



Università della Calabria
Dipartimento di Ingegneria Civile

PIANO DELLA RICERCA

2022-2023

Rende, aprile 2023

INTRODUZIONE

Il presente rapporto contiene una breve descrizione dei principali temi di ricerca del Dipartimento di Ingegneria Civile (DInCi), con riferimento all'A.A. 2022-2023. Il documento è organizzato secondo lo schema già adottato negli anni precedenti, che consente di porre in luce, in forma sintetica ma efficace, 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. Pertanto, sono i seguenti:

ICAR/01 (Idraulica)
ICAR/02 (Costruzioni Idrauliche e Marittime e Idrologia)
ICAR/04 (Strade, Ferrovie e Aeroporti)
ICAR/05 (Trasporti)
ICAR/07 (Geotecnica)
ICAR/08 (Scienza delle Costruzioni)
ICAR/09 (Tecnica delle Costruzioni)
ICAR/10 (Architettura Tecnica)
ICAR/14 (Composizione Architettonica e Urbana)
ICAR/17 (Disegno)
ICAR/19 (Restauro)
ICAR/20 (Tecnica Urbanistica).

Tutti i SSD appartengono alle Aree Scientifiche 8A (Architettura) e 8B (Ingegneria Civile).

Il numero complessivo dei docenti è lievemente aumentato rispetto allo scorso anno a seguito del reclutamento di nuovi RTDa. 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: n. 9 professori di I fascia, n. 17 professori di II fascia, n. 7 RTI, n. 4 RTDb e n. 7 RTDa, per un totale di n. 44 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 più innovative. A tutto ciò fa da supporto una produzione scientifica di livello, che ha consentito al DInCi di entrare a far parte dei primi 350 Dipartimenti italiani per la qualità della ricerca.

Università della Calabria, 7 aprile 2023

Enrico Conte
Delegato alla Ricerca del DInCi

SSD ICAR/01-IDRAULICA

LINEE DI RICERCA A.A. 2022-2023

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

Giancarlo Alfonsi, Prof. Ordinario
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;
3. Indagini numeriche su correnti turbolente.

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 di 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.

3. INDAGINI NUMERICHE SU CORRENTI TURBOLENTE

3.1 OTTIMIZZAZIONE CON METODI NUMERICI DI SCAFI DI NATANTI

L'idea fondamentale che sta alla base di questa attività è quella di sviluppare una generazione di imbarcazioni di tipo green. La necessità di sviluppare una nuova generazione di imbarcazioni nasce dall'interesse verso la sostenibilità ambientale che sta coinvolgendo anche il settore della nautica, in parte già "elettrificato" per le varie norme legate alla navigabilità di fiumi e laghi e riserve marine. Dal punto di vista dell'Hardware, e in virtù della complessità dei fenomeni da trattare, occorre senz'altro orientarsi verso sistemi di calcolo ad alte prestazioni, usufruendo delle più recenti e moderne tecnologie che il settore oggi offre. Dal punto di vista del *software*, occorre implementare e sviluppare codici di calcolo ai massimi livelli di complessità (partendo da quelli *open-source* e/o commerciali), nel campo dell'idrodinamica (per la parte immersa), dell'aerodinamica (per la parte emersa dell'imbarcazione), del moto ondoso e della turbolenza, ma anche dell'ottimizzazione multi-obiettivo delle forme idrodinamiche. Le geometrie tridimensionali vengono modellate digitalmente con le tecniche del CAD. Il campo di moto viene simulato numericamente con il metodo dei volumi finiti. Di particolare interesse è la determinazione della forza e della distribuzione delle pressioni (valori massimi) esercitate dalla corrente sullo scafo. Le simulazioni numeriche vengono effettuate utilizzando un codice di calcolo basato sulla libreria C++ *OpenFOAM*, opportunamente configurato per il caso in esame. In particolare si sta utilizzando la tecnica RANS, ovvero la tecnica delle equazioni (del moto) mediate alla Reynolds, con un modello di chiusura κ - ω SST per consentirne la soluzione. In seguito si utilizzerà anche l'approccio LES. Il problema, essendo caratterizzato dalla presenza della superficie libera, è stato schematizzato come multifase (acqua-aria) e il profilo della superficie libera è stato calcolato utilizzando l'algoritmo VoF (*Volume of Fluid*).

S.S.D. ICAR/02 – COSTRUZIONI IDRAULICHE E MARITTIME E IDROLOGIA

LINEE DI RICERCA A.A. 2022-2023

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD ICAR/02 è così composto:

Patrizia Piro, Prof.ssa Ordinaria
Francesco Aristodemo, Prof. Associato
Attilio Fiorini Morosini, RTI
Aldo Pedro Ferrante, RTI
Ferdinando Frega, RTI
Giuseppe Brunetti, RTDb
Stefania Anna Palermo, 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. Analisi delle reti idriche: gli approcci dda e pda e la calibrazione
5. Funzionamento delle reti in emergenza
6. Posizionamento ottimale delle valvole in una rete idrica
7. Scelta dei punti di misura ai fini della corretta calibrazione di reti idriche
8. Analisi morfodinamiche indotte dalla rotazione di eliche di natante in presenza di moto ondoso
9. Analisi di trend di parametri di moto ondoso
10. Sollecitazioni indotte da onde irregolari su strutture cilindriche scabre
11. Modellazione numerica multifase δ -LES-SPH
12. Modellazione numerica e sperimentale dell'interazione fra onde regolari e pareti verticali
13. Studio su modello fisico e matematico per la valutazione dei processi di idrodinamica e morfodinamica costiera in prossimità di una foce fluviale
14. Sviluppo di una piattaforma probabilistica Bayesiana per la calibrazione dinamica di modelli idrologici della zona vadosa
15. Metodi Monte Carlo a catena di Markov per la quantificazione dell'incertezza nella stima inversa dei parametri idrologici

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.

Il gruppo di ricerca è impegnato anche nella realizzazione di un dimostratore nell'ambito del progetto "TOP FREE" - Tetti e Orti Pensili a "Filiere corte" 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 2023 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. Tale algoritmo è ancora in fase di settaggio e necessita di ulteriori studi e approfondimenti che saranno condotti nel 2023.

4. 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 Dryven 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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 fenomeno di escavazioni e deposito di sedimenti a tergo dell'elica. Questi processi fisici sono generalmente indesiderati, oltre a problemi strutturali alle strutture di attracco, la risospensione di sedimenti 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. Nella campagna sperimentale, attualmente in corso, sono state effettuate misure morfodinamiche, sia in fase transitoria che in fase di equilibrio, mediante Laser Scanner 3D e fotogrammetria. La finalità è 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.

9. ANALISI DI TREND DI PARAMETRI DI MOTO ONDOSO

Il presente filone di ricerca ha riguardato un'analisi finalizzata all'identificazione e quantificazione di trend di moto ondoso nel mar Mediterraneo, considerando l'altezza d'onda significativa, il periodo di picco e la direzione media di provenienza delle onde. 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.

10. SOLLECITAZIONI INDOTTE DA ONDE IRREGOLARI SU STRUTTURE CILINDRICHE SCABRE

La presente attività di ricerca prevede una serie di esperimenti da svolgere presso il laboratorio MEL (Marine Energy Laboratory) dell'Università di Reggio Calabria. La ricerca sarà incentrata sulla determinazione delle forze idrodinamiche orizzontali e verticali indotte da onde 3D random su cilindri a giacitura orizzontale. In particolare, metà di queste strutture sarà resa idraulicamente liscia attraverso apposite vernici resistenti all'attacco della flora marina, mentre l'altra metà sarà, in una prima parte, coperta da una maglia artificiale di cirripedi e, successivamente, lasciata inalterata al fine di avere, nel tempo, l'evoluzione di macro-scabrezze tipiche dell'ambiente marino. L'indagine sperimentale sarà 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 finale di tale ricerca sarà quello di calibrare formule semi-empiriche per la determinazione speditiva di tali sollecitazioni.

11. MODELLAZIONE NUMERICA MULTIFASE δ -LES-SPH

In tale attività di ricerca, la modellazione Large Eddy Simulation (LES) introdotta in quella Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) da Di Mascio et al. (2017), chiamata δ -LES-SPH, è stata estesa a trattare flussi multifase. Tale nuovo approccio numerico è stato sviluppato modificando il modello multifase δ -SPH di Hammani et al. (2020), attraverso il cambiamento delle costanti di diffusione viscosa e di densità a variabili dinamiche valutate come termini di chiusura turbolenta. L'equazione di conservazione dell'energia viene anche riscritta per il presente modello. La validazione numerica è effettuata per problemi bidimensionali, comparando i risultati con altri modelli di tipo SPH e con un solutore euleriano ai volumi finiti (FVM) basato su un modello di chiusura turbolenta corrispondente a quello adottato per il proposto schema lagrangiano. Il primo test numerico investigato riguarda un vortice di Taylor-Green modificato in cui vengono introdotte, in una vasca d'acqua, bolle aventi una densità minore. In un secondo test, un problema più violento, che coinvolge il frangimento delle onde e forti deformazioni dell'interfaccia fluido, è analizzato. In particolare, esso fa riferimento all'interazione diretta fra masse fluida, di cui una relativa all'acqua e l'altra relativa all'aria.

12. MODELLAZIONE NUMERICA E SPERIMENTALE DELL'INTERAZIONE FRA ONDE E PARETI VERTICALI

Tale attività di ricerca, di carattere numerico e sperimentale di laboratorio, si prefigge di studiare il campo di moto (elevazione d'onda e cinematismi) indotto dall'interazione fra treni di onde regolari e pareti verticali. Dal punto di vista sperimentale, sarà utilizzato il canale ondogeno del Laboratorio Grandi Modelli Idraulici (GMI) dell'Università della Calabria attraverso l'uso di sonde resistive e ultrasoniche, oltre che di ADV. Dal punto di vista numerico, sarà utilizzato il modello Lagrangiano particellare *meshless* δ -LES-SPH in versione monofase (solo acqua) e bifase (acqua-aria). L'attenzione sarà concentrata sullo studio spazio-temporale delle caratteristiche delle onde stazionarie generate dall'interazione fra onde incidenti e riflesse. Tali test saranno preparatori per l'analisi delle prestazioni di convertitori di energia ondosa del tipo a colonna d'acqua oscillante (OWC).

13. 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.

14. 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.

15. 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.

S.S.D. ICAR/04 – STRADE, FERROVIE E AEROPORTI

LINEE DI RICERCA A.A. 2022-2023

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD ICAR/04 è così composto:

Rosolino Vaiana, PA

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. Eco-sostenibilità dei materiali delle pavimentazioni stradale
2. Interazione pneumatico-pavimentazione: le performance della superficie stradale
4. Sicurezza stradale: Road Accident Analysis ed infrastruttura stradale

Le principali linee di ricerca sono di seguito descritte.

1. ECO-SOSTENIBILITÀ DEI MATERIALI DELLE 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 "Waste End" 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.

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.

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);
- [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

2. INTERAZIONE PNEUMATICO-PAVIMENTAZIONE: LE PERFORMANCE DELLA SUPERFICIE 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 stato sviluppato il progetto e la realizzazione di una strumentazione prototipo per il confezionamento e la stesa in laboratorio di miscele Microsurfacing. Questa strumentazione è oggetto di interesse per il deposito brevettuale.

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. ICAR/05 – TRASPORTI

LINEE DI RICERCA A.A. 2022-2023

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD ICAR/05 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, RTDb

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

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 2022-2023, la ricerca continuerà ad indagare su queste problematiche.

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 2022-2023, la ricerca sarà focalizzata sullo sviluppo di 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 2022-2023, 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 2022-2023, continuerà la fase di sviluppo della ricerca, con enfasi su metodologie di analisi della sicurezza stradale basate su applicazioni di algoritmi genetici e reti neurali 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 2022-2023, continuerà lo studio di modelli previsionali di incidenti stradali basati su metodi Bayesiani Empirici (EB) e Modelli Lineari Generalizzati (GLM).

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 2022-2023 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 "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 2022-2023, l'attenzione sarà particolarmente focalizzata sullo sviluppo 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 2022-2023 una particolare attenzione si sta rivolgendo 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.

S.S.D. ICAR/07 – GEOTECNICA

LINEE DI RICERCA A.A. 2022-2023

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD ICAR/07 è così composto:

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

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. Moto sismico di progetto
2. Risposta sismica di opere geotecniche e di ritenuta idraulica
3. Analisi degli spostamenti sismo-indotti di paratie libere
4. Analisi di fenomeni franosi
5. Previsione di frane superficiali pluvio-indotte
6. Tecniche di regolarizzazione per l'analisi di stabilità di pendii in terreni con comportamento strain-softening

Le principali linee di ricerca sono di seguito descritte.

1. MOTO SISMICO DI PROGETTO

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).

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.

2. RISPOSTA SISMICA DI OPERE GEOTECNICHE E DI RITENUTA IDRAULICA

2.1. RISPOSTA SISMICA DI DIGHE IN TERRA MEDIANTE L'USO DI MODELLI COSTITUTIVI AVANZATI

In questa ricerca ci si occuperà della risposta sismica di dighe in terra esistenti, con particolare

riguardo a quelle fondate su terreni potenzialmente liquefacibili. Lo studio verrà inoltre incentrato sulla individuazione dei parametri di intensità sismica che meglio si correlano all'entità dell'eventuale danno.

L'analisi del comportamento sismico delle dighe in terra sarà, inoltre, focalizzato sulla determinazione delle funzioni di fragilità, le quali permettono di individuare lo stato limite maggiormente significativo per tali opere. Nel corso della ricerca, verrà inoltre valutata la differenza tra le funzioni di fragilità costruite usando modelli costitutivi a diverso grado di complessità.

4. ANALISI DEGLI SPOSTAMENTI SISMO-INDOTTI DI PARATIE LIBERE

La valutazione degli spostamenti indotti da sisma di paratie libere, risulta essere un tema di notevole interesse nel campo dell'Ingegneria Civile. Ciò per l'indisponibilità in letteratura di metodi affidabili e di semplice utilizzo. Le procedure proposte, infatti, sono basate su analisi numeriche estremamente complesse che sono di difficile utilizzo nella pratica corrente. In tale contesto si inserisce un metodo, recentemente sviluppato dal gruppo di Geotecnica dell'Unical, che permette di valutare affidabilmente gli spostamenti di diaframmi o paratie libere, indotti da sisma. Il metodo si basa sull'ipotesi di paratia rigida che ruota intorno ad un punto prossimo alla base e sulla risoluzione di una semplice equazione del moto. Le tensioni al contatto paratia-terreno vengono valutate utilizzando soluzioni originali in forma chiusa, appositamente sviluppate. I risultati ottenuti, dal confronto con casi di studio sperimentali e numerici ben documentati in letteratura, sono del tutto soddisfacenti. Il metodo proposto, seppur semplificato, risulta essere estremamente attraente da un punto di vista dell'utilizzazione pratica, in quanto è semplice da applicare e richiede l'utilizzo di pochi parametri in input, facilmente determinabili da prove geotecniche convenzionali.

5. ANALISI DI FENOMENI FRANOSI

5.1. ANALISI DI 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'innescò 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.

5.2. 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 una frana indotta da scavi in Calabria. Lo studio è risultato particolarmente complesso, in quanto i terreni interessati dall'evento franoso erano caratterizzati da

un pronunciato comportamento strain-softening. L'approccio numerico utilizzato ha permesso di individuare i complessi meccanismi che hanno determinato l'innesco della frana e la sua evoluzione, permettendo una razionale spiegazione del fenomeno franoso occorso.

Recenti studi hanno riguardato 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, le analisi effettuate hanno riguardato la simulazione dell'intero evento franoso (dalla fase pre-rottura alla fase post-rottura) occorso a Saint-Jude (Québec, Canada).

5.3. STUDIO DELLA MOBILITÀ DI FRANE ATTIVE

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. In particolare, il metodo consente di prevedere gli spostamenti della frana direttamente da scenari attesi della pioggia. La ricerca è stata inizialmente condotta nell'ambito del progetto denominato DARN "Dispositivo di Allerta per Rischi Naturali", finanziato con fondi POR CALABRIA FESR-FSE 2014-2020 e sono attualmente in corso ulteriori sviluppi.

6. PREVISIONE DI FRANE SUPERFICIALI 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 fin qui effettuata 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. La metodologia proposta è stata applicata con successo a diversi casi reali nell'ambito del progetto finanziato dal "Fondo Sociale Europeo REACT-EU Programma Operativo Nazionale (PON) Ricerca e Innovazione 2014-2020". Sono tuttora in corso ulteriori validazioni su nuovi casi di studio.

7. TECNICHE DI REGOLARIZZAZIONE PER L'ANALISI DI STABILITÀ DI PENDII IN TERRENI CON COMPORTAMENTO STRAIN-SOFTENING

L'analisi numerica di pendii caratterizzati da terreni con comportamento strain-softening risulta essere estremamente complessa, in quanto i risultati ottenuti con i metodi numerici tradizionali (FEM, FDM) spesso risultano affetti da una forte dipendenza dalla mesh. Per superare siffatta problematica sono state sviluppate tutta una serie di tecniche, definite in letteratura tecniche di regolarizzazione, che purtroppo, in molti casi, sono del tutto inapplicabili in quanto estremamente complesse o basate

su parametri di difficile valutazione. In tale contesto, si inquadra lo studio attualmente in corso, caratterizzato dallo sviluppo di una procedura analitica e di semplice utilizzo che si basa sui risultati di prove di taglio diretto. I parametri richiesti in input sono di semplice determinazione e dal chiaro significato fisico. I risultati ottenuti su casi alcuni casi di studio ideali e su di un caso di studio reale, ben documentato in letteratura, appaiono del tutto soddisfacenti. Attualmente, sono in corso ulteriori analisi per la validazione della metodologia proposta.

S.S.D. ICAR/08 – SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

LINEE DI RICERCA A.A. 2022-2023

Il gruppo dei docenti incardinati nel SSD ICAR/08 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. 2022-2023 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 propagazione della frattura nelle strutture composite sandwich mediante l'utilizzo della tecnica delle mesh mobili;
3. Studio del comportamento macroscopico di compositi periodici micro-fratturati in presenza di contatto unilatero senza attrito 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 e controllo delle vibrazioni nei metamateriali bio-ispirati mediante l'utilizzo di modelli micromeccanici in regime di grandi deformazioni;
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".

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 5–7 rientrano nell'ambito del Progetto PON R&I 2014-2020, Attrazione e Mobilità Internazionale (AIM), n. AIM1810287 – 2 (Università della Calabria), ammesso al finanziamento con D.D. MIUR n. 3407 del 21.12.2018, Contributo complessivo del progetto pari a € 556.933,20.

La tematica 10 rientra nell'ambito del Progetto Por Calabria FESR-FSE 2014-2020 Asse I Promozione della Ricerca e dell'Innovazione, Azione 1.2.2. “Supporto alla realizzazione di progetti Complessi di attività di Ricerca e Sviluppo” dal Titolo: **Dispositivi e Fibra Ottica Residenti per la Protezione Sismica delle Strutture in c.a.** Con contributo alla Unità di ricerca concesso con DD n.11273 del 12-10-2017 di € 209.132,32.

Le tematiche 13 e 15 rientrano nell'ambito del Progetto POR Calabria dal titolo “Edilizia sostenibile – Nuove tecniche e nuovi materiali (strutturali e componenti)”. Copertura finanziaria nell'ambito dello stanziamento nel Bilancio Unico di Ateneo di previsione annuale autorizzativo 2018 – fondi Linea B, Azione 10.5.12 - POR Calabria FESR-FSE 2014-2020, Convenzione Regione Calabria Rep. N. 1006 del 30/03/2018. Codice Unico di Progetto: H21G18000290006.

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 della ricerca: Nuovi modelli e tecniche avanzate per l'identificazione del danno ed il monitoraggio dei ponti esistenti.

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.

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 PROPAGAZIONE DELLA FRATTURA NELLE STRUTTURE COMPOSITE SANDWICH MEDIANTE L'UTILIZZO DELLA TECNICA DELLE MESH MOBILI

La propagazione della frattura nelle strutture composite di tipo "sandwich" viene indagata in condizioni di carico sia statico che dinamico, mediante un approccio di modellazione innovativo, basato sull'impiego sinergico di tre ingredienti diversi: (i) travi deformabili a taglio per tener conto degli strati esterni del pannello; (ii) elementi di interfaccia coesiva per descrivere i meccanismi di scollamento tra gli strati; (iii) tecnica delle mesh mobili, basata su approccio "Arbitrary Lagrangian-Eulerian" (ALE), per ridurre i tempi computazionali delle analisi non-lineari.

I modelli coesivi impiegati per modellare le interfacce tra gli strati del pannello sandwich sono stati calibrati mediante opportuni confronti con dati sperimentali e numerici, con riferimento a configurazioni di carico sia di puro modo I che di puro modo II.

L'approccio di modellazione sviluppato ha consentito di condurre in modo efficiente ed al contempo accurato uno studio parametrico per indagare l'influenza della velocità di applicazione del carico e delle caratteristiche geometriche e meccaniche del pannello sulla risposta dinamica di tali strutture composite.

3. STUDIO DEL COMPORTAMENTO MACROSCOPICO DI COMPOSITI PERIODICI MICRO-FRATTURATI IN PRESENZA DI CONTATTO UNILATERO SENZA ATTRITO 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.

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 piastrine) 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 incrudente, 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 ovviare 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 E CONTROLLO DELLE VIBRAZIONI NEI METAMATERIALI BIO-INSPIRATI MEDIANTE L'UTILIZZO DI MODELLI MICROMECCANICI IN REGIME DI GRANDI DEFORMAZIONI

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.

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 della 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.

S.S.D. ICAR/09 – TECNICA DELLE COSTRUZIONI

LINEE DI RICERCA A.A. 2022-2023

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD ICAR/09 è così composto:

Luciano Ombres, Prof. Ordinario
Fabio Mazza, Prof. Associato
Francesco Bencardino, Professore Associato
Alessio Cascardi, Ricercatore tipo B (dal 30 dicembre 2022)

Le linee di ricerca sviluppate nel biennio 2022-2023 dal Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD ICAR/09-
Tecnica delle Costruzioni riguardano le seguenti tematiche:

INGEGNERIA SISMICA

1. Isolamento alla base

- Isolamento sismico in direzione orizzontale e verticale di strutture in c.a. soggette a terremoti con elevata componente verticale.
- Effetti della dissipazione supplementare di energia in direzione verticale sull'isolamento sismico alla base di edifici in c.a..

2. Dissipazione supplementare di energia

- Procedura di progetto prestazionale di controventi dissipativi basata sul controllo dello spostamento, al fine di tener conto della risposta sismica non lineare nel piano e fuori dal piano della tamponatura.
- Procedura di progetto prestazionale di esoscheletri dissipativi in acciaio per l'adeguamento antisismico di edifici in c.a..

INGEGNERIA DEI MATERIALI E DELLE STRUTTURE

3. Materiali innovativi per l'edilizia

- EDILizia con prodotti innovativi con fibre CELLulosiche (EDILCEL)
- Caratterizzazione prestazionale degli additivi ottenuti su formulati dry mix base
- Formulazione di malte di allettamento e caratterizzazione meccanica

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 con materiali compositi fibrorinforzati

- Analisi sperimentale e modellazione analitica e numerica di strutture in c.a. rinforzati esternamente con materiali compositi fibrorinforzati a matrice inorganica (FRCM, SRG)
- Analisi sperimentale e modellazione analitica e numerica di strutture in muratura rinforzate esternamente con materiali compositi fibrorinforzati a matrice inorganica (FRCM, SRG)

Le principali linee di ricerca sono di seguito descritte:

1. ISOLAMENTO ALLA BASE

1.1 ISOLAMENTO SISMICO IN DIREZIONE ORIZZONTALE E VERTICALE DI STRUTTURE IN C.A. SOGGETTE A TERREMOTI CON ELEVATA COMPONENTE VERTICALE

(finanziamento progetto D.P.C.-Re.L.U.I.S. 2022-2024)

L'obiettivo dello studio è quello di valutare il grado di isolamento sismico in direzione verticale di strutture in c.a. isolate alla base e soggette a terremoti con elevata componente sismica verticale. Una struttura strategica di tipo ospedaliero, progettata sulla base di una precedente normativa in una zona a media sismicità, è stata adeguata in una zona ad alta sismicità, ricorrendo all'isolamento alla base solo in direzione orizzontale e nelle direzioni orizzontale e verticale. Le strutture isolate alla base sono state differenziate ricorrendo ad un approccio di tipo "upper-lower bound", al fine di contemplare la variabilità dei parametri di progetto. Un'estesa indagine numerica è stata condotta utilizzando analisi sismiche non lineari, con diverse tipologie di terremoti, ed analisi wavelet, su parametri di risposta strutturale e non strutturale. Lo studio affronta una problematica non contemplata dall'attuale normativa sismica italiana, relativa ai limiti di applicabilità dell'isolamento alla base di strutture in c.a. soggette a terremoti con elevata componente sismica verticale. L'isolamento sismico è stato analizzato sia nella soluzione classica, nella sola direzione orizzontale, che in una nuova soluzione, anche in direzione verticale. La calibrazione della rigidità verticale da assegnare al sistema di isolamento per ottenere l'allontanamento dal campo di frequenze di maggiore eccitazione sismica verticale è ottenuta mediante un'analisi wavelet, in grado di tener conto del fenomeno di "moving resonance" indotto dalla plasticizzazione della sovrastruttura. Lo studio consente di mettere a punto un approccio innovativo per valutare il grado di isolamento sismico in direzione verticale necessario in presenza di terremoti caratterizzati da un'elevata componente in tale direzione. In particolare, è stato possibile valutare il valore da assegnare al rapporto tra il periodo fondamentale di vibrazione in direzione verticale delle strutture isolate alla base e di quelle a base fissa. La scelta del grado di isolamento sismico verticale è stata differenziata in relazione ad obiettivi prestazionali legati al collasso delle parti strutturali e non strutturali.

1.2 EFFETTI DELLA DISSIPAZIONE SUPPLEMENTARE DI ENERGIA IN DIREZIONE VERTICALE SULL'ISOLAMENTO SISMICO ALLA BASE DI EDIFICI IN C.A.

L'obiettivo dello studio riguarda la valutazione delle strategie da utilizzare per la mitigazione degli effetti di terremoti con elevata componente sismica verticale sulla risposta dinamica non lineare di strutture intelaiate in c.a. isolate alla base. Le elevate plasticizzazioni che si possono verificare nelle sezioni di mezzera delle travi dei piani più alti possono essere ridotte ricorrendo all'isolamento sismico in direzione verticale. Tuttavia, in presenza di isolamento verticale si possono presentare inattesi sforzi di trazione nel sistema di isolamento tali da indurre fenomeni di cavitazione nel caso di isolatori elastomerici. Per ovviare a tale inconveniente è possibile predisporre una dissipazione supplementare di energia alla base della struttura in direzione verticale. La scelta del valore ottimale da assegnare a tale

smorzamento aggiuntivo è oggetto del presente studio. A tal fine, si è considerata una struttura strategica di tipo ospedaliero progettata ricorrendo all'isolamento alla base nelle direzioni orizzontale e verticale. Su tale struttura sono condotte analisi sismiche non lineari mediante l'utilizzo di un codice di calcolo appositamente implementato.

2. DISSIPAZIONE SUPPLEMENTARE DI ENERGIA

2.1. PROCEDURA DI PROGETTO PRESTAZIONALE DI CONTROVENTI DISSIPATIVI BASATA SUL CONTROLLO DELLO SPOSTAMENTO, AL FINE DI TENER CONTO DELLA RISPOSTA SISMICA NON LINEARE NEL PIANO E FUORI DAL PIANO DELLA TAMPONATURA (finanziamento progetto D.P.C.-Re.L.U.I.S. 2022-2024)

L'obiettivo dello studio è l'analisi del comportamento non lineare nel piano e fuori piano della tamponatura sull'adeguamento sismico di edifici strategici in c.a. mediante dissipazione supplementare di energia. In particolare, i controventi dissipativi rappresentano una delle tecniche moderne più efficaci per la protezione sismica delle parti strutturali e per la riduzione del livello di danneggiamento della tamponatura nel suo piano medio, ma nessuna attenzione è stata rivolta alla valutazione della loro efficacia ai fini del miglioramento del comportamento fuori piano di questi elementi non strutturali. Un ospedale con struttura intelaiata in c.a. di cinque piani, inizialmente progettato a base fissa sulla base di una precedente normativa sismica, è utilizzato come struttura test. Due valori sono assunti per il rapporto tra lunghezza (L) ed altezza (h) del pannello ($L/h=1$ e 1.75). Due modelli strutturali sono considerati, assumendo: struttura nuda, con tamponatura considerata come parte non strutturale; struttura tamponata, con tamponatura considerata come parte strutturale. Successivamente, queste strutture sono state adeguate mediante controventi dissipativi di tipo isteretico. Una procedura di progetto dei controventi dissipativi basata sul controllo degli spostamenti è stata aggiornata includendo la risposta sismica non lineare, nel piano e fuori piano, della tamponatura. In particolare, lo spostamento di progetto è determinato dalle curve di capacità delle strutture nuda o tamponata, inserendo in quest'ultimo caso i contributi nel piano e fuori piano dei pannelli di tamponatura disposti, rispettivamente, parallelamente e perpendicolarmente alla direzione di applicazione dei carichi sismici. A tal fine, è stato messo a punto un codice di calcolo per l'analisi statica non lineare di strutture intelaiate spaziali in c.a. nel quale è stato introdotto un macromodello della tamponatura a cinque elementi, di cui uno centrale (orizzontale) per descrivere la risposta nel piano e quattro diagonali per descrivere la risposta fuori piano. Infine, analisi dinamiche non lineari delle strutture originarie ed adeguate sono state condotte considerando accelerogrammi artificiali spettro compatibili relativi ai livelli di intensità sismica previsti dalle NTC18 con riferimento agli stati limite di esercizio ed ultimi.

2.2. PROCEDURA DI PROGETTO PRESTAZIONALE DI ESOSCHELETRI DISSIPATIVI IN ACCIAIO PER L'ADEGUAMENTO ANTISISMICO DI EDIFICI IN C.A.

L'obiettivo dello studio è lo sviluppo di una procedura di progetto basata sul controllo dello spostamento, relativa ad un esoscheletro in acciaio, con comportamento elastico, dotato di controventi dissipativi di tipo isteretico. In particolare, è stato effettuato il confronto tra diverse configurazioni dell'esoscheletro, disposto parallelamente al perimetro dell'edificio: 1) esoscheletro interamente dissipativo, concentrato solo su una parte del perimetro; 2) esoscheletro interamente dissipativo, diffuso lungo tutto il perimetro; 3) esoscheletro parzialmente dissipativo, diffuso lungo tutto il perimetro. La validazione della procedura di progetto dell'esoscheletro dissipativo è effettuata con riferimento ad una struttura ospedaliera di cinque piani, inizialmente progettata in una zona a medio rischio sismico, sulla base di una precedente normativa (DM96), e successivamente adeguata in zona ad alto rischio sismico, sulla base della normativa attuale (NTC18). Su tale struttura sono condotte analisi sismiche non lineari utilizzando una modellazione non lineare della parte strutturale (travi e pilastri) e non strutturale (tamponature)

dell'edificio mediante l'utilizzo di un codice di calcolo appositamente implementato. Per queste ultime è stato considerato il comportamento sismico non lineare nel piano e fuori dal piano.

3. MATERIALI INNOVATIVI PER L'EDILIZIA

3.1. EDILIZIA CON PRODOTTI INNOVATIVI CON FIBRE CELLULOSICHE (EDILCEL) (POR Calabria FESR-FSE 2014-2020 – Progetto R&S – Asse: 1/Azione: 1.2. /Fondo: FESR)

L'industria cartaria produce diverse tipologie di scarti, tra cui i fanghi di disinchiostatura della carta da macero classificabili come rifiuti non pericolosi, che rappresentano un'interessante matrice da riutilizzare in vari ambiti applicativi, tra cui il settore dell'edilizia. I fanghi di *deink*, grazie alla loro peculiare composizione e morfologia fibrosa, possono essere impiegati come additivi reologici per la formulazione di malte e adesivi cementizi.

Il progetto EDILCEL, sviluppato in collaborazione con il capofila Laboratori ARCHA e l'azienda Calabra Personal Factory, si propone di valutare la fattibilità industriale del riutilizzo dei fanghi di *deink*, dopo opportuna trasformazione, come additivi reologici per la formulazione di dry mix (malte, intonaci e adesivi cementizi), in alternativa ai prodotti attualmente impiegati, costituiti da cellulose chimicamente modificate o fibre di cellulosa. Il Laboratorio Prove Materiali e Strutture, del Dipartimento di Ingegneria Civile (DINCI) dell'Università della Calabria, contribuisce all'avanzamento tecnologico, organizzativo e strategico dell'idea progettuale attraverso un'attività sperimentale volta alla determinazione dei parametri meccanici e di resistenza degli impasti cementizi (malte, intonaci, adesivi cementizi, altro). In particolare, l'attività sperimentale è finalizzata alla definizione delle specifiche tecniche delle malte e dei prodotti, ottenuti dal processo produttivo in generale, necessari per l'impiego nel settore dell'ingegneria strutturale e nel campo del consolidamento e restauro conservativo delle costruzioni in muratura, tradizionali e storiche, e delle strutture in calcestruzzo armato.

4. MATERIALI COMPOSITI FIBRORINFORZATI

4.1 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI COMPOSITI FIBRORINFORZATI A MATRICE CEMENTIZIA (FRCM) (finanziamento progetto D.P.C.-Re.L.U.I.S. 2022-2024)

La caratterizzazione meccanica dei sistemi di rinforzo in materiale composito fibrorinforzato a matrice cementizia è finalizzata alla determinazione dei parametri meccanici di progetto attraverso l'analisi dei legami costitutivi. A tal fine, l'attività di ricerca condotta ha riguardato l'esecuzione di una vasta campagna sperimentale con sperimentazione mediante prove di trazione diretta su provini di FRCM al variare dei principali parametri meccanici e geometrici (tipo di fibra, tipo di matrice, numero di strati di rinforzo). Le prove vengono di norma condotte sia sulla rete secca sia sul provino in FRCM; l'indagine ha consentito altresì di mettere in conto gli effetti di trattamenti termici (cicli di riscaldamento ad elevate temperature e successivo raffreddamento cui i provini in FRCM possono essere soggetti prima dell'esecuzione delle prove. In tal modo è possibile evidenziare l'influenza del trattamento termico sul degrado delle proprietà meccaniche del sistema di rinforzo.

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 SPERIMENTALE E MODELLAZIONE ANALITICA E NUMERICA DI STRUTTURE IN MURATURA RINFORZATE ESTERNAMENTE CON MATERIALI COMPOSITI FIBRORINFORZATI A MATRICE INORGANICA (FRCM, SRG);

L'attività di ricerca è indirizzata all'analisi di colonne in muratura confinate con diverse tipologie di sistemi di rinforzo (Carbonio, PBO, basalto, acciaio). La ricerca è sviluppata dal punto di vista sperimentale attraverso l'esecuzione di prove di compressione su colonne in muratura di mattoni pieni in scala ridotta al variare del numero di strati di rinforzo fibroso e della configurazione del rinforzo, e dal punto di vista numerico attraverso la messa a punto di un modello numerico agli elementi finiti definito sulla base dei legami costitutivi e delle proprietà meccaniche del rinforzo e del legame locale di aderenza all'interfaccia tra il composito ed il substrato in muratura.

5.3 METODI DI DATA MINING INNOVATIVI PER LA DEFINIZIONE DI MODELLI PREDITTIVI NELL'AMBITO DEL CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE

I sistemi di rinforzo strutturale a base di materiali compositi FRP sono sempre più utilizzati in ambito ingegneristico, grazie alla loro elevata resistenza meccanica, alla leggerezza e alla resistenza alla corrosione. Tuttavia, la progettazione di interventi di rinforzo strutturale con materiali compositi FRP richiede la valutazione di una serie di fattori, tra cui la geometria dell'elemento da rinforzare, le proprietà meccaniche del materiale da utilizzare e le condizioni di carico a cui l'elemento è sottoposto. In questo contesto, i metodi di data mining, in particolare le reti neurali artificiali, stanno assumendo un ruolo sempre più importante nella progettazione di interventi di rinforzo strutturale con materiali compositi FRP.

Le reti neurali artificiali sono modelli matematici che, ispirandosi al funzionamento del cervello umano, sono in grado di apprendere da un insieme di dati di input e di fornire una previsione o una classificazione di un evento futuro. Nel caso dell'utilizzo di reti neurali artificiali per la progettazione di interventi di rinforzo strutturale con materiali compositi FRP, i dati di input includono le caratteristiche dell'elemento strutturale da rinforzare, le proprietà meccaniche del materiale composito FRP da utilizzare e le condizioni di carico a cui l'elemento è sottoposto. L'obiettivo è quello di ottenere un modello predittivo in grado di fornire una stima accurata delle prestazioni del sistema di rinforzo strutturale in termini di resistenza, rigidità e duttilità.

Detta metodologia è stata adoperata per valutare la resistenza di bond tra FRP e substrati cementizi nonché il confinamento di colonne cilindriche.

5.4 SVILUPPO DI UN COMPOSITO INORGANICO INNOVATIVO ATTO A MIGLIORARE LE PRESTAZIONI MECCANICHE ED ENERGETICHE DI PANNELLI MURARI

Per conseguire gli obiettivi di decarbonizzazione entro il 2050, la maggior parte degli edifici europei necessita di una significativa riqualificazione. Tuttavia, molti ostacoli sul fronte dell'offerta, della domanda e della tecnica impediscono che tale riqualificazione possa raggiungere i targets richiesti, specialmente nel settore residenziale. In un gran numero di progetti europei è stata sviluppata una vasta gamma di soluzioni, tecnologie, modelli di business innovativi e schemi di finanziamento per le pratiche di ristrutturazione nell'UE, generalmente a sostegno di soluzioni olistiche. Di pari importanza, è la vulnerabilità sismica legata al patrimonio edilizio esistente, che evidenzia delle importanti criticità a causa di diversi fattori, quali il degrado dei materiali, la concezione strutturale, gli effetti di azioni non previste in fase progettuale. Tuttavia, uno dei principali ostacoli rimane l'inerzia nell'assimilare le soluzioni innovative a causa della complessità dell'intervento, spesso realizzato con un approccio che mira a risolvere in modo indipendente le carenze energetiche e statiche.

Di conseguenza, l'interesse per i materiali e le tecniche per la riqualificazione strutturale ed energetica di edifici esistenti è cresciuto costantemente negli ultimi anni. In particolare, il riutilizzo dei materiali di scarto e l'innovazione delle tecniche di retrofit rappresentano gli aspetti cruciali. Al giorno d'oggi, i leganti geo-polimerici sono considerati una soluzione promettente per sostituire, parzialmente o totalmente, quelli cementizi e a base di calce. In questo scenario, è stata studiata la possibilità di utilizzare i geo-polimeri come alternativa alla matrice di cemento o calce per realizzare i sistemi IMC (Inorganic Matrix Composite). Nel progetto di ricerca proposto, si intende analizzare un sistema ICM, di tipo CRM (Composite Reinforced Mortar), ottenuto con una malta realizzata con leganti geo-polimerici e aggregato in vetro espanso, con riferimento alle proprietà sia meccaniche che termiche. La ricerca condotta ha già evidenziato che le prestazioni meccaniche di una malta geopolimerica realizzata con ceneri volanti sono comparabili con quelle di una malta tradizionale a base di calce. Inoltre, nelle malte a base di geo-polimeri è stata osservata una riduzione di circa due volte della conducibilità termica; ciò induce a considerare detti materiali come una soluzione promettente anche per il retrofitting energetico.

5.5 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. È 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 e ciclici) 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.

Attività Sperimentale

Prove di aderenza (*direct single-lap shear test*) su supporti di muratura utilizzando due tipologie di fibre in acciaio (UHTSS e Inox) e matrici inorganiche (sistemi FRCM).

Test di compressione su colonne di muratura confinate con sistema FRCM: comportamento sperimentale al variare del numero di strati di rinforzo.

Prove di aderenza (*direct single-lap shear test*) su supporti di calcestruzzo utilizzando fibre in acciaio (Kimisteel GLV – acciaio zinco galvanizzato ad alta resistenza e Kimisteel inox - acciaio inossidabile) e matrici inorganiche (sistemi FRCM).

Prove di flessione ciclica su travi di calcestruzzo armato rinforzate con fibre di acciaio e matrice inorganica (sistema FRCM).

Prove di condizionamento in ambiente alcalino e ad alta temperatura di sistemi compositi inorganici (FRCM) per la valutazione della perdita prestazionale in termini di resistenza a trazione.

S.S.D. ICAR/10 – ARCHITETTURA TECNICA

LINEE DI RICERCA A.A. 2022-2023

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD ICAR/10 è così composto:

Laura Greco, Prof.ssa Associata

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. Analisi dei sistemi e componenti per case unifamiliari prefabbricate progettati e prodotti in Italia nel Novecento.
2. Analisi degli sviluppi della prefabbricazione e dell'industrializzazione edilizia negli edifici per la produzione realizzati in Italia nel periodo 1945-1970.

La linea di ricerca è 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. 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. 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.

S.S.D. ICAR/14 – COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA E URBANA

LINEE DI RICERCA A.A. 2022-2023

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD ICAR/14 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.

1. 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 il valore di "capolavori", il cui percorso genetico offre 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 al dottorando afferente allo stesso settore, Giuseppe Canestrino, ha condotto uno studio 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. Tale studio ha avuto come esito l'accettazione di un articolo che sarà pubblicato nel 2023 sulla prestigiosa rivista di classe A "RIBA Journal of Architecture".

Roberta Lucente ha inoltre, nello stesso ambito tematico, avviato uno studio sull'opera dell'architetto svizzero-tedesco Silvio Galizia, sulla base di inediti materiali d'archivio. Primo esito di tale lavoro è stata, nel 2022, la pubblicazione di un articolo sulla rivista scientifica *Metamorfosi Quaderni di architettura*.

2. 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 negli anni si è dedicato a diversi studi sviluppati lungo le traiettorie sopra enunciate. Nel periodo 2022/2023 ha svolto in questo ambito tematico un lavoro di ricerca applicata consistito nella partecipazione a un concorso nazionale di architettura bandito dal MUR sulle Scuole Future. Esito di tale lavoro è stata la selezione del progetto elaborato dal gruppo coordinato da Roberta Lucente e comprendente il dottorando ICAR 14, al primo grado di concorso tra le migliori cinque proposte e il successivo conseguimento del primo premio. Ulteriore esito di tale premio sarà la realizzazione dell'edificio progettato a partire dal 2023 ed entro l'anno 2026.

3. 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 17 anni impegnata nell'organizzazione di un seminario annuale nella città spagnola di Barcellona dedicato alle tematiche sopra esposte, ha pubblicato nel corso del 2022 un articolo nella rivista di classe A "U+D Urban Design" contenente alcune riflessioni teorico-metodologiche a sintesi di tale attività di sperimentazione sul campo.

Tale attività proseguirà anche nel corso dell'anno 2023, nell'ambito di un ulteriore seminario annuale.

4. 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, alcuni componenti del gruppo ICAR 14 del DINCI, una docente e un dottorando, 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, che hanno già prodotto alcune interessanti sperimentazioni applicative relative alla scala urbana e, nello specifico, alla città di Aleppo, sono attualmente in corso di sviluppo, con riferimento alla scala dell'edificio e più precisamente alla conformazione dell'involucro. Esiti di tali studi, sono stati nel 2022 varie pubblicazioni a seguito della selezione degli autori nell'ambito di prestigiosi convegni di settore.

L'intersezione con gli studi sociologici, inoltre, più volte praticata dalla docente del settore, ha dato vita da tempo a una collaborazione con il settore SECS10 relativa alle dinamiche di trasformazione sociali, architettoniche e urbane che hanno interessato la città di Cosenza. Nel 2022 tale lavoro ha prodotto come esito la pubblicazione di un saggio all'interno di un volume di una collana di studi di sociologia urbana, presentato a novembre dello stesso anno nell'ambito di una attività di Terza Missione.

S.S.D. ICAR/17 – DISEGNO

LINEE DI RICERCA A.A. 2022-2023

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD ICAR/17 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. 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 DELL'ARCHITETTURA NELL'AMBITO DEL COSTRUITO STORICO E/O MONUMENTALE.

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 fornisce un importante contributo soprattutto nello studio della vulnerabilità del costruito storico e/o monumentale, in cui l'attendibilità della misura gioca un ruolo chiave soprattutto nella lettura delle deformazioni o degli eventuali cinematismi in atto. 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); problematiche relative alla diagnostica derivanti dall'uso della termocamera.

La ricerca mira ad approfondire nel periodo di riferimento, attraverso l'acquisizione e lo studio dei casi affrontati (eterogenei per dimensione, struttura geometrico-architettonica, stato di conservazione, epoca storica ...), le tematiche:

- 1) della creazione e gestione del dato morfometrico (creazione, gestione ed elaborazione della mole dei dati acquisiti) (rilievo 3D della chiesa di Maria SS. Di Anglona presso Tursi (MT), Il rilievo dell'altare maggiore della chiesa di S. Maria delle Armi presso Cerchiara di Calabria (CS));
- 2) della sperimentazione di dispositivi figurativi per la lettura degli elementi di criticità (rilievo 3D della colonna superstite del tempio di Hera Lacina nel parco archeologico di Capocolonna a Crotone e del battistero paleocristiano di S. Maria Maggiore a Nocera (SA));

- 3) della ricostruzione virtuale dello stato originario di monumenti parzialmente/totalmente modificati o scomparsi, anche attraverso lo studio storico-critico e delle fonti documentarie (Rilievo 3D di elementi superstiti dell'antica chiesa della Certosa di Serra San Bruno (VV));

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.

S.S.D. ICAR/19 – RESTAURO

LINEE DI RICERCA A.A. 2022-2023

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD ICAR/19 Restauro è così composto:

Brunella Canonaco, RTI

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 note anche diverse 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 e di riuso degli insediamenti consolidati. La lettura documentale è considerata un'azione determinante per la conoscenza dei beni di interesse, permettendo di ricostruire attraverso lo studio esegetico delle fonti le fasi diacroniche di edifici e di intere parti di città.

Attraverso 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 stata impegnata nel 2021 in studi inediti, che in parte proseguiranno nel 2022, relativi ai borghi storici del meridione d'Italia affetti, attualmente, dall'abbandono, nella prospettiva del loro rilancio. La ricerca si è espressa precisandosi in alcuni specifici temi di applicazione come: la lettura puntuale delle fonti documentali, la lettura tipologica e la ricostruzione delle fasi evolutive di formazione e trasformazione dei centri storici. Scopo di tali studi, costituire una base propedeutica per riammettere tali centri/borghi nel circuito della vita associata con azioni di riqualificazione e riutilizzo di edifici, spazi pubblici e parchi territoriali mirate a nuovi usi residenziali, economici e culturali, a beneficio della collettività e/o del turismo. Uno studio significativo è stato destinato all'area del fondaco nel centro storico di Corigliano Calabro e sulle emergenze che in esso ricadono.

Sono stati condotti inoltre sperimentazioni 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 questo genere di lettura storico-critica sono state effettuate su torri e castelli dell'alto Tirreno cosentino, in un'ottica di valorizzazione e ri-fruizione di tale sistema territoriale.

Inoltre, nella situazione emergenziale in atto, la ricerca si sofferma sui borghi abbandonati della catena appenninica, ripensando a nuove azioni di rivitalizzazione e rileggendoli come opportunità per una rinnovata spazialità, residenzialità, offerta culturale e/o turistica, per il rilancio di tali insediamenti in un momento connotato dal distanziamento sociale.

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 preservazione 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 2021 in studi inediti, che in parte proseguiranno nel 2022, 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 significativi, l'evoluzione tipologica, le fasi di formazione e trasformazione, la consistenza materico-costruttiva.

Questi opifici fondati sulla bachicoltura, presentavano una varietà di tipi edilizi, si configuravano alcuni con retaggi rurali, altri con metodi tecnologicamente più moderni, distinti per diversi ambiti geografici. 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.

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. ICAR/20 - TECNICA E PIANIFICAZIONE URBANISTICA

LINEE DI RICERCA A.A. 2022-2023

Il Gruppo di Ricerca incardinato nel SSD ICAR/20 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. Analisi e predizione dell'uso del suolo tramite l'utilizzo di tecniche di intelligenza artificiale e analisi geo-spaziale dei dati;
2. Approccio multi-rischio per la resilienza dei sistemi urbani e territoriali;
3. Città compatte e vivibili. Metodi per la valutazione del giusto equilibrio tra densificazione e/o inverdimento dell'ambiente costruito;
4. Definizione di supporti innovativi per la conoscenza, la gestione e il monitoraggio dei contesti urbani, ambientali e territoriali;
5. I fattori urbanistici nella certificazione della sostenibilità alla scala urbana;
6. La resilienza urbana nella pianificazione di emergenza. Un *framework* di metodo per gli elementi urbani strategici;
7. La valorizzazione di aree dismesse. Definizione e validazione di smart urban districts;
8. Parametri di valutazione per la programmazione della qualità dell'abitare;
9. Polo per la democrazia locale e la rigenerazione urbana. Politiche di pianificazione e gestione partecipate nei processi di rigenerazione urbana
10. Sistemi territoriali integrati di polarità minori. Un modello smart land per la identificazione e rigenerazione di aree interne
11. Strategie e programmi di valorizzazione di processi di *governance* multilivello: *strumenti data-driven* e piani di azione.

Le linee di ricerca sono di seguito descritte.

1. ANALISI E PREDIZIONE DELL'USO DEL SUOLO TRAMITE L'UTILIZZO DI TECNICHE DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE E ANALISI GEO-SPAZIALE DEI DATI

I dati sullo stato di fatto dell'uso del suolo non sono comunemente aggiornati o facilmente reperibili. In generale, le trasformazioni urbane e territoriali vengono valutate attraverso l'utilizzo di mappe dell'uso del suolo. Una delle mappe più utilizzate è lo Urban Atlas, insieme a OpenStreetMap (OSM) e a mappe e geodatabase forniti da enti locali e pubbliche amministrazioni. Tali strumenti non sono sempre in grado di fornire informazioni aggiornate e dettagliate sui processi di trasformazione in atto.

Altri metodi si basano, invece, sull'interpretazione visiva di immagini aeree e di ortofoto. L'utilizzo di questi strumenti richiede numerose operazioni manuali con un impegno temporale e finanziario rilevante.

Questa ricerca vuole esplorare la possibilità di utilizzare nuove metodologie basate su tecniche di telerilevamento, algoritmi di intelligenza artificiale e di analisi geospaziale dei dati, che risultano essere molto utili per identificare in maniera puntuale le trasformazioni urbane e territoriali in atto e le loro tendenze spazio-temporali. Questi nuovi strumenti possono essere di supporto ai tecnici, urbanisti e ricercatori nel valutare in modo più dettagliato lo stato attuale dello sviluppo urbano e la sua evoluzione nello spazio e nel tempo.

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.

2. APPROCCIO MULTI-RISCHIO PER LA RESILIENZA DEI SISTEMI URBANI E TERRITORIALI

La nozione di transizione socio-ecologica pone l'accento sull'innovazione per realizzare un cambiamento socio-economico sul territorio nel rispetto dei criteri di sostenibilità ambientale. In Italia, l'importanza di questo tema è stata riconosciuta dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza. Esso risponde all'iniziativa nota come Next Generation EU, approvata dal Consiglio Europeo il 21 luglio 2020.

Fatti tali presupposti, la ricerca prevede il coinvolgimento delle diverse fonti informative disponibili e il recepimento di studi specialistici di settore per costruire il quadro complessivo dei rischi ambientali, naturali e antropici che insistono sul territorio, quindi identificare i relativi e possibili effetti mutui e pervenire alla valutazione del potenziale impatto da essi generato sul patrimonio materiale (naturale e antropico) e immateriale (sociale, culturale ed economico).

Alla luce degli effetti amplificativi indotti dai cambiamenti climatici, specifica attenzione è posta all'impatto dei fenomeni studiati su contesti vulnerabili quali le aree "marginali" (centri storici, aree dismesse e aree interne) al fine di migliorarne, nel breve e medio periodo, la capacità di adattamento e accrescerne, nel lungo periodo, la resilienza.

Obiettivo trasversale della ricerca è la creazione di innovativi Sistemi Informativi Territoriali interoperabili per facilitare la gestione delle informazioni e dei dati cartografici.

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 e di qualificazione delle città e dei territori, alla luce delle sfide poste dal cambiamento climatico e dalla transizione ecologica in atto, è emersa la necessità di definire nuovi metodi per la pianificazione 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. La metodologia analizza alcune tematiche ritenute rilevanti ai fini della realizzazione degli interventi di densificazione e di inverdimento, quali la vulnerabilità economica e sociale, la morfologia urbana, le aree verdi pubbliche e i trasporti e la mobilità. Per la definizione degli indicatori e della loro struttura è stata condotta una revisione della letteratura sulle metodologie esistenti per la misura delle *performance* dei sistemi urbani in relazione alle tematiche di analisi. Attraverso l'avvio della collaborazione con il Dipartimento di Architettura dell'Università di Bologna, la metodologia proposta è 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 decisionale (DSS) capace di indirizzare le scelte pianificatorie 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).

5. 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 multiscalari 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.

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. LA VALORIZZAZIONE DI AREE DISMESSE. DEFINIZIONE E VALIDAZIONE DI SMART URBAN DISTRICTS

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 dismessi 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 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 dismesse ad oggi non contemplate.

8. PARAMETRI DI VALUTAZIONE PER LA PROGRAMMAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ABITARE

Il Programma Innovativo Nazionale per la Qualità dell'Abitare (PINQuA), altresì finanziato dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), 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.

9. 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.

10. SISTEMI TERRITORIALI INTEGRATI DI POLARITÀ MINORI. UN MODELLO SMART LAND PER LA IDENTIFICAZIONE E RIGENERAZIONE DI AREE INTERNE

La ricerca in oggetto mira a definire un modello "smart land" utile a connettere, in ottica territoriale, polarità minori anche a vocazione rurale, integrando tutti gli aspetti della sfera urbana e dei servizi, per dar luogo a un sistema di sviluppo più forte. In particolare, il metodo proposto ha una struttura complessa e appartiene alla classe dei cosiddetti Multilevel Model, che consentono l'analisi di fenomeni con struttura informativa gerarchica in cui i dati si riferiscono a più livelli di osservazione e appartenenza. In particolare, i macro-livelli, che coincidono con le sei dimensioni fornite da Giffinger et al. (2007), sono le aree tematiche, declinate in fattori e variabili, che rappresentano i domini di analisi. I micro-livelli coincidono con gli indicatori, scelti sulla base dei requisiti stabiliti dall'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico: rilevanza, consistenza analitica e misurabilità. Il metodo è definito a partire dalle informazioni reperibili a scala comunale, con l'obiettivo di realizzare un confronto diretto tra i casi valutati per capire quale amministrazione ha operato meglio relativamente a un tema specifico e per desumere possibili "buone pratiche" da sperimentare nei contesti che hanno ottenuto prestazioni inferiori.

L'esperienza applicativa della ricerca è localizzata nei territori soggetti a "divario territoriale", ma non perimetrati dalla SNAI come aree interne, e riguarda prevalentemente Comuni caratterizzati da perifericità Intermedia, Comuni Cintura e Periferici. Gli elementi che hanno favorito il processo di marginalizzazione del territorio si riferiscono soprattutto alle componenti sociale ed economica, includendo fenomeni di spopolamento, disoccupazione e scarsa valorizzazione delle potenzialità locali. Si tratta di realtà socio-economiche locali depresse e non completamente autosufficienti che rischiano di rimanere isolate a meno che non si crei una rete di interessi a più ampio raggio di canali territoriali che possano produrre, attraverso l'utilizzo "smart" delle risorse presenti, nuovo profitto e quindi vantaggi in termini di sviluppo e lavoro.

Riconoscendo il crescente interesse, emerso in ambito scientifico e istituzionale, sull'opportunità di integrare la classica metodologia di misurazione dell'azione governativa con parametri di benessere e sostenibilità, tra gli altri il Benessere Equo e Sostenibile (BES) e i Sustainable Development Goals (SDGs) dell'Agenda 2030,

gli sviluppi futuri della ricerca potrebbero essere tesi a incrementare lo strumento proposto al fine, appunto, di mettere a sistema le performance degli enti finalizzandole verso il miglioramento dei livelli di benessere e sostenibilità coerentemente con gli altri “strumenti” suddetti. Si evidenzia, inoltre, la possibilità di veicolare quanto definito, con le dovute modifiche del caso, per la delineaazione o “valorizzazione” di dettaglio di uno strumento di “valutazione” innovativo come quello relativo al principio “Do Not Significant Harm” (DNSH), incrementando, allo stesso tempo, aspetti utili alla verifica anche della Valutazione Ambientale Strategica in contesti intermedi.

11. STRATEGIE E PROGRAMMI DI VALORIZZAZIONE DI PROCESSI DI GOVERNANCE MULTILIVELLO: STRUMENTI DATA-DRIVEN E PIANI DI AZIONE

La ricerca in oggetto mira a qualificare il modello di governance multilivello tra attori territoriali nelle politiche di competitività e innovazione, al fine di predisporre adeguati piani di azione mirati a specifiche tematiche.

I preliminari studi hanno riguardato lo studio dei seguenti strumenti regionali: il Documento di Indirizzo Strategico (DISR) per la Programmazione Comunitaria 2021-2027, che identifica le priorità di intervento della Regione Calabria all'interno della Politica di Coesione raccogliendo le istanze del partenariato socio-economico e istituzionale regionale dettando le basi per la costruzione del futuro Programma Operativo Regionale (POR) Calabria a valere sul Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR) e sul Fondo Sociale Europeo Plus (FSE+); la Strategia Regionale per lo Sviluppo Sostenibile (SRSvS) che recepisce e declina a livello territoriale locale la Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile 2017-2030 e gli obiettivi dell'Agenda 2030 dell'ONU; l'Agenda Urbana, che sul piano operativo vuole promuovere politiche urbane a sostegno dello sviluppo urbano sostenibile attraverso la costruzione e l'attuazione di azioni integrate di policy regionale, che già nell'ambito del POR Calabria 2014-2020 hanno voluto sostenere il risparmio energetico e l'utilizzo di fonti rinnovabili, contrastare il disagio e la povertà, espandere e migliorare i servizi sociali in aree marginali o per fasce fragili di cittadinanza; la Strategia Regionale per le Aree Interne (SRAI) Calabria che sostiene le aree significativamente distanti dai centri di offerta dei servizi, così come definite dalla Strategia Nazionale per le Aree Interne, tramite interventi che mirano al miglioramento dei servizi essenziali, allo sviluppo economico e alla valorizzazione del capitale territoriale inutilizzato per invertire le tendenze demografiche negative; la Strategia di Specializzazione Intelligente (S3) che, al fine di migliorare l'efficacia delle politiche pubbliche per la ricerca e l'innovazione e quindi il posizionamento competitivo della Regione Calabria nel contesto globale, ha individuato 8 aree di innovazione legate alla valorizzazione della base produttiva e al miglioramento della qualità della vita (agroalimentare, edilizia sostenibile, turismo e cultura, logistica, ICT e terziario innovativo, smart manufacturing, ambiente e rischi naturali, scienze della vita).