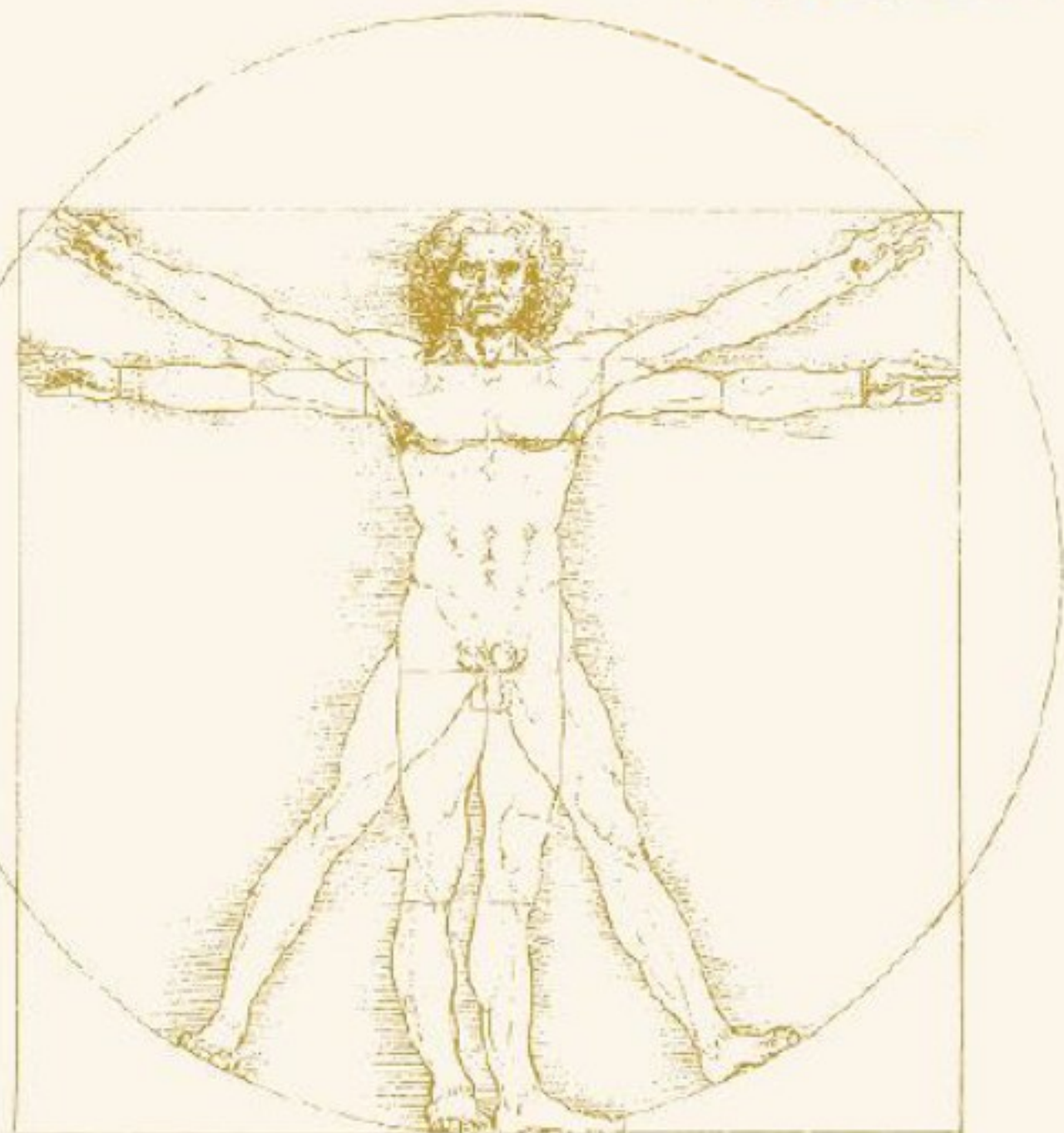

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA BASILICATA

I DIALOGHI DI INGEGNERIA

Libretto dei sommari



12 Dicembre 2025

INDICE

Introduzione

SESSIONE I

Donatella Caniani

Dalla ricerca al territorio: soluzioni sostenibili per la gestione dell'acqua e dei rifiuti e per la mitigazione degli impatti climatici

Raffaele Albano

Valutazione del rischio idraulico in ambito urbano - Sistemi di rilevazione e valutazioni relative alla classe di attenzione Idraulica per gli attraversamenti fluviali

Roberto Vassallo

Monitoraggio, interpretazione e modellazione degli spostamenti di frane in argille e previsione dei loro effetti sul costruito

Giuseppe Santarsiero

Ispezione visiva assistita da intelligenza artificiale: strumenti operativi per la manutenzione e la sicurezza dei ponti

Rocco Ditommaso

SHM Integrato Terrestre-Satellitare: sviluppo e applicazioni di tecniche innovative per la valutazione della salute strutturale e l'implementazione di protocolli per la manutenzione predittiva

Saverio Olita

L'adeguamento e la messa in sicurezza della viabilità minore in Basilicata

Milena Marroccoli – Antonio Telesca

Leganti inorganici a basso impatto ambientale

Ugo Erra – Nicola Capece

Realtà Virtuale e Intelligenza Artificiale per un Patrimonio Accessibile

Francesco Marino

Modellazione e ottimizzazione di sistemi di pareti ventilate per l'efficienza energetica degli involucri edilizi

Benedetto Manganelli

Sostituzione edilizia - Valutazione della soglia alla convenienza economica per la demolizione

Umberto Petrucelli

Un modello di costo del trasporto pubblico su strada sensibile al programma di esercizio

Francesco Scorza

Ecosistemi turistici: nuove geografie per la conoscenza del territorio e la programmazione dello sviluppo per le aree interne

SESSIONE II

Domenico Labbate

Teoria dei grafi applicata alla vita quotidiana

Marilena Pannone

Un modello fluido-meccanico unificato per la previsione ed il monitoraggio dei processi di diffusione-dispersione all'interno di formazioni geologiche di varia natura

Luca Pallotta

Integrazione delle Superfici Riflettenti Intelligenti nei Sistemi 6G con Accesso Multiplo Non-Ortagonale

Antonio Iula

Applicazioni degli ultrasuoni: dalla sensoristica alle immagini ecografiche

Katia Genovese

Analisi delle sollecitazioni con approccio integrato numerico-sperimentale

Donatello Santoro

Tecniche Avanzate di Interrogazione con LLM

Francesco Pierri - Fabio Fruggiero - Francesco Mancusi

Progetto MELODY: Sistemi Multi-Robot per la Manipolazione Collaborativa in Operazioni di Disassemblaggio

Vincenzo Fiumara

Il contributo del DiING alla ricerca sulle onde gravitazionali

Giuliano Liuzzi

Progressi nelle misure da satellite di inquinanti e del cambiamento climatico

Rocco Mozzillo

Attività di ricerca presso il Laboratorio MEDEA - Mechanical DEsign and Advanced Engineering Methods

L'incontro "I Dialoghi di Ingegneria" è stato curato dalla Commissione Ricerca nominata con con P.d.D. n. 116 del 16/11/2020, composta dai professori: Guido Masiello, Aldo Bonfiglioli, Donatella Caniani, Caterina Di Maio, Antonio Iula, Elena Pierro, Maria Grazia Russo, Marco Vona.

INTRODUZIONE

Gli incontri denominati *I Dialoghi di Ingegneria* sono stati concepiti dalla *Commissione Ricerca del Dipartimento di Ingegneria* come occasione periodica di confronto scientifico dei diversi settori disciplinari che operano nel Dipartimento e come momenti di riflessione critica sullo stato dell'attività di ricerca dipartimentale e del suo rapporto con il territorio.

Incoraggiata dal successo del primo incontro della serie - che si è svolto a settembre dello scorso anno (<https://diing.unibas.it/site/home/bacheca/eventi/i-dialoghi-di-ingegneria.html>) -, la *Commissione* ha organizzato il secondo incontro per il 12 Dicembre 2025, introducendo alcune novità.

Nel 2024, anno di prova, il confronto scientifico era stato ristretto all'interno del Dipartimento. Il programma prevedeva che ciascun gruppo disciplinare illustrasse sinteticamente gli elementi salienti delle attività di ricerca più recenti, evidenziando gli argomenti di frontiera, stimolando curiosità, dibattito e collaborazioni scientifiche. L'evento ha visto un'ampia partecipazione e - al dire della maggior parte dei presenti - i risultati sono stati soddisfacenti!

Quest'anno si introduce un importante cambiamento, aprendo *I Dialoghi* al mondo esterno all'Università. Con l'obiettivo di far sapere cosa si studia nel Dipartimento di Ingegneria di UNIBAS e di discutere cosa può essere di interesse per la società, sono stati invitati alcuni rappresentanti del mondo istituzionale e produttivo lucano. Per rendere chiaro l'intento di approfondimento della conoscenza reciproca e di rafforzamento del legame con il territorio, i relatori sono stati espressamente invitati a mettere in evidenza gli elementi di interazione fra ricerca e società.

Come l'anno scorso, anche quest'anno sono previste ampie sessioni di discussione in cui si valuteranno anche altri elementi migliorativi dell'incontro. Come nella scorsa edizione, i sommari degli interventi scientifici sono raccolti in un libricino di facile consultazione.

Potenza, 12 Dicembre 2025

La Presidente della Commissione Ricerca

Caterina Di Maio

DALLA RICERCA AL TERRITORIO: SOLUZIONI SOSTENIBILI PER LA GESTIONE DELL'ACQUA E DEI RIFIUTI E PER LA MITIGAZIONE DEGLI IMPATTI CLIMATICI

Donatella Caniani, Ignazio Mancini, Salvatore Masi, Francesco Di Capua

L'attività del Gruppo di Ingegneria Sanitaria-Ambientale è rivolta allo sviluppo di soluzioni innovative e sostenibili per la gestione dell'acqua reflua e dei rifiuti e per la mitigazione degli impatti climatici, attraverso l'integrazione di ricerca scientifica e applicazioni ingegneristiche avanzate. Le linee di ricerca includono lo studio degli ecosistemi, la gestione e il riuso delle acque reflue, il trattamento dei rifiuti solidi, la valorizzazione della frazione organica, la riduzione delle emissioni clima-alteranti e la decarbonizzazione dei sistemi territoriali. Tali attività sono sviluppate nell'ambito di progetti finanziati da istituzioni nazionali e programmi europei.

Tra questi, il progetto LandShift (Horizon Europe, 2024–2027) affronta il tema della sostenibilità dei sistemi territoriali e dell'uso del suolo, con un focus sulla definizione dei bilanci di gas clima-alteranti associati ai processi agricoli, agro-forestali e idrici. Le attività includono monitoraggi in campo e modellazione emissiva, con l'obiettivo di supportare strategie regionali di mitigazione in linea con la neutralità climatica.

Il progetto Tech4You (PNRR – Ecosistema dell'Innovazione) ha invece approfondito il riuso delle acque reflue trattate per la fertirrigazione di colture bioenergetiche, dimostrando il potenziale di queste pratiche nel ridurre la pressione sulle risorse idriche convenzionali e nel sostenere la produzione sostenibile di biomassa. Parallelamente, il progetto DeCost (ENI CBC Med) ha sviluppato modelli di compostaggio di comunità, che favoriscono la valorizzazione sostenibile dei rifiuti organici e la diffusione di pratiche di economia circolare. Un elemento distintivo del progetto DeCost è stato il forte investimento nella creazione di comunità, favorendo il coinvolgimento attivo dei cittadini e la costruzione di modelli partecipativi di gestione delle risorse, fondamentali per garantire sostenibilità e continuità alle soluzioni implementate.

L'attuale conoscenza dei processi di depurazione richiede infatti di considerare gli impianti come veri e propri sistemi industriali con impatti ambientali e climatici non trascurabili. Le nostre recenti ricerche hanno riguardato, tra l'altro, la produzione di metaboliti secondari ad elevato potere clima-alterante, come il protossido di azoto, nei processi biologici di trattamento. I risultati ottenuti sono particolarmente promettenti e potranno avere effetti significativi sulla progettazione e sulla gestione futura degli impianti. Il passaggio da un approccio lineare a una visione circolare della gestione degli scarti rappresenta un cardine delle attività svolte. Il riciclo e il riutilizzo dell'acqua reflua, unitamente al recupero di risorse quali sostanza organica, azoto, fosforo ed energia rinnovabile sotto forma di biogas e biometano, possono contribuire in modo rilevante alla sostenibilità dei sistemi idrici e alla decarbonizzazione delle filiere energetiche. Inoltre, valutazioni su scala regionale hanno mostrato che un impiego sistematico delle acque reflue trattate e un approccio circolare alla gestione della frazione organica dei rifiuti solidi urbani potrebbe fornire un contributo misurabile alla produzione nazionale di biomasse e biocombustibili.

Complessivamente, i risultati delle attività condotte evidenziano come la ricerca universitaria possa contribuire in modo concreto alla resilienza ambientale della Basilicata, traducendo conoscenza scientifica e sperimentazione sul campo in soluzioni operative per il territorio, orientate alla gestione sostenibile delle risorse e alla transizione verso sistemi a basse emissioni.

VALUTAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO IN AMBITO URBANO

Raffaele Albano, Aurelia Sole, Ruggero Ermini, Silvano DalSasso, Domenica Mirauda, Beniamino Onorati, Vincenzo Scuccimarra, Muhmmad Asif, Mayank Mishra, Carmine Limongi, Gilda Manfredi, Pietro Vuono

Gli attuali approcci alla comunicazione del rischio di alluvione risultano insufficienti nel favorire una piena comprensione del pericolo e nella promozione di valutazioni personali delle azioni da intraprendere. La tendenza a trasmettere messaggi semplicistici o allarmistici favorisce comportamenti non protettivi, quali l'eccessivo affidamento alle opere di difesa o alle organizzazioni di gestione, oppure la negazione del rischio e la percezione di impotenza.

A tale scopo, questo studio propone lo sviluppo di un sistema di allerta e comunicazione in tempo reale per eventi di precipitazioni estreme in aree urbane. L'obiettivo è fornire ai cittadini informazioni chiare, rilevanti e fruibili, al fine di favorire l'autonomia decisionale e la resilienza. Il sistema non intende sostituire le strutture istituzionali di protezione, ma supportarle, contribuendo alla creazione di un processo di "alfabetizzazione alle inondazioni", che consenta a comunità e singoli di acquisire conoscenze sul rischio locale e sulle strategie di gestione.

Il sistema integra una rete di telecamere (Internet of Thing – IoT) per il monitoraggio in tempo reale di precipitazioni, tiranti idrici e velocità delle onde di piena, utilizzando tecniche di Intelligenza Artificiale (IA) nella città di Matera. Inoltre, è collegato a un modello di inondazioni capace di generare scenari di impatto locale per eventi futuri, i quali vengono poi confrontati con dati e impatti di eventi storici per contestualizzare le misure correnti di precipitazione e le stime dei tiranti idrici.

Infine, il sistema include soglie di criticità relative all'instabilità dei pedoni e veicoli interessati dall'onda di piena, accompagnati da segnali e simboli progettati ad-hoc per un'interpretazione immediata delle misure di auto-protezione da adottare in caso di evento. Tali strumenti mirano a migliorare le capacità di autoprotezione dei cittadini, rafforzando la resilienza e la rapidità di reazione delle comunità coinvolte.

MONITORAGGIO, INTERPRETAZIONE E MODELLAZIONE DEGLI SPOSTAMENTI DI FRANE IN ARGILLE E PREVISIONE DEI LORO EFFETTI SUL COSTRUITO

Roberto Vassallo, Caterina Di Maio, Annamaria di Lernia, Gaetano Ostuni

Le attività di ricerca del gruppo di Geotecnica, a forte connotazione sperimentale, sono indirizzate alla comprensione dei fenomeni termo-chemo-idro-meccanici che governano il comportamento dei terreni argillosi a diverse scale, dall'elemento di volume al problema al finito, trovando particolare applicazione nell'approfondimento delle cause – nonché nella previsione e mitigazione degli effetti – delle grandi frane a cinematica lenta. Frequentemente, le zone di espansione dei centri urbani montani ricadono in pendii interessati da tali frane, con conseguente rischio di continuo danneggiamento del costruito e quindi di elevati costi sociali.

Negli anni, per alcune frane rappresentative di tipologie molto diffuse in Regione e più in generale nell'Appennino e in molte zone del mondo, il gruppo ha conseguito una mole di dati di monitoraggio notevole, per durata e densità, consentendo studi di complessità e dettaglio via via crescenti in cui la progettazione delle indagini, l'acquisizione di risultati sperimentali, l'interpretazione fenomenologica e la modellazione dei legami tra cause ed effetti sono sempre stati fortemente interconnessi. Sono stati così realizzati progressi nella comprensione delle cause di spostamento di frane in terreni argillosi, profonde varie decine di metri, che hanno subito elevati scorrimenti in passato e continuano a scorrere in modo lento e continuo, da decine di anni, su superfici di scorrimento ben definite. Le variazioni stagionali di velocità rilevate sperimentalmente, inattese in terreni in principio caratterizzati da permeabilità bassissime, sono state attribuite agli effetti delle piogge sulle pressioni dell'acqua agenti in corrispondenza della banda di scorrimento - che è idraulicamente connessa all'atmosfera e/o ad acquiferi confinanti - che proprio per effetto degli spostamenti pregressi manifesta una maggiore permeabilità. In frane più recenti e meno profonde, a parità di formazione argillosa, sono stati invece osservati andamenti stagionali di velocità notevolmente diversi dai precedenti, in quanto influenzati meno dalle piogge e in evidente correlazione con la temperatura. Le diverse tipologie di frana studiate sono accomunate da andamenti degli spostamenti che si ripropongono annualmente in modo simile poiché legati a elementi meteorologici che poco variano di anno in anno – quantomeno nel medio termine – e che quindi si prestano all'interpretazione e alla modellazione basata sul rilievo di alcuni cicli.

La conoscenza dettagliata della distribuzione spaziale e temporale degli spostamenti di frana e la possibilità di prevederne gli andamenti in un lasso temporale di interesse per la vita utile delle costruzioni consente di considerare le frane oggetto di studio come prototipi per studiare gli effetti dell'interazione con edifici e infrastrutture. In tale ambito si inseriscono le recenti attività svolte nei progetti *Tech4You*, *Safer Rebuilt*, *Accordo DPC/ReLUIIS 2024_2026 WP3*, nonché nella *Sperimentazione delle Linee Guida per la classificazione e la gestione del rischio, la valutazione della sicurezza e il monitoraggio dei ponti esistenti (Accordo CSLLPP/ReLUIIS)*, finalizzate alla definizione di strategie di previsione degli effetti sul costruito degli spostamenti derivanti dallo stato di continua attività delle frane in condizioni ordinarie e da possibili eventi sismici.

ISPEZIONE VISIVA ASSISTITA DA INTELLIGENZA ARTIFICIALE: STRUMENTI OPERATIVI PER LA MANUTENZIONE E LA SICUREZZA DEI PONTI

Giuseppe Santarsiero, Andrea Digrisolo, Rosalba Gaetano, Paolo Ielpo, Vincenzo Manfredi, Angelo Masi, Valentina Picciano, Giuseppe Ventura

La gestione dei ponti esistenti richiede oggi metodologie ispettive capaci di coniugare efficienza, oggettività e aderenza alle Linee Guida nazionali. L'ispezione visiva tradizionale, pur restando un elemento imprescindibile, presenta limiti derivanti dalla variabilità dell'osservatore, dalla qualità delle immagini acquisite e dalla difficoltà di mantenere omogeneità nell'interpretazione dei difetti. Le tecniche di intelligenza artificiale, in particolare quelle basate su computer vision e modelli linguistici avanzati, offrono strumenti concreti per supportare l'ingegnere e rendere il processo più affidabile e ripetibile.

In apertura viene presentata una panoramica sulle principali applicazioni già operative dell'IA nel contesto delle ispezioni visive dei ponti, con riferimento alla classificazione automatica dei difetti superficiali su elementi in calcestruzzo armato e precompresso e alla valutazione a larga scala delle barriere di sicurezza. Questa introduzione ha l'obiettivo di fornire un quadro d'insieme delle potenzialità disponibili, evidenziando come tali strumenti possano essere integrati senza stravolgere le procedure previste dalle Linee Guida. Dopo questa presentazione generale, l'attenzione si concentra esclusivamente sulla metodologia dedicata ai dispositivi d'appoggio, tema centrale della discussione.

I dispositivi d'appoggio rappresentano un nodo fondamentale nel comportamento dell'opera, poiché regolano trasmissione dei carichi, spostamenti termici, rotazioni ammissibili e interazione sismica con le spalle e le pile. Nonostante la loro importanza, l'ispezione visiva degli appoggi è spesso difficoltosa per condizioni di accesso limitate, geometrie complesse e presenza di difetti sottili ma strutturalmente significativi. È in questo contesto che l'intelligenza artificiale mostra il suo valore.

La procedura dedicata agli appoggi integra due componenti complementari. La prima è un sistema di computer vision addestrato su migliaia di immagini reali, capace di riconoscere automaticamente il tipo di dispositivo (elastomerico, a scorrimento, a pendolo, ecc.). Questa classificazione immediata riduce sensibilmente l'incertezza nella fase iniziale della compilazione della scheda. La seconda componente, più avanzata, si basa su una metodologia di tipo engineering-constrained machine learning: una pipeline che combina la visione artificiale con un prompt strutturato inviato a un modello linguistico avanzato. Questo prompt include vincoli ingegneristici, descrizioni normative e una tassonomia dei difetti tipici degli appoggi. Il modello, guidato dal contesto tecnico predefinito, produce una descrizione coerente e ingegneristicamente fondata delle anomalie osservate nell'immagine, come rotazioni non ammissibili, scorrimenti, schiacciamento del neoprene, corrosione dei componenti metallici o perdita di continuità del dispositivo.

L'obiettivo complessivo è mostrare come l'IA possa realmente potenziare il lavoro dell'ispettore: non un sostituto, ma un vero e proprio copilota che aumenta la precisione, accelera l'analisi, riduce la

soggettività e permette una gestione più proattiva e data-driven degli interventi manutentivi, lasciando sempre all'ispettore la decisione finale sulle azioni da intraprendere.

Oltre al valore operativo per le ispezioni reali, questa metodologia offre anche un'importante opportunità in ambito formativo. La combinazione tra riconoscimento automatico, descrizione guidata dei difetti e coerenza con la tassonomia normativa rende infatti lo strumento un supporto didattico efficace per avvicinare studenti, giovani tecnici e ispettori meno esperti al mondo delle ispezioni dei dispositivi d'appoggio. Analizzando immagini reali e osservando come il sistema interpreta i segnali visivi, l'utente può comprendere più rapidamente quali anomalie ricercare, come valutarne la rilevanza e quali errori evitare durante l'acquisizione fotografica. In questo senso, l'IA non è soltanto un mezzo per accelerare le attività ispettive, ma diventa anche un "tutor" che accompagna il processo di apprendimento e contribuisce alla diffusione di una cultura dell'ispezione più consapevole, standardizzata e attenta ai dettagli.

SHM INTEGRATO TERRESTRE-SATELLITARE: SVILUPPO E APPLICAZIONI DI TECNICHE INNOVATIVE PER LA VALUTAZIONE DELLA SALUTE STRUTTURALE E L'IMPLEMENTAZIONE DI PROTOCOLLI PER LA MANUTENZIONE PREDITTIVA

Rocco DITOMMASO, Gianluca AULETTA, Nicla LAMARUCCIOLA, Felice Carlo PONZO

L'evoluzione delle metodologie per l'analisi e la gestione del patrimonio costruito ha evidenziato la necessità di sistemi diagnostici in grado di descrivere in modo continuo, affidabile e multiscala il comportamento strutturale durante l'intero ciclo di vita delle opere. In questo scenario, l'integrazione tra tecniche di monitoraggio terrestre e osservazioni satellitari rappresenta oggi una delle soluzioni più avanzate nell'ambito dello Structural Health Monitoring (SHM), disciplina orientata alla valutazione oggettiva dello stato di salute delle costruzioni mediante l'acquisizione e l'interpretazione sistematica di parametri fisici significativi. Le infrastrutture civili, quali ponti, edifici, viadotti, torri e dighe, sono soggette a un ampio spettro di sollecitazioni complesse, che includono eventi sismici, azioni del vento, cicli ripetuti di carico, processi di degrado progressivo dei materiali, nonché effetti indotti da cedimenti fondali, frane e altri fenomeni geotecnici. L'individuazione precoce di anomalie richiede strumenti capaci di cogliere variazioni sia nella risposta dinamica sia nel quadro deformativo. In tale prospettiva, il monitoraggio vibrazionale assume un ruolo cruciale, poiché costituisce uno strumento in grado di fornire informazioni in tempo reale sullo stato di salute della struttura su chiamata e/o immediatamente dopo un evento critico. Attraverso l'analisi delle oscillazioni durante la fase di *strong motion*, è infatti possibile stimare rapidamente variazioni nelle frequenze naturali, nelle forme modali e nei parametri modali non lineari, ottenendo indicazioni tempestive su potenziali danni. Le moderne analisi tempo-frequenza consentono inoltre di caratterizzare la risposta non stazionaria e di indagare la fase transitoria, durante la quale la struttura esibisce più chiaramente comportamenti non lineari e criticità che verrebbero in parte occultate da approcci basati sulla stazionarizzazione del segnale e, conseguentemente, dei parametri dinamici.

Parallelamente, le tecniche satellitari quali, ad esempio, l'Interferometria Radar ad Apertura Sintetica (Synthetic Aperture Radar Interferometry, InSAR), permettono di monitorare deformazioni lente e spostamenti differenziali su scale territoriali, fornendo una visione globale complementare alle analisi vibrazionali. La fusione dei contenuti informativi terrestri e satellitari consente di costruire un sistema diagnostico multiscala, sensibile sia alle variazioni locali sia a quelle globali. In tale quadro diventa fondamentale la definizione di soglie comportamentali basate su modelli previsionali e analisi statistiche, che consentano di discriminare tra risposte fisiologiche e comportamenti patologici riducendo i falsi warning generati dagli algoritmi di allerta automatica basati sull'utilizzo dell'intelligenza artificiale.

L'integrazione delle tecniche SHM terrestri e satellitari favorirà lo sviluppo di protocolli robusti di manutenzione predittiva, contribuendo a una maggiore sicurezza, resilienza e sostenibilità del patrimonio costruito.

L'ADEGUAMENTO E LA MESSA IN SICUREZZA DELLA VIABILITÀ MINORE

Maurizio Diomedì, **Saverio Olita**, Donato Ciampa

L'adeguamento e la messa in sicurezza della viabilità minore rappresentano un insieme di interventi mirati a rendere più affidabili, resilienti e funzionali le strade locali che collegano centri abitati, aree rurali, attività agricole e piccole frazioni. Queste infrastrutture, spesso trascurate rispetto alle arterie principali, svolgono un ruolo cruciale per la mobilità quotidiana, i servizi essenziali e la protezione civile. Trattandosi di interventi di rilevanza economica non trascurabile è necessario, ai fini dell'adeguamento, adottare un approccio olistico e multidisciplinare, gestito al livello gerarchico più elevato possibile.

La ricerca e gli studi sul campo condotti dai docenti dall'area strade evidenziano che quando l'approccio organico viene meno, gli interventi potenzialmente migliorativi tendono a non elevare, in modo apprezzabile, la sicurezza complessiva dell'infrastruttura, anzi, in alcuni casi possono produrre ulteriori effetti negativi. Interventi puntuali gestiti da Amministrazioni "concorrenti", il più delle volte non adeguatamente coordinati, tendono a perdere di vista le interazioni a scala più ampia legate ad aspetti geomorfologici, geotecnici, e di stabilità idrogeologica dei versanti e del territorio in generale, nonché alla sicurezza legata alla geometria e agli spetti di coordinamento plano-altimetrico complessivo dell'asse stradale.

Fondamentale ai fini dell'implementazione dell'approccio di cui sopra è la conoscenza approfondita e preliminare dell'infrastruttura che va acquisita mettendo in campo tecniche di rilevamento GPS con sistemi UAV (Unmanned Aerial Vehicle) in modalità GNSS-RTK (Real Time Kinematic) e con implementazione di sensori LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) in grado di cogliere tutti gli elementi costruttivi della piattaforma stradale (arginelli, cunette, fossi di guardia, tombinature, etc.) oltre agli elementi di ritenuta, la segnaletica etc.

Principali Collaborazioni interne: Gruppi afferenti al macrosettore 08-CEAR/03 (Infrastrutture e sistemi di trasporto, stima e valutazione), Pianificazione urbanistica e territoriale, Geotecnica, Strutture, Tecnologia dell'Architettura.

Principali Collaborazioni esterne: PIARC (World Road Association), ASIT (Associazione Scientifica Infrastrutture Trasporto).

LEGANTI INORGANICI A BASSO IMPATTO AMBIENTALE

Milena Marroccoli, Antonio Telesca, Marco De Biasi, Neluta Ibris

Nel 2025 il gruppo di Scienza e Tecnologia dei Materiali ha continuato le proprie attività di ricerca sulla messa a punto di leganti a ridotto impatto ambientale con l'obiettivo di individuare alternative valide al cemento Portland ordinario (CPO) la cui produzione è responsabile di circa il 7% delle emissioni globali annuali di CO₂ di origine antropica. Gli studi hanno riguardato la produzione di un cemento solfo-belitico (BCSA) impiegando esclusivamente materiali di scarto al posto delle materie prime tradizionali, con l'obiettivo di ridurre ulteriormente l'impatto ambientale del processo di produzione. Rispetto al CPO i cementi BCSA sono caratterizzati da temperature di cottura inferiori e da una composizione mineralogica che tollera maggiori variabilità nelle materie prime.

In questa prospettiva, il gruppo ha selezionato quattro rifiuti speciali – polveri di marmo, polveri di mattoni, fanghi di potabilizzazione e titanio-gesso – utilizzandoli come sostituti diretti di calcare, argilla, bauxite e gesso nella formulazione della miscela cruda per la produzione di clinker. Entrambe le miscele sono state sottoposte a cottura a differenti temperature (1200°-1350°C) al fine di definire le condizioni ottimali per la formazione di belite e ye'elimita (le fasi mineralogiche che governano la reattività dei cementi BCSA). Le prove hanno evidenziato che la temperatura di 1300 °C rappresenta il compromesso migliore, conducendo in entrambi i casi a una composizione molto simile, con un'elevata frazione di fasi idraulicamente attive. I cementi BCSA sono stati ottenuti mediante aggiunta di anidrite naturale ai due clinker (CER e CEW). Le prove di idratazione sulle paste di cemento hanno evidenziato che il legante a base di rifiuti presenta una rapida velocità di idratazione (Figura 1).

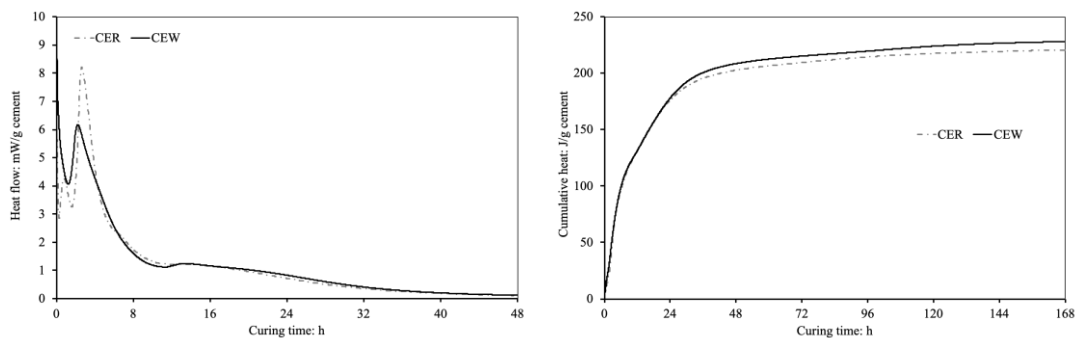


Fig. 1 – Calorimetria isoterma dei cementi BCSA. Flusso termico d'idratazione durante le prime 48 ore di stagionatura (sinistra). Calore di idratazione durante i primi 7 giorni di stagionatura (destra).

Tuttavia, la natura e l'evoluzione dei prodotti di idratazione risultano del tutto analoghe: in entrambi i sistemi si osserva, infatti, una rapida formazione di ettringite una progressiva idratazione della belite fino a 90 giorni di stagionatura. Le indagini porosimetriche ad intrusione di mercurio hanno confermato una progressiva compattazione del materiale idratato, con una riduzione sia del volume dei pori sia della loro dimensione media: tale fenomeno è stato osservato in egual misura nei due cementi.

Le prestazioni meccaniche confermano la sostanziale equivalenza tra le due formulazioni: entrambi i cementi raggiungono resistenze a compressione sia dalle brevi stagionature (dell'ordine di 20 MPa a 2 giorni), con incrementi graduali alle stagionature più lunghe, quando si osserva il contributo più significativo della reazione di idratazione della belite. Anche il comportamento al ritiro ed espansione è pressoché identico, con valori in linea con quelli tipici dei cementi BCSA da materie prime naturali. Parallelamente a questo filone, il gruppo ha proseguito lo studio di nuovi materiali cementizi supplementari da impiegare nei leganti BCSA, alla luce della progressiva riduzione della disponibilità di scorie d'altoforno e ceneri leggere. L'attenzione si è quindi orientata verso rifiuti generati nella Regione Basilicata quali i sedimenti derivanti dalla riabilitazione di bacini idrici e i fanghi provenienti da trattamenti di potabilizzazione dell'acqua. Poiché i componenti silico-alluminosi presenti in questi materiali sono prevalentemente di natura cristallina (e quindi poco reattivi), è stato necessario sottoporre i rifiuti ad un trattamento termico specifico volto ad ottenere fasi amorfe in grado di partecipare alle reazioni di idratazione. Una volta attivati termicamente, questi materiali sono stati incorporati in miscele a base di clinker BCSA e analizzati tramite tecniche quali la termogravimetria, la diffrazione ai raggi X, la calorimetria e la porosimetria. Nel complesso, le attività di ricerca condotte nel 2025 dimostrano che è tecnicamente possibile produrre clinker e cementi BCSA interamente da materiali di scarto senza comprometterne le prestazioni e che rifiuti argillosi, opportunamente calcinati, possono fungere da materiali cementizi supplementari nei sistemi CSA. L'insieme dei risultati evidenzia il potenziale dei rifiuti speciali come risorsa strategica per la produzione di leganti a ridotto impatto ambientale e conferma la rilevanza di approcci basati sulla valorizzazione dei sottoprodotti in ottica di economia circolare.

REALTÀ VIRTUALE E INTELLIGENZA ARTIFICIALE PER UN PATRIMONIO ACCESSIBILE

Ugo Erra, Nicola Capece

L'intervento presenta un progetto di ricerca che combina Realtà Virtuale e Intelligenza Artificiale per rendere accessibili le chiese rupestri di Matera, spesso difficili da visitare per la loro posizione impervia o per la fragilità delle strutture. Attraverso rilievi laser scanner, fotogrammetria e ricostruzioni 3D fotorealistiche, questi siti sono stati trasformati in ambienti virtuali esplorabili tramite visori VR. All'interno dell'esperienza immersiva opera una guida intelligente basata su modelli di linguaggio avanzati, capace di rispondere in modo contestuale alle domande dei visitatori. Per garantire un accesso reale e inclusivo, il sistema integra anche strumenti di Comunicazione Aumentativa e Alternativa, come i pittogrammi ARASAAC, pensati per utenti con disabilità cognitive o comunicative. L'intervento mostra come queste tecnologie, integrate in un'architettura scalabile e modulare, permettano non solo di valorizzare e preservare il patrimonio culturale, ma anche di definire un modello replicabile in altri contesti, come quelli culturali, educativi e persino industriali, per una fruizione universale e senza barriere.

MODELLAZIONE E OTTIMIZZAZIONE DI SISTEMI DI PARETI VENTILATE PER L'EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI INVOLUCRI EDILIZI

Francesco Paolo R. Marino

Negli ultimi decenni, l'evoluzione delle normative internazionali in materia di efficienza energetica e sostenibilità ambientale ha determinato un cambiamento radicale nel modo di concepire e progettare l'involucro edilizio. Le sfide imposte dal cambiamento climatico, dalla riduzione dei consumi energetici e dalla necessità di garantire il comfort termo-igrometrico interno con un impiego minimo di risorse non rinnovabili hanno favorito la diffusione di soluzioni di involucro avanzate, capaci di rispondere in modo intelligente e dinamico alle condizioni ambientali esterne. In questo contesto, si è affermata una nuova concezione dell'involucro edilizio, non più inteso come semplice barriera passiva, ma come sistema attivo e adattivo, in grado di interagire con l'ambiente attraverso l'interoperabilità dei suoi componenti.

In tale contesto, le facciate ventilate opache (Ventilated Rainscreens) e le facciate a doppia pelle (Double Skin Façades, DSF) si sono affermate come soluzioni tecnologiche avanzate, in grado di coniugare elevate prestazioni energetiche con qualità architettonica, flessibilità funzionale e durabilità. L'adozione crescente di questi sistemi negli edifici di maggiore qualità architettonica e funzionale non è casuale: essi permettono di risolvere in modo naturale ed efficace, senza ricorrere a impianti energivori, una pluralità di problematiche progettuali. Offrono elevate prestazioni di isolamento termico invernale e, al contempo, la massima protezione dal surriscaldamento estivo, consentendo consumi energetici quasi nulli per il riscaldamento e il raffrescamento, oltre a garantire durabilità dei materiali e protezione dagli agenti atmosferici e biologici.

La ricerca e le analisi condotte nell'ambito delle attività del Laboratorio di Tecnologia delle Costruzioni – La.Te.C., su facciate ventilate continue e micro-ventilate, hanno cercato di rispondere a domande relative alla possibile dipendenza delle variazioni di pressione e dei flussi d'aria all'interno dell'intercapedine ventilata non solo dall'altezza della PV, ma anche dallo spessore della lama d'aria, dalle temperature al contorno e superficiali dei vari strati, dal materiale e dal colore del rivestimento, dall'intensità e dalla direzione del vento, nonché dalla presenza di traversi orizzontali che ostruiscono parzialmente i condotti di ventilazione. In particolare, lo studio qui illustrato ha avuto l'obiettivo di sviluppare, a partire da un algoritmo base, un modello computazionale applicabile sia alle componenti opache sia a quelle trasparenti delle facciate. Tale strumento di calcolo supporta e facilita la progettazione e l'ottimizzazione delle facciate ventilate e di altri sistemi di involucro multistrato ad alte prestazioni, contribuendo in modo significativo all'evoluzione di metodologie di progettazione architettonica ambientalmente ed energeticamente sostenibile.

Collaborazioni interne: gruppi di Ingegneria Edile, Tecnica delle Costruzioni e Ingegneria Sismica, Progettazione di Strade Ferrovie e Aeroporti, Pianificazione e Progettazione Urbanistica e Territoriale (DiING), Progettazione Architettonica e Architettura Tecnica (DIUSS)

Collaborazioni esterne: Università degli Studi Roma Tre, UPV Universitat Politècnica de València, CNR IBAM, CNR IMAA

SOSTITUZIONE EDILIZIA -VALUTAZIONE DELLA SOGLIA ALLA CONVENIENZA ECONOMICA PER LA DEMOLIZIONE

Benedetto Manganelli, Francesco Paolo Del Giudice

La demolizione e ricostruzione di singoli edifici o di interi quartieri caratterizzati da grave degrado, all'interno di programmi di rigenerazione urbana, rappresentano interventi essenziali per lo sviluppo delle città nel rispetto dei principi di sostenibilità ambientale, economica e sociale. Tuttavia, tali iniziative spesso si arrestano per l'assenza della fattibilità economica. Questo studio, partendo dall'analisi delle dinamiche del valore di mercato di una proprietà, separa i contributi forniti a tale valore dalla parte costruita e dal terreno allo scopo di definire una soglia per la demolizione, ossia quando si verificano le condizioni che rendono economicamente praticabile la sostituzione dell'edificio. Il deprezzamento della parte costruita è generato da una moltitudine di fattori, tutti legati all'inevitabile passaggio del tempo, che possono influenzare la fine della vita utile di servizio dell'edificio, o della sua vita utile economica. La vita utile economica è, a sua volta, pure condizionata dal fenomeno della rendita urbana (positiva o negativa), determinata da fattori esterni indipendenti dalle caratteristiche tecnologiche e fisiche dell'edificio. Basandosi sull'interazione logica tra questi due fenomeni – il deprezzamento della parte costruita e la rendita urbana – viene definita una relazione che può suggerire la soglia potenziale per la demolizione. In particolare, vengono analizzati, separatamente, i casi di rendita assoluta, generata autonomamente dal processo di sostituzione dell'edificio stesso, e di rendita differenziale, la quale è invece determinata dall'intervento pubblico.

Collaborazioni esterne: Pierfrancesco De Paola (Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Napoli Federico II)

UN MODELLO DI COSTO DEL TRASPORTO PUBBLICO SU STRADA SENSIBILE AL PROGRAMMA DI ESERCIZIO

Umberto Petruccelli e Pietro Vuono

Il costo standard unitario, espresso in Euro/veicoli.km, rappresenta il costo che un'azienda economicamente efficiente sostiene per fornire un determinato servizio, individuato dallo specifico programma di esercizio (PdE), realizzato in un ben determinato contesto territoriale e produttivo. In presenza di sovvenzioni pubbliche, la determinazione del costo standard è indispensabile per regolare i rapporti economici fra l'ente affidante e l'azienda affidataria ed anche per garantire una giusta distribuzione delle specifiche risorse statali fra gli enti locali competenti nelle diverse regioni o aree. La stima del costo standard del trasporto pubblico presenta problematiche importanti, soprattutto quando, come generalmente accade, non sono disponibili i valori di alcuni parametri, quali le ore di guida prodotte dai conducenti durante il turno di lavoro che sono diretta conseguenza del PdE. Infatti, i conducenti, dopo aver effettuato ogni corsa, devono aspettare al capolinea l'orario di partenza di quella successiva da condurre e quindi trascorrere del tempo improduttivo. Detto tempo è in linea di principio inversamente proporzionale al numero di corse al giorno offerte sulla linea e pertanto penalizza in termini di costo le linee servite da poche corse al giorno. Ciò fa emergere l'esistenza di una "economia di intensità di servizio" in base alla quale, all'aumentare della percorrenza prodotta sulla linea ovvero del numero di corse che serve la stessa linea, si ottiene una riduzione del costo unitario di produzione conseguente ad un maggiore utilizzo di conducenti durante i turni di lavoro. È altresì spesso realizzabile una "economia di scopo" quando la stessa azienda produce servizi sia urbani che extraurbani. In questo caso, infatti, il conducente della linea extraurbana, giunto al capolinea, durante l'attesa dell'orario di partenza della corsa di ritorno si sposta a lavorare su una linea urbana che parte dallo stesso capolinea realizzando così, in ciascun turno di servizio, un maggior numero di ore di guida.

Purtroppo, la maggior parte dei modelli di stima del costo (come peraltro riscontrabile anche in Petruccelli, Vuono, 2024) non tiene conto del PdE messo in atto, cioè delle specificità del servizio in termini di linee, percorsi, fermate, corse e relativi orari e quindi tende a sottostimare il costo chilometrico per i servizi resi nelle aree a bassa densità insediativa in cui la domanda scarsa e diffusa limita notevolmente il numero di corse offerte su ciascuna linea. D'altra parte, l'impossibilità di disporre dei turni di lavoro dei conducenti (in quanto mantenuti riservati dalle aziende esercenti) e quindi di risalire alle ore di guida prodotte da questi ultimi rende necessario disporre di uno strumento che permetta di tener conto anche di questo aspetto nella stima del costo.

Il contributo fornito dalla presente ricerca consiste in un procedimento finalizzato a perfezionare il costo, calcolato attraverso un modello esistente affidabile ma non in grado di tener conto delle caratteristiche del PdE, modificandolo sulla base di queste caratteristiche. In particolare è stato sviluppato un modello per la determinazione di un coefficiente K da moltiplicare per il costo stimato attraverso un qualsiasi modello di costo (per esempio anche quello imposto recentemente in Italia dal D.M. 157/2018) per correggerlo in funzione di variabili caratteristiche dell'esercizio, con conseguente validità generale della metodologia messa a punto. In particolare, il modello per la determinazione del coefficiente correttivo K qui proposto presenta come variabile principale un tempo di sosta convenzionale ΔT determinabile dal quadro orario delle corse, senza disporre dei turni di servizio dei

conducenti ma utilizzando uno specifico algoritmo messo a punto sempre nell'ambito della ricerca qui presentata. Il lavoro si è avvalso di un data-base, relativo alle linee di trasporto pubblico locale extraurbano e comprensivo anche dei turni di lavoro dei conducenti, fornito da un'azienda di trasporti operante in Basilicata (Italia).

I risultati ottenuti dimostrano che la metodologia messa a punto costituisce un valido strumento di stima del costo standard per i servizi di trasporto su autobus con spiccate caratteristiche di accessibilità. In particolare si è riscontrata una soddisfacente capacità del modello nel riprodurre i reali costi unitari, delineando quindi una impostazione metodologica che si presta ad eventuali approfondimenti ed estensioni a campioni più ampi di servizi e di aziende esercenti nonché ad altre tipologie di servizi di trasporto pubblico locale (TPL) e ad altri ambiti territoriali.

La metodologia proposta rappresenta un importante avanzamento rispetto ai modelli di costo esistenti perché permette di tener conto anche delle caratteristiche del PdE oltre che delle variabili in questi già comprese. La possibilità di calcolare un costo standard più rispondente al costo reale rappresenta un valido supporto per diverse categorie di operatori e in particolare:

gli enti appaltanti i servizi di TPL, che possono determinare con maggiore affidabilità le sovvenzioni di esercizio da riconoscere alle aziende appaltatrici;

i pianificatori del TPL, che possono progettare servizi più efficienti;

gli operatori, che possono prevedere con più accuratezza i costi del servizio e così avanzare, in sede di gara, offerte più rispondenti ai reali costi di produzione, a vantaggio di una più corretta concorrenza.

Il modello in questione per il calcolo del coefficiente correttivo si presta a due differenti tipologie di utilizzo. La prima consiste nel correggere, tenendo conto dell'influenza del PdE attuato, un costo unitario che è stato stimato, per una rete intera di servizi di trasporto o solo per una linea, avvalendosi di un qualsiasi modello non sensibile al PdE. La seconda tipologia di utilizzo permette di partire da un costo medio unitario, relativo ad una intera rete di trasporto, stimato attraverso un modello non sensibile al PdE o calcolato da un'analisi a consuntivo di tutti i costi sostenuti per la produzione, e da questo ricavare il costo di ogni linea della rete in funzione dello specifico PdE messo in atto, moltiplicando il costo medio per il coefficiente correttivo riferito alla linea in esame ottenuto dal modello qui costruito.

ECOSISTEMI TURISTICI: NUOVE GEOGRAFIE PER LA CONOSCENZA DEL TERRITORIO E LA PROGRAMMAZIONE DELLO SVILUPPO DELLE AREE INTERNE

Francesco Scorza

La linea di ricerca si concentra sulla comprensione e sulla mappatura degli ecosistemi turistici attraverso la costruzione di nuove geografie del turismo ad alta risoluzione, concepite per superare i tradizionali confini amministrativi. Il turismo viene analizzato come un sistema complesso, caratterizzato dall'interazione tra attrattori, servizi e condizioni di accessibilità, che genera configurazioni spaziali funzionali e dinamiche emergenti spesso non rilevabili tramite le statistiche convenzionali. L'impianto metodologico integra analisi geospaziale, network theory, tecniche di community detection e la definizione di indicatori compositi finalizzati a identificare e descrivere le destinazioni turistiche come unità sistemiche dotate di coerenza interna.

In questo quadro, la ricerca sviluppa e applica set di indicatori strutturati utilizzati in numerosi casi studio territoriali. L'impiego congiunto di tali indicatori evidenzia la presenza di micro-ecosistemi turistici, differenziali di specializzazione, fenomeni di pressione turistica e pattern di concentrazione che risultano invisibili se analizzati unicamente attraverso dati aggregati o confini amministrativi. La scala fine dell'analisi consente di individuare disequilibri strutturali, deficit localizzati di servizi e vulnerabilità correlate alla fruizione turistica.

Strumenti avanzati come il Balanced Tourism Supply Index, integrati con l'insieme degli indicatori sopra citati, permettono di costruire una rappresentazione più completa e analiticamente robusta della struttura turistica territoriale, rendendo esplicite dinamiche latenti e relazioni funzionali fra componenti del sistema. La linea di ricerca mira così a offrire una base scientifica solida per la governance e la pianificazione territoriale, supportando la definizione di politiche orientate all'equità spaziale, alla sostenibilità e alla resilienza. Le nuove geografie degli ecosistemi turistici assumono, in questo senso, il ruolo di dispositivo interpretativo e operativo capace di guidare strategie di specializzazione, interventi mirati e processi decisionali maggiormente coerenti con i reali funzionamenti del territorio.

TEORIA DEI GRAFI E SUE APPLICAZIONI ALLA VITA QUOTIDIANA

Domenico Labbate

Nell'intervento si introdurranno gli elementi basilari di teoria dei grafi (quali definizioni e prime proprietà) e i problemi che storicamente l'hanno fatta assurgere a teoria quale il problema di Eulero anche noto come problema dei ponti di Königsberg del 1736 e la relativa caratterizzazione dei grafi euleriani, il problema dei cicli hamiltoniani e la sua formulazione in termini informatici ovvero il TSP (Travelling Salesman Problem: problema del commesso viaggiatore) e, infine, il famoso teorema dei 4 colori (4CT) dimostrato dopo oltre 100 anni da Appel e Haken nel 1977. Verranno altresì mostrate (e se ne mostreranno le potenzialità) le possibili applicazioni alla vita quotidiana, quali lo studio e l'eventuale miglioramento dello "space syntax", problemi di traffico stradale e la stretta relazione tra la Teoria dei Grafi e l'Urbanistica.

UN MODELLO FLUIDO-MECCANICO UNIFICATO PER LA PREVISIONE ED IL MONITORAGGIO DEI PROCESSI DI DIFFUSIONE-DISPERSIONE ALL'INTERNO DI FORMAZIONI GEOLOGICHE DI VARIA NATURA

Marilena Pannone

In un momento storico come quello attuale, caratterizzato dalla progressiva riduzione e dal progressivo deterioramento delle risorse idriche potabili più facilmente accessibili, la salvaguardia delle acque sotterranee si candida ad essere una delle maggiori priorità dell'Ingegneria Civile ed Ambientale. Le acque sotterranee forniscono infatti il 50% dell'acqua potabile nel mondo, ed il 25% dell'acqua complessivamente usata in agricoltura. Localmente, soprattutto nelle regioni aride dell'Africa e del Medio Oriente, tali percentuali possono essere anche notevolmente più alte, facendo dell'acqua di falda una risorsa legata in maniera critica e determinante alla sopravvivenza di milioni di persone. Sfortunatamente, due fattori-chiave stanno contribuendo a rendere tale risorsa progressivamente meno utilizzabile: la contaminazione derivante da processi naturali e/o da attività antropiche, che spesso compromette la qualità dell'acqua rendendola vettore di malattie ed inquinanti pericolosi per la salute dell'uomo e gli equilibri di molti ecosistemi; la siccità ed il sovrasviluppo, che si traducono quasi sempre in uno sfruttamento eccessivo della risorsa, determinando pressione aggiuntiva sulla stessa in molte parti del globo, e limitandone ulteriormente la disponibilità.

Tali problematiche, insieme ad altre simili che affliggono le acque dolci superficiali, hanno innescato e stanno velocemente alimentando una crescente crisi idrica globale. Tale crisi rischia di diventare una grave minaccia per l'approvvigionamento di acqua pulita e la produzione di cibo in tutto il mondo, sollecitando scienziati, legislatori ed autorità territoriali a cercare nel più breve tempo possibile soluzioni praticabili e sostenibili.

Il presente intervento è incentrato sulla discussione di un modello stocastico frattale (ovvero basato sulla ubiqua presenza in natura di una gerarchia continua di scale di eterogeneità spaziale) di flusso e trasporto all'interno delle formazioni geologiche sub-superficiali e profonde che fungono da serbatoi naturali di acque dolci. Rispetto a modelli simili precedenti, le particolarità di quello proposto consistono nel tener esplicitamente conto dell'estensione finita di tali domini, dall'essere associato ad un approccio unificato valido per formazioni che vanno dalle rocce fratturate ai depositi incoerenti più fini, e dal rivelare inoltre caratteri universali dello stato di aggregazione di mezzi multifase anche molto diversi tra loro che lasciano intuire l'esistenza di comuni dinamiche di equilibrio.

Il modello, oggetto di una pubblicazione dedicata (Pannone, M. Theoretical investigation of nonergodic solute dispersion in natural porous formations characterized by persistent and antipersistent power-law log-conductivity correlations, *Hydrogeology Journal*, Springer, **2023**, 31, 1599–1615), è stato testato con successo sui dati relativi alla imponente campagna sperimentale di Cape Cod in Massachusetts, rivelandosi decisamente più aderente alla realtà di quelli precedentemente utilizzati.

Il suo obiettivo è consistito nella derivazione analitica del coefficiente di macro-dispersione (un indicatore di quanto veloce è il processo di dispersione idromeccanica di sostanze contenute in soluzione all'interno della zona satura dell'acquifero) in presenza di eterogeneità morfologiche scala-dipendenti, ed in funzione della cosiddetta dimensione frattale. Applicata alla descrizione matematico-statistica delle formazioni geologiche in senso lato, la dimensione frattale fornisce indicazioni circa la complessità della loro struttura geometrica. Maggiore è la dimensione frattale, minore è la più piccola scala spaziale a cui la formazione esibisce variabilità in grado di condizionare gli specifici meccanismi e la velocità di dispersione. L'approccio stocastico alla modellazione dei processi di flusso e trasporto nelle acque sotterranee, particolarmente utile ed efficiente in presenza di forti eterogeneità strutturali

difficilmente modellabili attraverso l'uso delle comuni funzioni della matematica deterministica, è addirittura forse l'unica strada realisticamente praticabile quando le formazioni geologiche che ospitano l'acquifero oggetto di indagine sono situate ad una profondità tale da limitare fortemente la quantità di misure sperimentali (conduttività idraulica, porosità locale, carico piezometrico e suo gradiente) reperibili a costi ragionevoli. L'output di tali modelli stocastici (per assegnate condizioni di immissione) è tipicamente costituito dal valore atteso della concentrazione della sostanza contaminante in funzione delle coordinate spaziali e del tempo, e da una stima della possibile deviazione rispetto a tale valore, il tutto in funzione dei parametri statistici derivabili a partire dalle limitate misure disponibili, attraverso un processo di assimilazione di medie spaziali (su domini appropriatamente estesi) e medie statistiche. Il coefficiente di macro-dispersione suddetto, insieme alla velocità media dell'acqua desunta dal gradiente idraulico medio, consente appunto di pervenire alla stima dei valori spazio-temporali attesi (o più probabili) della concentrazione dell'agente inquinante. L'utilità di tale stima consiste nel poter valutare (note le circostanze e le tempistiche dei processi di contaminazione naturali e/o di origine antropica che possono aver interessato o potrebbero interessare in futuro il sottosuolo nella zona in esame) la fattibilità e la convenienza dello sfruttamento dell'acquifero come fonte di approvvigionamento idrico, ed eventualmente progettare uno schema di prelievo che vada ad interessare le zone a concentrazione attesa sufficientemente più bassa della relativa soglia di tossicità.

INTEGRAZIONE DELLE SUPERFICI RIFLETTENTI INTELLIGENTI NEI SISTEMI 6G CON ACCESSO MULTIPLO NON-ORTOGONALE

Luca Pallotta

In vista dell'evoluzione verso le reti 6G, i sistemi di comunicazione wireless sono chiamati a gestire una crescente complessità, dovuta alla necessità di integrare operazioni di comunicazione e sensing all'interno di un'unica infrastruttura. In questo scenario, il paradigma *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA) rappresenta una soluzione promettente per aumentare efficienza spettrale, qualità del servizio e capacità di connessione massiva. Parallelamente, le *Reconfigurable Intelligent Surfaces* (RIS) stanno emergendo come una tecnologia chiave per rendere programmabile l'ambiente di propagazione, migliorando affidabilità e prestazioni anche in condizioni prive di collegamenti diretti. La combinazione di RIS e NOMA è oggi oggetto di numerosi studi, che ne evidenziano il potenziale nel potenziare i collegamenti sia in scenari *Line-of-Sight* sia *Non-Line-of-Sight*. Tuttavia, molte delle soluzioni proposte in letteratura si basano su tecniche di ottimizzazione complesse, quali ad esempio l'approccio *Semidefinite Relaxation*, che risultano computazionalmente onerose.

In questo contributo viene considerato un sistema uplink basato su Power-Domain NOMA assistito da RIS in assenza di percorso LOS. Il problema viene formulato come un'ottimizzazione vincolata, mirata a massimizzare il *sum-rate* tramite la configurazione delle fasi della RIS, soggette al vincolo di modulo unitario. Tale formulazione porta a un problema non convesso, complicato dalla presenza di termini non separabili dovuti alla condivisione della configurazione RIS tra gli utenti.

Per superare queste difficoltà viene proposto un algoritmo a bassa complessità basato sull'ottimizzazione alternata: le fasi del RIS vengono ottimizzate iterativamente per un utente alla volta, mantenendo fisse le configurazioni degli altri. Ogni sottoproblema risultante viene dunque risolto tramite un algoritmo basato sul metodo del gradiente coniugato.

I risultati mostrano che la strategia proposta converge rapidamente e garantisce significativi miglioramenti in termini di SINR e tasso di trasmissione degli utenti NOMA, offrendo una valida alternativa a soluzioni più onerose e difficile da implementare.

Questo contributo si inserisce all'interno delle attività svolte nel Progetto "Intelligent Reflecting Surfaces Application to NOMA Systems" ("INTRIGANTE"), finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MUR) tramite il programma italiano "Bando PRIN 2022," D.D. 104/2022, progetto numero 20225CC9RW, CUP C53C24000780006.

Collaborazioni esterne: Prof. Piergiuseppe Di Marco (Università degli Studi dell'Aquila).

APPLICAZIONE DEGLI ULTRASUONI: DALLA SENSORISTICA ALLE IMMAGINI ECOGRAFICHE

Antonio Iula

La presentazione descrive le principali attività di ricerca che si svolgono presso il Laboratorio di Elettronica ed Ultrasuoni (LEU).

Le tematiche di ricerca riguardano lo studio di dispositivi e sistemi per l'applicazione degli ultrasuoni sia in campo biomedico (ecografia diagnostica, chirurgia non invasiva, ultrasuonoterapia) che in campo industriale (prove non distruttive, saldature e lavaggio industriale, robotica, motori ultrasonici, localizzazione indoor, sensoristica).

Verrà illustrata la linea di ricerca a cui è stata dedicata maggiore attività negli ultimi anni che riguarda lo studio, lo sviluppo e la caratterizzazione sperimentale di sistemi di riconoscimento biometrico basati su immagini 3D ad Ultrasuoni, acquisendo principalmente Hand Geometry, Palmprint e Vein pattern. Essa coinvolge diversi ambiti scientifici spaziando dai trasduttori piezoelettrici all'elettronica dei sistemi ecografici, dalle tecniche per la formazione di immagini ad ultrasuoni all'immagine processing e alla analisi statistica.

Verranno brevemente descritte anche le recenti attività svolte sulla localizzazione indoor e sulla modellazione di trasduttori ad ultrasuoni, quest'ultima attività storica e peculiare del Laboratorio.

Le tematiche descritte sono o sono state sviluppate in collaborazione con altri soggetti di ricerca nazionali (fra cui Università degli Studi di Roma Tre, Università di Firenze, Università degli Studi di Salerno) ed internazionali (fra cui CSIC-Spagna, JPL-USA, CNRS-LMPO, Francia) e sono state più volte finanziate a seguito di bandi competitivi.

ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI CON APPROCCIO INTEGRATO NUMERICO-SPERIMENTALE

Katia Genovese

L'intervento intende mettere in evidenza il valore di un approccio integrato che combini strumenti numerici e sperimentali nell'analisi delle sollecitazioni di componenti e strutture caratterizzate da geometrie, materiali e condizioni operative complesse. Viene presentato un caso studio rappresentativo che illustra l'utilizzo sinergico di misure DIC (Digital Image Correlation), algoritmi di Computer Vision e simulazioni numeriche FEM (Finite Element Method) per la valutazione delle deformazioni indotte in lamine di lega di titanio formate mediante processo SPF (Super Plastic Forming) finalizzato alla produzione di protesi personalizzate.

I risultati dimostrano come la stretta integrazione tra modellazione e sperimentazione permetta di raggiungere livelli di accuratezza e affidabilità non ottenibili attraverso i singoli approcci, confermandosi quindi la strategia ottimale a supporto della progettazione meccanica di componenti e strutture.

Collaborazioni interne: Prof. Donato Sorgente.

Collaborazioni esterne: Politecnico di Bari.

TECNICHE AVANZATE DI INTERROGAZIONE CON LARGE LANGUAGE MODELS (LLM)

Donatello Santoro, Giansalvatore Mecca, Enzo Veltri, Dario Satriani

L'avvento dei Large Language Models (LLM) ha aperto nuove possibilità per l'interrogazione del dato, andando oltre il tradizionale paradigma "database + linguaggi dichiarativi". I nostri recenti lavori esplorano questa direzione attraverso due linee principali: (i) recupero di conoscenza strutturata dalla memoria parametrica dei modelli, (ii) esecuzione e ottimizzazione di query su LLM come fossero sistemi di storage neurale.

Interrogazione strutturata della conoscenza interna dei LLM

Gli LLM possiedono una grande quantità di conoscenza memorizzata nei propri pesi, ma la capacità di recuperarla in forma tabellare è limitata. Nel lavoro RelationalFactQA mostriamo come il passaggio da domande fattuali elementari a richieste di output strutturati (tabelle multi-record e multi-attributo) faccia emergere specifici fallimenti: valori corretti in isolamento vengono prodotti in modo errato quando richiesti in combinazione. Presentiamo un benchmark dedicato che permette di misurare con precisione la capacità dei modelli di generare dati relazionali da sola memoria parametrica.

Esecuzione di SQL su LLM: il sistema Galois

Nel lavoro Logical and Physical Optimizations for SQL Query Execution over Large Language Models introduciamo Galois, un framework che tratta il modello come una base di dati relazionale interrogabile tramite SQL. L'obiettivo è migliorare qualità e completezza dei risultati rispetto ad un'interrogazione (prompting) diretto. Nel progetto vengono analizzati operatori logici e fisici dedicati, strategie di pushdown basate su confidenza e modelli costo/qualità e tecniche iterative di estrazione, dimostrando che piani di esecuzione ottimali per DBMS tradizionali non sono ottimali quando il motore di accesso è un LLM. I risultati sperimentali mostrano miglioramenti percentuali significativi in accuratezza rispetto a NL e SQL diretti.

L'uso combinato di tecniche di closed-book retrieval e in-context learning consente di interrogare sia la conoscenza interna del modello sia dati forniti runtime (RAG). I nostri sistemi integrano entrambi gli scenari, sfruttando SQL come linguaggio unificato per interrogare parametri del modello e documenti strutturati nel prompt.

Queste ricerche sono alla base per la progettazione sistemi ibridi capaci di sfruttare LLM e strutture dati tradizionali in modo complementare, combinando espressività linguistica, capacità generative e proprietà formali dei linguaggi dichiarativi.

Collaborazioni esterne: Paolo Papotti (EURECOM - Francia)

PROGETTO MELODY: SISTEMI MULTI-ROBOT PER LA MANIPOLAZIONE COLLABORATIVA IN OPERAZIONI DI DISASSEMBLAGGIO

Fabio Fruggiero, Francesco Pierri, Francesco Mancusi

Il progetto MELODY (Multi robot collaborativE manipuLation suppOrting Disassembly tasks), finanziato nell'ambito del programma PRIN PNRR 2022, vede l'Università degli Studi della Basilicata nel ruolo di Principal Investigator. Avviato a novembre 2023, il progetto si concluderà a febbraio 2026.

MELODY intende analizzare metodologie e principi, nonché sviluppare approcci e soluzioni, sfruttando le tecnologie di INDUSTRIA 4.0 per sistemi sostenibili, resilienti e umano-centrici (INDUSTRIA 5.0). Il progetto è concepito per operare in contesti di economia circolare mediante soluzioni di lavoro collaborativo. L'obiettivo primario è l'ottimizzazione dei processi di remanufacturing, con la contestuale riduzione del carico di lavoro fisico e mentale per gli operatori impegnati in mansioni gravose.

MELODY indaga la fattibilità delle soluzioni su due fronti: (i) dal punto di vista del prodotto, per la necessità di acquisire ed elaborare dati contestuali a supporto di decisioni critiche (rigenerare o riciclare); (ii) dal punto di vista del processo, affinché il sistema si adatti ai servizi richiesti integrando l'abilità e la flessibilità umana. Sul piano tecnico, MELODY propone l'adozione di un sistema multi-robot che operi in collaborazione proattiva con gli esseri umani per eseguire compiti complessi e parzialmente strutturati.

Le attività di ricerca e sviluppo di MELODY si articolano su tre assi principali:

SVILUPPO di un framework per la circolarità e la manutenzione predittiva: sono state definite soluzioni per valutare lo stato di salute dei componenti del prodotto, al fine di configurare i task di disassemblaggio in modo adattivo. La stima della Remaining Useful Life (RUL - vita utile residua) è cruciale: funge da strumento predittivo per definire lo stato del prodotto (riparazione, scarto o riutilizzo) e dei suoi singoli componenti (riutilizzo, rigenerazione o scarto). Nel contesto del disassemblaggio, prevedere lo stato del prodotto permette una schedulazione più efficiente delle attività condivise tra uomo e robot.

SELEZIONE delle strategie collaborative di interazione uomo-robot: il progetto ha portato allo sviluppo di strategie per un'interazione bidirezionale tra operatori umani e sistema multi-robot. L'approccio si fonda sul paradigma dell'apprendimento reciproco, con l'obiettivo di generare benefici per l'uomo, per i robot e per l'intero processo.

APPLICAZIONE di cooperazione multi-robot decentralizzata: sono stati sviluppati nuovi approcci per il coordinamento e la cooperazione dei manipolatori robotici nelle fasi di recupero. In particolare, sono state sviluppate strategie di controllo decentralizzato, essenziali per conferire flessibilità e robustezza al sistema. Tali strategie risultano spesso l'unico approccio percorribile in scenari complessi, dove la comunicazione centralizzata con tutti i robot può essere impossibile o limitata (es. capacità di comunicazione a corto raggio).

IL CONTRIBUTO DEL DIING ALLA RICERCA SULLE ONDE GRAVITAZIONALI

Vincenzo Fiumara

La ricerca riguardante la rivelazione delle onde gravitazionali, perturbazioni dello spazio-tempo prodotte da grandi masse in moto accelerato nel corso di importanti fenomeni astrofisici quali, per esempio, la fusione tra coppie di buchi neri o stelle di neutroni, ha portato allo sviluppo di rivelatori interferometrici straordinariamente sensibili come LIGO, Virgo e KAGRA. Questi strumenti funzionano misurando minime variazioni, indotte dal passaggio delle onde gravitazionali, nella lunghezza dei percorsi dei raggi laser che circolano nei bracci dell'interferometro.

La riduzione delle diverse fonti di rumore, che limitano la sensibilità e quindi il range di visibilità dei rivelatori, costituisce tuttora la frontiera delle attività di ricerca per riuscire a captare segnali gravitazionali più deboli e più lontani nello spazio e nel tempo.

L'attività condotta presso il DiING si svolge nell'ambito delle collaborazioni scientifiche internazionali Virgo ed Einstein Telescope (ET) e riguarda lo studio di coating ad elevate prestazioni per le masse terminali degli interferometri, finalizzato alla realizzazione di specchi ad elevatissima riflettività e minimo rumore termico.

In particolare la ricerca svolta nel 2025 ha riguardato

- 1) il design ottimizzato di coating multimateriale stratificati;
- 2) l'analisi termica del sistema coating-massa terminale dei bracci dell'interferometro;
- 3) la caratterizzazione sperimentale ottica e geometrica, mediante ellissometria spettroscopica, di film multimateriale stratificati a base di ossidi vetrosi.

Principali collaborazioni: Virgo Collaboration (Gruppo Coating R&D), Einstein Telescope Collaboration (ET), Università di Roma Tre (Prof.ssa Veronica Granata), Università di Salerno (Prof. Francesco Chiadini), Università del Sannio (Prof. Vincenzo Pierro)

PROGRESSI NELLE MISURE DA SATELLITE DI INQUINANTI E DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Giuliano Liuzzi

Le prospettive correnti della ricerca nel campo dell'Osservazione della Terra pongono alcune sfide urgenti e di grande interesse scientifico, che sono state raccolte dall'Agenzia Spaziale Italiana, dall'ESA e da altri enti di ricerca internazionali. Tra queste sfide rientra la necessità di ottenere una sempre più accurata misura e previsione della concentrazione di inquinanti e gas serra in atmosfera, il progresso nella comprensione della chimica atmosferica di alcune specie in traccia, e il monitoraggio globale delle grandezze chiave per la caratterizzazione del riscaldamento globale e del bilancio radiativo dell'atmosfera.

Le attività di ricerca del gruppo di Fisica del sistema Terra, dei pianeti, dello spazio e del clima rispondono a queste sfide con attività nell'ambito di numerosi progetti finanziati dagli enti sopra menzionati e da studi complementari. Nel corso dell'intervento il gruppo illustrerà le ricerche maggiormente di frontiera in questo contesto.

In particolare, verrà illustrato il coinvolgimento del gruppo nella 9a missione Earth Explorer di ESA, FORUM, che verrà lanciata nel 2028, e in MetOp-SG, per la quale in gruppo svolge modellistica di avanguardia per lo studio di nubi stratosferiche, gas in traccia, variabili meteorologiche, prodotti satellitari prototipali, caratterizzazione delle performance strumentali, e sinergie con missioni esistenti. Inoltre, verranno descritte metodologie innovative e originali con le quali si utilizza l'AI per la rilevazione di sorgenti superficiali di metano da dati satellitari, uno dei target atmosferici di maggiore interesse negli ultimi anni, e come queste analisi vengano interfacciate con setup specifici di modelli di circolazione regionali sviluppati dal nostro gruppo.

Collaborazioni interne: Francesco Ripullone, Nicola Pergola, Marinella Ragosta, Paolo Di Girolamo.

Collaborazioni esterne: Università di Bologna, CNR, Università della Calabria, Università di Atene, INAF-IAPS, ASI, ESA, BIRA-IASB, University of Namur, The Open University, NASA Goddard Space Flight Center, CNRS, SPASCIÀ, Universidad Politecnica de Madrid, University of Maryland (Dr. Sergio De Souza-Machado), Imperial College, University of Wisconsin-Madison.

ATTIVITÀ DI RICERCA PRESSO IL LABORATORIO MEDEA - MECHANICAL DESIGN AND ADVANCED ENGINEERING METHODS

Rocco Mozzillo, Vincenzo Claps, Antonio Di Giacomo

Il gruppo di ricerca afferente all'SSD IIND-03/B - Disegno e metodi dell'ingegneria industriale (ex-SSD ING-IND/15) si occupa dello sviluppo di metodologie innovative di progettazione basate sull'utilizzo e l'implementazione di tecnologie CAD/CAE, Mixed and Virtual Reality in contesti industriali. Dal 2020 le attività dal gruppo di ricerca vengono sviluppate nel laboratorio MEDEA (MEchanical DEsign and Advanced Engineering Methods) presso la Scuola di Ingegneria, attualmente Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi della Basilicata. Il gruppo lavora sui seguenti ambiti di ricerca, tra loro connessi: sviluppo di metodologie di progettazione meccanica basata sulle tecnologie CAD/CAE, Realtà Aumentata e Virtuale (AR/VR), Interazione Uomo-Robot (HRI) e Design for Additive Manufacturing (DfAM).

Le attività di ricerca riguardanti lo sviluppo di metodologie di progettazione di sistemi complessi sono condotte principalmente in campo industriale ed in quello relativo sviluppo di macchine per la produzione di energia da fusione nucleare. Tali attività sono sviluppate in collaborazione con il consorzio CREATE, con ENEA e con il consorzio europeo per lo sviluppo della fusione nucleare EUROfusion. Attualmente il gruppo di ricerca è coinvolto nei progetti: DEMO, ITER, DTT e VNS che hanno l'obiettivo di sviluppare macchine per la produzione di energia da fusione nucleare. Il gruppo collabora con realtà industriali del territorio nazionale per lo sviluppo di attrezzature di manutenzione da remoto di componenti di reattori a fusione nucleare e per l'analisi e lo sviluppo di attrezzature industriali complesse.

E' da sottolineare la collaborazione con il gruppo SSD IIET-01/A Elettrotecnica (ex ING-Ind/31) su tematiche relative a: determinazione e validazione di un modello multi-fisico 2D-3D per l'analisi dei carichi EM indotti sul VV di un Tokamak da una disruption del plasma, verifiche preliminari di compatibilità elettromagnetica relative agli edifici collocati a ridosso del reattore.

Il gruppo di ricerca ha avviato inoltre un secondo ambito di ricerca, attraverso una stretta collaborazione con aziende operanti nel settore elettromedicale del territorio lucano ed il IRCCS CROB di Rionero in Vulture su tematiche riguardanti lo sviluppo di applicazioni di realtà aumentata a supporto di attività di chirurgia. Le applicazioni sviluppate riguardano la visualizzazione e la manipolazione dei risultati di analisi diagnostiche di Tomografia Assiale Computerizzata (TAC) in ambiente virtuale. Tali attività hanno portato allo sviluppo dell'applicazione di realtà aumentata REVIM in collaborazione con il laboratorio AREA afferente al SSD IINF-04/A (ex ING-ING/04). Grazie alla collaborazione con AREA il gruppo di ricerca di MEDEA ha avviato anche attività riguardanti lo studio dell'interazione uomo-robot attraverso tecnologie AR/VR, per lo studio di soluzioni software e hardware che migliorino la comunicazione e la collaborazione tra esseri umani e macchine.

Nel corso dell'ultimo anno presso il laboratorio è stata installata una postazione di prototipazione rapida per lo sviluppo di metodologie di Design for Additive Manufacturing. In tale ambito il gruppo

sta lavorando allo sviluppo di un prototipo dimostrativo, in scala reale, di una attrezzatura per la saldatura ed il taglio da remoto di tubazioni in ambiente nucleare.