions support climate policies and help to preserve biodiversity, ecosystem and natural resources”*. Infatti, il cambiamento climatico è un fenomeno sistemico di scala globale affrontato dall’Agenda 2030 nell’ambito del *Sustainable Development Goal (SDG) 13*, che cita *“take urgent actions to combat climate change and its impacts. In order to reach a sustainable society, it is necessary to integrate climate change measures into national policies, strategies, and planning. It is vital to improve education, awareness-raising, and human and institutional capacity on climate change mitigation but also to strengthen global resilience and adaptive capacities to the effects of global warming”*.

Il cambiamento climatico contribuisce ad aumentare i rischi urbani e territoriali. Sebbene questo legame sia ampiamente riconosciuto in letteratura, storicamente il lavoro degli specialisti in materia di cambiamento climatico e degli urbanisti è stato troppo spesso isolato e autonomo. L’ambizione e l’innovazione del lavoro proposto è, pertanto, favorire l’integrazione tra questi due approcci di ricerca per programmare adeguate strategie di riduzione del rischio, quindi della vulnerabilità locale, e aumentare la resilienza climatica di infrastrutture e comunità.

La ricerca intende rispondere a tale obiettivo definendo una piattaforma digitale in ambiente GIS per valutare i domini di sensitività ai cambiamenti climatici in aree urbane, rurali e costiere, elaborare le relative mappature e consequenzialmente definire piani d’azione contenenti l’abaco delle più opportune misure di adattamento, da testare su casi pilota.

All’interno della presente linea di ricerca rientra la collaborazione con l’Istituto di Scienze dell’Atmosfera e del Clima (ISAC) del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

8. UN MODELLO SMART PLANNING DI INTEGRAZIONE TERRITORIALE PER LA RICONNESSIONE FUNZIONALE E LA SICUREZZA AMBIENTALE DI CENTRI DI MEDIA E PICCOLA DIMENSIONE

L’obiettivo generale della ricerca è la definizione di un innovativo modello teso a trasformare territori fragili

in modelli di sostenibilità e resilienza, supportando i centri di piccola e media dimensione nell'attivazione di opportune strategie di gestione associata di funzioni e servizi mediante la definizione e la mappatura dei relativi ambiti territoriali ottimali potenziali, in cui sperimentare le forme di associazione. I risultati attesi prevedono l'implementazione del modello di tipo quantitativo sito-specifico in ambiente GIS attraverso la definizione di indicatori di funzionalità e di fattori correttivi di sicurezza.

Innanzitutto, la ricerca mira a dare una puntuale definizione di centri di media e piccola dimensione per mezzo dell'applicazione di uno strumento di classificazione del territorio chiamato *Degree of Urbanization*, che si compone di due fasi di costruzione per ognuno dei due livelli gerarchici. Tale strumento viene altresì integrato da un'analisi isocrona per la valutazione della accessibilità spazio-temporale delle unità amministrative applicata ai principali nodi di trasporto regionali, tenendo conto anche delle connessioni con gli elementi di rischio.

Il punto di partenza della ricerca è la Strategia Nazionale per le Aree Interne, di cui si condivide l'intento e la validità, tuttavia si prevede una maggiore caratterizzazione dei servizi di base contemplati dalla stessa, nonché l'integrazione di ulteriori elementi (servizi di prima necessità, servizi per la convivialità e servizi connessi alla produzione agricola). La costruzione di questo modello ha una duplice funzione: in condizioni standard, ha l'obiettivo di supportare le amministrazioni nell'individuazione dei più idonei ambiti territoriali ottimali potenziali, per ogni specifico servizio, con cui attivare eventuali gestioni associate di funzioni; in condizioni emergenziali, intende guidare i pianificatori e le amministrazioni nell'individuazione dei servizi alternativi, anche esterni all'ambito comunale, laddove quelli di riferimento, risultino assenti, inagibili o irraggiungibili. All'interno della presente linea di ricerca rientra la collaborazione internazionale con la Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia (Zaragoza) e con l'Università degli Studi dell'Aquila.

9. STRUMENTI DATA-DRIVEN PER LA STRATEGIA SMART LAND DELLE AREE INTERNE: MONITORAGGIO DEGLI INTERVENTI E VALORIZZAZIONE TURISTICA

La ricerca si propone due obiettivi specifici: supportare la Strategia, definendo uno strumento di monitoraggio degli interventi; incrementare la Strategia, valorizzando il potenziale turistico locale riconosciuto, ma inespresso. Nello specifico, l'area progetto è quella del Reventino-Savuto che interessa 14 Comuni appartenenti alle Province di Catanzaro e Cosenza, di cui Scigliano è il Comune capofila.

Innanzitutto, al fine di acquisire una maggiore conoscenza delle aree-progetto del Paese è stata effettuata una lettura della composizione spaziale delle aree interne, mediante l'utilizzo di uno strumento di geo-statistica in ambiente GIS che ha permesso di effettuare la mappatura di un indice composito di sintesi degli specifici indicatori contenuti all'interno degli *Openkit* SNAI.

In successione è stata avviata la fase di analisi dello stato di fatto sui temi centrali della ricerca con strumenti scientifici rigorosi, nonché una ricognizione degli attuali strumenti di monitoraggio presenti nel contesto nazionale, al fine di definire un apposito strumento caratterizzato dai parametri di riferimento desunti dalla Strategia d'Area del Reventino-Savuto, ma replicabili in tutte le aree-progetto. La scelta degli indicatori alla base dello strumento ne accresce il carattere di replicabilità, in quanto gli stessi fanno riferimento ai dati *OpenKit* aggiornati dall'Agenzia per la Coesione al 2023.

Inoltre, sono state avviate preliminari attività di ricerca utili alla definizione di uno strumento relativo alla valorizzazione turistica che intende incrementare la visione *Smart Land* della Strategia per quanto attiene il settore turistico, declinandola nell'accezione *Smart Tourist Land* e favorire così nuove forme di turismo, in quanto per l'area del Reventino-Savuto è dimostrata la presenza di un ingente patrimonio antropico e naturale, ma poco valorizzato.

A supporto delle suddette attività è previsto il coinvolgimento delle comunità locali attraverso l'attivazione di un laboratorio territoriale al fine di individuare le innovazioni più funzionali al soddisfacimento dei bisogni emersi nel settore turistico e favorire il rafforzamento di sinergie tra gli enti coinvolti, accrescendo così la competitività locale, anche mediante la sperimentazione di innovative attività di pianificazione e progettazione. All'interno della presente linea di ricerca rientra la collaborazione internazionale con la Universidad de A Coruña (Spain).

10. BLUE COMMUNITY: UN MODELLO PER LA PIANIFICAZIONE DI SERVIZI ECOSISTEMICI SOSTENIBILI IN AREE COSTIERE

A livello internazionale il dibattito sul tema della transizione ecologica allude a un processo di innovazione tecnologica e di rivoluzione ambientale, volto a favorire anche in termini di governo del territorio lo sviluppo

socio-economico nel rispetto degli equilibri naturali. Pertanto, una delle aree di sperimentazione più concrete della transizione ecologica è la pianificazione urbana e territoriale, che si occupa di favorire lo sviluppo sostenibile e resiliente dei territori attraverso una gestione equilibrata delle relative risorse naturali.

Facendo riferimento a tali presupposti, la ricerca è tesa alla definizione del modello *Blue Community* per supportare la pianificazione di servizi ecosistemici sostenibili in aree costiere. Nello specifico, la ricerca vuole evolvere il modello di “*Green Community*”, che prevede la costruzione di strategie per la gestione integrata e certificata del patrimonio prevalentemente agro-forestale, in “*Blue Community*”. Tale modello, dunque, sposta l’attenzione sulle zone costiere, la cui complessità è da ricercare in diversi elementi di criticità connessi alla presenza di fragili ecosistemi, ovvero attività socioeconomiche intensive legate ad esempio al turismo, inadeguati processi antropici di urbanizzazione, emergenti dinamiche naturali di erosione legate al clima, ecc. Il modello *Blue Community*, dunque: guarda alle aree costiere come luogo di sperimentazione di strategie di pianificazione innovative; intende supportare le Pubbliche Amministrazioni che devono svolgere un ruolo di indirizzo nella definizione delle regole di utilizzo delle risorse locali per incrementare i servizi ecosistemici; si caratterizza per essere un modello valutativo e previsionale, basato sull’analisi dei dati che caratterizzano i servizi ecosistemici del sistema costiero e supportato dalla relativa visualizzazione su un sistema informativo geografico. Nello specifico, i risultati della ricerca mirano alla definizione di piani di intervento per la gestione integrata e sostenibile della fascia costiera da orientare, sulla base delle esigenze locali, alla tutela e valorizzazione delle emergenze naturali, al recupero delle dismissioni urbane ed economiche e a una maggiore coesione tra le comunità costiere. Da un punto di vista sperimentale, dopo un’analisi condotta alla scala regionale su tutti i Comuni costieri, si prevede di individuare, sulla base di tali risultati, uno o più casi pilota per applicare il modello.

All’interno della presente linea di ricerca rientra la collaborazione internazionale con l’Universitat Politècnica de València - Urban Planning Department e con l’Università degli Studi di Salerno.

11. STRATEGIE E TECNICHE DI INTERVENTO PER LA RIGENERAZIONE DI “DISTRETTI” IN DISUSO (AREE DISMESSE E CENTRI STORICI)

Le sfide che la città si trova ad affrontare, ultima in ordine cronologico quella scaturita dalla recente pandemia da Covid-19, pongono continuamente in discussione i modelli di sviluppo urbano. I siti in disuso costituiscono un patrimonio di spazi e strutture potenzialmente riutilizzabili sia in “tempo di pace”, attraverso azioni di recupero e rifunzionalizzazione plasmate sui bisogni dei cittadini residenti nelle zone circostanti, sia in “fase di emergenza”, per ospitare strutture temporanee volte a supportare le popolazioni colpite da eventi calamitosi. La ricerca ha l’obiettivo di fornire un modello di valutazione utile a identificare in prima battuta le aree dismesse esistenti nei territori comunali e a riconoscere, tra queste, quelle più adatte a una riconversione funzionale anche immediata, che permetta ai cittadini di fruire di questi spazi quotidianamente e/o in fase emergenziale.

Sulla base degli studi di letteratura, anche mediante uno studio di *Systematic Literature Review* (SLR) è stato sviluppato un processo automatizzato in ambiente GIS finalizzato all’individuazione dei siti dismessi nonché un modello volto alla classificazione delle aree dismesse in base alla qualità ambientale del sito e al livello di qualità della vita che caratterizza il loro intorno urbano. Il modello è stato completato attraverso la conduzione di un’indagine *Delphi* e i risultati dell’indagine sono stati quindi analizzati utilizzando l’*Analytic Hierarchy Process* (AHP) mediante il software *SuperDecisions*. Successivamente il modello valutativo è stato sperimentato in ambito nazionale, prevedendo, in seguito all’avvio di una collaborazione con un gruppo di ricerca della Facoltà di Architettura e Pianificazione Urbanistica dell’Università di Mons (UMons), una sperimentazione del metodo proposto su un terzo caso studio, il distretto di Chenghua, situato nella Cina sud-orientale.

In sintesi, gli output del modello proposto costituiscono indispensabili basi di partenza da verificare e incrementare mediante successive indagini in loco e studi di dettaglio, aprendosi altresì allo scenario internazionale, nonché all’indagine di altre tipologie di aree in disuso come i centri storici.

12. PARAMETRI DI VALUTAZIONE DELLE POLITICHE COMUNITARIE PER LA PROGRAMMAZIONE DELLA QUALITÀ DELL’ABITARE

La ricerca mira ad analizzare come le pratiche di pianificazione urbana e territoriale sono supportate del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), partendo da una prima ricognizione specifica su uno degli strumenti caratterizzanti la misura maggiormente interessata a tali finalità, ovvero il Programma Innovativo Nazionale

per la Qualità dell’Abitare (PINQuA). Tale programma intende concorrere alla riduzione del disagio abitativo nelle periferie italiane attraverso la rigenerazione, in aderenza ai principi di innovazione e sostenibilità, di tessuti e ambiti urbani particolarmente degradati e carenti di servizi non essendo dotati di adeguato equipaggiamento infrastrutturale (Legge 160/2019). Le richieste pervenute, provenienti da tutte le Regioni italiane, sono state valutate dall’Alta Commissione tenendo conto di 6 serie di impatti - ambientali, sociali, culturali, urbano-territoriali, economico-finanziari e tecnologici - misurati attraverso 30 indicatori.

La ricerca mira ad analizzare, in chiave comparata, i “progetti pilota” ammessi a finanziamento con l’obiettivo di: fornire una visione generale delle progettualità adottate; rendere espliciti i modelli utilizzati, le buone prassi e le debolezze di eventuali casi inadeguati; facilitare la circolazione di informazioni ed esperienze utili a fornire spunti di riflessione tratti dai casi virtuosi specifici, ma capaci di determinare vantaggi anche in altri contesti.

L’analisi comparata tiene conto delle cinque linee principali di azione identificate dal Programma: riqualificazione e riorganizzazione del patrimonio di edilizia residenziale sociale e incremento dello stesso; rigenerazione di aree e spazi già costruiti soprattutto ad alta tensione abitativa; rifunzionalizzazione di aree, spazi e immobili pubblici e privati anche attraverso la rigenerazione del tessuto urbano e socio-economico e all’uso temporaneo; miglioramento dell’accessibilità e della sicurezza dei luoghi urbani e della dotazione di servizi e delle infrastrutture urbano-locali; individuazione e utilizzo di modelli e strumenti innovativi di gestione, inclusione sociale e welfare urbano, nonché di processi partecipativi.

Partendo da tali presupposti, le attività di ricerca proseguono con analisi simili in merito ad altre misure utili alla finalità predetta, che ha anche l’obiettivo di desumere come le suddette pratiche potranno incidere sullo sviluppo di futuri strumenti e strategie di programmazione e pianificazione del contesto urbano e territoriale.

13. I FATTORI URBANISTICI NELLA CERTIFICAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ ALLA SCALA URBANA

La ricerca in oggetto parte da una precedente ricerca che ha focalizzato la sua attenzione sul Protocollo di certificazione delle sostenibilità edilizia sviluppato, già da alcuni anni, dall’Istituto Itaca sulla base delle ricerche e delle metodologie messe a punto dal pool internazionale iiSBE, nell’ambito di un processo internazionale denominato Green Building Challenge. In particolare, la certificazione di sostenibilità ambientale è stata posta come requisito sostanziale nelle iniziative regionali in ambito edilizio: per accedere ai bandi pubblici, per ottenere la concessione di incentivi e agevolazioni (bonus volumetrici o fiscali) o per avere sconti sugli oneri di costruzione e di urbanizzazione.

In prospettiva, tuttavia, la maggiore coscienza del ruolo che le città possono svolgere per il riequilibrio ambientale e la mitigazione degli effetti dovuti ai cambiamenti climatici richiede un sempre più un profondo ripensamento delle azioni, anche locali. Pertanto, a partire da tale primo Protocollo, che rapporta l’ambito di riferimento della sostenibilità alla scala dell’edificio, la fase attuale della ricerca ha ampliato il campo di indagine dal singolo edificio, appunto, alla scala urbana, per tenere conto delle interrelazioni trasversali e multiscolari che l’edificio stabilisce con le diverse componenti dell’ambito urbano (tra cui, p.e., quelle sociali ed economiche). Il punto di partenza è rappresentato dalla versione sintetica a scala urbana che costituisce un sistema di analisi multicriteria comprensivo di tutti i parametri legati al concetto di sostenibilità: dal miglioramento energetico e ambientale dell’organismo urbano, alla lotta al consumo di suolo, alla qualità degli spazi pubblici, alle connessioni ambientali, al sistema di mobilità pubblica, alla complessità delle funzioni, alla capacità di rispondere alla domanda di integrazione sociale.

L’obiettivo della ricerca è di individuare le modalità per integrare tale strumento nel complessivo processo di costruzione della città, anche prevedendo la possibilità di adattarlo dinamicamente alle specificità dei contesti locali. In particolare, tale strumento dovrà assumere il ruolo di cornice di riferimento per la valutazione a scala di edificio, al fine di rispondere alla sempre crescente domanda di qualificazione dello spazio urbano e di contribuire a creare le migliori condizioni per la fattibilità degli interventi di rigenerazione urbana in maniera organica e strutturale all’ordinario processo di pianificazione.