



Università della Calabria  
Dipartimento di Ingegneria Civile

# PIANO DELLA RICERCA

---

## 2019-2020

Rende, aprile 2020

## INTRODUZIONE

In questo rapporto viene presentato il piano delle ricerche del Dipartimento di Ingegneria Civile (DINCI) relativo agli anni 2019-2020. L'iniziativa rientra nelle attività programmate dal gruppo per l'Assicurazione Interna della Qualità della Ricerca del Dipartimento, che ho il piacere di coordinare.

Il documento è organizzato facendo riferimento ai diversi Settori Scientifico-Disciplinari (SSD) afferenti al DINCI, alla loro composizione in termini di personale docente, e ai temi di ricerca trattati nel suddetto periodo. Attualmente, i SSD afferenti al DINCI sono 11, tutti inclusi nelle Aree CUN 8a (Architettura) e 8b (Ingegneria Civile):

ICAR/01 (Idraulica)

ICAR/02 (Costruzioni Idrauliche e Marittime e Idrologia)

ICAR/04 (Strade, Ferrovie ed 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/20 (Tecnica Urbanistica).

Il numero complessivo dei docenti è 43, di cui 10 Professori di I Fascia, 15 Professori di II Fascia, 12 RTI, 1 RTDb e 5 RTDa.

Per ciascuna tematica sono descritte sinteticamente le principali linee di ricerca, specificando anche il progetto di ricerca nel cui ambito si inquadra la tematica. Dall'esame del documento emergono alcune peculiarità che vale la pena evidenziare. Pur riferendosi ad un periodo di tempo limitato, tutti i Gruppi, indipendentemente dalla loro numerosità, lavorano su più temi di ricerca, a dimostrazione della loro versatilità. Insieme ad argomenti più tradizionali dell'ingegneria civile ed edile, sono trattate alcune tematiche di più recente sviluppo, quali il comportamento meccanico di nuovi materiali ed il loro impiego anche ai fini del recupero del costruito, lo studio di sistemi innovativi per il risparmio energetico e delle risorse naturali, l'eco-compatibilità, l'informatizzazione del processo progettuale ed altri ancora. L'articolazione dei temi evidenzia, in diversi casi, il carattere multi-disciplinare delle ricerche, frutto dell'interazione con altri SSD non necessariamente appartenenti alla sfera dell'Ingegneria. Il panorama che ne risulta è quanto mai vario, articolato e ricco di prospettive. I contenuti sono, secondo me, molto interessanti e capaci di suscitare l'attenzione del lettore. L'auspicio è che il lavoro svolto possa favorire la conoscenza, sia all'esterno e sia all'interno del DINCI, delle ricerche intraprese dai vari Gruppi e contribuire al percorso di aggregazione e di crescita culturale del Dipartimento.

In chiusura, desidero ringraziare tutti i colleghi e le colleghe che, con il loro contributo, hanno reso possibile la stesura del documento.

Università della Calabria, aprile 2020

Enrico Conte  
Delegato alla Ricerca del DINCI

## S.S.D. ICAR/01-IDRAULICA

### LINEE DI RICERCA nel biennio 2019-2020

Il Gruppo di Ricerca afferente al SSD ICAR/01-Idraulica è così composto:

Giancarlo Alfonsi, Prof. Ordinario  
Roberto Gaudio, Prof. Ordinario  
Carmine Fallico, Prof. Associato  
Antonino D'Ippolito, RTI

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. Turbolenza in correnti a superficie libera;
2. Scavi localizzati;
3. Resistenze al moto dovute alla vegetazione negli alvei naturali;
4. Fenomeni di flusso e di trasporto di massa nei mezzi porosi eterogenei.

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.

##### **1.2. ANALISI DELLE CARATTERISTICHE DELLA TURBOLENZA IN ALVEI CON VEGETAZIONE RIGIDA 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 ricerca, che è ancora in fase di sviluppo, ha permesso di ricavare, in funzione della distribuzione della vegetazione, simulata utilizzando dei bastoncini di legno, i profili di velocità media e di sforzi tangenziali e di valutarne le differenze. Recentemente si sta analizzando il campo di moto medio e istantaneo utilizzando misure puntuali e ad alta frequenza ricavate con ADV.

##### **1.3. ANALISI DELLE CARATTERISTICHE DELLA TURBOLENZA IN ALVEI CON FONDO LAVORATO DALLA CORRENTE**

Negli alvei naturali la velocità della corrente gioca un ruolo significativo nella configurazione della topografia del fondo di un alveo. Infatti, superata la soglia della velocità critica, rispetto alla quale i sedimenti vengono mobilitati dalla corrente, si instaurano processi di erosione, trasporto e successivo deposito che modificano le strutture di rugosità presenti sul fondo, dando origine a un alveo con fondo lavorato dalla corrente (meglio noto come letto *water-worked*). Al contrario, negli studi sperimentali in laboratorio si utilizzano, generalmente, canali in cui il fondo viene preparato depositando casualmente i sedimenti, fino al raggiungimento dello spessore e della pendenza desiderata (meglio noto come letto *unworked*). Le due configurazioni descritte producono effetti notevolmente diversi sul campo di moto e ciò si ripercuote sulla corretta stima delle caratteristiche della turbolenza e, quindi, delle grandezze idrauliche.

La ricerca sperimentale, intrapresa nel 2016 e tuttora in corso, si basa su misure di velocità 2D mediante la tecnica PIV e, contestualmente, sulla caratterizzazione della topografia del fondo mediante Laser Scanner 3D e fotogrammetria, al fine di dimostrare come gli studi condotti su letti lavorati siano più rappresentativi delle reali condizioni di un letto naturale e come le caratteristiche della turbolenza siano sottostimate se analizzate in condizioni di letti non lavorati dalla corrente. 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 e la determinazione di grandezze fondamentali quali il tasso di dissipazione di energia cinetica turbolenta, delle funzioni di correlazione e delle statistiche di ordine superiore.

#### 1.4 ANALISI NUMERICA DEL FENOMENO DEL SALTO DI SCI

Gli scarichi di superficie delle dighe con presenza di salto di sci sono stati introdotti nella costruzione di dighe fin dagli anni '30 e per qualche tempo sono stati studiati con il metodo del moto a potenziale. In seguito, sono stati realizzati numerosi studi sperimentali, mentre gli studi numerici sono ancora all'inizio. Si sta realizzando un lavoro di simulazione numerica del comportamento idraulico di un modello semplificato dello scarico di superficie di una diga. Oggetto della simulazione è il complessivo funzionamento del sopracitato scarico di superficie, in condizioni di variabilità della portata e del livello di partenza. Le geometrie tridimensionali vengono modellate digitalmente con le tecniche del CAD. L'efflusso viene simulato numericamente con il metodo dei volumi finiti, e particolare attenzione è stata posta al fenomeno dello *ski jump* (salto di sci) ovvero il comportamento del getto d'acqua a valle della sezione terminale dello scarico per verificarne le caratteristiche, la traiettoria, e soprattutto l'impatto del getto nella zona di valle. Di particolare interesse è la determinazione della forza e della distribuzione delle pressioni (valori massimi) esercitate dal getto nella zona di impatto. 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  $\kappa\text{-}\omega$  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*).

## 2. SCAVI LOCALIZZATI

### 2.1. STIMA DELLA MASSIMA PROFONDITÀ DI SCAVO PRODOTTO DALLA CORRENTE ATTORNO A PILE E SPALLE DI PONTI

Come è noto, nei corsi d'acqua la presenza di strutture quali le pile o spalle dei ponti induce attorno alle opere la formazione di un complesso sistema vorticoso, che è causa di un fenomeno di escavazione localizzata in prossimità del fondo dell'alveo. Molti studi riguardanti il collasso di ponti hanno mostrato che lo scavo attorno alle pile e alle spalle è la principale causa del fenomeno di collasso o di un non corretto esercizio dell'opera strutturale. Recentemente, in letteratura, sono

stati sviluppati modelli per la stima della massima profondità dello scavo localizzato all'equilibrio attorno a pile e spalle di ponte. Nella ricerca in questione si è applicata la teoria fenomenologica della turbolenza per la determinazione di formule predittive che, a differenza di quelle semi-empiriche finora utilizzate, sono fisicamente basate.

Una prima parte della ricerca si è focalizzata sulla determinazione teorica, tarata su dati sperimentati ricavati dalla letteratura scientifica, di una formula predittiva per la stima della massima profondità di scavo all'equilibrio per il caso delle pile di ponte e in condizioni di acque prive di trasporto solido (*clear water condition*).

Una seconda parte ha riguardato la determinazione di una formula predittiva fisicamente basata per il caso delle spalle. Per la taratura di questa formula si è effettuata una campagna sperimentale in una canaletta presente nel Lab. GMI, utilizzando la tecnica fotogrammetrica per calcolare il volume e la massima profondità di scavo localizzato all'equilibrio.

## 2.2. ANALISI 3D DELLA FOSSA DI SCAVO E DEL CAMPO DI MOTO DI UNA CORRENTE FLUVIALE IN PRESENZA DI CILINDRI ORIZZONTALI

Un cilindro orizzontale posto trasversalmente rispetto a una corrente fluviale causa l'instaurarsi di un complesso sistema di vortici che, in presenza di un fondo mobile, determina fenomeni erosivi e la creazione di una fossa di scavo localizzata. Sebbene lo studio del campo di moto attorno a un cilindro sia un argomento largamente trattato nel campo della fluidodinamica, poche indagini sono state incentrate sull'analisi delle caratteristiche della turbolenza di una corrente in presenza di cilindri orizzontali su fondo eroso. Questo argomento è rilevante nel campo dell'idraulica, poiché si riscontra in molte applicazioni ingegneristiche, quali tubazioni sospese, posate o parzialmente interrato su un letto fluviale. L'erosione che si verifica attorno alle tubazioni, causa l'aumentare della distanza tra le tubazioni stesse e il fondo dell'alveo e, quindi, può comprometterne la stabilità. L'obiettivo della ricerca, intrapresa nel 2018 e attualmente in corso, è quello di analizzare la configurazione 3D della fossa di scavo mediante Laser Scanner 3D e fotogrammetria e, contestualmente, il campo di moto all'equilibrio mediante il sistema PIV. I test condotti hanno permesso di determinare le massime profondità di scavo raggiunte al variare dell'altezza del cilindro rispetto al fondo, nonché distribuzioni di velocità e di sforzi tangenziali mediati temporalmente.

## 2.3. ANALISI 3D DELLA FOSSA DI SCAVO INDOTTA DALLA ROTAZIONE DELL'ELICA DI UN NATANTE IN ASSENZA E IN PRESENZA DI UNA BANCHINA PORTUALE

Le attività di manovra delle navi all'interno di un bacino portuale possono essere estremamente pericolose per la sicurezza della navigazione, soprattutto in fase di avvicinamento e allontanamento dal porto stesso. Infatti, il movimento delle eliche di propulsione e manovra favorisce l'emergere di fenomeni di scavo localizzato del fondale marino al piede delle strutture portuali, compromettendone la stabilità. Inoltre, i sedimenti erosi dall'impatto tra il getto idrico indotto dalle eliche e il fondale vanno a creare una zona di deposito di sedimenti a ridosso della fossa stessa. Quest'ultima può anche rappresentare un ostacolo alle navi transitanti, facendole arenare per la riduzione del franco netto tra chiglia e fondale marino. Pertanto, l'entità dei fenomeni causati dal movimento delle eliche dei natanti è un aspetto da prendere in considerazione nella fase di progettazione, costruzione e utilizzo delle opere portuali.

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. I test sperimentali si basano sulla realizzazione di modelli 3D della fossa di scavo mediante Laser Scanner 3D e fotogrammetria, al fine di calcolare il volume dei sedimenti erosi e depositati e la geometria della fossa stessa (massima profondità e larghezza) e altezza del deposito all'equilibrio. I risultati sinora ottenuti sono stati utilizzati per la determinazione di formule predittive, grafici e un abaco per la stima di queste grandezze in funzione del tirante e del numero di

Froude.

### **3. RESISTENZE AL MOTO DOVUTE ALLA VEGETAZIONE NEGLI ALVEI NATURALI**

La vegetazione presente sulle sponde e nelle aree golenali dei corsi d'acqua ha un ruolo fondamentale da un punto di vista ecologico per le sue funzioni di *habitat* e di sorgente di biodiversità, oltre a svolgere un'importante funzione paesaggistica e ricreazionale. Da un punto di vista più strettamente ingegneristico la vegetazione interagisce con il moto stesso dell'acqua all'interno degli alvei, poiché essa fa aumentare la scabrezza, con conseguente riduzione della velocità dell'acqua, aumento dei tiranti idrici e riduzione della portata massima convogliabile; la vegetazione inoltre occupa una parte della sezione riducendone la porzione disponibile per il deflusso. Si distingue usualmente fra vegetazione flessibile e vegetazione rigida, intendendo per quest'ultima quella arborea fino a quando non viene interessata la chioma. A seconda del tirante idrico si parla poi di vegetazione emergente o sommersa.

È in corso una ricerca tesa ad individuare la resistenza al moto in presenza di vegetazione rigida emergente. L'analisi teorica del fenomeno evidenzia come essa sia legata al coefficiente di resistenza idrodinamico (*drag coefficient*). Sono state condotte un gran numero di prove sperimentali nel laboratorio GMI rappresentando la vegetazione mediante bastoncini di legno disposti su una maglia quadrata con un lato nella direzione della corrente, rilevando i profili della corrente e misurando direttamente, mediante una cella di carico, l'azione su un certo numero di essi. Ciò ha permesso di evidenziare come, nel campo dei valori investigati, il coefficiente di resistenza idrodinamico sia funzione della densità della vegetazione mentre è trascurabile la sua dipendenza dal numero di Reynolds.

È stata condotta anche la simulazione numerica di una prova mediante un modello RANS nel quale la vegetazione è stata esplicitamente rappresentata. I risultati ottenuti, con riferimento soprattutto ai tiranti idrici, mostrano come questa tipologia di modelli numerici sia in grado di rappresentare correttamente il fenomeno investigato.

Nel prosieguo della ricerca si intende ampliare il campo dei numeri di Reynolds e delle densità, in modo da dare una rappresentazione più compiuta del fenomeno.

### **4. FENOMENI DI FLUSSO E DI TRASPORTO DI MASSA NEI MEZZI POROSI ETEROGENEI**

#### **4.1 LA CONDUCIBILITÀ IDRAULICA NEI MEZZI POROSI ETEROGENEI**

L'approccio classico allo studio dei fenomeni di flusso e di trasporto di contaminanti nelle acque sotterranee si basa sull'ipotesi che i parametri caratteristici dell'acquifero restino costanti in tutto il dominio (mezzo poroso omogeneo). Tuttavia, tale assunzione non si riscontra nei casi reali, in cui i suddetti parametri risultano generalmente e sensibilmente variabili nello spazio, come verificato da molti studi sperimentali.

Infatti, è noto che i fenomeni di flusso e trasporto di contaminanti nelle acque sotterranee sono fortemente influenzati dall'eterogeneità dell'acquifero. Generalmente, le variabili di flusso (e trasporto) e le proprietà della formazione sede dell'acquifero, come la conducibilità effettiva  $K_{eff}$ , possono essere considerate funzioni spaziali casuali (RSF) e opportunamente utilizzate nelle equazioni che stanno alla base dei modelli stocastici descrittivi dei fenomeni in esame. Inoltre, molti studiosi hanno indagato circa i problemi associati al flusso radial convergente, che si instaura nell'acquifero nel caso di emungimento, come pure sulla possibilità di individuare l'acquifero omogeneo che presenti un valore di conducibilità idraulica equivalente ( $K_{eq}$ ) pari al  $K_{eff}$  della formazione eterogenea in esame, pur essendo quest'ultima una proprietà del mezzo, mentre  $K_{eq}$  non può essere considerata tale. Con riferimento ai valori medi del gradiente idraulico e dei parametri caratterizzanti il flusso, di grande interesse sono pure gli studi sulla conducibilità idraulica apparente ( $K_{app}$ ), che, però, dipende da parametri di difficile determinazione.

In tale contesto, una delle finalità della presente linea di ricerca consiste nel verificare il rapporto esistente tra i valori di  $K_{eff}$ , determinata sperimentalmente su un acquifero eterogeneo riprodotto in

laboratorio, e i valori di  $K_{eq}$  e di  $K_{app}$  opportunamente ricavati per lo stesso acquifero freatico artificiale. La ricerca prevede anche un'analisi statistica dei valori di conducibilità idraulica ottenuti con le modalità considerate, operando un opportuno confronto tra i principali parametri statistici corrispondenti.

#### 4.2 L'ANISOTROPIA DIREZIONALE IN UN MEZZO POROSO SATURO ETEROGENEO

In un mezzo poroso fortemente eterogeneo, sede di un acquifero freatico, i parametri idrodinamici caratteristici, come ad esempio la conducibilità idraulica, al contrario di quanto si riscontra nei mezzi porosi omogenei, variano sensibilmente al suo interno. Effettuando, mediante idonei test di campo, una serie di misure di tali parametri, ad esempio della conducibilità idraulica ( $K$ ), in numerosi punti di un acquifero eterogeneo appositamente realizzato in laboratorio, in cui sono ubicati appositi pozzi e piezometri, è possibile effettuare nelle varie direzioni un'accurata analisi di scaling, determinando le corrispondenti leggi di variazione di  $K$  con la scala. In tal modo è possibile ottenere una distribuzione di  $K$  per tutto l'acquifero preso in considerazione. Inoltre, disponendo dei valori di  $K$  misurati in determinati punti dell'acquifero, è possibile effettuare un'indagine geostatistica che consenta di ottenere un'analoga distribuzione del parametro in esame. Di grande interesse è il confronto tra le distribuzioni del parametro in esame ottenute con le due suddette metodologie.

Analoga sperimentazione è prevista, nell'ambito della linea di ricerca di cui trattasi, per i parametri che descrivono il trasporto di massa nel mezzo eterogeneo, come, ad esempio, la dispersività o il coefficiente di dispersione. In tal caso, relativamente a opportune serie di test con traccianti effettuati sul modello di acquifero eterogeneo artificiale considerato, grande interesse hanno le diverse curve di restituzione ricavabili in corrispondenza dei vari pozzi di osservazione, e il confronto con quelle ottenibili nel caso di mezzo poroso omogeneo. Inoltre, i risultati relativi alla sperimentazione prevista dovrebbero consentire un ulteriore affinamento teorico circa la validità delle relazioni descrittive del flusso e del trasporto comunemente utilizzate nel caso di condizioni radiali convergenti all'interno di un mezzo eterogeneo.

#### 4.3 REALIZZAZIONE IN LABORATORIO DI UN MODELLO FISICO RIPRODUCENTE UN ACQUIFERO FREATICO ETEROGENEO

La presente linea di ricerca è basata sull'attività sperimentale che, per ovvi motivi di ordine pratico, economico e semplificativo, ha richiesto la realizzazione di un acquifero (freatico o confinato), fortemente eterogeneo, realizzato in laboratorio. A tal fine si è realizzato tale acquifero in un cassone metallico, con accorgimenti idonei a garantire il mantenimento delle condizioni iniziali e al contorno dei metodi di elaborazione dei dati di carico idraulico ricavati durante i vari test. All'interno dell'acquifero artificiale sono stati realizzati un pozzo di pompaggio centrale e numerosi pozzi di osservazione (piezometri) a distanze diverse dal pozzo centrale, disposti rispetto a questo secondo varie direzioni radiali e fino agli estremi dell'acquifero, in modo da poter verificare il rispetto delle condizioni al contorno di volta in volta imposte. Tali pozzi sono tutti a completa penetrazione e tali da consentire l'immissione in essi di pompe e di sonde per l'acquisizione in continuo dei parametri di volta in volta richiesti. L'ammasso poroso costituente l'acquifero è stato realizzato utilizzando 12 diversi tipi di terreno, ciascuno costituito da miscele con percentuali diverse di ghiaia grossa, ghiaia fine, sabbia e limo. Tale ammasso è costituito da 7 strati, ciascuno costituito da diverse centinaia di piccole celle, ognuna contenente un tipo di terreno diverso tra i 12 suddetti. Ciascuna celletta ha forma parallelepipedica, con base quadrata e altezza pari a metà del lato di base. Inoltre, per ciascuno strato, la disposizione delle singole celle è stata assunta in maniera random, con l'utilizzo di un apposito software. Il mezzo poroso risultante, costituito complessivamente da alcune migliaia di celle, può essere considerato fortemente eterogeneo e idoneo all'attività di ricerca sperimentale citata.

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

### **LINEE DI RICERCA nel biennio 2019-2020**

Il Gruppo di Ricerca afferente al SSD ICAR/02 è così composto:

Paolo Veltri, Prof. Ordinario  
Patrizia Piro, Prof. Ordinario  
Francesco Aristodemo, Prof. Associato  
Attilio Fiorini Morosini, RTI  
Aldo Pedro Ferrante, RTI  
Ferdinando Frega, RTI  
Domenico Ferraro, RTDa

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. analisi delle reti idriche: gli approcci DDA e PDA e la calibrazione
2. funzionamento delle reti in emergenza
3. posizionamento ottimale delle valvole in una rete idrica
4. monitoraggio quali-quantitativo dei sistemi a basso impatto ambientale (LID)
5. modellazione del flusso idrico nei mezzi porosi variabilmente saturi
6. controllo e monitoraggio in Real Time delle reti di drenaggio
7. interazione fra onde solitarie e strutture marittime
8. analisi di trend di moto ondoso con metodi statistici
9. analisi delle pressioni dinamiche all'interno di una diga marittima

Le principali linee di ricerca sono di seguito descritte.

#### **1. ANALISI DELLE RETI IDRICHE: GLI APPROCCI DDA E PDA E LA CALIBRAZIONE**

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.

#### **2. 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.

### **3. 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.

### **4. MONITORAGGIO QUALI-QUANTITATIVO DEI SISTEMI A BASSO IMPATTO AMBIENTALE (LID)**

I sistemi a basso impatto ambientale, noti in letteratura sotto diversi acronimi (BMP, SUDS, LID), sono tecniche assai diffuse per la gestione delle acque meteoriche in area urbana. Nonostante ciò, la loro diffusione nell'ambiente mediterraneo è limitata. Da 7 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 ed un filtro per l'acqua piovana. La ricerca, intrapresa nel 2019, 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. In particolare, sono stati valutati gli effetti idrologici delle coperture a verde in termine di riduzione delle portate di picco e dei volumi di piena. Per quanto riguarda gli aspetti qualitativi, sono state analizzate le isoterme di adsorbimento dei materiali che compongono una pavimentazione permeabile "tipo" rispetto a miscele contenenti inquinanti inorganici (metalli). Ciò ha portato a stabilire il potenziale abbattimento del carico inquinante di questi sistemi rispetto ai contaminanti esaminati. Altresì sono state monitorate le installazioni sperimentali a scala reale (afflussi-deflussi). Nel 2020 si propone di effettuare nuove campagne sperimentali implementando altri sistemi quali i Green Walls (pareti verdi) e valutarne gli effetti quali-quantitativi.

### **5. MODELLAZIONE DEL FLUSSO IDRICO NEI MEZZI POROSI VARIABILMENTE SATURI**

Un fattore limitante alla diffusione dei citati sistemi LID 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 Richard per flusso variabilmente saturo, per simulare il comportamento idraulico di tali tecnologie.

La ricerca intrapresa nel 2019 ha visto, quindi, l'utilizzo di un noto modello idraulico, HYDRUS 2D/3D (sviluppato all'Università di Riverside CA-USA dal Professor Jiri Simunek con il quale si è intrapresa una stretta collaborazione scientifica) per la modellazione del flusso idrico all'interno dei sistemi LID. A ciò si è aggiunta una rigorosa attività di laboratorio atta a determinare, mediante strumentazioni e indagini dedicate, le proprietà dei materiali componenti le stratigrafie delle tecnologie oggetto di indagine. Ciò ha portato ad elaborare modelli idraulici accurati atti a simulare il comportamento idraulico dei sistemi LID.

Nel 2020 si propone di elaborare indagini sperimentali e modelli di trasporto di diversi inquinanti (metalli, idrocarburi, nutrienti) attraverso gli strati dei sistemi LID al fine di valutarne, eventualmente, il dilavamento verso i corpi idrici ricettori.

## **6. 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. Tale attività nel 2019 ha visto la "messa a punto" dell'architettura informatica e idraulica al fine di implementare, nel 2020, un'interfaccia web che sulla base di dati in input, richiesti da un comune modello per la simulazione del comportamento idrologico/idraulico dei sistemi di drenaggio, quale l'EPA-SWMM, sia in grado di ricreare il modello della rete in ambiente SWMM, individuare le criticità e fornire all'utente possibili soluzioni. Fatto ciò, si potrà procedere con l'implementazione di vere e proprie reti cognitive, che, in continuità con la ricerca sviluppata in precedenza sulle reti nodali, siano in grado di fornire un preavviso all'utente in termini di "early warning" e/o, inoltre, in grado di autoregolare il proprio comportamento in funzione di dati di previsione futura (forecasting).

## **7. INTERAZIONE FRA ONDE SOLITARIE E STRUTTURE MARITTIME**

Un filone di ricerca riguarda la modellazione sperimentale e numerica delle forze idrodinamiche orizzontali e verticali indotte da onde solitarie su cilindri a giacitura orizzontale posati sul fondo del mare e nei suoi pressi, e su una barriera sommersa rigida a sezione quadrata. La campagna sperimentale è condotta presso il canale ondogeno del laboratorio Grandi Modelli Idraulici (GMI) del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università della Calabria in cui 12 trasduttori di pressione sono montati sulla superficie esterna di un cilindro o di una barriera al fine di calcolare le forze idrodinamiche agenti su di esso. Il modello fisico del cilindro è posizionato sul fondo del canale e a 2 differenti distanze da esso, mentre la barriera è fissata sul fondo. La modellazione numerica è effettuata con il modello open source OlaFlow, basato sul solutore OpenFOAM, e con la tecnica lagrangiana  $\delta$ -LES-SPH, in cui le equazioni base sono state scritte considerando un modello di chiusura turbolenta, al fine di simulare le forze d'onda ed estendendo il range dei esperimenti di laboratorio. Il range sperimentale osservato è stato caratterizzato dalla prevalenza della componente di inerzia per la forza idrodinamica orizzontale e della componente di lift per la forza idrodinamica verticale. Attraverso il metodo dei minimi quadrati pesato, i valori delle forze idrodinamiche e il campo dei cinematismi in corrispondenza delle strutture sono adottati per la calibrazione dei coefficienti idrodinamici (drag, lift e inerzia orizzontale e verticale) presenti nella formula di Morison e in una nuova formulazione dell'equazione trasversale. Inoltre, un modello semi-analitico, capace di riprodurre l'andamento temporale delle forze orizzontali, è stato calibrato attraverso i dati sperimentali e numerici ai fini della determinazione del fattore di rallentamento. Per scopi

ingegneristici, sono proposte delle relazioni semi-analitiche per determinare i coefficienti idrodinamici in funzione dell'ampiezza dell'onda solitaria e della profondità del mare, ed è posta attenzione alla determinazione delle condizioni critiche della barriera nei confronti del suo scorrimento orizzontale. Futuri esperimenti saranno condotti con una barriera sommersa rigida a sezione rettangolare per il calcolo delle forze idrodinamiche indotte da un'onda solitaria.

## **8. ANALISI DI TREND DI MOTO ONDOSO CON METODI STATISTICI**

Il presente filone di ricerca riguarda un'analisi finalizzata all'identificazione di trend di moto ondoso al largo delle coste calabresi attraverso due parametri sintetici legati agli stati di mare, l'altezza d'onda significativa e il periodo energetico. A livello di dati di moto ondoso, è stata considerata una serie storica lunga 40 anni dedotta dal modello atmosferico dello European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Re-Analysis Interim (ERA-Interim). Come primo passo della ricerca, i dati di moto ondoso sono processati attraverso una procedura di filtraggio al fine di verificarne la loro qualità. Successivamente, i dati sono soggetti ad un metodo di trasposizione geografica al fine di essere trasferiti alla profondità rappresentativa di 100 m. Infine, analisi di trend sono effettuate attraverso il test non parametrico di Mann-Kendall e la tecnica grafica Innovative Trend Analysis (ITA) che permette di identificare trend nei diversi valori di una serie storica. A scala annua e stagionale, i risultati dedotti dal test di Mann-Kendall hanno principalmente evidenziato un lieve o nullo aumento dell'altezza d'onda significativa e un rilevante aumento del periodo energetico, influenzante l'entità del flusso di energia attraverso l'occorrenza di onde più lunghe. Inoltre, il metodo ITA ha messo in luce un generale aumento dei valori più alti dei parametri ondosi coinvolti. Per l'area di studio al largo delle coste calabresi, i suddetti aspetti hanno un significativo impatto sull'arretramento delle spiagge e su future installazioni di convertitori di energia ondosa (Wave Energy Converters, WEC) per la produzione di energia elettrica. Tali tipi di analisi si stanno attualmente estendendo al largo delle coste italiane e a tutto il bacino del mar Mediterraneo, includendo nella stima dei trend anche il flusso di energia degli stati di mare presi in esame.

## **9. ANALISI DELLE PRESSIONI DINAMICHE ALL'INTERNO DI UNA DIGA MARITTIMA**

Il presente filone di ricerca riguarda la stabilità idraulica di una nuova tipologia di massi per le mantellate di dighe marittime. In particolare, i risultati fanno riferimento ad una campagna sperimentale di laboratorio effettuata presso il canale ondogeno del Laboratorio Grandi Modelli Idraulici (GMI) dell'Università della Calabria riguardo la riproduzione in scala ridotta (scala di Froude 1:40) di una nuova diga marittima con massi di mantellata di nuova concezione (Ecosmart) e riproducenti la nuova diga foranea a difesa del porto di Otranto. Gli esperimenti sono effettuati con onde regolari e irregolari, con lo scopo di determinare le pressioni dinamiche interne alla diga (negli strati filtro e nel nucleo) ai fini della verifica delle prestazioni di formulazioni semi-empiriche. In questo contesto, una nuova formula empirica viene proposta al fine di stimare la massima pressione dinamica all'interfaccia fra nucleo e strato filtro della diga frangiflutto. Tale formulazione, oltre che coi dati di laboratorio del suddetto esperimento, è verificata anche con esperimenti in larga scala e con dati di campo.

## **S.S.D. ICAR/04 – STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI**

### **LINEE DI RICERCA nel biennio 2019-2020**

Il Gruppo di Ricerca afferente al SSD ICAR/04 è così composto:

Rosolino Vaiana, RTI

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. Eco-sostenibilità dei materiali della sovrastruttura stradale
2. Caratterizzazione prestazionale delle performance del piano di rotolamento stradale
3. Progettazione stradale geometrico-funzionale attraverso l'uso della microsimulazione del traffico
4. Sicurezza stradale: Road Accident Analysis ed infrastruttura stradale

Le principali linee di ricerca sono di seguito descritte.

#### **1. ECO-SOSTENIBILITÀ DEI MATERIALI DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE**

Nel complesso delle azioni rivolte alla costruzione, gestione e manutenzione delle infrastrutture viarie risultano, sovente, avanzate due istanze contrapposte: l'innalzamento dei livelli di performance attesi in opposizione a budget ed investimenti che sono di frequente limitati.

Unitamente a questo quadro, risulta assolutamente strategica e di primaria importanza l'Agenda 2030 dell'ONU con i 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) che pone l'accento, tra gli altri, sul tema della resilienza, resistenza e sostenibilità delle infrastrutture in genere (di trasporto, industriali, energetiche etc).

In particolare la sostenibilità delle infrastrutture di trasporto, e specificatamente 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 è *ri-visto* 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.); 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).

La presente linea di ricerca trova coerenza con:

- i) 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);
- ii) quanto previsto dalle attività relative all'Accordo Quadro con lo spin-off accademico "KIMICAL srl" dell'Università della Calabria.

## **2. CARATTERIZZAZIONE PRESTAZIONALE DELLE PERFORMANCE DEL PIANO DI ROTOLAMENTO STRADALE**

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

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

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.

## **3. PROGETTAZIONE GEOMETRICO-FUNZIONALE ATTRAVERSO LA MICROSIMULAZIONE DEL TRAFFICO**

L'uso di tecniche di simulazione del traffico stradale trova oggi ampia diffusione in quanto tali procedure di analisi consentono un approccio di tipo predittivo e “dinamico” al problema della stima di prestazioni offerte dal sistema di trasporto che di volta in volta è oggetto di studio (es. verifica di interventi di adeguamento infrastrutturale, di gestione del traffico etc.).

In particolare, per stimare le performance offerte da un tratto di una rete stradale o da un nodo (intersezione stradale), qualunque sia la sua soluzione geometrico-funzionale adottata, accanto ai tradizionali metodi statistici e semi-probabilistici, trovano oggi applicazione sia nella sfera professionale che in ambito scientifico, molteplici modelli analitici di micro-simulazione, presenti sul mercato sotto forma di software (SIDRA, CORSIM, VISSIM, PARAMICS etc).

Tali strumenti, per vantare qualità di efficacia ed affidabilità, necessitano di un attento processo di calibrazione dei parametri di input. È però opportuno sottolineare come, accanto alla enorme diffusione sul mercato di strumenti di simulazione, non si sia registrata una altrettanto estesa diffusione di adeguate e consolidate metodiche di validazione e calibrazione di tali modelli. Il problema dell'affidabilità dei risultati forniti dall'applicazione di strumenti di simulazione nel dimensionamento funzionale di una intersezione come di una rete stradale, pone l'accento sulla necessità di conoscere quali e quanti parametri di input risultano “pesare” maggiormente nel governo degli output di micro-simulazione al fine di minimizzazione le differenze tra gli output del sistema reale e quelli del modello (Funzione obiettivo).

La ricerca di ricerca mira a fornire approcci metodologici sull'uso di software di microsimulazione del traffico (VISSIM in primis) per la progettazione e/o adeguamento geometrico-funzionale di infrastrutture stradali con particolare riferimento al complesso processo di calibrazione.

## **4. SICUREZZA STRADALE: ROAD ACCIDENT ANALYSIS ED INFRASTRUTTURA STRADALE**

L'evento incidentale trova origine nella *errata interazione* tra i diversi componenti del complesso sistema uomo-veicolo-strada-ambiente. Gli studi statistici dei dati di incidentalità (Road Accident Analysis) attribuiscono al fattore-uomo la causa più ricorrente dei sinistri, di conseguenza, è l'utente della strada, anello centrale della catena di sicurezza, che destabilizza il sistema con una distorta "decodifica" delle condizioni al contorno nel quale si muove (strada-ambiente) ed una eventuale poco attenta efficienza del veicolo. In questo contesto, l'infrastruttura stradale riveste un ruolo certamente rilevante: i difetti e le carenze eventualmente presenti possono essere causa e/o concausa dell'innescarsi di eventi incidentali. Le strade esistenti sono generalmente caratterizzate da numerosi fattori di pericolo, per difetti di progettazione, per la presenza di elementi in esercizio non conformi alle più recenti norme in materia di sicurezza o per politiche di manutenzione poco efficaci. Le analisi di sicurezza (sia in fase di progetto che di ispezione delle strade esistenti) rappresentano un efficiente strumento a carattere preventivo, per l'individuazione delle carenze dell'infrastruttura e delle situazioni potenzialmente generatrici di incidenti. 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 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali.

In oltre, le direttrici strategiche e programmatiche della Commissione Europea ("Libro Bianco sulla politiche dei trasporti" per il periodo 2010-2020), hanno sottolineato come la riduzione del numero di vittime di incidenti stradali sia considerata un aspetto chiave per il miglioramento delle prestazioni dell'intero sistema di trasporto e rispondere ad attese e necessità dei cittadini.

La linea di ricerca mira allo studio sistematico di nessi correlativi tra carenze infrastrutturali e eventi incidentali sia in termini di numerosità che di magnitudo (Morti e Feriti).

## **S.S.D. ICAR/05 – TRASPORTI**

### **LINEE DI RICERCA nel biennio 2019-2020**

Il Gruppo di Ricerca afferente al SSD ICAR/05 è così composto:

Demetrio Carmine Festa, Prof. Ordinario  
Vittorio Astarita, Prof. Associato  
Laura Eboli, Prof. Associato  
Giuseppe Guido, Prof. Associato  
Gabriella Mazzulla, Prof. Associato  
Carmen Forciniti, RTDa

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. qualità dei servizi di trasporto
2. sicurezza stradale
3. nuove tecnologie e trasporti intelligenti (ITS)
4. mobilità pedonale e ciclabile
5. accessibilità e sostenibilità dei percorsi turistici

Le principali linee di ricerca sono di seguito descritte.

#### **1. QUALITA' DEI SERVIZI DI TRASPORTO**

##### **1.1. ANALISI DELLA QUALITA' 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, nel biennio 2019-2020 rivolta 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) si sta attualmente indagando sulla 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.

## 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 2019-2020 la ricerca è indirizzata ad indagare e sviluppare 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 attualmente a 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, e contestualmente si stanno avviando 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. Nel corso del 2020 si vuole indagare 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.

## 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.

Nel biennio 2019-2020 la ricerca è maggiormente orientata alla analisi statistica dei dati relativi agli incidenti avvenuti in Italia negli ultimi anni, al fine di capire come intervengono le diverse caratteristiche dell’incidente (e.g. caratteristiche della strada, ambiente esterno, caratteristiche del conducente, e del veicolo) e le circostanze che conducono al verificarsi dell’incidente (e.g. guida distratta, eccesso di velocità).

In particolare, sono state sviluppate, e sono tuttora in corso di sviluppo, 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 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.

Attualmente, sono allo studio modelli previsionali di incidenti stradali basati su metodi Bayesiani Empirici (EB) e Modelli Lineari Generalizzati (GLM).

## 2.3. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRADALE TRAMITE SIMULAZIONE

Nel biennio 2019-2020 un particolare filone di ricerca sulla sicurezza stradale è 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 (Social Network etc.).

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 2020 saranno implementati 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.

#### **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. 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.

Nel corso del 2020 si proporranno 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 concentrerà sulla progettazione di percorsi che possano offrire agli utenti i livelli di qualità desiderati.

#### **5. ACCESSIBILITA' E SOSTENIBILITA' DEI PERCORSI TURISTICI**

Nel 2019 è stato avviato anche un programma di ricerca che si colloca nell'ambito tematico Turismo e Cultura della Strategia Regionale per l'innovazione e la specializzazione intelligente (S3), a seguito del finanziamento di un RTDA di durata triennale.

Il progetto è finalizzato allo sviluppo di nuovi modelli e tecnologie per la promozione e gestione delle risorse culturali e naturali a supporto del turismo accessibile e sostenibile. La ricerca avviata è orientata a favorire l'integrazione funzionale tra il sistema turistico-culturale e il settore dei trasporti e della mobilità tra le principali direttrici strategiche volte all'incremento della qualità e dell'innovazione del sistema culturale e turistico nel suo complesso. Nel 2020 la ricerca sarà orientata allo studio di infrastrutture e servizi di trasporto innovativi e sostenibili volti a migliorare l'accessibilità ai siti turistici della regione Calabria.

## **S.S.D. ICAR/07 – GEOTECNICA**

### **LINEE DI RICERCA nel biennio 2019-2020**

Il Gruppo di Ricerca afferente al SSD ICAR/07 è così composto:

Ernesto Ausilio, Prof. Associato  
Enrico Conte, Prof. Associato  
Antonello Troncone, Prof. Associato  
Roberto Cairo, RTI

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. moto sismico di progetto
2. risposta sismica di opere geotecniche e di ritenuta idraulica
3. comportamento di opere geotecniche termo-attive
4. analisi di frane nelle fasi di rottura, post-rottura e riattivazione

Le principali linee di ricerca sono di seguito descritte.

#### **1. MOTO SISMICO DI PROGETTO**

##### **1.1. ANALISI PROBABILISTICHE DI PERICOLOSITÀ SISMICA MEDIANTE APPROCCI SITO SPECIFICI.**

La determinazione della pericolosità sismica di un sito (e quindi anche la risposta sismica di una determinata opera) è affetta da notevole incertezza, poiché il terremoto è un fenomeno fortemente aleatorio. La procedura generalmente utilizzata per analisi ingegneristiche è la cosiddetta Analisi Probabilistica della Pericolosità Sismica (PSHA). La PSHA è caratterizzata da quattro differenti fasi: la caratterizzazione delle sorgenti sismogenetiche, l'uso di relazioni di ricorrenza storiche, la definizione di leggi di attenuazione (Ground Motion Model, GMM) e la stima di curve di pericolosità. Le GMM, in particolare, permettono di ricavare il valore di intensità sismica attesa (e.g. il valore massimo dell'accelerazione a piano campagna, PGA) in funzione della magnitudo, dei meccanismi di rottura, della distanza sito-sorgente e da parametri che descrivono gli effetti locali di sito. La ricerca, intrapresa nel 2019, mira a quantificare gli effetti di sito e le relative incertezze intrinseche, al fine di definire leggi GMM che tengano conto dei suddetti effetti. Verranno inoltre analizzate le differenze tra la PSHA classica e quella sito-specifica.

##### **1.2. 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).

Esistono in letteratura metodologie che tengono conto unicamente dei primi due effetti. La principale finalità della ricerca è lo sviluppo di un approccio completo in cui siano inclusi anche gli effetti di sito, con particolare riferimento a quelli topografici.

Lo studio è condotto nell'ambito del progetto di ricerca RELUIS finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile Nazionale.

## **2. RISPOSTA SISMICA DI OPERE GEOTECNICHE E DI RITENUTA IDRAULICA**

### **2.1. INTERAZIONE TERRENO-PALO DI FONDAZIONE SOTTO AZIONI SISMICHE**

La valutazione della risposta delle strutture in presenza di carichi sismici comporta la risoluzione di un complesso problema di interazione tra la struttura stessa e il terreno circostante. Nel caso di fondazioni su pali, tale interazione si complica ulteriormente essendo i pali completamente immersi nel terreno.

Nel 2019, la ricerca su tale tema ha riguardato:

a) lo sviluppo di un modello matematico per l'analisi dinamica dei gruppi di pali nei terreni orizzontalmente stratificati e sottoposti a carichi dinamici in testa, oppure sollecitati dal passaggio delle onde sismiche nel terreno;

b) l'esecuzione di prove in centrifuga su modelli di pali di fondazione presso il laboratorio Schofield Centre dell'Università di Cambridge (UK).

Nel 2020, si propone di elaborare, sulla base delle analisi svolte e dei dati sperimentali acquisiti, specifiche indicazioni, anche ai fini normativi, sull'effetto gruppo nei pali di fondazione e sull'influenza di questi ultimi sulla risposta sismica della sovrastruttura.

Lo studio è condotto nell'ambito del progetto di ricerca internazionale SERA-TA Project # 25 (EUCENTRE).

### **2.2. RISPOSTA SISMICA DI DIGHE IN TERRA MEDIANTE L'USO DI MODELLI COSTITUTIVI AVANZATI**

La maggior parte delle dighe in terra italiane può considerarsi entrata nella cosiddetta "vecchiaia" essendo in esercizio da decenni. La valutazione della sicurezza di tali dighe (soprattutto in condizioni sismiche) riveste notevole importanza a causa degli effetti dovuti al decadimento nel tempo delle proprietà geotecniche dei materiali costituenti il corpo diga. Inoltre, la maggior parte delle dighe in terra sono state progettate sulla base di normative che tenevano conto degli effetti sismici in maniera alquanto semplificata. Di conseguenza, la Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche ha recentemente emesso nuove raccomandazioni e richiesto la rivalutazione sismica di tutte le dighe in terra costruite in Italia.

La presente ricerca ha per oggetto la caratterizzazione fisico-meccanica dei materiali costituenti alcune dighe esistenti, mediante l'esecuzione di prove in situ ed in laboratorio, e l'analisi della risposta sismica di tali opere per mezzo di modelli costitutivi avanzati, in grado di descrivere adeguatamente il comportamento ciclico e non lineare dei terreni interessati.

### **2.3. ANALISI DINAMICHE NON LINEARI PER LA COSTRUZIONE DI FUNZIONI DI FRAGILITÀ DELLE DIGHE IN TERRA**

L'analisi del comportamento sismico di dighe in terra viene comunemente eseguita utilizzando approcci di tipo disaccoppiato. Questo tipo di analisi combina la scelta dell'azione sismica, effettuata utilizzando analisi probabilistiche (non sito-specifiche) della pericolosità sismica, con una valutazione deterministica del comportamento dell'opera. I risultati che ne derivano sono solitamente forniti in termini di spostamenti permanenti relativi ad uno o più input sismici. Nonostante siffatta metodologia segua i criteri degli stati limite, i risultati che si ottengono non permettono una corretta valutazione del rischio sismico dell'opera e non forniscono informazioni circa le incertezze introdotte nell'analisi. Per ovviare a tali limitazioni, è necessario effettuare studi

che siano totalmente probabilistici, con riferimento ad ognuna delle componenti dell'analisi (scelta dell'input e risposta dell'opera). Questo obiettivo può essere raggiunto utilizzando approcci che permettano di derivare per via analitica le cosiddette funzioni di fragilità. Siffatte funzioni forniscono, per un assegnato livello di intensità sismica, la probabilità che la struttura raggiunga (o superi) un determinato stato limite.

Nel 2020, la ricerca riguarderà in particolare la costruzione di funzioni di fragilità appositamente per dighe in terra, basate sui risultati di analisi dinamiche non lineari.

### **3. COMPORTAMENTO DI OPERE GEOTECNICHE TERMO-ATTIVE**

Negli ultimi anni, l'utilizzo delle opere interrato come scambiatori termici con il terreno (quali pali di fondazione, opere di sostegno, gallerie etc.) ha fatto registrare un notevole impulso, grazie anche al bassissimo impatto ambientale che siffatti sistemi comportano. Ad esempio, i cosiddetti pali geotermici (energy piles) sono stati impiegati con successo per rendere interi edifici totalmente auto-sufficienti dal punto di vista termico. Considerare il terreno come un "serbatoio", dal quale assorbire calore nei periodi freddi ed al quale cedere calore nei periodi caldi, rende prioritaria l'esigenza di comprendere in maniera rigorosa il suo comportamento e quello delle strutture con esso interagenti, sia dal punto di vista termico che meccanico. Ciò costituisce l'oggetto della presente ricerca. In particolare, lo studio ha come obiettivo lo sviluppo e la successiva validazione di modelli numerici avanzati per la previsione del comportamento termo-meccanico del complesso terreno-struttura, con la finalità di individuare le soluzioni più convenienti (palo singolo, pali in gruppo, diaframmi) per migliorare l'efficienza energetica degli edifici. È prevista inoltre l'elaborazione di metodologie di analisi meno sofisticate dal punto di vista del calcolo, ma che si prestano ad essere più direttamente utilizzate nella progettazione corrente.

### **4. ANALISI DI FRANE NELLE FASI DI ROTTURA, POST-ROTTURA E RIATTIVAZIONE**

#### **4.1. 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 molto 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 esagerato, se non addirittura vanificato in mancanza di specifici dati riguardanti le proprietà idro-meccaniche dei terreni interessati. La ricerca ha per obiettivo lo sviluppo (e la sua validazione con casi di studio reali) di un metodo di pratica utilità, che richiede anche un numero limitato di parametri, in grado di correlare direttamente l'evento franoso alle piogge attese. A tal fine, saranno utilizzate alcune soluzioni in forma chiusa per valutare le variazioni di suzione nel terreno a seguito dell'infiltrazione della pioggia, e del semplice schema a pendio indefinito per definire le condizioni di criticità del pendio nei riguardi di un fenomeno di rottura.

#### **4.2. 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.

#### 4.3. ANALISI DELLA FASE POST-ROTTURA DI FENOMENI FRANOSI

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 della frana, dopo la rottura, richiede invece l'utilizzo di metodi in grado di simulare adeguatamente il verificarsi di grandi deformazioni. Il Metodo del Punto Materiale (MPM) è una nuova tecnica numerica con queste caratteristiche. Il metodo è stato utilizzato nel 2019 per analizzare la fase post-rottura della frana di Senise del 26 luglio 1986. I risultati ottenuti hanno confermato la validità del metodo, portando anche ad una migliore comprensione dei processi deformativi occorsi. Nel 2020, si prevede una nuova applicazione del metodo per simulare la fase post-rottura della grande frana occorsa a Maierato il 15 Febbraio 2010, che per le sue caratteristiche è divenuta il simbolo del dissesto idrogeologico della Calabria. Lo scopo principale è quello di individuare i fenomeni che hanno determinato la sua spettacolare evoluzione dopo la rottura del pendio, e fornire di conseguenza una spiegazione razionale dei suddetti fenomeni.

#### 4.4. RIATTIVAZIONE DI FENOMENI FRANOSI

Dopo le fasi di rottura e post-rottura, alcune frane sono soggette a riattivazione a causa, ad esempio, di un significativo innalzamento del livello di falda. 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 si inquadra nell'ambito del progetto denominato DARN "Dispositivo di Allerta per Rischi Naturali", finanziato con fondi POR CALABRIA FESR-FSE 2014-2020.

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

### **LINEE DI RICERCA nel biennio 2019/2020**

Il Gruppo di Ricerca afferente al SSD ICAR/08 è così composto:

Fabrizio Greco, Prof. Ordinario  
Renato Sante Olivito, Prof. Ordinario  
Paolo Lonetti, Prof. Associato  
Salvatore Lopez, Prof. Associato  
Paolo Nevone Blasi, RTI  
Giacinto Porco, RTI  
Lorenzo Leonetti, RTDa  
Arturo Pascuzzo, RTDa  
Camilla Ronchei, RTDa

Le linee di ricerca riferite al biennio 2019/2020, comprese quelle in corso, 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 avanzati per la risposta dinamica di ponti di grande luce soggetti a carichi viaggianti;
8. Analisi del comportamento non-lineare dei ponti di grande luce, con particolare riferimento ai ponti ad arco a via inferiore;
9. Modelli accoppiati fluido/struttura di tipo avanzato per l'analisi di vulnerabilità di costruzioni di interesse strategico sotto l'azione di inondazioni e tsunami.

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. Progetto sottomesso in data 29.03.2018. Codice Progetto 2017J4EAYB.

Le tematiche 5–6 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.

## **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 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.

## **8. 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.

## **9. 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.

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

## **LINEE DI RICERCA nel biennio 2019-2020**

Il Gruppo di Ricerca afferente al SSD ICAR/09 è così composto:

Luciano Ombres, Prof. Ordinario  
Francesco Bencardino, RTI  
Fabio Mazza, RTI

Le linee di ricerca sviluppate nel biennio 2019/2020 dal Gruppo di Ricerca afferente al SSD ICAR/9-  
Tecnica delle Costruzioni riguardano le seguenti tematiche:

### **INGEGNERIA SISMICA**

#### **1. Isolamento alla base di strutture in calcestruzzo armato**

- Comportamento a lungo termine di sistemi di isolamento alla base
- Martellamento interno di strutture isolate alla base
- Effetti della risposta nel piano e fuori dal piano delle tamponature nel caso di ospedali adeguati mediante isolamento alla base

#### **2. Dissipazione supplementare di energia**

- Effetti del degrado sulla progettazione di controventi dissipativi
- Adeguamento antisismico mediante controventi dissipativi di scuole soggette ad incendi di diversa durata
- Effetti della risposta nel piano e fuori dal piano delle tamponature nel caso di ospedali adeguati mediante controventi dissipativi

### **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. COMPORTAMENTO A LUNGO TERMINE DI SISTEMI DI ISOLAMENTO ALLA BASE**

(finanziamento progetto D.P.C.-Re.L.U.I.S. 2019-2021)

L'obiettivo dello studio è stato quello di approfondire gli effetti della variabilità del comportamento a lungo termine di dispositivi di isolamento elastomerici ed a scorrimento sulla risposta sismica non lineare di strutture in c.a. isolate alla base. Per investigare questo problema sono stati considerati edifici a struttura intelaiata in c.a. isolati alla base con isolatori elastomerici ad alto smorzamento (HDRBs), agenti da soli (sistema EBI, "elastomeric base-isolation") o combinati in parallelo con slitte acciaio-PTFE (sistema ibrido ESBI, "elastomeric-sliding base-isolation"). Diverse soluzioni strutturali sono state considerate per il sistema di isolamento alla base, assumendo: sistemi EBI, con tre differenti mescole per gli HDRBs (morbida, normale e dura); sistemi ESBI, con le suddette mescole degli HDRBs e due coefficienti di attrito (basso e medio) per le slitte acciaio-PTFE. Il progetto del sistema di isolamento è stato condotto senza considerare la variabilità delle proprietà meccaniche legate all'invecchiamento ed alla temperatura ambiente. Successivamente, sulla base di risultati sperimentali disponibili in letteratura, derivanti da prove di invecchiamento accelerato ad alte temperature, sono stati implementati modelli matematici che tengono conto dell'ossidazione dell'elastomero e dei cambiamenti del coefficiente di attrito nel tempo. Inoltre, si è considerata la variabilità delle proprietà meccaniche a differenti temperature medie ambientali, dovute a variazioni termiche stagionali. Infine, curve di fragilità sono state sviluppate per il sistema di isolamento alla base e per la sovrastruttura, sulla base di analisi dinamiche non lineari delle strutture test degradate. A titolo di confronto, sono stati valutati anche i risultati ottenuti sulla base dell'approccio "upper-bound - lower-bound" proposto dal codice internazionale ASCE/SEI 7-16.

### **1.2. MARTELLAMENTO INTERNO DI STRUTTURE ISOLATE ALLA BASE**

(finanziamento progetto D.P.C.-Re.L.U.I.S. 2019-2021)

L'obiettivo dello studio è stato quello di verificare i livelli di sicurezza nei confronti del martellamento interno tra vano ascensore e struttura in c.a. di edifici isolati alla base soggetti a terremoti vicino faglia. A tal fine, è stato considerato un edificio in c.a. ubicato ad Augusta (Siracusa), dotato di un sistema di isolamento ibrido che include isolatori elastomerici ad alto smorzamento (HDRBs) e slitte a basso coefficiente di attrito. La struttura intelaiata è isolata alla sommità dei pilastri del piano interrato, con tre ulteriori piani al di sopra del terreno, ed è attraversata da un vano ascensore con struttura intelaiata in acciaio. Il progetto originario prevedeva un vano ascensore rigidamente collegato alla sovrastruttura, a livello dei piani, ed isolato alla base con isolatori a scorrimento a basso coefficiente di attrito. Una configurazione strutturale alternativa, molto comune nel caso dell'adeguamento sismico, è stata analizzata nel presente studio prevedendo un vano ascensore a base fissa e separato mediante un giunto sismico dalla struttura isolata. Differenti modellazioni del comportamento non lineare degli HDRBs sono state analizzate ed un modello matematico è stato calibrato sulla base di risultati sperimentali disponibili in letteratura. Inoltre, un modello di impatto viscoelastico lineare è stato utilizzato al fine di valutare gli effetti del martellamento. La severità del martellamento interno e l'efficacia delle prescrizioni normative sono state valutate, considerando le dimensioni del giunto sismico previste dai codici italiano (NTC 2018)

ed europeo (Eurocodice 8). A tal fine, sono state analizzate otto configurazioni strutturali, ipotizzando che la cabina ascensore (vuota o a pieno carico) si possa trovare al piano interrato e ad uno dei tre livelli della sovrastruttura. Infine, gli effetti torsionali indotti dalla posizione eccentrica del vano ascensore nella pianta dell'edificio sono stati investigati attraverso analisi sismiche non lineari tridimensionali, prevedendo una rotazione dell'angolo di incidenza delle componenti sismiche orizzontali dei terremoti vicino faglia selezionati.

### **1.3. EFFETTI DELLA RISPOSTA NEL PIANO E FUORI DAL PIANO DELLE TAMPONATURE NEL CASO DI OSPEDALI ADEGUATI MEDIANTE ISOLAMENTO ALLA BASE** (finanziamento progetto D.P.C.-Re.L.U.I.S. 2019-2021)

Gli obiettivi dello studio sono la modellazione del comportamento non lineare nel piano e fuori piano della tamponatura e la valutazione della sua influenza sull'adeguamento antisismico di edifici in c.a. mediante isolamento alla base. Analisi di sensitività alla posizione in elevazione della tamponatura ed al rapporto altezza/lunghezza della maglia di telaio in cui è inserita sono condotte con riferimento ad una struttura test rappresentativa di un ospedale esistente.

## **2. DISSIPAZIONE SUPPLEMENTARE DI ENERGIA**

### **2.1. EFFETTI DEL DEGRADO SULLA PROGETTAZIONE DI CONTROVENTI DISSIPATIVI** (finanziamento progetto D.P.C.-Re.L.U.I.S. 2019-2021)

Una procedura di progetto di controventi dissipativi isteretici basata sul controllo degli spostamenti, originariamente messa a punto al fine di ottenere un assegnato livello di prestazione di un edificio esistente a struttura intelaiata in c.a. per uno specifico livello di intensità sismica, è stata aggiornata al fine di includere gli effetti sulla scelta dei parametri di progetto derivanti da un precedente danneggiamento sismico della struttura da adeguare. In particolare, un'approssimazione lineare a tratti della curva di involucro ciclico, al posto della curva monotona iniziale, è adottata per valutare la capacità sismica dell'intera struttura con riferimento ad un sistema equivalente (non lineare) ad un grado di libertà. Un modello isteretico plastico e di danno, risultante dalla combinazione in parallelo di meccanismi elasto-plastici perfetti ed elastici con "softening" è adottato per descrivere la risposta isteretica degradante rappresentata dalla curva di involucro ciclico. Per verificare l'affidabilità della procedura di progetto proposta, edifici con struttura intelaiata in c.a. di due, quattro ed otto piani sono adeguati mediante controventi dissipativi isteretici dimensionati nell'ipotesi di una zona ad alto rischio sismico dell'attuale normativa sismica italiana. In particolare, per ciascuna struttura sono confrontate sei soluzioni strutturali, considerando: i) duttilità variabile del dissipatore combinata con duttilità costante del telaio; ii) duttilità variabile del telaio combinata con duttilità costante del dissipatore. Inoltre, per ciascun assortimento dei parametri di progetto sono confrontate sei soluzioni di progetto, considerando gli involucri ciclici corrispondenti a valori costanti e variabili dell'indice di danno. A titolo di confronto sono anche analizzati i risultati ottenuti con riferimento alla curva di involucro monotono senza danno.

### **2.2. ADEGUAMENTO ANTISISMICO MEDIANTE CONTROVENTI DISSIPATIVI DI SCUOLE SOGGETTE AD INCENDI DI DIVERSA DURATA** (finanziamento progetto D.P.C.-Re.L.U.I.S. 2019-2021)

Le proprietà meccaniche residue di strutture in c.a. esposte all'azione del fuoco possono essere minori di quelle durante un incendio, in funzione della durata delle fasi di riscaldamento e di raffreddamento. Di conseguenza, l'adeguamento antisismico di edifici danneggiati dal fuoco può non essere efficace quando si considera la temperatura massima raggiunta durante un incendio per come proposto dall'Eurocodice 2. Per un efficace adeguamento sismico occorre tener conto delle proprietà meccaniche residue. La scuola Collina-Castello di Bisignano (CS), oggetto di monitoraggio permanente da arte della Protezione Civile, è considerata come struttura test. Tale struttura è stata ipotizzata danneggiata da un incendio, con diversi scenari caratterizzati da leggi di raffreddamento di differente durata, e successivamente adeguata

sismicamente mediante controventi dissipativi.

### 2.3. EFFETTI DELLA RISPOSTA NEL PIANO E FUORI DAL PIANO DELLE TAMPONATURE NEL CASO DI OSPEDALI ADEGUATI MEDIANTE CONTROVENTI DISSIPATIVI (finanziamento progetto D.P.C.-Re.L.U.I.S. 2019-2021)

Gli obiettivi dello studio sono la modellazione del comportamento non lineare nel piano e fuori piano della tamponatura e e la valutazione della sua influenza sull'adeguamento antisismico di edifici in c.a. mediante controventi dissipativi. Analisi di sensitività alla posizione in elevazione della tamponatura ed al rapporto altezza/lunghezza della maglia di telaio in cui è inserita, con riferimento ad una struttura test rappresentativa di un ospedale esistente.

## 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)

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

La ricerca condotta sull'analisi dell'aderenza tra il sistema di rinforzo in FRCC 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 FRCC: 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 FRCC e calcestruzzo ed FRCC 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 FRCC/matrice ed FRCC/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 FRCC e di mettere a punto, attraverso l'analisi dei risultati sperimentali, la modellazione dei legami d'aderenza FRCC/calcestruzzo ed FRCC 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 FRCC.

### 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 (FRCC, SRG);

Una vasta attività di ricerca è stata condotta sul comportamento meccanico di elementi strutturali in calcestruzzo ed in muratura rinforzate con materiali compositi fibrorinforzati a matrice cementizia (FRCC, 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 FRCC (comportamento in esercizio, meccanismi di collasso prematuro, capacità resistente, duttilità, interazione tra le armature interne in acciaio ed il rinforzo esterno in FRCC) 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 FRCC sul confinamento del calcestruzzo compresso, è stata analizzata sia dal punto di vista sperimentale sia dal punto di vista analitico. A tal fine, è stata condotta un'ampia indagine sperimentale su provini in calcestruzzo in piccola scala confinati con nastri in PBO-FRCC e su colonne in calcestruzzo armato confinate con C-FRCC (fibre di carbonio) e PBO-FRCC. 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.

## 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. 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. 2019-2021)

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).

## S.S.D. ICAR/10 – ARCHITETTURA TECNICA

### LINEE DI RICERCA nel biennio 2019-2020

Il Gruppo di Ricerca afferente al SSD ICAR/10 è così composto:

Alessandro Campolongo, Prof. Associato

Laura Greco, Prof. Associato

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. Analisi dei caratteri architettonici e costruttivi del patrimonio edilizio storico calabrese nel Novecento italiano.
2. Analisi dei caratteri architettonici e costruttivi degli edifici temporanei realizzati in Italia nel periodo tra le due guerre.
3. Studio di soluzioni costruttive stratificate a secco per l'edilizia residenziale.
4. Analisi campionaria dell'*edilizia di base* nel territorio di Cosenza.

Le linee di ricerca sono di seguito descritte.

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

Il settore di ricerca si propone di approfondire la conoscenza dei caratteri architettonici e costruttivi del patrimonio edilizio storico 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 significativi comparti edilizi, o di opere esemplari, s'intende contribuire a riconoscerne il valore rilanciandone il ruolo culturale, e a fornire linee guida per una corretta attività di recupero e riqualificazione.

#### *Contenuti*

Il settore di ricerca intende indagare 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 più in generale sul sistema edilizio urbano, 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 notevoli lacune che, in tale ambito disciplinare, presenta la 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 del patrimonio edilizio.

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. Gli strumenti su cui si basa l'indagine si identificano, oltre che in una solida base di conoscenza specifica acquisita nel corso degli anni e sulla ricerca bibliografica, nello studio, spesso trascurato e per questo in gran parte inedito, della documentazione d'archivio relativa alle vicende costruttive.

## **2. Studio di metodi e tecnologie sostenibili per il progetto edilizio contemporaneo**

Gli studi di questa linea di ricerca hanno l'obiettivo di indagare, sia in termini metodologici che tecnico-operativi, l'uso di soluzioni costruttive coerenti con i requisiti di salvaguardia ambientale introdotti nel settore edilizio, e capaci di rispondere alle mutevoli modalità d'uso degli spazi dettate da un'utenza i cui comportamenti sono ormai difficilmente codificabili secondo i canoni dello scorso secolo. Aspetti prioritari dell'indagine concernono l'aggiornamento di elementi tipici della sintassi tecnologica moderna come quello della flessibilità funzionale e tecnologica, lo sviluppo del requisito di trasformabilità di sub-sistemi ed elementi tecnici, e la reversibilità del processo progettuale e costruttivo. Questi ultimi argomenti si vanno consolidando, infatti, come cifra della stagione più recente del dibattito sull'edilizia sostenibile contemporanea, riferito alla possibilità di trasformare e/o decostruire parti di edificio più o meno estese per assecondare nuove configurazioni spaziali e distributive, o per adeguare le prestazioni tecnologiche di un componente.

### *Contenuti*

La linea di ricerca, partendo da un'analisi rivolta allo studio delle funzioni, dei requisiti e delle prestazioni di sub-sistemi ed elementi tecnici flessibili e adattabili, si sviluppa con valutazioni di carattere teorico-metodologico e verifiche progettuali esemplificative delle ipotesi di studio declinate, al momento, nel settore della residenza. Nel corso del biennio in oggetto, l'interesse si è concentrato sullo studio di soluzioni di chiusura e partizione interna a elevato grado di flessibilità funzionale e tecnologica, da realizzarsi mediante sistemi costruttivi a secco lignei e metallici. Le caratteristiche di funzionamento implementate nelle ipotesi di studio riguardano il progetto delle chiusure verticali, con il ricorso a elementi di involucro che consentono livelli di flessibilità ciclica delle prestazioni delle parti opache e trasparenti (interazione energetica passiva e attiva con l'irraggiamento solare, graduazione dell'illuminazione e della ventilazione naturale, accumulo termico per massa e isolamento termico); la definizione delle partizioni interne e, dunque, di pacchetti stratificati modificabili, di sistemi di separazione/comunicazione con livelli di permeabilità e *privacy* differenziati, e capacità di integrare altre funzioni. Lo studio si avvale della partecipazione ai progetti di ricerca "*Ac.Ca. Building. Progettare e costruire in sicurezza con l'acciaio e la canapa. Soluzioni innovative per la residenza*" e "*Sustainable Wooden and Energy Efficient HOuse in the Mediterranean. SWEET HoMe*", entrambi finanziati nell'ambito del POR Calabria FESR-FSE 2014-2020.

## **3. Studio dei caratteri architettonici e costruttivi dell'edilizia calabrese premoderna finalizzato alla progettazione per un recupero diffuso.**

Gli studi di questa linea di ricerca si pongono nella logica di fornire risposte, sia sul piano metodologico che tecnico-operativo, al problema di riequilibrio territoriale e di riassetto delle funzioni urbanistiche che si presenta in Calabria, nei piccoli come nei grandi centri urbani, avendo quale obiettivo primario la rinascita del mercato edilizio nei centri storici. Conseguono da ciò

problemi tecnici di recupero e adeguamento funzionale della struttura fisica dell'edilizia, nel rispetto delle valenze storico-culturali e dei caratteri architettonici e costruttivi degli edifici, delle emergenze architettoniche come del tessuto edilizio visto nella sua globalità; nel rispetto, ancora, dei bisogni vecchi e nuovi che emergono nella collettività in relazione al patrimonio abitativo, sia in termini qualitativi che in termini quantitativi.

### *Contenuti*

Dal manufatto isolato, espressione nella sua semplicità di un patrimonio antico che ha saputo trovare la sua giusta collocazione nel rispetto dell'ambiente regionale, all'insediamento, luogo di aggregazione di edifici e di configurazione dell'edilizia come sistema, la Calabria si presenta con tutto il suo carico di tradizioni e di valori da salvaguardare, da adeguare a nuove e appropriate funzioni da valorizzare nel quadro di una programmazione che investa tutta la complessità geografica, ambientale, etnica, sociale, economica del territorio regionale.

In questa logica l'attuale itinerario di lavoro è rivolto alla conoscenza dell'*edilizia di base* regionale, individuabile nell'edilizia rurale che in Calabria è la matrice della formazione urbana, non solo per arrivare alla costituzione di un repertorio tipologico-costruttivo che possa configurarsi come guida per corretti e qualificati interventi di recupero edilizio, ma anche per il ruolo che il patrimonio edilizio, frutto della tradizione architettonica e costruttiva locale, può assumere come strumento di riconoscibilità dell'identità culturale regionale.

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

### **LINEE DI RICERCA nel biennio 2019-2020**

Il Gruppo di Ricerca afferente al SSD ICAR/14 è così composto:

Roberta Lucente, Prof. Associato

Brunella Canonaco, RTI

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

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

Le principali linee di ricerca sono di seguito descritte.

### **LOGICHE DELL'OPERA ARCHITETTONICA**

Il fondamento teorico della ricerca nel campo della Composizione architettonica e urbana mira, tra i suoi primi obiettivi, a esplorare l'iter metodologico che sostiene l'ispirazione e quindi l'elaborazione progettuale. Terreno tanto più fertile quello offerto dalle architetture alle quali si riconosce 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, le ricercatrici del gruppo ICAR 14 del DINCI sono state impegnate nel 2019 in studi inediti, che in parte proseguiranno nel 2020, su alcune emergenze del centro storico di Cosenza - Palazzo Sersale tra gli esempi più emblematici di "case palaziate" nel Meridione d'Italia - e su alcune opere dell'architettura Moderna e contemporanea che hanno privilegiato la costruzione in acciaio. In particolare, questi ultimi studi si inquadrano nel progetto di ricerca "Ac.Ca. Building. Progettare e costruire in sicurezza con l'acciaio e la canapa. Soluzioni innovative per la residenza", finanziato nell'ambito del POR Calabria FESR-FSE 2014-2020, di cui uno dei ricercatori del gruppo ICAR 14 è responsabile scientifico.

Un'applicazione progettuale di tale linea di ricerca ha quindi riguardato la partecipazione di tutto il gruppo ICAR 14 al Progetto di 7 piazze tematiche per l'apprendimento innovativo e cooperativo all'Università della Calabria, finanziate sulla base di un Accordo di Programma Quadro tra Università della Calabria e Regione Calabria. POR 2014-2020, Fondi Fesr Fse UE. Base

propedeutica di tale esperienza di ricerca applicata, è stato infatti lo studio delle opere nell'ambito delle quali tali piazze si inseriscono, a tutti gli effetti annoverabili tra le realizzazioni più interessanti del Novecento, come il progetto Gregotti e il Centro residenziale di Enzo Zacchioli.

## **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 delle ricercatrici ICAR 14 del DINCI negli anni si è dedicato a diversi studi sviluppati lungo le traiettorie sopra enunciate. Alla scala dell'edificio e con riferimento al tema residenziale e alle sue nuove declinazioni (quali quelle, ad esempio, della temporaneità) e soprattutto con riferimento al tema della sostenibilità ambientale, nel 2019 parte del gruppo ICAR 14 del DINCI ha ultimato il lavoro svolto nell'ambito del Progetto Pilota per l'Edilizia Sostenibile (P.A.R.C.O.) - nel quadro del partenariato scientifico istituito tra il Dipartimento LL.PP. e Infrastrutture della Regione Calabria, il DINCI stesso e il DARt dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria - e ha completato la ricerca condotta nell'ambito del progetto PAES (Politiche Abitative per Edilizia Sostenibile), nel quadro del Programma Erasmus+.

Nel quadro del citato progetto di ricerca "Ac.Ca. Building. Progettare e costruire in sicurezza con l'acciaio e la canapa. Soluzioni innovative per la residenza", lo stesso gruppo nel 2019 e nel 2020 ha lavorato, sia a livello teorico che attraverso sperimentazioni progettuali, alla definizione di un sistema costruttivo in acciaio e canapa per usi tipologici diversi, sia residenziali che produttivi e lavorativi.

Sempre nel 2019, a partire dalla convinzione dell'attualità degli strumenti tipologici nelle letture alla scala urbana e a scopo conoscitivo, alcuni componenti del gruppo ICAR 14 del DINCI hanno inoltre iniziato una campagna di studi tipologici sul centro storico di Corigliano Calabro, sulla base di già sperimentate metodologie e procedure di analisi per la conoscenza di base e per gli interventi di riqualificazione dei centri storici. In particolare, sono attualmente in corso studi sulla tipologia del Fondaco nel sud dell'Italia e a Corigliano Calabro.

Altre applicazioni di questo genere di lettura tipologica sono state infine effettuate su torri e castelli dell'Alto Tirreno cosentino, in un'ottica di valorizzazione e rifruizione di tale sistema territoriale.

## **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*

In questo ambito, le ricercatrici del DINCI hanno partecipato, nel corso del 2019, a un confronto internazionale a carattere sia teorico che progettuale riguardante i possibili sviluppi di 5 città olandesi oggi impegnate sui temi, ormai necessari, della densificazione e della mobilità sostenibile. Un'altra applicazione, questa volta riferita al territorio italiano, ha riguardato gli studi avviati e attualmente in corso sul patrimonio in disuso dei borghi della Calabria Citra (Morano, Bisignano e San Vincenzo la Costa) per effetto dello spopolamento in atto. Scopo di tali studi, costituire una base propedeutica per riammettere tali 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 del turismo.

### **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 hanno dedicato numerosi studi al rapporto tra musica e architettura fin da alcuni anni addietro. In periodi più recenti, è stato attivato 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.

## S.S.D. ICAR/17 – DISEGNO

### LINEE DI RICERCA nel biennio 2019-2020

Il Gruppo di Ricerca afferente al SSD ICAR/17 è così composto:

Giuseppe Fortunato, RTI  
Antonio A. Zappani, RTDb

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. Rilievo dell'architettura nell'ambito del costruito storico e/o monumentale
2. Rilievo di superfici complesse
3. Analisi dello spazio urbano

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 di misura hanno rivoluzionato il tradizionale modo di procedere nell'acquisizione, 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. La ricerca mira, pertanto, ad approfondire gli aspetti della creazione e gestione del dato morfometrico (creazione, gestione ed elaborazione della mole dei dati acquisiti) e alla sperimentazione di dispositivi figurativi più idonei in base al tipo di indagine approntato.

#### **2. RILIEVO DI SUPERFICI COMPLESSE.**

Nell'ambito del rilevamento di strutture che presentano superfici complesse (ambienti rupestri o irregolari, superfici *free form*, ...) – il modello 3D ottenuto mediante *laser scanner ToF* e/o fotogrammetria digitale, amplia enormemente gli scenari pratico-operativi e conoscitivi, tipici delle tecniche e degli strumenti del rilevamento tradizionale e consente di documentare l'opera indagata, in maniera più accurata, di esplorarla con un maggiore livello di approfondimento e di valutare gli aspetti morfologici attraverso nuove strategie di indagine. In altre parole, la realizzazione del modello accurato di un bene, sia in ambito architettonico che archeologico, spinge verso nuovi

approcci ed implementa inconsueti percorsi d'indagine per la lettura e la rappresentazione dei fenomeni in esame.

Nell'ottica di indagare alcune delle opportunità analitico-figurative tramite modelli 3D ottenuti con le attuali tecniche di rilevamento, si è intrapresa, nel 2019, una sperimentazione su alcune architetture rupestri.

Le specificità di questo tipo di architettura (la complessità delle superfici, l'irregolarità dei profili, e degli assetti generali della struttura, ...) inducono a sperimentare nuove possibilità figurative e al contempo, ad approfondire lo studio delle problematiche legate alla creazione, gestione e processamento dei dati acquisiti (filtraggio, allineamento, *meshing*, modifica ed ottimizzazione della superficie poligonale, *texture mapping*, ...).

Nei casi specifici, i modelli che ne possono derivare, si caratterizzano da una resa fotorealistica e da una risoluzione geometrica tale da documentare – a scala di dettaglio – affreschi, iscrizioni, incisioni e tracce di lavorazione delle superfici rocciose. In breve, la ricerca intende affrontare le problematiche relative alla digitalizzazione 3D di superfici complesse e le opportunità investigative e figurative offerte dai modelli che ne derivano.

### **3. ANALISI DELLO SPAZIO URBANO.**

La ricerca intrapresa ha come *focus* la lettura e l'interpretazione dello spazio urbano, inteso come un vero e proprio "materiale" di progetto della città, in generale e, in particolare, dei centri antichi. I vuoti urbani (strade, piazze, slarghi, vie, ...), lungi dall'essere una frazione residua del costruito, contribuiscono a determinare il significato (formale, funzionale, compositivo, simbolico, ...) di un contesto urbano e a fissarne le peculiarità e la riconoscibilità.

La costruzione di modelli descrittivi, interpretativi o predittivi è una consuetudine di molte discipline e tra queste non fa difetto il rilevamento e la rappresentazione di contesti urbani. A tal proposito, si ha in animo di condurre una ricognizione ad ampio raggio dei dispositivi grafici che hanno per tema lo spazio urbano (le simulazioni mediante visuali; gli schemi percettivi di G. Cullen; le sintesi enciclopediche, ...), con l'obiettivo di valutarne criticamente le particolarità legandoli al contesto culturale di riferimento.

Si intende analizzare, con particolare attenzione, le sperimentazioni visuali di Cullen e l'esteso ed eterogeneo armamentario di figurazioni che l'autore, di volta in volta, costruisce per indagare lo spazio della città, per comunicarne il valore estetico, o per proporre soluzioni progettuali.

All'interno di questo quadro generale non verrà tralasciato lo studio delle novità di ricerca introdotte dai nuovi strumenti di acquisizione e restituzione nell'analisi dello spazio urbano (*laser scanner* ToF, fotogrammetria digitale, sistemi SIT/GIS, ...) e i relativi scenari conoscitivi.

## S.S.D. ICAR/20 - TECNICA E PIANIFICAZIONE URBANISTICA

### LINEE DI RICERCA nel biennio 2019-2020

Il Gruppo di Ricerca afferente al SSD ICAR/20 è così composto:

Mauro Francini, Prof. Ordinario  
Annunziata Palermo, Prof. Associato  
Maria Francesca Viapiana, Prof. Associato

Le ricerche in corso riguardano i seguenti temi:

1. La resilienza urbana nella pianificazione di emergenza. Un *framework* di metodo per gli elementi urbani strategici.
2. Sistemi territoriali integrati di polarità minori a vocazione rurale. Un modello *smart land* per la rigenerazione di aree interne.
3. La valorizzazione di aree “marginali” dismesse. Definizione e validazione di *Smart Urban Districts*.
4. I fattori urbanistici nella certificazione dell’edilizia sostenibile e della sostenibilità alla scala urbana.
5. Strategie e programmi di valorizzazione di processi di *governance* multilivello: *Smart Territorial Map* e Piani di azione.

Le principali linee di ricerca sono di seguito descritte.

#### **1. 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.

## **2. SISTEMI TERRITORIALI INTEGRATI DI POLARITÀ MINORI A VOCAZIONE RURALE. UN MODELLO SMART LAND PER LA RIGENERAZIONE DI AREE INTERNE**

La ricerca in oggetto mira a definire un modello “smart land” utile a connettere, in ottica territoriale, polarità minori a vocazione rurale integrando tutti gli aspetti della sfera urbana e dei servizi, per dar luogo a un sistema di sviluppo più forte. Con questo obiettivo, le attività di ricerca sono tese a definire una possibile metodologia sulla stregua di protocolli e modelli già realizzati a scala urbana che, sulla base di un insieme di voci di valutazione, permetta di esprimere e quantificare il grado di smartness di ambiti territoriali più ampi per orientare, in una fase successiva, adeguate strategie di rigenerazione.

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 proposto 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 nella Provincia di Cosenza, nel territorio della Valle del Crati, e comprende 19 Comuni collocati in un contesto paesaggistico variegato. Non coincide con un'area-progetto individuata dalla SNAI e riguarda prevalentemente Comuni caratterizzati da perifericità Intermedia, includendo un Comune di Cintura e soltanto due Comuni 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.

L'area si caratterizza come territorio a vocazione rurale e vanta la presenza di numerose aree protette. L'agricoltura e la trasformazione dei prodotti locali rappresentano una risorsa capace di salvaguardare l'identità dei luoghi e il senso collettivo di appartenenza al territorio, nonché di fronteggiare la tendenza allo spopolamento attraverso la creazione di nuove opportunità di lavoro. Alla luce delle attuali dinamiche economiche, il patrimonio di conoscenza e produttività locale risulta altamente improduttivo.

La realtà socio-economica locale depressa e non completamente autosufficiente, dunque, rischia di rimanere isolata 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. Per queste ragioni, l'ambito descritto si dimostra incline a un percorso di ripensamento e adeguato alla sperimentazione del modello proposto.

Tale ricerca è stata altresì proposta per la costituzione del gruppo tecnico "Aree interne e dintorni" della Società Italiana degli Urbanisti (SIU), volto ad avviare una riflessione, il più possibile estesa, su temi ritenuti di particolare importanza per la disciplina, e per i quali si intende creare una interlocuzione qualificata e pregnante nel dibattito sia scientifico che istituzionale (locale/regionale e nazionale).

### **3. LA VALORIZZAZIONE DI AREE "MARGINALI" DISMESSE. DEFINIZIONE E VALIDAZIONE DI SMART URBAN DISTRICTS**

La prima fase della ricerca in oggetto prevede lo studio comparato dei principali strumenti di valutazione a scala urbana o di quartiere (BREEAM, LEED, CASBEE, GBC-Quartieri, ecc.) al fine di individuare e ridefinire una serie di indicatori utili a stimare la sostenibilità – ambientale, economica e sociale – di una qualsiasi azione di riqualificazione all'interno di un'area dismessa esaminata, perseguendo l'idea secondo la quale non sempre intervenire risulta la scelta più appropriata. I primi risultati conseguiti hanno consentito di individuare sei categorie di indicatori (Environment, Mobility, Energy, Resources, Governance, Economy) e di definire il primo gruppo di indicatori inerenti la tematica ambientale. Lo strumento di valutazione risultante fornirà, per ciascuna area indagata: un *punteggio totale* che, se inferiore a una soglia stabilita, riterrà non conveniente intervenire nell'area stessa; un *punteggio parziale* che – in caso di superamento del valore soglia individuato per il punteggio totale – individuerà la macro-tipologia di distretto (produttivo, residenziale o culturale) verso la quale l'area risulta maggiormente vocata in base alle proprie peculiarità.

La seconda fase prevede la definizione di linee guida utili ai pianificatori per convertire le aree dismesse suscettibili di trasformazione in distretti urbani intelligenti dal punto di vista energetico, fornendo indirizzi utili per tutte e tre le macro-tipologie di distretto considerate. A tal fine, si vorrebbe applicare una metodologia che ha un duplice scopo: da un lato, uno studio topologico su una serie di casi studio esistenti (individuando campioni rappresentativi di distretti produttivi, residenziali e culturali); dall'altro, uno studio parametrico che analizzi come varia la domanda di

energia degli stessi casi studio in climi diversi, così da individuare valori di riferimento per ciascuna casistica.

Al termine di questa seconda fase, al fine di confrontare i risultati e dare più forza alla convalida del modello, si intende predisporre un progetto pilota in un'area dismessa individuata in uno dei Comuni ricadenti nel contesto calabrese, da estendere eventualmente anche a un'area dismessa del Belgio, con il quale si sta avviando una collaborazione scientifica, da formalizzare anche mediante l'attivazione di un Erasmus Traineeships for Jobs.

#### **4. I FATTORI URBANISTICI NELLA CERTIFICAZIONE DELL'EDILIZIA SOSTENIBILE E DELLA SOSTENIBILITÀ ALLA SCALA URBANA**

La ricerca in oggetto focalizza la sua attenzione sul Protocollo sviluppato, già da alcuni anni, dall'Istituto Itaca sulla base delle ricerche e delle metodologie messe a punto dal pool internazionale iSBE, nell'ambito di un processo internazionale denominato Green Building Challenge.

In particolare, l'ambito di applicazione è relativo alla Regione Calabria, tra le Regioni italiane che hanno già adottato il Protocollo e che ha reso obbligatorio conformare agli obiettivi dello stesso tutti gli interventi di edilizia pubblica (D.G.R. n.521/2016, attuativo della L.R. n.41/2011). 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.

Nello specifico, la ricerca riguarda l'area tematica "Qualità del sito", relativa alle condizioni di localizzazione dell'intervento progettuale e di inserimento dell'intervento nel contesto territoriale, al fine di rendere più rilevante il ruolo dei fattori di natura urbanistica e paesaggistica nel processo di valutazione ambientale regionale.

Il primo step della ricerca è stato finalizzato a verificare l'effettiva aderenza dei criteri riportati nel Protocollo nazionale alle caratteristiche specifiche dei territori calabresi. Si è proceduto, pertanto, a un'analisi approfondita degli stessi che ha messo in evidenza la necessità di inserire alcuni criteri non previsti dal Protocollo nazionale e di modificarne altri - in relazione a indicatori e relative scale di prestazione, metodi di calcolo e strategie di intervento. In particolare, i criteri aggiuntivi rispetto a quelli previsti nel Protocollo nazionale sono stati introdotti perché ritenuti irrinunciabili in considerazione della elevata valenza paesaggistica, naturale e antropica del territorio calabrese al fine di: (1) incentivare l'armonizzazione dell'intervento con gli elementi e il paesaggio circostanti e (2) favorire la continuità ecologica e formale del sito attraverso la conservazione, la valorizzazione e l'incremento delle specie arboree e vegetali autoctone.

Il secondo step è relativo all'applicazione dei criteri individuati su alcuni "casi pilota". Si tratta di interventi edilizi in fase di progettazione, scelti perché rappresentativi di casistiche diverse: dalla ristrutturazione di edilizia residenziale e scolastica alla nuova costruzione. Lo scopo della sperimentazione è quello di verificare l'effettiva applicabilità dei criteri, anche in ordine alla possibilità di individuare accorgimenti tecnico-progettuali in grado di consentire il raggiungimento di un punteggio più elevato nelle successive fasi progettuali e durante la fase realizzativa.

La ricerca è finalizzata, inoltre, ad ampliare il campo di indagine dal singolo edificio alla scala urbana, per tenere conto delle interrelazioni trasversali e multiscolari che l'edificio stabilisce con le diverse componenti dell'ambito urbano (tra cui, p.e., quelle sociali ed economiche). Partendo da una tipologia di strumento di valutazione alla scala urbana già proposta e in via di sperimentazione, l'obiettivo 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 e dovrà essere organico e strutturale all'ordinario processo di pianificazione.

## **5. STRATEGIE E PROGRAMMI DI VALORIZZAZIONE DI PROCESSI DI GOVERNANCE MULTILIVELLO: SMART TERRITORIAL MAP E PIANI DI AZIONE**

La ricerca in oggetto rientra all'interno del programma Interreg Europe Cohes3ion della Regione Calabria e mira a qualificare il modello di *governance* tra attori territoriali, per includere la dimensione territoriale nelle politiche di competitività e innovazione finanziate dal Programma Operativo Regionale (POR) FESR e FSE.

Tale ricerca nasce in successione a specifiche analisi condotte sul sistema calabrese, costruite con l'analisi SWOT che incrocia le principali fonti statistiche disponibili (database ISTAT, EUROSTAT, Unioncamere, SVIMEZ, MIUR e Info Regio), arricchite dalle indagini ad hoc di CalabriaInnova. Tali analisi hanno rivelato un sistema di produzione regionale con un basso livello di produttività dovuta alla sotto-potenza del capitale aziendale, alla micro-dimensione e al basso livello di innovazione.

Per tale motivo l'obiettivo della ricerca, che mira trasversalmente ad allineare le operazioni finanziate dal POR FESR e FSE con quelle previste dalla Strategia S3 della Calabria (approvata nel 2015 e fondata sulla delimitazione di 7 priorità: ICT, Trasporti, Energia, Agroalimentare, Materiali, Cultura e Salute), risponde a una priorità con un carattere orizzontale, non a priorità settoriali/tecnologiche specifiche.

In particolare, la ricerca si propone di migliorare la *governance* della rete di innovazione regionale creata da S3: (1) aggiungendo la dimensione territoriale e la rappresentanza degli attori territoriali della rete di innovazione regionale a livello strategico, e soprattutto operativo, (2) di migliorare l'allineamento della S3 Calabria con il livello S3 nazionale attraverso il perfezionamento degli indicatori di monitoraggio, anche al fine di aumentare il numero di PMI di tutta la Calabria impegnate in nuovi progetti finanziati per attività di ricerca e innovazione e trasferimento tecnologico.

La Regione Calabria ha già avviato, nell'ambito della programmazione dei fondi strutturali, la sperimentazione di una Rete regionale per l'innovazione, ovvero un sistema organizzato che unisce e migliora le competenze degli attori locali dell'innovazione a vantaggio delle imprese, dei ricercatori e dell'intero territorio. Proprio a partire da questa esperienza, dunque, si vuole consolidare la capacità di: promuovere il costante miglioramento della qualità dei servizi di ricerca e innovazione offerti; diffondere e migliorare le buone pratiche; promuovere la cooperazione tra i soggetti della rete; monitorare il funzionamento della rete sulla base di adeguati indicatori di prestazione concordati con gli operatori e il sistema di rappresentanza delle imprese.