



Università  
di Genova

DICCA DIPARTIMENTO  
DI INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA  
E AMBIENTALE

# DICCA

CHI | COSA | COME



## Indice

1. Il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale .....	3
2. La struttura del dipartimento al 1° marzo 2022 .....	5
3. La didattica del DICCA .....	9
• Primo e secondo ciclo	
• Terzo ciclo: i dottorati del DICCA	
4. I laboratori .....	19
5. La ricerca .....	23
6. Il futuro del dipartimento: alcune linee programmatiche per il prossimo triennio .....	185
• Linee di sviluppo del settore “fluidi e ambiente”	
• Linee di sviluppo del settore “strutture e territorio”	
• Linee di sviluppo dell’area chimica	



## 1. Il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale

Il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA) della Scuola Politecnica dell'Università di Genova è stato istituito con Decreto Rettorale n. 1340 del 26 aprile 2012, con decorrenza dal 1° maggio 2012. E' nato dalla fusione del DICHEP (Dipartimento di Ingegneria Chimica e di Processo G.B. Bonino) e del DICAT (Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio), con la volontà di accomunare in un unico polo didattico e scientifico aree culturali chiaramente definite (quelle caratteristiche dell'ingegneria chimica e dell'ingegneria civile) e caratterizzate dallo stesso intento: migliorare le conoscenze e l'intervento umano su temi quali ambiente, sostenibilità e cura del territorio, coinvolgendo sia l'interesse di studiosi che appartengono ai tradizionali settori dell'ingegneria civile, chimica e ambientale sia l'interesse di studiosi di altre aree culturali che in tale impostazione colgono una continuità e una possibilità di sviluppo delle discipline a cui fanno riferimento.

Le competenze degli afferenti al dipartimento coprono ad ampio spettro i temi storicamente consolidati dell'ingegneria civile (strutture, sismica, idrologia, idraulica, geotecnica, trasporti, disegno, rilievo, urbanistica e geomatica), dell'ingegneria chimica (sintesi e ottimizzazione di processo, impiantistica chimica, progettazione ecosostenibile dei processi e dei prodotti, materiali, corrosione e protezione dei materiali, affidabilità e sicurezza nell'industria di processo, tecnologie alimentari) e dell'ingegneria ambientale e del territorio (modellistica ambientale, difesa del suolo, pianificazione e gestione territoriale, ingegneria sanitaria ambientale, biotecnologie industriali e ambientali). Anche altri settori, come l'ingegneria di materiali e biomateriali, la geofisica o la fluidodinamica, sono ben integrati nel DICCA, ampliando notevolmente le possibilità nel campo della ricerca intersettoriale. In questo quadro di interessi, temi ed obiettivi, la ricerca del Dipartimento intende collocarsi tra mondo universitario ed extrauniversitario, nazionale e internazionale, esprimendo, attraverso la profonda consapevolezza delle leggi scientifiche, un autorevole contributo alla conoscenza, alla trasformazione e al governo dell'ambiente nell'accezione più ampia del termine.

Le finalità che il DICCA si pone possono riassumersi come segue:

1. accrescere in modo coordinato le competenze scientifiche di tutti gli afferenti, offrendo una realtà che favorisca lo sviluppo di attività interdisciplinari. Questo aspetto è premessa indispensabile, da una parte per una qualificata offerta didattica, dall'altra per l'espansione di quelle attività di ricerca da cui sempre più dipende la capacità del Dipartimento di autofinanziarsi, elemento fondamentale nell'Università attuale per giustificare ipotesi di crescita ulteriore;
2. collaborare, quale interlocutore di alto profilo culturale, con enti locali e imprese in ambito sia regionale e nazionale che internazionale, per affrontare i grandi problemi della moderna ingegneria, attraverso l'applicazione delle scienze proprie dell'ingegneria civile e dell'ingegneria chimica;
3. diventare un punto di riferimento culturale e didattico per gli aspetti propri dell'ingegneria relativamente allo studio dell'ambiente naturale e antropico e delle sue interazioni con l'uomo; aspetti e problemi che sempre più frequentemente vengono posti all'attenzione dell'Università quale sede istituzionale della ricerca.

L'attività di ricerca del dipartimento, descritta più avanti, si articola in sintonia con le linee tematiche nazionali e internazionali, ed è mirata ad armonizzare gli sviluppi di base e le finalità applicative, lasciando ad ogni ricercatore afferente la libertà nell'individuare argomenti specifici e relativi finanziatori. Il DICCA garantisce, nei limiti delle possibilità e in base a condivisi criteri di priorità, la massima disponibilità di spazi, di personale e quant'altro necessario ad uno svolgimento ottimale della ricerca stessa.

## 2. La struttura del dipartimento al 1° marzo 2022

Al 1° marzo 2022 il dipartimento è costituito da 183 unità di personale, strutturate o meno, così suddivise:

- Personale tecnico amministrativo: 27 unità
- Personale docente: 82 unità
- Assegnisti di ricerca: 28 unità
- Dottorandi: 46 unità

Tra gli 82 membri del personale docente, due sono Professori Emeriti: Giulio Scarsi e Giovanni Seminara. Il dettaglio di tutto il personale in servizio è fornito nelle tabelle che seguono.

	<b>Settore</b>
<b>Personale Amministrativo</b>	
Aldo Spalla	Responsabile Amministrativo
Maria Laura Agnelli	Ufficio Negoziale
Maura Camattari	Ufficio Negoziale
Stefania Di Gangi	Ufficio Negoziale
Annunziata Falanga	Ufficio Negoziale
Patrizia Grassi	Ufficio Negoziale
Anna Maria Marzocchi	Ufficio Negoziale
Silvia Penco	Ufficio Negoziale
Manuela Bottino	Ufficio Ricerca
Alice Cavallo	Ufficio Ricerca
Carola Montaldo	Ufficio Ricerca
Paola Pittaluga	Ufficio Ricerca
<b>Personale Tecnico</b>	
Fabio Currò	Coordinatore Tecnico
Giancarlo Cassini	Referente Tecnico Laboratorio Idraulica
Andrea Freda	Referente Tecnico Ingegneria dei Materiali
Giuseppe Riotto	Referente Tecnico Laboratorio Meccanica Materiali e Strutture, Galleria del Vento
Davide Burlando	Area Civile
Antonio Cosso	Area Chimica
Maurizio Galassini	Area Civile
Roberto Manzoli	Area Civile
Roberto Pace	Area Chimica
Carlo Pronzati	Area Chimica
Marco Rinzivillo	Area Informatica DICCA
Sonia Russo	Area Civile
Mattia Stagnaro	Area Civile
Giuseppe Tarantino	Area Civile
Renato Zerbino	Servizi Generali

## Personale docente

SC	SSD	Nome settore	Professori Ordinari	Professori Associati	Ricercatori	RTDB	RTDA
03/B2	CHIM/07	Fondamenti Chimici delle Tecnologie	Marco Panizza	Elisabetta Finocchio Gianguido Ramis	Marina Delucchi	Maria Paola Carpanese	
03/D1	CHIM/11	Chimica e Biotecnologia delle Fermentazioni	Attilio Converti			Alessandro Alberto Casazza	
04/A4	GEO/12	Oceanografia e Fisica dell'Atmosfera		Massimiliano Burlando			
08/A1	ICAR/01	Idraulica	Paolo Blondeaux Marco Enrico Colombini Rodolfo Repetto Giovanna Vittori	Michele Bolla Pittaluga Alessandro Stocchino Nicoletta Tambroni			Marco Mazzuoli
08/A1	ICAR/02	Costruzioni Idrauliche e Marittime e Idrologia	Giorgio Boni Giorgio Roth	Giovanni Besio Ilaria Gnecco Luca Giovanni Lanza Anna Palla	Angela Celeste Taramasso		Silvia De Angeli
08/A2	ICAR/03	Ingegneria Sanitaria-Ambientale		Michela Gallo			Erica Gagliano
08/A4	ICAR/06	Topografia e Cartografia	Domenico Sguerso	Bianca Federici			Ilaria Ferrando
08/B1	ICAR/07	Geotecnica	Domenico Gallipoli	Riccardo Berardi Rossella Bovolenta Roberto Passalacqua		Agostino Walter Bruno	Leonardo Maria Lalicata
08/B2	ICAR/08	Scienza delle Costruzioni	Luigi Garbarotta Roberta Massabò Giuseppe Piccardo	Andrea Bacigalupo Marco Lepidi Ilaria Monetto Roberta Sburlati Federica Tubino			Vito Diana
08/B3	ICAR/09	Tecnica delle Costruzioni	Sergio Lagomarsino Maria Pia Repetto	Antonio Brencich Chiara Calderini Serena Cattari Luisa Pagnini Stefano Podestà		Antonio Caggiano	Stefania Degli Abbati
08/E1	ICAR/17	Disegno		Carlo Battini			
08/F1	ICAR/20	Tecnica e Pianificazione Urbanistica		Ilaria Del Ponte Francesca Pirlone			Ilenia Spadaro
09/A1	ING-IND/06	Fluidodinamica	Alessandro Bottaro Andrea Mazzino Agnese Seminara	Jan Oscar Pralits			Joel Enrique Guerrero Rivas
09/D1	ING-IND/22	Scienza e Tecnologia dei Materiali		Antonio Barbucci Rodolfo Botter	Fabrizio Barberis	Alberto Lagazzo	
09/D2	ING-IND/23	Chimica Fisica Applicata		Barbara Bosio			
09/D2	ING-IND/24	Principi di Ingegneria Chimica	Elisabetta Arato Renzo Di Felice	Ombretta Paladino			Cristina Moliner
09/D2	ING-IND/26	Teoria dello Sviluppo dei Processi Chimici		Adriana Del Borghi			
09/D3	ING-IND/25	Impianti Chimici	Bruno Fabiano Patrizia Perego	Carlo Solisio		Roberta Campardelli	Margherita Pettinato
09/D3	ING-IND/27	Chimica Industriale e Tecnologica	Guido Busca			Gabriella Garbarino	
09/G2	ING-IND/34	Bioingegneria Industriale					Pier Francesco Ferrari

ASSEGNISTI DI RICERCA				
Sara Alfano	ICAR/09 - TECNICA DELLE COSTRUZIONI		Giulia De Grei Atanasio	ING-IND/25 - IMPIANTI CHIMICI
Michele Angiolilli	ICAR/09 - TECNICA DELLE COSTRUZIONI		Sara Gagliolo	ICAR/06 - TOPOGRAFIA E CARTOGRAFIA
Fiammetta Rita Bianchi	ING-IND/23 - CHIMICA FISICA APPLICATA		Sasan Kheirandish	ING-IND/06 - FLUIDODINAMICA
Dario Bove	ING-IND/23 - CHIMICA FISICA APPLICATA		Daniele Lagomarsino Oneto	ING-IND/06 - FLUIDODINAMICA
Stefano Brusco	ICAR/08 - SCIENZA DELLE COSTRUZIONI		Xiao Li	ICAR/09 - TECNICA DELLE COSTRUZIONI
Alejandro Vaceres Euse	ICAR/02 - COSTRUZIONI IDRAULICHE E MARITTIME E IDROLOGIA		Andrea Orlando	ICAR/09 - TECNICA DELLE COSTRUZIONI
Federico Canepa	GEO/12 - OCEANOGRAFIA E FISICA DELL'ATMOSFERA		Nicola Rigolli	ING-IND/06 - FLUIDODINAMICA
Arianna Cauteruccio	ICAR/02 - COSTRUZIONI IDRAULICHE E MARITTIME E IDROLOGIA		Luca Roncallo	ICAR/08 - SCIENZA DELLE COSTRUZIONI
Mattia Cavaiola	ING-IND/06 - FLUIDODINAMICA		Asrar Ahmad Sheikh	ING-IND/23 - CHIMICA FISICA APPLICATA
Mohammad Daliri	ICAR/02 - COSTRUZIONI IDRAULICHE E MARITTIME E IDROLOGIA		Elena Spennati	ING-IND/27 - CHIMICA INDUSTRIALE E TECNOLOGIA
Francesco De Leo	ICAR/02 - COSTRUZIONI IDRAULICHE E MARITTIME E IDROLOGIA		Andi Xhelaj	GEO/12 - OCEANOGRAFIA E FISICA DELL'ATMOSFERA
Josip Zuzul	GEO/12 - OCEANOGRAFIA E FISICA DELL'ATMOSFERA		Vianney Yepmo Henang	ING-IND/06 - FLUIDODINAMICA
Davide Clematis	CHIM/07 - FONDAMENTI CHIMICI DELLE TECNOLOGIE		Edoardo Ruffini	ICAR/08 - SCIENZA DELLE COSTRUZIONI
Sabrina Sposito	ICAR/02 - COSTRUZIONI IDRAULICHE E MARITTIME E IDROLOGIA		Andrea Lira-Loarca	ICAR/02 - COSTRUZIONI IDRAULICHE E MARITTIME E IDROLOGIA

<b>DOTTORANDI XXXV CICLO</b>	<b>DOTTORANDI XXXVI CICLO</b>	<b>DOTTORANDI XXXVII CICLO</b>
Elyas Bayat	Essameldin Nabil Ahmed Kamal Abdo	Camila Aldereguía Sánchez
Selena Candia	Diana Bianchi	Hao-yu Bin
Filippo Castelli	Matteo Borella	Chiara Bufalini
Enrico Chinchella	Davide Cademartori	Daniele Carnevale
Wandercleiton Da Silva Cardoso	Junyang Li	Alessia Casalucci
Emanuela Drago	Alessia Ruffini	Kishore Chand
Halit Kutkan	Simone Varni	Moein Doost Mohammadi
Stefania Magrì	Stefano Vozzella	Sina Ebrahim Atakoohi
Antonio Maria Asensio	Jiasen Wei	Seyedmohsen Hosseini
Mekdes Tadesse Mengistu	Manuel Corrales Gonzales	Desara Malluta
Stefano Pastorino	Vittoria Vassallo	Iram Parvez
Stefania Viaggio	Dario Hourngir	Giulio Lucio Sergio Sacco
	Sofia Giusto	Eric Segalerba
		Andrea Barberis
		Alessandro Iacopino
		Lorenzo Durante
		Shabnam Mirizadeh
		Ali Alakbar Karaki
		Maria Bolla
		Silvia Pinasco
		Nazarpour Tameh Shaahin

### 3. La didattica del DICCA

I docenti del DICCA svolgono attività didattica per i Corsi di Laurea (CL) e Laurea Magistrale (CLM) del Dipartimento, e per i corsi di Dottorato. Tengono inoltre numerosi corsi e moduli anche per altri CL e CLM della Scuola Politecnica (per DIBRIS, DAD, DIME e DITEN) e della Scuola di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali (per DIFI e DCCI).

#### Primo e secondo ciclo

I Corsi di Laurea afferenti al DICCA costituiscono la sede naturale di attività didattiche nell'ingegneria civile e ambientale e nell'ingegneria chimica, nate nell'Università di Genova più di cinquant'anni or sono. In entrambi i casi formano ingegneri con una solida preparazione, di base e nei settori caratterizzanti, e vedono una naturale prosecuzione dei laureati nei Corsi di Laurea Magistrale, favoriti in questo da un maggior interesse del mercato del lavoro verso la figura del laureato magistrale. La forte tradizione e la solidità della preparazione costituiscono indubbiamente un elemento di attrazione rivolto a chi entra nel percorso formativo.

Tutti i Corsi di Studio del Dipartimento sono coinvolti in un progetto di didattica innovativa, finanziato dalla Scuola Politecnica su bando di Ateneo, sulle tecniche di apprendimento e insegnamento. Il progetto intende sviluppare e migliorare l'approccio per competenze, promuovere le *soft skills*, e usare strumenti e metodi per la didattica attiva e partecipativa, oltre a favorire la riflessione su diverse pratiche didattiche tra i docenti dell'Università di Genova.

A partire dall'a.a. 2018-19 l'offerta formativa si è arricchita con l'attivazione di due nuovi corsi di laurea magistrale in lingua inglese: *Environmental Engineering e Engineering for Building Retrofitting*. Le due nuove LM, che hanno completato il loro primo ciclo didattico nell'a.a. 2019-20, hanno avuto un positivo riscontro in termini di numero di studenti, in particolare stranieri, dando un contributo significativo allo sforzo di internazionalizzazione della Scuola Politecnica e dell'Ateneo in generale. L'attivazione di queste due nuove LM ha determinato la revisione dell'offerta didattica anche nel CdS di Ingegneria Civile che ha rivisto l'offerta formativa passando da LM interclasse LM23-35 a LM23 (LM23 è la classe delle lauree magistrali in Ingegneria Civile; LM35 è la classe delle lauree magistrali in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio).

Infine, due corsi di Laurea ad Orientamento Professionale sono in corso di istituzione, con attivazione prevista a partire dall'a.a. 2022/2023. Uno è il corso in Tecnologie per l'Edilizia e il Territorio, e il secondo è il corso in Tecnologie per la Transizione Industriale, Energetica e Digitale. Queste nuove lauree ad orientamento professionale hanno un ordinamento coerente con le disposizioni di cui al DM 446 del 12 agosto 2020 e con le indicazioni fornite dal CUN con la "Guida alla scrittura degli ordinamenti didattici per l'a.a. 2022-2023". La creazione di tali nuove lauree risponde a un preciso bisogno formativo di giovani periti industriali o geometri neo-diplomati; le varie attività didattiche, anche laboratoriali, di aggiornamento e di formazione professionale, necessarie per accedere alla professione verranno condotte anche nell'ambito di accordi stipulati tra il DICCA e i Consigli Nazionali di Geometri e Periti Industriali, i Comitati Regionali dei Geometri Liguri e Periti Industriali Liguri, e i Collegi provinciali dei Geometri e dei Periti Industriali della Liguria.

Di seguito vengono fornite alcune indicazioni più specifiche sui corsi di studio già attivati.

Il **Corso di Laurea in Ingegneria Civile e Ambientale** deriva, dopo la riforma degli studi universitari, dai preesistenti corsi di Laurea quinquennale in Ingegneria Civile e Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio. Il programma di studio si propone di fornire agli studenti una solida conoscenza di base e la padronanza di metodi e contenuti scientifici generali, da applicare nei settori tradizionali e di recente interesse per l'ingegneria civile e ambientale. Il titolo conseguito nel corso di laurea consente di operare in particolare negli ambiti professionali della progettazione tecnica (società di consulenza e costruzione), nell'organizzazione e gestione dei cantieri, nelle strutture tecniche e di gestione delle amministrazioni pubbliche e private. Il corso fornisce i requisiti necessari all'ammissione a lauree magistrali principalmente nelle classi dell'ingegneria civile, dell'ingegneria per l'ambiente e il territorio, dell'ingegneria dei sistemi edilizi e, in particolare, tra i percorsi offerti dal Dipartimento, alla Laurea Magistrale in Ingegneria Civile, alla Laurea Magistrale in *Environmental Engineering* e alla Laurea Magistrale in *Engineering for Building Retrofitting*.

Il **Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile**, nell'attuale configurazione, deriva dal precedente corso magistrale in Ingegneria Civile e Ambientale. In seguito al cambiamento di ordinamento effettuato nel 2017, legato alla riorganizzazione dei corsi di laurea del Dipartimento, è stato introdotto un corso di laurea nella classe di Ingegneria Civile (LM23) che è stato attivato a partire dall'a.a. 2018-19 con due percorsi: "strutture" e "territorio". Nei primi due anni di attivazione (2018-19 e 2019-20) il primo anno presentava insegnamenti comuni ai due percorsi con differenziazione dei percorsi completa solo al secondo anno.

La maggior offerta formativa del dipartimento e l'aumento della domanda della figura dell'ingegnere civile nel settore delle costruzioni, ha richiesto un intervento di revisione dell'offerta formativa della LM in Ingegneria Civile mirata a una ottimizzazione nella distribuzione dei crediti tra primo e secondo anno e ad una maggiore caratterizzazione dei due curricula proposti. Infatti, al primo anno è stato ridotto il numero di crediti a 48 CFU (da 60 CFU) e introdotta la scelta di un solo insegnamento caratterizzante il curriculum; per il secondo anno sono previsti 55 CFU differenziati per i due curricula. Inoltre, è stato incrementato (i) il numero dei CFU del tirocinio (da 3CFU a 5CFU) promuovendo diverse convenzioni con le realtà lavorative da proporre ai tirocinanti e (ii) il numero di CFU dedicati alla prova finale (17 CFU dai 12 che erano). A partire dall'a.a.2020-21 è anche stato attivato un percorso di laurea magistrale per un "doppio titolo di master in Ingegneria Civile" (DMCI) con l'*Ecole Nationale Supérieure des Mines d'Alès* (Francia).

Il **Corso di Laurea Magistrale in *Engineering for Building Retrofitting*** è un corso istituito nell'a.a. 2018/2019. Incardinato nella classe di laurea di Ingegneria dei Sistemi Edilizi (LM24) e integralmente in inglese, è stato progettato per venire incontro, in ambito nazionale e internazionale, ad una domanda crescente di ingegneri specialisti nella valutazione e nella progettazione di interventi sugli edifici esistenti. Il corso, fortemente interdisciplinare, fornisce competenze nel campo della sicurezza strutturale (statica e sismica), dell'efficienza energetica, del confort, della manutenzione e della conservazione.

A partire dall'a.a. 2022-2023 è stato attivato un percorso di laurea magistrale per il conseguimento di un doppio titolo con l'Università di Stato di Voronezh (Russia). In conseguenza dell'attuale situazione geopolitica il futuro di tale doppio titolo rimane da valutare. Un'altra collaborazione è al momento oggetto di discussione con la *Florida International University (FIU)*, e riguarda la creazione di un certificato congiunto sul tema delle infrastrutture, la loro progettazione strutturale, gestione, monitoraggio, *retrofitting*, etc.

**Il Corso di Laurea Magistrale in *Environmental Engineering*** è stato istituito nell'a.a. 2018/2019. Incardinato nella classe di laurea dell'Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio (LM35) e integralmente in inglese, è stato istituito per caratterizzare e completare l'offerta formativa dell'Università di Genova nell'ambito delle lauree magistrali nel campo civile-ambientale e per venire incontro, in ambito nazionale e internazionale, ad una domanda crescente di ingegneri specialisti nella trattazione dei temi ambientali, sia da un punto di vista delle infrastrutture sia in ambito di stesura e gestione di politiche ambientali aziendali. Il corso di laurea prevede il coinvolgimento di docenti di altri dipartimenti allo scopo di offrire una formazione multidisciplinare anche per quanto riguarda aspetti ecologici e legislativi. Possono accedere direttamente al corso studenti con una formazione triennale nell'ambito dell'ingegneria civile-ambientale e nell'ingegneria chimica. Il corso di *Environmental Engineering* presenta due indirizzi, uno dei quali, unico in Italia, è specifico sul mare. A partire dall'a.a. 2022/2023 per la durata di quattro anni accademici, il corso di *Environmental Engineering* parteciperà con la propria offerta didattica al programma *Erasmus Mundus in Coastal and Marine Engineering and Management (CoMEM)*, di cui l'Università degli Studi di Genova è partner, insieme alla *Norwegian University of Science and Technology (NTNU)*, al *Caen Institute of Civil Engineering and Construction (ESITC)*, all'Università di Caen Normandia (UNICAEN) e all'*Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)*. Sono al momento in corso discussioni anche con la *FIU* per una loro partecipazione al programma.

**Il Corso di Laurea in Ingegneria Chimica e di Processo** è il prosieguo di un'attività didattica nell'Ingegneria Chimica che può vantare un'esperienza di oltre cinquant'anni di vita a Genova; in questo periodo il corso ha subito profonde modifiche, dovendo seguire le indicazioni ministeriali e le esigenze evolutive del contesto socio-produttivo. L'attuale denominazione del corso di Laurea, parallelamente a quella dell'omonimo corso magistrale, è stata modificata a partire dall'a.a. 2016/17 dalla vecchia denominazione Ingegneria Chimica per adeguarla alla terminologia più comunemente utilizzata in ambito europeo e agli effettivi contenuti del corso. Il mercato del lavoro e le multinazionali della chimica, largamente presenti in Italia e in Europa, non riconoscono spazi significativi all'ingegnere triennale italiano e ricercano, ai fini dell'assunzione, quasi esclusivamente il laureato magistrale. Anche per tale motivo, gli stessi studenti sono di fatto interessati alla laurea triennale come primo gradino per accedere successivamente alla laurea magistrale. Come conseguenza il corso di studio triennale di Genova, allineato al quadro nazionale, è di tipica impronta generalista ed è prevalentemente funzionale al completamento degli studi con la laurea magistrale in Ingegneria Chimica e di Processo.

Da segnalare infine che è stato ultimato l'allestimento dei nuovi laboratori per la ricerca e la

didattica nell'ingegneria chimica e di processo, a disposizione degli studenti a partire dall'a.a. 2018-2019.

**Il Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Chimica e di Processo** è la naturale prosecuzione dell'omonimo corso di laurea. Analogamente al corso di laurea il nome di questo corso di studi è stato modificato da ingegneria chimica a ingegneria chimica e di processo. Contestualmente è stata modificata la tabella dell'ordinamento didattico, aumentando i CFU della prova finale e modificando l'offerta formativa nei settori di Principi di Ingegneria Chimica e Impianti Chimici allo scopo di accentuare gli aspetti formativi legati alla figura dell'ingegnere di processo. Gli iscritti al corso hanno la possibilità di accesso a percorsi con doppi titoli con le Università di Liegi (Belgio) e di Valencia (Spagna).

**Il Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile-Architettura** è un corso istituito nell'a.a. 2014/2015, contestualmente alla disattivazione del corso di laurea magistrale a ciclo unico in Ingegneria Edile-Architettura e all'istituzione della Laurea Triennale in Scienze dell'Architettura con Indirizzo Ingegneria Edile presso il Dipartimento di Architettura e Design. Incardinato in classe di laurea di Architettura e Ingegneria Edile-Architettura, forma una nuova figura professionale che, alla specifica capacità progettuale a livello architettonico e urbanistico, accompagna la padronanza degli strumenti relativi alla fattibilità strutturale e costruttiva dell'opera ideata, fino a poterne seguire con competenza la corretta esecuzione sotto il profilo estetico, strutturale, funzionale e tecnico-economico. Il corso di studi costituisce una realtà specifica nel panorama nazionale, insieme all'altra magistrale biennale di Bologna, di recente istituzione, nell'ambito di corsi di laurea in Ingegneria Edile-Architettura che hanno mantenuto un percorso quinquennale a ciclo unico. All'atto dell'istituzione, il corso di studi è stato accreditato in sede europea secondo la Direttiva 2005/36/CE e consente di accedere all'Esame di Stato per l'iscrizione sia all'Albo degli Ingegneri, sia all'Albo degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori.

### **Terzo ciclo: i dottorati del DICCA**

Il dottorato in *Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale*, catalogato come dottorato Internazionale, Innovativo e Interdisciplinare, è il corso di riferimento del Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale dell'Università di Genova, e ha l'obiettivo di fornire un'educazione avanzata a giovani laureati magistrali e professionisti qualificati negli ambiti di ricerca del dipartimento. È articolato in quattro curricula:

*Chemical, Materials and Process Engineering*

*Fluid Dynamics and Environmental Engineering*

*Structural and Geotechnical Engineering, Mechanics and Materials*

*Wind Science and Engineering*

Le tematiche di ricerca riguardano la progettazione sostenibile di materiali e strutture per l'ingegneria civile e industriale, i processi di produzione di materiali e prodotti e il trattamento eco-sostenibile, il riciclo e riuso delle materie di scarto. Particolare attenzione è rivolta agli aspetti ambientali, e tra questi allo studio degli effetti di terremoti, frane, alluvioni e tempeste sul costruito, agli incidenti industriali, all'inquinamento delle acque, dell'aria e del suolo e allo

sviluppo di nuove tecnologie, di modelli fisico-matematici e di materiali e processi sicuri e sostenibili.

I docenti afferenti al dottorato di ricerca hanno collaborazioni attive con le migliori istituzioni di ricerca internazionali. Il dottorato ha accordi di co-tutela per l'ottenimento del doppio titolo con università europee e internazionali e un accordo internazionale di cooperazione con l'Università di Sao Paulo, Brasile. Gli studenti del dottorato svolgono le loro ricerche nell'ambito di progetti di ricerca nazionali e internazionali, finanziati dalla Comunità Europea e da agenzie nazionali e Internazionali.

I dottori di ricerca, ex allievi del DICCA, svolgono lavori di alta qualificazione, come docenti universitari, professionisti e ricercatori presso istituzioni private e pubbliche in Italia e all'estero, spesso con ruoli di rilievo nelle grandi aziende, nel settore pubblico e nel privato.

Il curriculum di **Chemical, Materials and Process Engineering** del dottorato si avvale delle ampie competenze scientifiche del Dipartimento nei campi dell'ingegneria chimica, dell'ingegneria dei materiali e dell'ingegneria di processo ed è finalizzato alla formazione di figure professionali dotate di elevate capacità organizzative e di ricerca autonoma in questi settori. La forte interdisciplinarietà e l'elevato tasso di innovazione necessari per perseguire quest'obiettivo possono evincersi dai principali temi di ricerca e argomenti trattati all'interno del curriculum di cui nel seguito:

- Processi chimici a ridotto impatto ambientale:
  - Analisi/simulazione di sistemi innovativi per la produzione di energia
  - Valorizzazione energetica della biomassa
  - Cattura, trasporto e sequestro di gas serra
  - Ossidazione di metalli e leghe d'interesse tecnologico
  - Ingegneria dei reattori chimici
- Impianti e bioprocessi:
  - Produzione biotecnologica eco-compatibile di composti di interesse industriale
  - Termodinamica e bioenergetica di bioprocessi
  - Trattamento biotecnologico di inquinanti
  - Valorizzazione di residui agroindustriali e biomasse per la produzione di composti d'interesse alimentare
  - Impianti e processi dell'industria alimentare
- Affidabilità e sicurezza negli impianti di processo:
  - Fattore umano, cultura della sicurezza, resilienza e sicurezza intrinseca
  - Valutazione e gestione del rischio accidentale e ambientale
  - Modellazione di scenari incidentali in ambiente onshore e offshore
  - Rischio e sviluppo di tecnologie sostenibili
  - Trasporto di materiali pericolosi e nuovi vettori di energia
- Ingegneria dei materiali
  - Ingegneria dei materiali ceramici, leganti e compositi per la costruzione
  - Sistemi bidimensionali e interfacciali; bagnabilità superficiale
  - Ingegneria dei tessuti biologici e materiali biomimetici

- Caratterizzazione e proprietà dei materiali, durata e riutilizzo
- Tecnologie elettrochimiche per l'ambiente, l'energia e la durata dei materiali
- Catalizzatori e adsorbenti per la chimica industriale
- Sostenibilità dei prodotti
  - Gestione e trattamento di acque reflue e rifiuti e recupero della materia in una prospettiva di economia circolare
  - Valutazione dell'impatto ambientale in suolo, acqua e aria e degli ecosistemi
  - Modellazione e sviluppo dell'industria di processo in una prospettiva del ciclo di vita
  - Gestione del carbonio, mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici
  - Strumenti di certificazione ambientale
  - Chimica industriale delle biomasse

Il curriculum **Fluid Dynamics and Environmental Engineering** raccoglie i docenti che si occupano di tematiche di ricerca relative ai fluidi e alla geomatica. Le aree di ricerca coperte dal curriculum includono:

- Fondamenti di meccanica dei fluidi
- Idrodinamica e morfodinamica fluviale estuarina e costiera
- Meccanica dei fluidi in ambito industriale
- Meccanica dei fluidi biologici
- Idrologia e gestione delle risorse idriche
- Effetti dei cambiamenti climatici
- Geomatica

Il curriculum in **Structural and Geotechnical Engineering, Mechanics and Materials (SMG)** si pone l'obiettivo di educare ricercatori e professionisti altamente qualificati negli ambiti dell'ingegneria strutturale e geotecnica. Gli obiettivi formativi del programma sono raggiunti attraverso un comitato con competenze specifiche nelle aree di studio del programma in un ambiente scientifico altamente stimolante. Il curriculum ha attivato numerosi accordi di co-tutela per l'ottenimento del doppio titolo con università europee e internazionali; ha inoltre attivato un percorso di Dottorato Industriale "executive", in partnership con una importante azienda italiana nel settore della progettazione e costruzione di ponti.

Le principali aree tematiche riguardano l'Ingegneria strutturale e meccanica, la meccanica dei materiali e l'Ingegneria geotecnica. Tra i principali temi e argomenti di ricerca trattati all'interno del curriculum si possono annoverare:

- Ingegneria strutturale: cemento armato, acciaio, muratura, legno, strutture composite
- Dinamica strutturale lineare e non lineare
- Ingegneria sismica
- Ingegneria della conservazione e retrofitting
- Identificazione strutturale, monitoraggio e controllo
- Carichi ambientali e antropici sulle strutture

- Ingegneria del vento ed energia eolica
- Meccanica dei materiali compositi e metamateriali
- Modellazione di materiali microstrutturati e multiscala
- Modellazione multifisica accoppiata
- Plasticità, meccanica del danno e della frattura
- Meccanica del terreno e delle rocce
- Modellistica costitutiva del comportamento idromeccanico del suolo
- Fondazioni e interazioni suolo-struttura
- Ingegneria geotecnica per la conservazione di monumenti e siti storici
- Stabilità dei versanti e meccanismi di innesco e propagazione delle frane

Il curriculum in **Wind Science and Engineering (SIV)** è nato grazie al Progetto ERC THUNDERR (*Detection, simulation, modelling and loading of thunderstorm outflows to design wind-safer and cost-efficient structures*) ed è per sua natura fortemente interdisciplinare. Si caratterizza per il suo notevole tasso di innovazione e di internazionalizzazione, con una grande potenzialità di formare Dottori di Ricerca di alta qualità nel campo dell'ingegneria del vento. Gli obiettivi formativi sono raggiunti attraverso un comitato di curriculum internazionale (Eindhoven University of Technology, Western University Canada, Freie Universität di Berlino), con competenze specifiche nelle aree di ricerca del curriculum.

I principali temi di ricerca trattati nel curriculum sono:

- Aerodinamica di corpi tozzi ed edifici
- Fisica dell'atmosfera e climatologia
- Fluidodinamica computazionale
- Interazione fluido-struttura e aeroelasticità
- Misure e simulazioni del vento
- Venti non-sinottici, *thunderstorms* e *downbursts*
- Aerodinamica e aeroelasticità in condizioni transitorie
- Affidabilità al vento e rischio eolico
- Tempeste di vento e vulnerabilità strutturale
- Vibrazioni indotte dall'azione del vento

Oltre al dottorato in *Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale*, con i suoi quattro curricula, il DICCA coordina due ulteriori curricula all'interno di dottorati interdisciplinari dell'Università di Genova, il dottorato in *Scienze e Tecnologie del Mare* e quello in *Sicurezza, Rischio e Vulnerabilità*.

Il dottorato in *Scienze e Tecnologie del Mare* riunisce le discipline e i saperi che nel mare trovano il proprio campo di indagine e l'ambiente nel quale la ricerca scientifica si svolge sviluppando conoscenze e competenze fortemente specialistiche in un ambiente multidisciplinare. Le attività didattiche e di ricerca comprendono le diverse tematiche e componenti che costituiscono la "Blue Growth Strategy" in un'ottica di sviluppo sostenibile.

All'interno di questo Dottorato, il DICCA coordina il curriculum in **Engineering for Marine and Coastal Environments (EMaCEs)** al cui interno fluiscono le diverse competenze scientifiche sviluppate dal personale accademico del dipartimento nei campi dell'ingegneria ambientale, chimica e strutturale. Questa specificità rende il curriculum altamente multidisciplinare e con un significativo tasso di innovazione grazie alla possibile fertilizzazione e la contaminazione scientifica tra le diverse anime della ricerca presenti all'interno del DICCA.

Tra i principali temi e argomenti di ricerca trattati all'interno del curriculum si possono annoverare:

- Dinamica degli oceani e dell'atmosfera
- Dinamica delle onde
- Processi di mescolamento in mare
- Cambiamento climatico legato alle caratteristiche dell'oceano
- *Litter* marino e destino delle microplastiche nel mare
- Risorse biochimiche del mare
- Affidabilità ambientale, sicurezza e gestione del rischio
- Tecnologie di trattamento delle emissioni per la protezione ambientale nelle aree marine e costiere
- Produzione di energia pulita e tecnologie di cattura del carbonio per applicazioni marine
- Ingegneria costiera e portuale
- Idrodinamica e morfologia della costa
- Fondamenti del trasporto dei sedimenti
- Compositi strutturali marini e materiali avanzati
- Meccanica strutturale in ambienti marini
- Fluidodinamica computazionale e DNS
- Approcci di ottimizzazione per il controllo dei flussi di fluidi in applicazioni marine

Il dottorato in *Sicurezza, Rischio e Vulnerabilità* dell'Università di Genova, istituito nel 2020, ha un carattere fortemente multi-disciplinare con l'obiettivo di formare una nuova generazione di ricercatori capaci di affrontare le sfide del futuro sulla sicurezza. Sfide che richiedono competenze teoriche e applicative inerenti la gestione del rischio e attori capaci di coniugare aspetti tecnologici, normativi, organizzativi e sociali. Ad oggi, il dottorato conta sei curricula: Cybersecurity and reliable AI (CSRAI); Security and Law (SL); Security and Strategic Studies (SSS); Management and Security (MS); Risk, Climate Change and Sustainability Development (RCCSD); **Risk and Resilience Engineering for the Natural, Industrialized and Built Environment (RRENIB)**.

Il curriculum **RRENIB** è coordinato dal DICCA e, come il programma di dottorato all'interno del quale si inserisce, è caratterizzato da un approccio sistemico e multi-disciplinare favorendo la sinergia e cross-fertilizzazione tra le diverse competenze presenti nel dipartimento.

Il curriculum ambisce a formare ricercatori altamente qualificati nei campi dell'ingegneria indirizzati allo studio della resilienza dell'ambiente naturale, costruito e industriale in cui viviamo.

Lo scopo ultimo è quello di stimare e affrontare i rischi derivanti da eventi naturali e attività antropiche e valutarne gli impatti sulla società, in termini di perdite dirette e indirette economiche, sociali e sull'ambiente.

Più nello specifico, le aree di ricerca riguardano:

- Studi per valutare e affrontare rischi derivanti da: eventi naturali (quali ad esempio: terremoti, frane, eventi climatici estremi); attività antropiche (quali ad esempio: esondazioni dei fiumi, scavi profondi, esplosioni, gestione dei rifiuti, impatti, trasporto di sostanze pericolose, perdite di sostanze inquinanti); attività industriali.
- Studi per valutare gli impatti (economici, sociali e ambientali): sull'ambiente naturale (quali atmosfera, suolo e sottosuolo, fiumi e ambiente costiero); su edifici industriali e civili (inclusi quelli a carattere monumentale); sulle infrastrutture per il trasporto di persone, merci e energia.
- Politiche di mitigazione del rischio
- Analisi di rischio e perdite
- Strumenti a supporto della gestione dell'emergenza e della fase di ripresa a seguito di eventi disastrosi
- Studi di resilienza



## 4. I laboratori

I laboratori svolgono la propria attività di supporto alla ricerca nei settori della meccanica delle strutture, dei solidi e dei fluidi, dell'ingegneria sismica, geotecnica, geomatica, idraulica marina e idrologia, ingegneria dei materiali, elettrochimica, chimica industriale, catalisi, sviluppo e modellazione di impianti e processi chimici, alimentari e biotecnologici. I laboratori di area civile sono situati nell'area di villa Cambiaso; quelli dell'area chimica nascono dal recente accorpamento delle due strutture di via Opera Pia e di piazzale Kennedy e sono stati quindi razionalizzati e, in gran parte, aggiornati dal punto di vista impiantistico.

Tutti i laboratori sono dedicati prevalentemente alla realizzazione di attività sperimentali di supporto alla ricerca scientifica e al supporto della didattica sia tramite corsi *ad hoc* di laboratorio, sia con la realizzazione di attività sperimentali all'interno dei diversi corsi. Inoltre, garantiscono il supporto nello sviluppo di tesi di laurea e di dottorato. Data l'altissima specializzazione della strumentazione presente possono inoltre offrire servizi per enti pubblici e aziende private, che richiedano prestazioni ad elevato valore aggiunto e non standardizzato nell'ambito dell'ingegneria chimica e di processo e dell'ingegneria civile.

Il DICCA è inoltre sede di due Laboratori Ufficiali: Geotecnico e dei Materiali da Costruzione, istituiti con regio decreto 2229 nel 1939 e tutt'ora completamente operanti a servizio di privati, aziende ed enti pubblici. Nei Laboratori Ufficiali si eseguono prove sui materiali da costruzione ai sensi della legge 1086/1971, del testo unico dell'edilizia D.P.R 380/2001 e delle conseguenti Normativa Tecnica sulle Costruzioni emanate dal Ministero. I laboratori sono in grado di eseguire la caratterizzazione meccanica di calcestruzzo, malte, cementi, acciaio, leghe metalliche, muratura, laterizi, pietra, legno, terreni, rocce, conglomerati bituminosi, fibre, oltre a materiali innovativi come calcestruzzo alleggerito e fibro-rinforzato.

I laboratori di area civile sono divisi in due sezioni, una sezione "strutture" ed una "fluidi". Sono attivi fin dalla costituzione della Facoltà d'Ingegneria dell'Università di Genova, avvenuta nel 1936. In dettaglio, tali laboratori comprendono:

- Il **laboratorio di strutture e geotecnica**, le cui attività riguardano la caratterizzazione e l'identificazione statica e dinamica di strutture civili e di fondazioni, prove per la conservazione, valorizzazione e miglioramento del patrimonio architettonico ed infrastrutturale esistente, lo sviluppo di soluzioni per la riduzione dell'impatto ambientale delle costruzioni, la caratterizzazione meccanica dei materiali da costruzione, la caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni e il supporto allo sviluppo di materiali innovativi di interesse strutturale e geotecnico anche tramite l'ideazione di metodi di caratterizzazione meccanica.
- la **galleria del vento** a strato limite atmosferico, impianto subsonico a circuito chiuso le cui principali attività consistono in prove aerodinamiche e aeroelastiche su modelli sezionali di elementi strutturali, profili alari, porzioni di impalcati da ponte, modelli in scala di edifici, coperture e imbarcazioni con misure di forza, accelerazione, velocità, pressione del campo di vento e visualizzazioni di scia;

- un **laboratorio di geodesia, geomatica e GIS**, le cui attività riguardano il rilevamento e monitoraggio geomatico del territorio, del costruito, dell'ambiente marino e costiero, dell'archeologia e laddove occorra una conoscenza metrica. Si eseguono analisi in GIS e si sviluppano applicativi dedicati, quali sistemi di supporto alle decisioni o per la gestione delle emergenze;
- il **laboratorio di idraulica "Enrico Marchi"**, le cui attività sperimentali riguardano lo studio di fenomeni connessi all'idraulica dei manufatti artificiali (impianti, condotte e canalizzazioni artificiali), all'idraulica dei corsi d'acqua e degli ambienti marini e lagunari, ai processi di tipo idrologico sia degli ambienti urbani che naturali;
- il **laboratorio di pluviometria**, che oggi fa parte, in collaborazione con il Servizio Meteorologico Italiano, del Centro di Eccellenza dell'Organizzazione Mondiale di Meteorologia sull'intensità di precipitazione. Il laboratorio effettua prove di taratura per la certificazione di strumenti pluviometrici tradizionali di tipo captatore (secondo la norma Europea EN17277:2019) e innovativi, di tipo non captatore. Fornisce inoltre la taratura di dispositivi di verifica in campo degli strumenti pluviometrici ed effettua prove in campo per la verifica delle loro prestazioni;
- il **laboratorio PIV**, le cui attività di ricerca sono relative alla meccanica di fluidi biologici, in particolare, in ambito oftalmologico e cardiovascolare. Il laboratorio ha inoltre lavorato in collaborazione con diverse aziende biomediche per testare l'efficacia di strumenti chirurgici ed ottimizzare il loro utilizzo;
- il **laboratorio di biotecnologie ambientali**, la cui attività è concentrata sull'impatto e la protezione ambientale, sulla conservazione e il recupero delle risorse energetiche da materiali; la depurazione di acque reflue e la purificazione di suoli inquinati mediante processi biotecnologici, processi di produzione di biogas e upgrading dello stesso a biometano, impiego di microalghe per sviluppi energetici/ambientali;
- il **laboratorio di ingegneria dei materiali**, dotato di una molteplicità di apparecchiature per lo sviluppo di soluzioni tecniche in diversi ambiti, che spaziano dal campo biomedico alla caratterizzazione reologica di materiali innovativi, dall'identificazione dinamica delle proprietà meccaniche dei materiali allo studio delle interfacce solido-liquido e ai processi di formazione di gels;
- il **laboratorio di impianti per la sicurezza industriale e ambientale**, ove vengono effettuate attività di campionamento, esecuzione prove e realizzazione di prototipi in scala per la verifica modellistica, nel settore dell'industrie di processo, energy e trasporto multimodale di sostanze pericolose (HazMat); tra questi lo sviluppo di modelli e metodologie per l'analisi di rischio quantitativa (QRA), modellazione in scala finalizzata alla mitigazione del rischio da rilasci da sorgenti puntuali, lineari e diffuse;
- il **laboratorio di ingegneria alimentare**, in cui sono disponibili impianti, prototipi e strumentazione analitica per lo studio e la caratterizzazione di processi e prodotti per applicazioni nell'industria alimentare, biomedica, cosmetica e farmaceutica; tra questi processi di estrazione non convenzionale, purificazione, micro- nano-incapsulamento; produzione di biomateriali funzionalizzati per applicazioni medicali e in smart packaging, caratterizzazione chimico-fisica di materiale particellare, polimeri, materiali e oggetti destinati a venire a contatto con gli alimenti, alimenti, formulati liquidi e solidi, micro- e nanoparticelle;

- il **laboratorio di chimica delle superfici e catalisi industriale**, dove sono disponibili impianti prototipo e strumentazioni per lo studio di fenomeni chimico-fisici relativi all'utilizzo di catalizzatori e adsorbenti solidi, di reazioni chimiche, e allo sviluppo di biomateriali, con attenzione allo sviluppo di nuovi materiali e alla comprensione di meccanismi di reazione e adsorbimento a livello molecolare;
- il **laboratorio di elettrochimica e corrosione**, ove sono disponibili strumenti atti alla caratterizzazione chimico-fisica ed elettrochimica dei materiali negli ambiti (i) della corrosione, (ii) dell'elettrochimica ambientale e (iii) dei dispositivi per l'energia. In ambito corrosione, vengono effettuate prove relative allo studio della corrosione di materiali metallici per impieghi navali, industriali e civili; si studiano metodi di protezione, quali protezione anodica e catodica, trattamenti superficiali classici (rivestimenti organici) e innovativi (*Liquid Infused Surfaces, Superhydrophobic Surfaces*). In ambito elettrochimica ambientale, si studiano le proprietà catalitiche di materiali attivi per l'ossidazione elettrochimica di composti organici in reflui sintetici e industriali, nonché per la generazione di ossidanti chimici in situ (ozono, perossido di idrogeno) per la disinfezione di acque reflue e potabili. In ambito energetico, si svolge caratterizzazione elettrochimica (spettroscopia d'impedenza) di celle a combustibile ed elettrolizzatori ad alta temperatura e si ottimizzano tecniche (*tape-casting, screen-printing, wet powder spraying*) per la formatura dei materiali ceramici. Si effettuano inoltre analisi strutturali (XRD) e microstrutturali (SEM) di materiali ceramici e metallici;
- il **laboratorio di principi dei reattori chimici**, con impianti e strumentazioni di misura che permettono la quantificazione dei parametri fluidodinamici e cinetici di sistemi reagenti monofasi e multifasi, tra cui la caratterizzazione fisica di fluidi e solidi, misure di permeabilità e perdite di carico di letti solidi, determinazione delle condizioni di minima fluidizzazione e legge di espansione per sistemi fluido-solido, e dell'equilibrio termodinamico per sistemi fluido-solido, valutazione della cinetica di reazione per sistemi reagenti monofase e multifase;
- il **laboratorio di ingegneria dei processi chimici**, localizzato nel Campus di Savona, la cui attività di ricerca consiste nello scale-up di nuovi processi in ambito chimica verde ed energie rinnovabili; nello sviluppo di modelli dinamici di avviamento-spegnimento e esercizio ciclico di reattori complessi; nell'ottimizzazione, early-warning e controllo dei processi chimici; nell'analisi di rischio da inquinanti chimici.
- il **laboratorio didattico**, ampiamente utilizzato nelle attività frontali caratterizzanti l'ingegneria chimica e di processo.

È inoltre in via di costituzione un nuovo **laboratorio congiunto di ricerca CAPLAB** (*Launching Electrochemical Cells for Carbon Capture and Energy Transition*) tra il DICCA e Ecospray Technologies s.r.l. Tale nuovo laboratorio sarà adibito ad attività di ricerca e di formazione nella modellazione numerica e nella produzione e analisi sperimentale di celle a combustibile a carbonati fusi finalizzate alla contestuale produzione di energia e cattura di CO<sub>2</sub>; verranno anche studiate nuove tecnologie di celle a combustibile e diverse tipologie di elettrolizzatori, nonché celle elettrochimiche innovative.



## 5. La ricerca

Una prima descrizione generale delle attività di ricerca del Dipartimento può essere fatta con riferimento alle linee di ricerca dei docenti proponenti, sinteticamente elencate in ordine alfabetico nel seguito.

- Analisi del ciclo di vita (LCA) di processi e di prodotti
- Analisi e gestione dei rischi naturali e delle loro interazioni
- Analisi e gestione del rischio nell'industria e nel trasporto
- Analisi e storia del costruito
- Bio-fluidodinamica
- Biomateriali e biomeccanica
- Biotecnologie industriali, ambientali e tecnologie alimentari
- Bonifica dei siti inquinati e trattamento rifiuti solidi
- Chimica industriale e tecnologica
- Climatologia, meteorologia e oceanografia
- Consolidamento e conservazione dei centri storici e dei monumenti
- Corrosione e protezione dei materiali metallici
- Costruzioni idrauliche e idrologia
- Costruzioni in c.a., metalliche, in muratura, in legno
- Costruzioni marittime
- Energetica ambientale
- Geomatica per l'ambiente e il costruito
- Geotecnica per la difesa del suolo
- Idraulica e morfodinamica fluviale, marittima e costiera
- Infrastrutture civili, fluviali e marittime
- Impianti chimici
- Ingegneria dei reattori chimici
- Ingegneria del vento
- Ingegneria della sicurezza di processo
- Ingegneria geotecnica
- Ingegneria sanitaria ambientale
- Ingegneria sismica e sismica applicata
- Meccanica dei fluidi
- Meccanica dei materiali
- Meccanica dei solidi
- Meccanica delle strutture
- Meccanica delle terre e delle rocce
- Mobilità a scala urbana e d'area vasta
- Ottimizzazione e sintesi del processo
- Pianificazione e gestione integrata dei rifiuti
- Pianificazione territoriale e tecnica urbanistica
- Principi di ingegneria chimica
- Processi elettrochimici per la protezione ambientale e per celle a combustibile

- Progettazione eco-sostenibile
- Progettazione di opere geotecniche
- Progetto e gestione delle infrastrutture di trasporto
- Recupero e riuso del costruito
- Rilievo e rappresentazione del costruito e del territorio
- Risparmio energetico nei processi industriali
- Scienza e ingegneria dei materiali
- Sostenibilità ecologica e territoriale
- Sperimentazione e monitoraggio strutturale e geotecnico
- Stabilità e consolidamento dei versanti
- Tecnica della sicurezza ambientale
- Tecnologia edilizia

L'attività di ricerca è documentata più diffusamente nelle sezioni successive di questo documento, con una descrizione puntuale delle varie azioni portate avanti dai vari gruppi, anche in modo trans-settoriale. A testimoniare la rilevanza dell'attività scientifica del DICCA, è opportuno evidenziare i giudizi lusinghieri ricevuti dai ricercatori afferenti al dipartimento in occasione delle successive operazioni di valutazione condotte dall'ANVUR (Agenzia Nazionale di Valutazione del Sistema Universitario e della Ricerca), almeno per quanto riguarda le valutazioni disponibili al momento in cui queste righe vengono scritte.





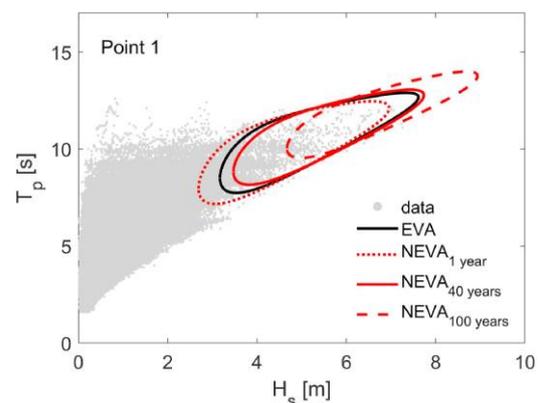
## Eventi estremi e resilienza delle infrastrutture costiere

Gruppo DICCA: G. Besio, A. Lira Loarca, F. De Leo, G. Cremonini, M. Corrales  
Collaborazione con: A. Baquerizo (Granada), A. Lopez Ruiz (Siviglia), L. Mentaschi (Bologna), S. Solari (Montevideo), R. Briganti (Nottingham)

Ricerca finanziata da: Seal of Excellence (UniGe), SICOMARplus, ISYPORT

L'analisi statistica degli eventi meteomarini è oramai una attività necessaria per la pianificazione, progettazione e gestione delle infrastrutture e degli asset costieri ed offshore. Tale tipo di analisi sta alla base della definizione del rischio costiero, sia per quanto riguarda la determinazione di azioni sulle infrastrutture sia per quanto riguarda eventi di inondazione costiera e processi di erosione costiera. Ad oggi tali tipi di analisi vengono comunemente realizzati con approcci ben consolidati basati su analisi degli eventi estremi con distribuzioni monovariate o al limite con distribuzioni bivariate tenendo in conto diverse caratteristiche a seconda del processo fisico analizzato. Tuttavia, vi sono diversi approcci maggiormente elaborati che possono tenere in conto della variabilità temporale su diverse scale (dalle scale stagionali alle scale climatiche a lungo periodo) che possono influenzare significativamente la stima e la definizione degli eventi estremi in ambito meteomarino. Tali analisi inoltre possono essere sviluppate seguendo un approccio del tipo "compound-event" ovvero analizzando la probabilità del verificarsi di diversi eventi estremi (ad esempio storm surge e mareggiate) in simultanea. Tale approccio è piuttosto recente e in ambito marino e costiero presenta una serie di aspetti di interesse soprattutto dal momento in cui il verificarsi di questi eventi presenta delle interazioni non-lineari tra i diversi processi fisici per cui il rischio derivante del verificarsi di un innalzamento del livello medio mare e di una determinata mareggiata non risulta semplicemente come la somma dei due rischi. In quest'ottica le attività di ricerca hanno come obiettivo la caratterizzazione degli eventi estremi per la stima del rischio costiero sia con approcci tradizionali, che con approcci del tipo non-stazionari e con l'analisi del verificarsi di diversi tipi di "compound-event". I risultati di queste analisi sono di cruciale interesse per la valutazione della vulnerabilità delle infrastrutture presenti sulle coste, per la progettazione di strutture costiere e/o offshore.

In figura è illustrata un'analisi dei valori estremi effettuata con modelli stazionari e non stazionari-



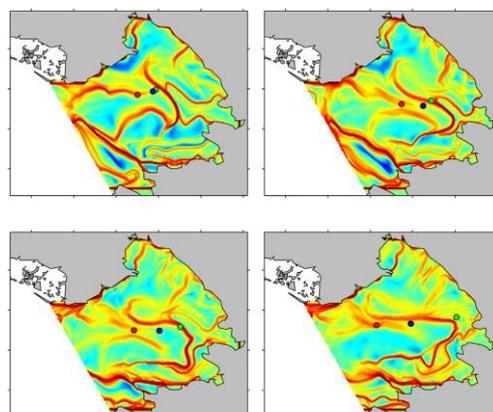
1. De Leo, F., Besio, G. & Mentaschi, L. Trends and variability of ocean waves under RCP8.5 emission scenario in the Mediterranean Sea. *Ocean Dynamics* 71 (2021) 97-117.

## Processi di mescolamento in ambito marittimo: fascia costiera e aree portuali

Gruppo DICCA: G. Besio, A. Stocchino, G. Cremonini, M. Daliri, A. Caceres Euse  
Collaborazione con: M. Magaldi (Lerici), M. Capello (Genova), A. Molcard,  
S. Mounier, V. Lenoble, D. Sous (Toulon), A. Abascal, P. Nunez,  
J. Barcena (Santander)

Ricerca finanziata da: GEREMIA, SPLASH!, SPALSH&CO, SINAPSI, Be-Ready

Lo studio della dinamica dei processi di mescolamento riveste un ruolo molto importante per tutta una serie di problematiche applicative connesse con l'ambiente e la sua salvaguardia. La capacità di prevedere l'evoluzione temporale e spaziale della dispersione di sostanze e particelle in ambito marittimo e costiero risulta di grande utilità per la gestione e le attività di intervento nel caso di incidenti (sversamenti, operazioni di search and rescue, etc.), per la pianificazione dell'utilizzo delle aree costiere e portuali (valutazione del rischio, pianificazione attività industriali) così come per la valutazione delle ricadute sugli ecosistemi e la dinamica degli ecosistemi stessi (connettività). L'analisi dei processi di dispersione viene effettuato tramite approcci sia euleriani che lagrangiani a seconda dei processi e delle informazioni che si vogliono ottenere. La ricerca è rivolta sia allo studio base dei processi (meccanismi di dispersioni delle microplastiche, caratterizzazione delle caratteristiche di mescolamento in diversi ambiti) così come all'applicazioni delle conoscenze di base e delle metodologie di analisi in contesti reali quali porti e aree marine protette, al fine di predisporre strumenti utili sia per lo studio delle caratteristiche locali di mescolamento sia nell'ambito di progetti di trasferimento tecnologico per la salvaguardia dell'ambiente marittimo. Parte della ricerca ha come obiettivo anche quello di utilizzare le informazioni provenienti dai satelliti per avere dei riscontri di campo utili per verificare la bontà delle simulazioni realizzate in contesti reali (dispersione sedimenti in seguito ad eventi alluvionali o di clorofilla e/o temperatura in oceano). Le attività prevedono quindi sia analisi di dati sperimentali e di campo, sia lo sviluppo di modelli teorici di base per la comprensione dei processi di base, sia l'implementazione di modelli di circolazione costiera per la realizzazione di casi studio. L'immagine a fianco mostra strutture Lagrangiane coerenti e la dispersione di traccianti nel Golfo di Trieste.



1. Stocchino, A., De Leo, F. & Besio, G. Sea waves transport of inertial micro-plastics: mathematical model and applications. *J. Marine Science and Engineering*, 7(1) (2019) 467.
2. Enrile F., Besio G., Stocchino A., Magaldi M.G. Influence of initial conditions on absolute and relative dispersion in semi-enclosed basins. *PLOS ONE* 14(7) (2019) e0217073.
3. Enrile, F., Besio, G., Stocchino, A., Magaldi, M.G., Mantovani, C., Cosoli, S., Gerin, R. & Poulain, P.M. Evaluation of surface Lagrangian transport barriers in the Gulf of Trieste. *Continental Shelf Research*, 167 (2018) 125-138.

## Uso delle osservazioni satellitari per il monitoraggio di esposti, vulnerabilità e delle fasi del rischio idrometeorologico

Gruppo DICCA: G. Boni, S. de Angeli, G. Roth, A.C. Taramasso  
Collaborazione con: S.B. Serpico, G. Moser (DITEN), L. Pulvirenti (Fondazione CIMA).  
N. Pierdicca (Sapienza UNIRM)  
Ricerca finanziata da: ASI, Dip. Protezione Civile.

La ricerca si propone di studiare metodologie operative per la mappatura di grandezze da utilizzare nelle fasi della gestione del rischio utilizzando osservazioni satellitari.

Si identificano due filoni principali:

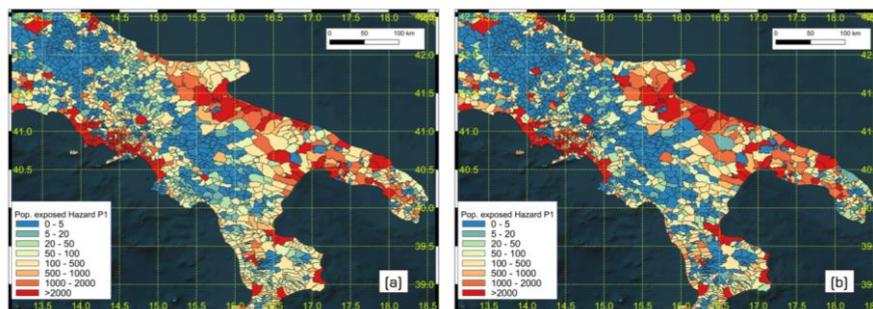
a) Mappatura rapida dell'estensione e dell'impatto di eventi alluvionali

L'obiettivo della ricerca è la proposta di soluzioni efficaci per superare i limiti delle osservazioni del Radar ad Apertura Sintetica (SAR), che non riescono a fornire informazioni affidabili in aree urbane e fittamente vegetate, ai fini della mappatura delle aree inondate. Un primo tipo di soluzioni è stato identificato nella possibilità di sfruttare alcune caratteristiche delle osservazioni SAR (polarimetria) per migliorare le tecniche di letteratura di "flood detection". Un secondo tipo di soluzioni ha visto la proposta di metodi per combinare osservazioni SAR e modellistica idraulica di simulazione delle inondazioni.

b) Mappatura degli esposti vulnerabili e monitoraggio post evento

La ricerca si è concentrata sul proporre soluzioni per estrarre dal dato satellitare informazioni relative a elementi esposti al rischio e per monitorare le fasi di ricostruzione post-evento.

A titolo di esempio in figura si riporta il confronto tra la popolazione esposta al rischio alluvione a livello comunale derivata da database istat di riferimento (b) e la stessa derivata utilizzando osservazioni di intensità luminosa notturna da satellite (a)



1. De Giorgi, A., Solarna, D., Moser, G., Tapete, D., Cigna, F., Boni, G., Rudari, R., Serpico, S.B., Pisani, A.R., Montuori, A. and Zoffoli, S., 2021. Monitoring the Recovery after 2016 Hurricane Matthew in Haiti via Markovian Multitemporal Region-Based Modeling. *Remote Sensing*, 13(17) (2021) 3509.
2. Boni, G., De Angeli, S., Taramasso, A.C. and G. Roth, Remote Sensing-Based Methodology for the Quick Update of the Assessment of the Population Exposed to Natural Hazards. *Remote Sensing, Special Issue Remote Sensing for Disaster Risk Management*, 12(23) (2020) 3943.
3. N. Pierdicca, L. Pulvirenti, G. Squicciarino, G. Boni, M. Chini, Mapping flooded vegetation using COSMO-SkyMed: comparison with polarimetric and optical data over rice fields, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(6) (2017) 2650-2662.

## Multi-hazard Disaster Risk Management

Gruppo DICCA: S. De Angeli, G. Boni, S. Cattari, F. Pirlone, S. Mohammadi

Collaborazione con: Fondazione CIMA, Croce Rossa Italiana, Eurac Research, King's College (Londra), STAM s.r.l., CNR-IMATI

La ricerca riguarda lo sviluppo di approcci e strumenti per la gestione del rischio derivante da molteplici pericoli naturali potenzialmente interagenti tra loro. La gestione del rischio derivante da eventi cosiddetti *multi-hazard* è un campo di ricerca relativamente recente, che manca di approcci generalmente applicabili e standardizzati. La tematica è stata sviluppata rispetto a 4 principali filoni:

- i) Sviluppo di un approccio standardizzato per la valutazione degli impatti sull'ambiente costruito derivanti dalle interazioni *multi-hazard*, che favorisca l'integrazione degli aspetti *multi-hazard* e multi-rischio all'interno delle linee guida nazionali ed internazionali per la gestione del rischio di catastrofi [1].
- ii) Valutazione delle capacità degli Early Warning System nella gestione dei *long-onset hazard* (e.g. pandemie, siccità) e di condizioni *multi-hazard* nelle diverse fasi del ciclo di gestione del rischio. Questo filone, attualmente in corso, si concentra sull'analisi sistematica delle criticità emerse nella gestione dell'emergenza e delle attività di prevenzione a seguito della pandemia di COVID-19, attraverso l'analisi dei dati messi a disposizione dalla Croce Rossa Italiana [2].
- iii) Sviluppo di un modello basato su reti complesse per la protezione delle infrastrutture critiche da eventi *multi-hazard* [3].
- iv) Identificazione di un set minimo di infrastrutture (e del loro livello di funzionalità), necessario per garantire ad un sistema urbano di poter efficacemente implementare un processo di recovery in ottica multi-hazard. Questa ricerca verrà affrontata: (a) considerando non solo le singole funzionalità degli elementi territoriali ma anche le loro potenziali interazioni e interdipendenze, riferendosi all'area urbana come sistema complesso; (b) in ottica multi-rischio, ovvero considerando scenari di pericolosità sia sismica che alluvionale e valutando anche le potenziali interazioni tra di essi a livello di impatto; (c) delineando opportune strategie di implementazione delle procedure sviluppate negli strumenti urbanistici.

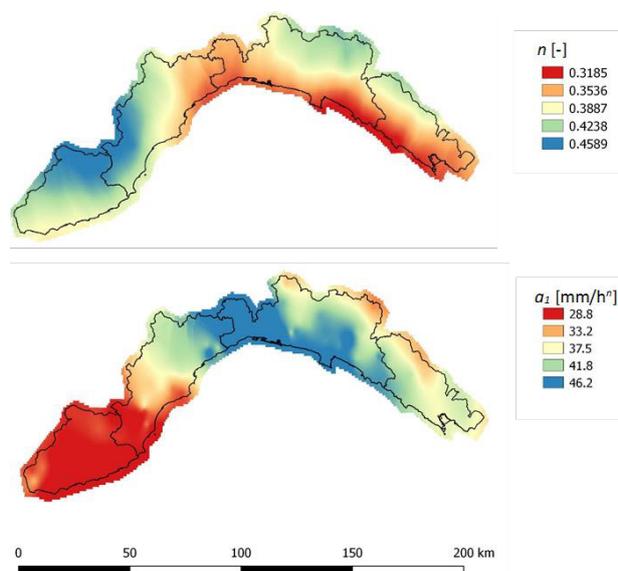
1. S. De Angeli, B.D. Malamud, L. Rossi, R. Rudari, F.E. Taylor, E. Trasforini. A multi-hazard framework for spatial-temporal impact analysis", *Int. J. Disaster Risk Reduction*, inviato per pubblicazione (2021).
2. S. Mohammadi, D. Miozzo, G. Boni, and S. De Angeli. Assessing multi-hazard risk assessment capabilities of Early Warning Systems considering potential interactions among pandemics and natural hazards, inviato a *EGU General Assembly* (2022).
3. A. Pasino, S. De Angeli, U. Battista, D. Ottonello, A. Clematis. A Review of Single and Multi-Hazard Risk Assessment Approaches for Critical Infrastructures Protection, *A. International Journal of Safety and Security Engineering*, 11(4) (2021) 305-318.

## Caratterizzazione spazio-temporale degli eventi pluviometrici estremi ed implicazioni sulla risposta idrologica

Gruppo DICCA: I. Gnecco, A. Palla, G. Roth  
Collaborazione con: P. La Barbera, F. Giannoni (ARPAL)  
Ricerca finanziata da: ARPAL

Nell'ambito dello studio dei regimi pluviometrici estremi, l'attività di ricerca riguarda l'analisi statistica degli eventi pluviometrici estremi sia a scala locale che regionale in riferimento alle serie storiche di osservazioni pluviometriche. Particolare attenzione è rivolta allo studio degli eventi di breve durata che rivestono un ruolo cruciale sia per la previsione di piena su bacini di ridotta estensione sia per la progettazione dei sistemi di drenaggio urbano. L'attività di ricerca ha riguardato inoltre la modellazione afflussi-deflussi in piccoli bacini non strumentati dove l'interesse scientifico è stato rivolto in particolare all'implementazione di modelli semplici (concettuali e semplificati) nell'obiettivo di generalizzare un approccio metodologico per la determinazione della portata di picco.

Le domande a cui cerchiamo risposta riguardano l'analisi del fenomeno del break di scala nella transizione dagli eventi di breve durata a quelli sopra-orari, la valutazione del tempo di ritorno d'evento, non limitatamente alle singole componenti, gli approcci di regionalizzazione.



Le analisi statistiche sono state condotte su 103 serie storiche di almeno 20 anni, registrate sul territorio ligure per durate orarie e superiori. Per le durate sub-orarie, la base dati si riduce a 51 serie storiche di almeno 10 anni di osservazioni. In figura sono illustrati i parametri delle relazioni Altezza-Durata-Frequenza che consentono di descrivere sull'intero territorio regionale il regime delle precipitazioni estreme di durata oraria e superiore.

1. I. Gnecco, A. Palla, G. Roth, F. Giannoni, "Frequency analysis of short-duration rainfall extremes in Liguria (Italy)", 12th Urban Drainage Modeling Conference, California, January 2022.
2. I. Gnecco, A. Palla, G. Roth, F. Giannoni "Analisi spaziale del regime delle piogge intense di durate oraria e superiori sul territorio ligure" Le Giornate dell'Idrologia 2021, Napoli, 29.09 – 1.10.2021.
3. Gnecco, I., Palla, A. and La Barbera P. A dimensionless approach for the runoff peak assessment: Effects of the rainfall event structure. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22 (2018) 943-956.

## Infrastrutture verdi per la gestione dei deflussi meteorici

Gruppo DICCA:

I. Gnecco, A. Palla

Collaborazione con:

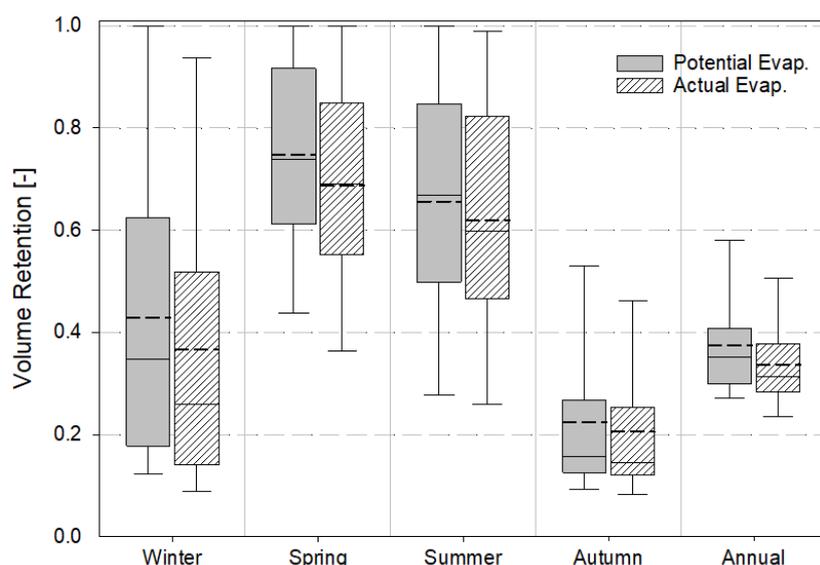
F. Faccini (DISTAV), A. Campisano (Catania, IT)

Ricerca finanziata da:

INTERREG MARITTIMO IT-FR 2014-2020

Nell'ambito dello studio di processi idrologico-idraulici relativi alla trasformazione afflussi-deflussi sia in bacini naturali che in ambiente antropico, particolare interesse riveste l'analisi dell'impatto di soluzioni di drenaggio urbano sostenibile (SUDS) per la riduzione di fenomeni di fallanza idraulica delle reti e per l'incremento della resilienza dell'ambiente urbano nei confronti del rischio di allagamento (pavimentazioni permeabili, verde pensile, bacini di infiltrazione, infiltrazione forzata).

L'attività di ricerca, ad oggi, ha riguardato principalmente la valutazione dei processi idrologici alla scala della singola installazione (evapotraspirazione, infiltrazione, formazione del deflusso) sia utilizzando un approccio teorico sia attraverso indagini sperimentali di laboratorio ed in campo. Le domande a cui cerchiamo risposta riguardano in particolare la riscalabilità degli effetti alla scala del bacino urbano, la definizione di metriche opportune per la valutazione delle prestazioni ambientali (idrologiche, termiche, etc.), l'integrazione di sistemi ICT per l'ottimizzazione delle prestazioni in un'ottica di gestione integrata.



In figura è rappresentata la distribuzione non-parametrica dell'indice di volume di ritenzione valutato su base stagionale ed annuale ottenuto simulando la risposta idrologica alla scala del singolo tetto verde sia nell'ipotesi di evaporazione potenziale (box grigio) sia in quella di evaporazione effettiva (box tratteggiato).

1. Palla, A. and Gnecco, I. A continuous simulation approach to quantify the climate condition effect on the hydrologic performance of green roofs. *Urban Water Journal*, 17(7) (2020) 609–618.
2. Palla, A., Gnecco, I. e La Barbera, P. Assessing the hydrologic performance of a green roof retrofitting scenario for a small urban catchment. *Water* 10(8) (2018) 1052.
3. Palla A., Gnecco I e La Barbera P. (2017). The impact of domestic rainwater harvesting systems in storm water runoff mitigation at the urban block scale. *Journal of Environmental Management*, 191 (2017) 297-305.

## Qualità dei deflussi meteorici in ambito urbano

Gruppo DICCA:

I. Gnecco, A. Palla

Collaborazione con:

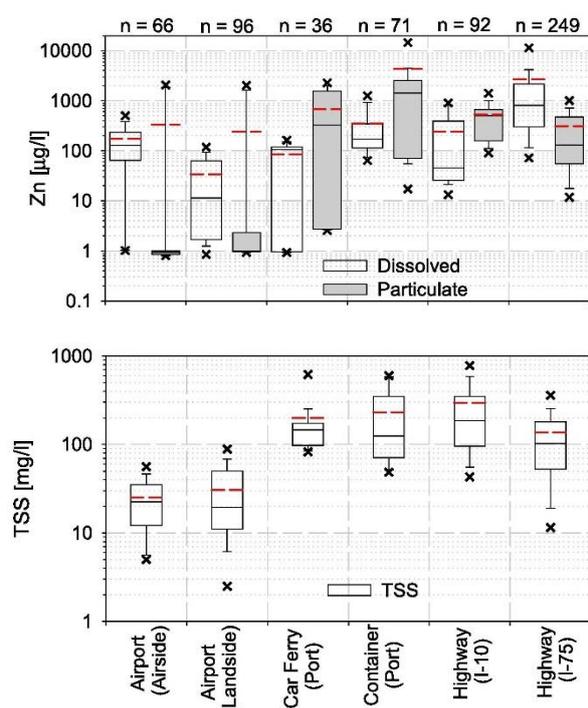
J.J. Sansalone (Florida, USA), S. Biondi (SWI Group srl)

Ricerca finanziata da:

INTERREG IVC

Il processo di trasformazione afflussi-deflussi che avviene in ambiente urbanizzato comporta una modifica della relazione idrologica, termica e chimica tra precipitazione e acqua di dilavamento rispetto a quella che caratterizza i bacini naturali. La caratterizzazione quali-quantitativa delle acque di dilavamento di origine meteorica è stata condotta attraverso un'ampia fase sperimentale in differenti tipologie di superfici urbane. Tale attività di ricerca presenta interessanti risvolti applicativi in quanto la comprensione della distribuzione del carico inquinante nel corso dell'evento meteorico, la determinazione della fase in cui si presentano gli inquinanti (disciolti o in aggregazione alla frazione solida), lo studio delle cinetiche di distribuzione e la caratterizzazione del materiale solido, hanno una diretta implicazione nella scelta operativa dei sistemi di trattamento più efficaci.

Le domande a cui cerchiamo risposta riguardano attualmente l'impatto degli inquinanti emergenti (comprese le micro-plastiche) associate ai deflussi meteorici urbani, il ruolo delle infrastrutture verdi con particolare riferimento al ciclo dell'azoto, le tecnologie emergenti nell'ambito del monitoraggio e controllo in tempo reale.



In figura è rappresentata la distribuzione non parametrica della concentrazione di inquinanti associata alle acque di dilavamento delle superfici impermeabili relative a diverse tipologie di siti produttivi e commerciali. Il grafico in alto riporta i valori dello zinco in forma disciolta (box bianco) ed in aggregazione alle particelle solide (box grigio), mentre il grafico in basso riporta la corrispondente frazione di solidi sospesi totali. Il valore n indica il corrispondente numero di campioni analizzati.

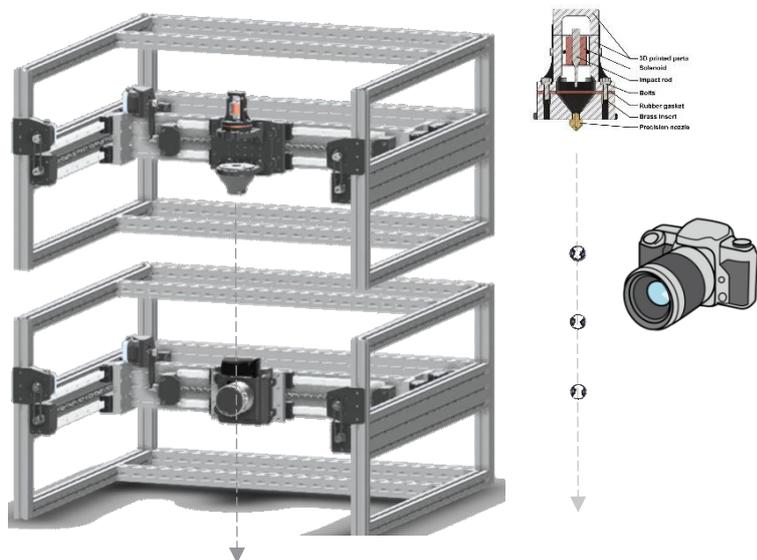
1. Gnecco, I., Palla, A. and Sansalone J.J. Partitioning of zinc, copper and lead in urban drainage from paved source area catchments. *Journal of Hydrology*, 578 (2019) 124128.
2. Palla A., Gnecco I. (2018) Green Roofs to Improve Water Management. In *Nature based Strategies for Urban building and Sustainability* (edited by Gabriel Perez, University of Lleida, Spain and Katia Perini, University of Genova, Italy) Butterworth-Heinemann Publication, Cap. 3-11 (2018) 203-214.

## Accuratezza delle misure di precipitazione: errori strumentali e nuovi metodi di misura e di calibrazione

Gruppo DICCA: L.G. Lanza, A. Cauteruccio, E. Chinchella, M. Stagnaro  
Collaborazione con: M. Colli (Artys, IT), P.W. Chan (Hong-Kong), M. Santana (Brasile), A. Merlone (INRIM, IT), J. Nielsen (Denmark), D. Caviglia (DITEN)

Ricerca finanziata da: PRIN 2015, EURAMET 2018, POR 2020, aziende private (Lastem, ETG, EML, Artys)

Il laboratorio di pluviometria svolge attività sperimentale e di ricerca per la definizione dell'accuratezza di misura degli strumenti pluviometrici captatori e non captatori. Oltre alla definizione di nuove procedure di calibrazione, la ricerca affronta la quantificazione degli errori sistematici di origine strumentale e sviluppa tecniche di correzione e di interpretazione del dato grezzo misurato. Contribuisce inoltre allo sviluppo di nuovi sensori per la misura in forma distribuita e/o in movimento dell'intensità di precipitazione, e alla verifica in campo delle loro prestazioni. Le ricerche e le attività sperimentali – svolte anche nell'ambito del WMO Lead Centre "B. Castelli" on Precipitation Intensity – hanno condotto alla redazione e alla pubblicazione della prima Norma Europea sull'accuratezza delle misure pluviometriche da pluviometri captatori, oggi pubblicata come EN17277:2019, e di analoghe proposte di normazione europea per gli strumenti non captatori (in corso di sottomissione).



In figura è illustrata la struttura di un apparato di precisione per la generazione a richiesta di gocce d'acqua e per la loro validazione in termini di dimensione e velocità di caduta, effettuata con sistema fotogrammetrico (es. a destra). Il dispositivo è in corso di realizzazione presso il laboratorio di pluviometria e ha lo scopo di effettuare la calibrazione dei pluviometri non captatori.

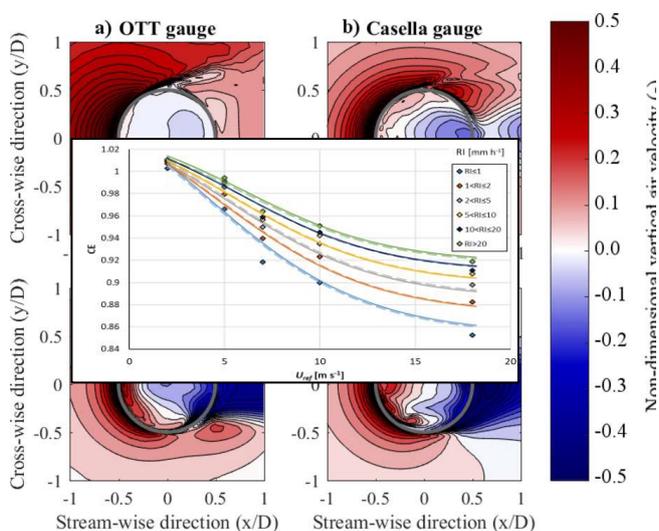
1. Cauteruccio A., Colli M., Stagnaro M., Lanza L.G. and Vuerich E. In situ precipitation measurements. In: Foken T. (ed.), *Handbook of Atmospheric Measurements*. Springer Nature, Switzerland, (2021) 259-400.
2. Lanza, L.G and A. Cauteruccio. Accuracy assessment and intercomparison of precipitation measurement instruments. In: Michaelides, S. (ed.), *Precipitation Science*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands (2021) Chapter 1, 3-35.
3. Stagnaro, M., Cauteruccio, A. Lanza, L.G. and PW Chan. On the use of dynamic calibration to correct drop counter rain gauge measurements. *Sensors*, 21(18) (2021) 6321.

## Accuratezza delle misure di precipitazione: errori indotti dal vento, comportamento aerodinamico e ruolo della turbolenza

Gruppo DICCA: L.G. Lanza, A. Cauteruccio, E. Chinchella, M. Stagnaro  
Collaborazione con: R. Rasmussen (USA), M. Thériault (Canada), M. Colli (Artys, IT),  
E. O'Connell (UK), D. Rocchi (POLIMI)

Ricerca finanziata da: PRIN 2015, EURAMET 2018, CINECA 2020 e 2021, EML Ltd.

Uno strumento pluviometrico, immerso nel campo di moto dell'aria, genera un disturbo aerodinamico all'intorno dell'area di misura, che interagisce con le traiettorie di caduta delle idrometeore, deviandole ed accelerandole o rallentandole, con conseguente riduzione dell'efficienza di captazione (CE). Tale effetto, direttamente proporzionale alla velocità del vento indisturbato e inversamente proporzionale all'intensità di precipitazione, viene quantificato – anche nell'ambito del WMO Lead Centre “B. Castelli” on Precipitation Intensity – attraverso la simulazione numerica CFD del campo di moto disturbato dallo strumento (URANS e LES) e l'applicazione di modelli lagrangiani di inseguimento della traiettoria delle singole idrometeore, validati in galleria del vento. L'adozione di una specifica distribuzione di frequenza dei diametri delle idrometeore, e l'analisi della dipendenza dei parametri di tali funzioni dall'intensità di precipitazione, consentono di ricavare curve di correzione da applicare operativamente nella misura della precipitazione atmosferica in presenza di vento.



In figura sono mostrate le componenti normalizzate della velocità verticale del vento indotte dalla presenza di quattro diverse tipologie di pluviometri captatori di forma diversa, e (sovrapposte) le curve di correzione (parametrizzate con l'intensità di precipitazione liquida RI) ricavate a partire da tali simulazioni, per un pluviometro di forma cilindrica, utilizzando un modello di tracciamento delle traiettorie delle idrometeore (gocce di pioggia), con distribuzione dei diametri di tipo esponenziale (Marshall-Palmer).

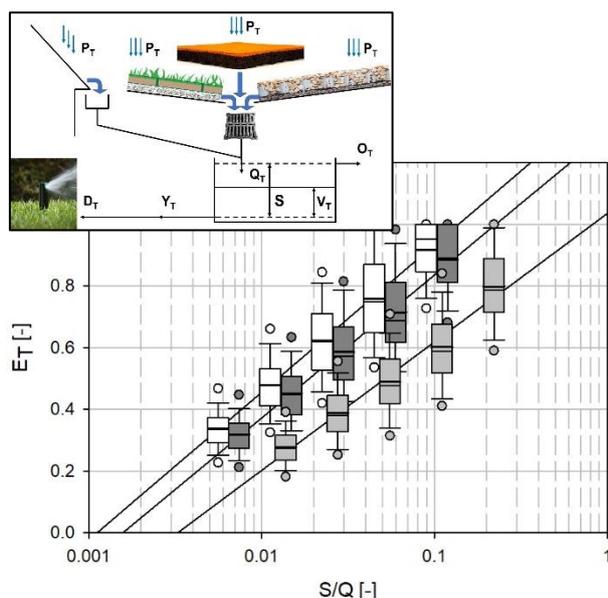
1. Cauteruccio, A., Brambilla, E., Stagnaro, M., Lanza, L.G. and D. Rocchi. Experimental evidence of the wind-induced bias of precipitation gauges using Particle Image Velocimetry and particle tracking in the wind tunnel. *J. Hydrol.*, 600 (2021) 126690.
2. Cauteruccio, A., Brambilla, E., Stagnaro, M., Lanza, L. G., and D. Rocchi. Wind tunnel validation of a particle tracking model to evaluate the wind-induced bias of precipitation measurements. *Water Resour. Res.*, 57(7) (2021) e2020WR028766.
3. Cauteruccio, A., Chinchella, E., Stagnaro, M. and L.G. Lanza. Snow particle collection efficiency and adjustment curves for the hotplate precipitation gauge. *J. Hydrometeorol.* 22(4) (2021) 941–954.

## Modellazione idrologica di bacini naturali e urbani, Sistemi di Drenaggio Urbano Sostenibile e Nature Based Solutions

Gruppo DICCA: L.G. Lanza, A. Cauteruccio, M. Stagnaro  
Collaborazione con: G. Ravazzani (POLIMI), A. Candela (UNIPA), A. Magliocco (DAD), K. Perini (DAD), E. Roccoliello (DISTAV)

Ricerca finanziata da: H2020 UnaLabs (2020), Interreg Maritt. Proterina 3ev. (2017-2020), PRIN 2015

La ricerca affronta da un lato la propagazione degli errori sistematici di origine strumentale e ambientale nelle applicazioni idrologiche sia a scala di bacino idrografico sia a scala urbana, dall'altro la quantificazione delle prestazioni idrauliche e idrologiche delle soluzioni "verdi" per la gestione del drenaggio delle acque meteoriche in area urbana, includendo le installazioni SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems) e NBS (Nature Based Solutions). Studia infine il comportamento dei sistemi di raccolta ed utilizzo delle acque meteoriche (RWH – RainWater Harvesting) per l'approvvigionamento di acqua non potabile per diversi usi (irrigazione delle aree urbane, lavaggio strade, alimentazione dei sanitari, ecc.), ottimizzandone le prestazioni in base a indici di efficienza temporale e volumetrica derivati dalla simulazione dell'operatività del sistema in diversi scenari pluviometrici di lungo termine.



In figura è illustrato in alto a sx uno schema di sistema di raccolta ed utilizzo delle acque meteoriche in area urbana che prevede la raccolta da diverse tipologie di superficie e l'uso per irrigazione delle aree verdi. In basso a destra è riportata la variazione dei valori medi e della variabilità interannuale dell'indice di efficienza volumetrico, al variare del rapporto di immagazzinamento (dimensione del serbatoio di stoccaggio normalizzata con l'afflusso medio annuo) per tre soluzioni di collettamento diverse.

1. Cauteruccio, A. and L.G. Lanza. Rainwater harvesting systems for irrigation of urban green areas: a case study. *XXXVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Reggio Calabria, Settembre 2022.
2. Candela, A., Francipane, A., Stagnaro, M., Cauteruccio, A. and L.G. Lanza (2021). Propagation of precipitation measurement biases into the hydraulic modelling of urban drainage systems: a case study. *Proc. XXXVII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Online edition, 14-16 June 2021.
3. Lanza, L.G. Fractals in Water and Water-Related Processes. In: *Encyclopedia of Water: Science, Technology, and Society* (edited by P.A. Maurice), John Wiley (2019).

## Valutazione delle incertezze nelle analisi di rischio di allagamento in ambito urbano

Gruppo DICCA: A. Palla, I. Gnecco  
Collaborazione con: G. Aronica (UNIME), Creaco E. (UNIPV)  
Ricerca finanziata da: PRIN2020

Le metodologie applicate per la valutazione della pericolosità e del rischio di inondazioni pluviali in ambito urbano sono affette da numerosi fattori di incertezza che ne riducono l'applicabilità e l'affidabilità. Una corretta analisi del rischio idraulico deve fornire un'indicazione dell'incertezza ad essa associata, nella quale tutte le principali fonti di incertezza siano opportunamente prese in considerazione.

L'attività di ricerca intende porre una particolare attenzione alla valutazione dei termini generatori di incertezza che caratterizzano l'applicazione dei modelli numerici, esaminando il loro possibile effetto sulla messa a punto degli strumenti finalizzati alla stima e mappatura della pericolosità idraulica. I casi che sono stati investigati fino ad ora riguardano la definizione della forma dello ietogramma di progetto (approccio monovariato - Chicago e approccio bivariato - Copula) ed il grado di efficienza del drenaggio superficiale (distribuzione spaziale delle caditoie e del relativo grado di occlusione), nonché la proposta di una valutazione probabilistica delle mappe di allagamento. Gli sviluppi futuri riguardano la valutazione dell'incertezza associata alla stima della frequenza di accadimento per eventi intensi di durate inferiori all'ora ed all'applicazione di modelli numerici - accoppiati (propagazione bidimensionale dell'allagamento e dinamiche rete di drenaggio) ad elevata complessità di implementazione.



In figura è illustrata la probabilità dell'occorrenza dell'allagamento per il sottobacino urbano del quartiere Foce di Genova per l'evento di precipitazione con periodo di ritorno pari a 10 anni. La soglia per l'occorrenza di allagamento è stata fissata pari a 0.1 m.

1. Palla, A., Colli, M., Candela, A., Aronica G.T., Lanza L.G. Pluvial flooding in urban areas: The role of surface drainage efficiency. *Journal of Flood Risk Management*, 11 (2018) S663-S676.
2. Palla A. & Gnecco, I., "Rainwater harvesting for urban flood management: a modelling framework for sub-catchment scale installations" Proc. 12th International Conference on Urban Drainage Modelling (UDM), Jan. 10-12, 2022, Costa Mesa, USA.

## Mappatura partecipata e sistemi di supporto delle decisioni per promuovere la resilienza urbana al cambiamento climatico

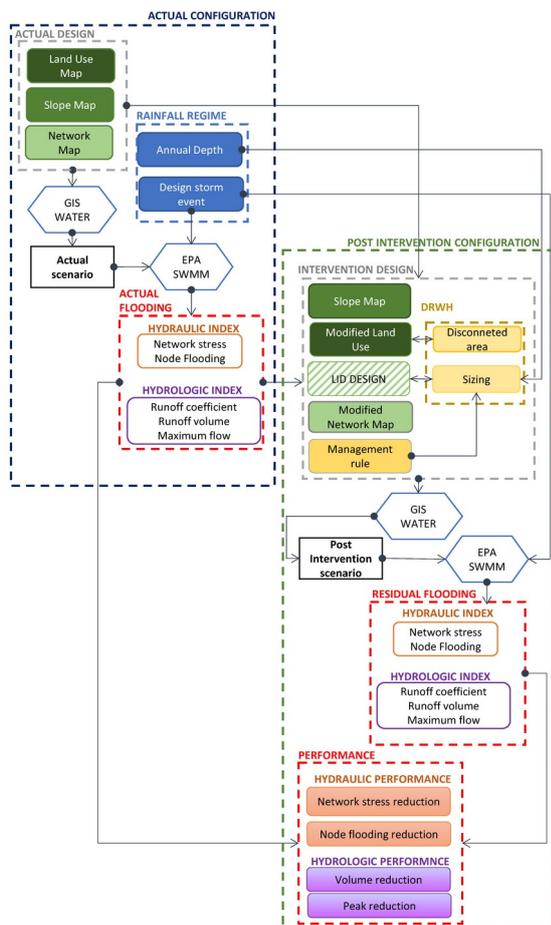
Gruppo DICCA: A. Palla, I. Gnecco, F. Pirlone, I. Spadaro  
 Collaborazione con: Piro P. (UNICAL), Grossi G. (UNIBS)

Ricerca finanziata da: PRIN 2020

La resilienza urbana definisce le modalità in cui le città possono sostenere il progresso e lo sviluppo di fronte ai cambiamenti climatici, mitigando il rischio a breve termine e migliorando la loro capacità di rispondere efficacemente alle trasformazioni sistemiche.

In quest'ambito si intendono studiare le dinamiche complesse (fenomeni ed impatti sociali) integrando le conoscenze più recenti e avanzate nel campo dell'idraulica e dell'idrologia urbana; della pianificazione territoriale e della progettazione delle più recenti soluzioni sostenibili e multifunzionali ("infrastrutture verdi") complementari alle soluzioni tradizionali ("infrastrutture grigie").

L'attività di ricerca è rivolta allo sviluppo di sistemi di supporto alle decisioni ed all'utilizzo di metodologie partecipate per la definizione di strategie ed interventi rivolti alla mitigazione del rischio idraulico, per la protezione degli ecosistemi e per il miglioramento della vivibilità dell'ambiente urbano



In figura è illustrato il diagramma di flusso relativo alla piattaforma web-GIS "TRIG Eau" per la valutazione dell'impatto di infrastrutture verdi nel mitigare gli allagamenti pluviali e per supportare l'implementazione delle stesse su larga scala.

1. Palla A. & Gnecco, I., "The web-gis TRIG Eau platform to assess urban flood mitigation by domestic rainwater harvesting systems in two residential settlements in Italy", *Sustainability*, 13 (13) (2021) 7241.

## Identificazione e mitigazione del rischio d'inondazione

Gruppo DICCA: G. Roth, G. Boni, S. De Angeli, A.C. Taramasso  
Collaborazione con: M. Sanguineti (Dibris), G. Gnecco (ImtLucca), S. Manfreda (UniNa), F. Nardi (UniStraPg), S. Grimaldi (UniTus), A. Sole e C. Samela (UniBas)  
Ricerca finanziata da: ANIA, TELESPAZIO

In campo idrologico, il superamento della cultura dell'emergenza attraverso interventi di mitigazione del rischio, strutturali o non, costituisce un percorso da lungo tempo intrapreso. Meno analizzata è la quantificazione di costo e di beneficio associato agli interventi, in particolare a quelli non-strutturali. Fra questi, assicurazione e riassicurazione ricoprono un ruolo di rilievo: non si incide sull'evento o sulle sue conseguenze in termini di danno ma ne sono annullati gli effetti economici con evidenti ricadute sulla resilienza sia dell'assicurato sia della società nel suo complesso. Il loro ruolo è essenziale con riferimento alla mitigazione del rischio residuo, ovvero della componente di rischio tecnicamente o economicamente non riducibile con interventi strutturali.

La stima del premio assicurativo puro di un singolo elemento esposto è agevole. Più complessa si presenta la stima dei valori di perdita attesa annua e perdita possibile massima nell'evento. Tali valori dipendono della particolarità dei fenomeni in esame, che possono con ogni evidenza colpire territori spazialmente molto estesi con un singolo evento, interessando l'insieme degli elementi che costituisce il portafoglio della compagnia. Confrontati infine con la "solidità" della compagnia, i valori massimi di danno probabile limitano l'operatività della compagnia stessa, ovvero la sua capacità ad assumere rischi, e quindi clienti.

Temi idrologici: mappatura della pericolosità su territori estesi; stima del tempo di ritorno e descrizione statistica multivariata di eventi intensi spazialmente e temporalmente estesi; stima di parametri assicurativi per portafogli comunque disposti sul territorio e influenza del cambiamento climatico. Figura: mosaico della pericolosità per il bacino del Tanaro, AdB Po e previsioni da classificatori AI.

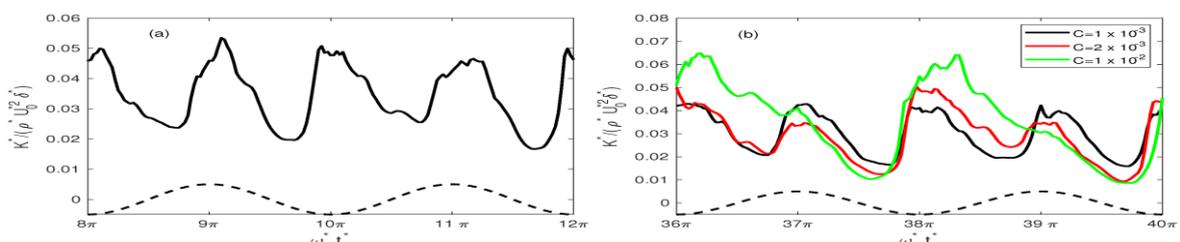


1. Boni, G., De Angeli, S., Taramasso, A.C., e G. Roth. Remote sensing-based methodology for the quick update of the assessment of the population exposed to natural hazards, *Remote Sensing*, 12(23) (2020) 1-18.
2. Manfreda S., Nardi F., Samela C., Grimaldi S., Taramasso A.C., Roth G. And A. Sole. Investigation on the use of geomorphic approaches for the delineation of flood prone areas, *Journal of Hydrology*, 517(9) (2014) 863-876.
3. Ghizzoni T., Roth G. And R. Rudari. Multisite flooding hazard assessment in the Upper Mississippi River, *Journal of Hydrology*, 412-413 (2012) 101-113.

## Strato limite al fondo di un'onda di gravità progressiva

Gruppo DICCA: P. Blondeaux, J. Pralits, G. Vittori  
Collaborazione con: E. Foti, R. Musumeci, P. Scandura (Università di Catania)  
Ricerca finanziata da: PRIN 2017

La conoscenza del campo di moto al fondo di un'onda di gravità progressiva risulta estremamente rilevante per comprendere e quantificare importanti fenomeni quali l'attenuazione dell'onda stessa e il trasporto solido che a sua volta determina i fenomeni di erosione e deposito sul fondo del mare. I risultati delle analisi di stabilità della soluzione di Stokes condotte dal gruppo di ricerca permettono di individuare i valori dei parametri per cui è presente il regime di moto turbolento e hanno mostrato che in prossimità delle condizioni critiche la turbolenza è presente solo durante le fasi di decelerazione mentre il moto rilaminarizza durante le fasi di accelerazione. Considerato che il moto base è oscillante e il numero di Reynolds è elevato si è adottato un criterio di stabilità momentaneo supponendo che la scala temporale di evoluzione dei disturbi sia molto più piccola del periodo delle oscillazioni. La ricerca è poi proseguita effettuando delle simulazioni dirette delle equazioni di Navier-Stokes con un codice di calcolo appositamente sviluppato che ha permesso di studiare la dinamica della turbolenza in un moto oscillante. Le simulazioni numeriche hanno mostrato come un ruolo rilevante nella dinamica dei disturbi e della turbolenza è rivestito da 'imperfezioni' esterne che possono essere della parete o del gradiente di pressione che induce il moto oscillante. In figura è mostrata l'energia cinetica delle oscillazioni turbolente che evidenzia la comparsa 'esplosiva' della turbolenza e la successiva rilaminarizzazione del moto durante le fasi di decelerazione e accelerazione del ciclo dell'onda. Questi risultati hanno suggerito di simulare anche la dinamica della vorticità nello strato limite quanto il fondo non è piano ma caratterizzato dalla presenza di forme di fondo di piccola scala (ripples). In questo caso si è osservata la separazione dello strato limite e la generazione di una corrente stazionaria quando il profilo del fondo non è perfettamente simmetrico. Questo tema di ricerca ha posto le basi per il successivo studio della dinamica di particelle solide descritto un'altra scheda.



1. Blondeaux P. & Vittori G. Revisiting the momentary stability analysis of the Stokes boundary layer, *J. Fluid Mech.* 919 (2021) A36.
2. Blondeaux P. Pralits J. & Vittori G. On the stability of the boundary layer at the bottom of propagating surface waves, *J. Fluid Mech.* 928 (2021) A26.
3. Scandura P., Faraci C. & Blondeaux P. Steady streaming induced by asymmetric oscillatory flows over a rippled bed, *J. Mar. Sci. Eng.* 8 (2) (2020) 142.

## Interazione onde-correnti

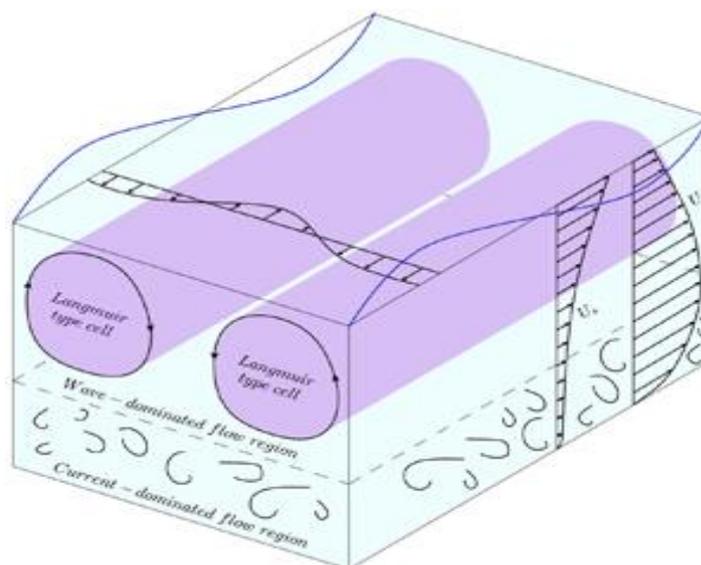
Gruppo DICCA:

P. Blondeaux

Collaborazione con:

L. Ridolfi, C. Peruzzi e altri docenti del DIATI (Polito)

La ricerca condotta è finalizzata a comprendere come la turbolenza in una corrente stazionaria e uniforme sia modificata dalla presenza di un'onda di superficie che si propaga nella stessa direzione della corrente. La ricerca è stata condotta utilizzando tecniche sperimentali e in particolare utilizzando un lungo canale per onde. Le misure di velocità sono state eseguite utilizzando un anemometro Laser Doppler e valutando la velocità media, le componenti del tensore di Reynolds e i 'pre-multiplied spectra'. Naturalmente, il segnale di velocità rilevato dall'anemometro è caratterizzato dalla presenza di un moto medio, del moto oscillante indotto dall'onda di superficie e delle oscillazioni turbolente. Questi diversi contributi sono stati separati utilizzando l'"Empirical Mode Decomposition" (EMD), che è considerato lo strumento più adatto per analizzare le variazioni temporali di campi di moto complessi. In particolare, sulla base della prevalenza delle velocità verticali indotte dall'onda su quelle generate dai vortici turbolenti o viceversa, si è individuata una scala spaziale 'esterna'  $h_0$  che separa il dominio fluido in due regioni: una dominata dalle onde a l'altra dominata dalla corrente. Successivamente, questa scala spaziale ha permesso di identificare un 'overlap layer' e di ottenere una profonda comprensione della dinamica della turbolenza, sia nella regione dominata dalla corrente dove la coordinata verticale  $y$  è inferiore a  $h_0$ , sia nella regione dominata dalle onde. Al crescere dell'effetto delle onde i 'pre-multiplied spectra' mostrano due interessanti caratteristiche: (i) nella regione dominata dalle onde, i 'moti di grandissima scala' (VLSM) progressivamente si indeboliscono ma quelli di piccola scala rimangono praticamente inalterati, (ii) nella regione dominata dalle onde dove  $y$  è molto più grande di  $h_0$ , sono presenti strutture turbolente caratterizzate da una lunghezza compresa fra 6 e 25 volte la profondità locale. Queste strutture longitudinali risultano simili a delle celle di Langmuir.



1. Peruzzi C., Vettori D., Poggi D., Blondeaux P., Ridolfi L. & Manes C. On the influence of collinear surface waves on turbulence in smooth-bed open-channel flows, *J. Fluid Mech.* 924 (2021) A6.

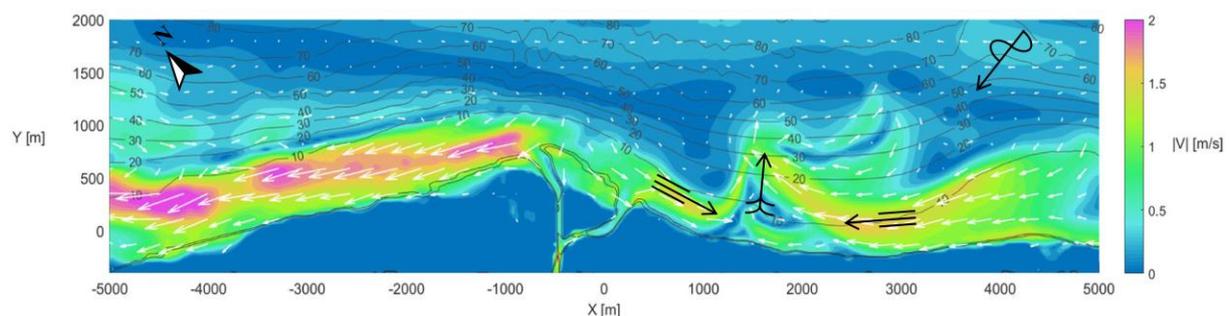
## Correnti di torbida e depositi sottomarini

Gruppo DICCA: M. Bolla Pittaluga, L. Durante, M. D. Mohammadi  
Collaborazione con: G. Porcile (Uni. Caen, F.), O. Sequeiros (Shell, NL), C. Pirmez (WWS)

Ricerca finanziata da: SHELL, RINA (TOTAL), RINA (ENI)

Negli ultimi anni, lo sviluppo di tecniche di misurazione all'avanguardia ha portato a un sostanziale miglioramento della nostra conoscenza delle correnti oceaniche profonde. Tra queste, le correnti di torbida sono le più intense e difficili da prevedere. Questi flussi profondi di acqua e sabbia possono raggiungere velocità dell'ordine di 5-20 m/s e distanze dall'innesco dell'ordine di centinaia di km. Rappresentano dunque un rischio per la progettazione e la manutenzione di strutture ingegneristiche in acque profonde, come oleodotti, gasdotti, reti di telecomunicazione e cavi elettrici. Anche se ad oggi queste correnti possono essere misurate direttamente, la nostra comprensione dei loro meccanismi di innesco è ancora assai limitata.

Sebbene sia ormai consolidato nella letteratura che le correnti di torbida possano essere innescate da diversi meccanismi quali i collassi di depositi di sedimenti sottomarini, lo sbocco a mare di correnti fluviali durante le piene e le onde stazionarie di bordo, solo recentemente la circolazione costiera indotta da eventi estremi è stata direttamente connessa alle correnti di torbida. Infatti, anche durante tempeste moderate, l'interazione tra le diverse forzanti quali i pennacchi fluviali galleggianti, le maree, le onde e il vento, dà origine a complessi campi di moto sulla piattaforma continentale. I sedimenti apportati continuamente dai delta fluviali sono risospesi dal fondo durante questi eventi e trasportati verso il largo da correnti litoranee o rip-currents che possono trasformarsi in correnti di torbida lungo i canyon sottomarini.



La modellazione quantitativa di tali correnti può essere di ausilio nella caratterizzazione dei depositi di sedimenti risultanti. Tali depositi, noti come torbiditi, sono importanti serbatoi di petrolio e gas la cui comprensione è fondamentale non solo per lo sfruttamento economico delle risorse ma anche per il potenziale utilizzo di serbatoi esauriti per il sequestro di CO<sub>2</sub>.

1. Porcile, G., Bolla Pittaluga, M., Frascati, A., Sequeiros, O.E. Typhoon-induced megarips as triggers of turbidity currents offshore tropical river deltas, *Commun. Earth Environ. (Nature Publisher Group)*, 1(2) (2020) 1-13.
2. O.E. Sequeiros, M. Bolla Pittaluga, A. Frascati, C. Pirmez, D.G. Masson, P. Weaver, A.R. Crosby, G. Lazzaro, G. Botter, J.G. Rimmer. How typhoons trigger turbidity currents in submarine canyons, *Scientific Reports (Nature Publisher Group)* 9 (2019) 1-15.
3. M. Bolla Pittaluga, A. Frascati, O. Falivene. A Gradually Varied Approach to Model Turbidity Currents in Submarine Channels, *Journal Geophysical Research - Earth Surface*, 123 (2018) 80-96.

## Morfodinamica fluviale e mareale

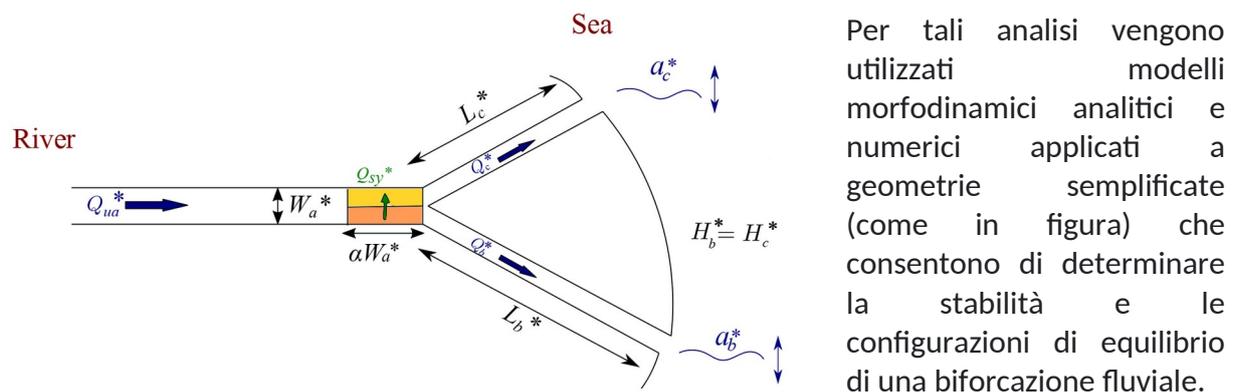
Gruppo DICCA: M. Bolla Pittaluga, N. Tambroni, N. Ragno  
Collaborazione con: S. Lanzoni (UniPD)

Ricerca finanziata da: Autorità di Bacino del Po

I delta fluviali sono caratterizzati tipicamente dalla presenza di diverse biforcazioni che distribuiscono la portata liquida e solida nei diversi rami di valle. La comprensione della dinamica di una singola biforcazione è di cruciale importanza per la gestione dei delta in termini di navigabilità, protezione dalle piene e apporto solido alla zona costiera.

Recentemente abbiamo individuato come la stabilità delle biforcazioni fluviali sia determinata dal rapporto tra larghezza e profondità della corrente. Se tale rapporto risulta inferiore rispetto ad un valore critico le portate liquide e solide vengono distribuite equamente nei rami di valle. Tuttavia, se tale rapporto supera il valore critico, si instaura un meccanismo di instabilità che conduce ad una ripartizione fortemente sbilanciata nei due rami di valle. Questo meccanismo ha ovvie ripercussioni sull'evoluzione del sistema e consente di interpretare i processi evolutivi eventualmente in atto. Inoltre consente di verificare se eventuali operazioni di dragaggio hanno implicazioni sull'evoluzione del sistema, modificando le configurazioni di equilibrio e potenzialmente innescando involontariamente processi di deposito nei rami di valle.

L'estensione del modello analitico al caso di delta influenzati da maree di piccola ampiezza ha mostrato che ampiezze di marea più alte e una maggiore vicinanza del nodo di giunzione al mare tendono ad ostacolare lo sviluppo di soluzioni sbilanciate. Questo effetto stabilizzante esercitato dall'azione delle maree è associato al carattere erosivo delle correnti di marea. Osservazioni preliminari di delta naturali corroborano i nostri risultati.



Per tali analisi vengono utilizzati modelli morfodinamici analitici e numerici applicati a geometrie semplificate (come in figura) che consentono di determinare la stabilità e le configurazioni di equilibrio di una biforcazione fluviale.

1. Ragno, N., Tambroni, N., Bolla Pittaluga, M. When and where do free bars in estuaries and tidal channels form? *Journal of Geophysical Research - Earth Surface*, 126 (2021).
2. N. Ragno, N. Tambroni, M. Bolla Pittaluga, 2020. Effect of small tidal fluctuations on the stability and equilibrium configurations of bifurcations, *Journal Geophysical Research - Earth Surface*, 125 (2020).
3. Bolla Pittaluga M. N. Tambroni, A. Canestrelli, R. Slingerland, S. Lanzoni, and G. Seminara, 2015. Where river and tide meet: The morphodynamic equilibrium of alluvial estuaries, *Journal Geophysical Research - Earth Surface*, 120 (2015) 75–94.

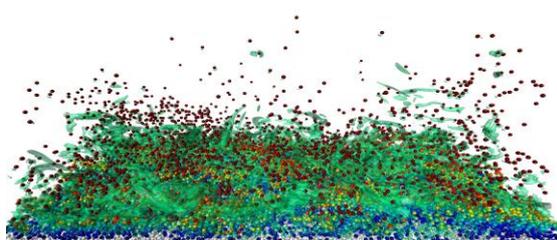
## Meccanica del trasporto di sedimenti associato alle onde di mare

Gruppo DICCA: P. Blondeaux, M. Mazzuoli, G. Vittori

Collaborazione con: Julian Simeonov (NRL), Joe Calantoni (NRL), M. Uhlmann (KIT)

Ricerca finanziata da: NICOP Project 1000006450, ONR Global

Quando le onde di mare si avvicinano alla costa, prima di raggiungere la zona dei frangenti, interagiscono con il fondo generando un gradiente di pressione che, al fondo, è in prima approssimazione orizzontale e provoca un moto oscillante capace di influenzare significativamente il trasporto di sedimenti e dare origine a forme di fondo. È stata condotta un'indagine numerica finalizzata a studiare l'interazione tra fluido e sedimenti nello strato limite oscillante in regime di moto laminare e turbolento intermittente. Sono state fatte



*Configurazione del fondo in una fase in cui numerose particelle (colorate secondo il modulo della propria velocità) sono messe in sospensione dall'azione dei vortici turbolenti (isosuperfici verdi).*

numerose simulazioni dirette (DNS) utilizzando le risorse fornite dai centri di calcolo HPC CINECA (Bologna), SCC (KIT, DE) e DoD HPCMP ORS (USA), nel contesto dei progetti IS CRA B "STIRSBED", IS CRA C "TURBOSEA", PRACE 16th call "MOST SEA", IS CRA B "MOST SEAP", "DNSBESTSEA" e PRACE 7th call "TEST SEA". Le equazioni di Navier-Stokes e di continuità sono risolte numericamente usando uno schema del secondo ordine alle differenze finite. La condizione di aderenza è applicata sul bordo di ciascuna particella di sedimento con la tecnica

dei bordi immersi, mentre le forze di contatto tra le particelle sono valutate con un modello DEM (cf. figura 1). I risultati delle indagini hanno permesso di: (i) capire l'origine dei ripple in regime di moto laminare e valutare la loro evoluzione [1]; (ii) calcolare il flusso di sedimenti nelle diverse fasi del ciclo d'onda. È emerso che, mentre nel regime di moto laminare l'effetto del gradiente di pressione sulla dinamica dei sedimenti è significativo, quando il moto diventa turbolento il flusso di sedimenti è fortemente correlato con la tensione tangenziale al fondo. Quando il moto è turbolento, è stato possibile stimare il flusso di sedimenti considerando le fasi del ciclo come una sequenza di stati stazionari [2]; (iii) formulare modelli per valutare le condizioni al contorno (velocità dell'acqua e concentrazione di sedimenti al livello del fondo in funzione del tempo) richieste ad esempio da modelli basati sulle RANS [3]; (iv) contribuire alla formulazione di un modello probabilistico del trasporto di sedimenti al fondo e "saltellanti" [4]; (v) studiare il processo di transizione alla turbolenza [5], capire il meccanismo di produzione e dissipazione dell'energia cinetica turbolenta in presenza di sedimenti in sospensione e stimare il valore della viscosità turbolenta.

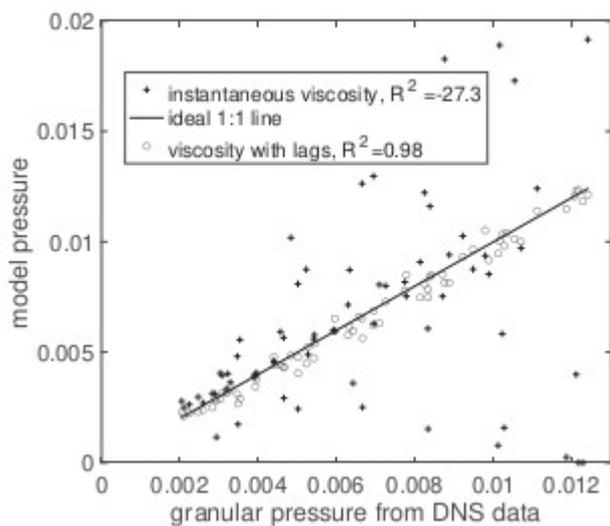
1. Mazzuoli, M., Kidanemariam, A. G., Uhlmann, M. Direct numerical simulations of ripples in an oscillatory flow, *J. Fluid Mech.*, 863 (2019) 572-600.
2. Mazzuoli, M., Blondeaux, P., Vittori, G., Uhlmann, M., Simeonov, J., Calantoni, J. Interface-resolved direct numerical simulations of sediment transport in a turbulent oscillatory boundary layer, *J. Fluid Mech.*, 885 (2020) A28.
3. Vittori, G., Blondeaux, P., Mazzuoli, M., Simeonov, J. and Calantoni, J. Sediment transport under oscillatory flows, *Int. J. Multiph. Flow*, 133 (2020) 103454.

## Modello reologico multifase di un letto granulare soggetto a uno strato limite oscillante

Gruppo DICCA: M. Mazzuoli  
Collaborazione con: J. Simeonov (NRL), J. Calantoni (NRL)

Ricerca finanziata da: NICOP Project 1000006450, ONR Global

Lo strato limite oscillante è considerato il prototipo dello strato limite quando il moto è non stazionario e riproduce, in prima approssimazione, il moto sul fondo del mare dovuto alle onde. Se il fondo del mare è caratterizzato da sedimenti non coesivi le forze che determinano la dinamica delle particelle di sedimento, oltre alla forza di gravità, sono quelle idrodinamiche e quelle associate al contatto inter-particellare. Se il moto oscillante è sufficientemente intenso da portare i sedimenti in sospensione, man mano che ci avviciniamo al fondo la concentrazione di sedimenti aumenta contestualmente con il numero delle collisioni inter-particellari. In un modello euleriano bifase (fluido e sedimenti) è richiesto che si conosca sia il tensore delle tensioni viscosse che quello delle tensioni granulari (inter-particellari). Per “chiudere” il problema si possono stabilire relazioni (lineari) tra le tensioni granulari (pressione e tensione tangenziale) e la velocità di taglio, formulando così un modello reologico dipendente dalle fasi del ciclo d’onda. E’ stato introdotto un ritardo di



Pressione (dinamica) granulare stimata con il modello proposto (o) e con quello formulato da Boyer et al. (PRL 2011) (+).

fase per tener conto dello sfasamento tra la velocità di taglio e la pressione dinamica granulare. I risultati del modello sono stati confrontati con quelli ottenuti da simulazioni numeriche dirette (“particle-resolved DNS”) dello strato limite oscillante su strati multipli di particelle di sedimento sferiche nel regime di moto turbolento intermittente. Con le DNS è stato possibile valutare ciascun termine delle equazioni di bilancio della quantità di moto per il fluido e per le particelle, mediate seguendo l’approccio di Jackson, in diverse fasi del ciclo d’onda. Il confronto ha mostrato che le stime prodotte dal modello sono più vicine ai valori ottenuti con le DNS di quelle che si possono ottenere con altri modelli. I risultati della ricerca sono descritti in [1].

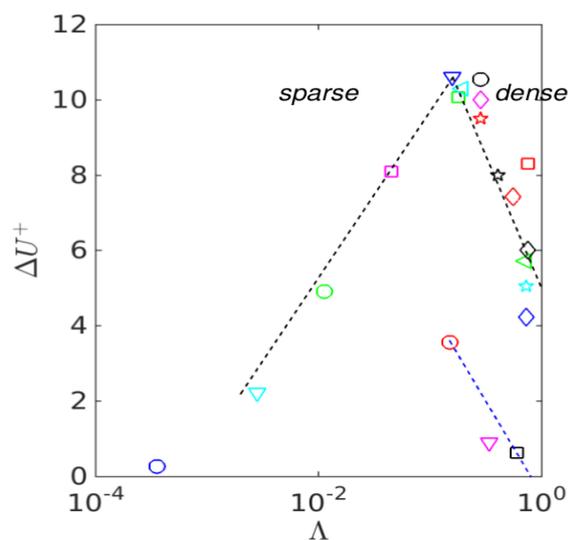
1. J. Simeonov, M. Mazzuoli, J. Calantoni, “Particle and fluid phase stresses in oscillatory flow of unconsolidated granular bed”, inviato a *Phys. Rev. E* (2022).

## Effetto della configurazione geometrica degli elementi di scabrezza sulla resistenza al moto in un meato aperto

Gruppo DICCA: Marco Mazzuoli  
Collaborazione con: Markus Uhlmann (KIT, Germania)

Ricerca finanziata da: risorse computazionali fornite dal centro di calcolo SCC, KIT, Germania (Progetto "DNSWALL")

Un fluido in movimento su una parete piana incontra una resistenza maggiore in presenza asperità della parete. Al fine di caratterizzare le superfici sulla base della loro rugosità è stato introdotto il concetto di scabrezza e un coefficiente empirico di resistenza che tuttavia non è semplicemente legato all'altezza delle asperità ma anche alla loro posizione relativa e alla loro forma. Schlichting è stato il primo a riconoscere che la forza idrodinamica agente sugli elementi di scabrezza diminuiva man mano che aumentava la loro concentrazione, determinando così l'esistenza di un massimo della tensione al fondo per un certo valore di concentrazione, e introdusse il parametro di "solidità" ( $\Lambda$ ) che, nel caso di elementi di scabrezza sferici, è direttamente proporzionale alla concentrazione volumetrica della frazione solida. È stata condotta un'indagine numerica eseguendo venti simulazioni dirette (DNS) del



Funzione di scabrezza  $\Delta U^+$  in funzione del parametro di solidità  $\Lambda$ . Il massimo effetto di resistenza si ottiene per  $\Lambda=0.15$ .

moto di un fluido incompressibile in un meato aperto (open-channel) sulla cui parete sono state montate sfere di identica misura variandone la dimensione e la configurazione geometrica (distanza e "pattern"), nel regime di moto turbolento di transizione e assolutamente scabro. Oltre a confermare le osservazioni sperimentali di Schlichting, le simulazioni hanno permesso di studiare gli effetti della scabrezza sulla turbolenza e conseguentemente sulla resistenza al moto. È stato inoltre osservato che, nei casi in cui la configurazione geometrica degli elementi di scabrezza è casuale ("pattern" non regolare), l'effetto di "sheltering" degli elementi di scabrezza su quelli immediatamente a valle è solo moderatamente correlato con la rispettiva forza idrodinamica [1]. L'indagine numerica, che aveva avuto inizio con il lavoro di Mazzuoli & Uhlmann [2], è tuttora in corso

[3] e un nuovo articolo è attualmente in fase di preparazione.

1. Uhlmann M. and Mazzuoli, M. Direct Numerical Simulation of Open-Channel Flow at Fully-Rough Regime, *HPC in Science and Eng.*, Garching/Munich (2018) 144-147
2. Mazzuoli, M. and Uhlmann, M. Direct numerical simulation of open-channel flow over a fully-rough wall at moderate relative submergence, *J. Fluid Mech.* 824 (2017) 722-765.
3. Uhlmann, M. and Mazzuoli, M. Direct Numerical Simulation of Open-Channel Flow Over a Rough Wall, SCC internal report (2020).

## Analisi dei processi dispersivi in ambienti a marea

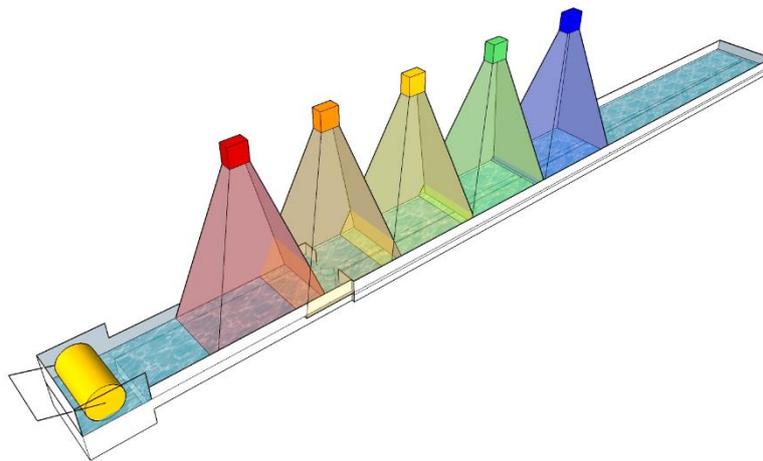
Gruppo DICCA:

A. Stocchino, N. Tambroni, A. De Leo

Collaborazione con:

M. Brocchini (Università Politecnica delle Marche)

Negli ultimi anni numerosi studi sono stati effettuati sulla modellazione dei processi di miscelamento che avvengono in canali naturali a geometria composta sottoposti a correnti uniformi. In particolare, Stocchino et al. (2011) hanno condotto esperimenti in tali geometrie concludendo che, nonostante il carattere tridimensionale del flusso, il contributo principale ai



processi di trasporto è associato ai macro-vortici quasi bidimensionali generati nell'area di transizione. La ricerca estende l'analisi relativa agli ambienti fluviali alle regioni estuarine, in cui la forzante di marea è dominante. Infatti, rispetto al caso fluviale, negli estuari insistono differenti meccanismi a controllo dei processi di miscelamento,

quali i gradienti di densità ed il trasporto delle maree. Inoltre, le variazioni spazio-temporali tipiche dell'idrodinamica estuarina rendono difficile la quantificazione e l'analisi dei processi di miscelamento (Fischer, 1976). In questa ricerca sono state effettuate alcune indagini sperimentali sui processi che coinvolgono la dispersione in un canale di marea non stratificato di lunghezza finita. La determinazione delle traiettorie di particelle rilasciate nel canale è stata poi utilizzata per il calcolo delle statistiche di dispersione. La campagna di misure si è svolta presso il Laboratorio di Idraulica del Dipartimento di Ingegneria Chimica, Civile e Ambientale (DICCA) dell'Università di Genova, utilizzando un canale di grande scala la cui geometria è schematicamente rappresentata in Figura. Le misure di velocità sono state eseguite attraverso una comune tecnica di misurazione chiamata Particle Image Velocimetry (PIV), basata sulla registrazione fotografica dello spostamento di traccianti. I risultati suggeriscono che, anche in una geometria semplificata, i processi di dispersione sono fortemente disomogenei e portano a regimi di dispersione anomali, ovvero super o sub-diffusivi, a seconda del sottodominio considerato. Le strutture coerenti con dimensioni tipiche della larghezza del canale hanno un ruolo dominante nella regolazione della capacità del flusso di disperdere i traccianti.

1. Stocchino A., Besio G., Angiolani S., and Brocchini M. (2011). Lagrangian mixing in straight compound channels. *Journal of Fluid Mechanics*, 675 (2011) 168–198.
2. De Leo A., Tambroni N., and Stocchino A. Dispersion processes in weakly dissipative tidal channels. *Journal Geophysical Research, Oceans*. In revision (2021)
3. De Leo A., Tambroni N., and Stocchino A. Anomalous dispersion in weakly dissipative tidal channels. Inviato per pubblicazione a *Journal of Coastal and Offshore Science and Engineering* (2021).

## Onde di bordo nella regione costiera

Gruppo DICCA: G. Vittori, P. Blondeaux  
Collaborazione con: R.T. Guza (Scripps Institution, California), G. Coco (University of Auckland, New Zealand)

La dinamica delle onde in prossimità della costa è fondamentale per comprendere e quantificare il processo di erosione o di avanzamento della linea di costa. Rilievi di campo hanno mostrato la presenza di onde che si propagano parallelamente alla spiaggia e caratterizzate da un'ampiezza che decade allontanandosi della riva (onde di bordo). Le onde di bordo vengono generate dall'instabilità del moto ondoso che incide sulla costa e in letteratura sono disponibili i risultati che permettono di predire la comparsa delle onde di bordo quando il moto ondoso incidente è monocromatico. Lo studio condotto dal gruppo di ricerca su questo tema ha permesso di determinare le condizioni che portano alla comparsa delle onde di bordo quando il moto ondoso incidente è caratterizzato da un comportamento casuale (*random waves*) come i rilievi di campo mostrano nella quasi totalità dei casi. In particolare i risultati ottenuti hanno evidenziato la comparsa 'intermittente' delle onde di bordo: periodi caratterizzati dalla presenza di onde di bordo di grande ampiezza si alternano a periodi in cui le onde di bordo sono completamente assenti. Lo studio è stato condotto utilizzando un'analisi di stabilità lineare e una debolmente non lineare. L'analisi teorica è stata poi supportata da un'analisi sperimentale condotta in una vasca per onde di grande dimensioni e dotata di un generatore di onde controllato elettronicamente in grado di generare un moto ondoso 'random' caratterizzato da uno spettro assegnato. I risultati sperimentali hanno mostrato la comparsa intermittente delle onde di bordo (quali quelle nell'immagine sottostante), confermando così la analisi teoriche.



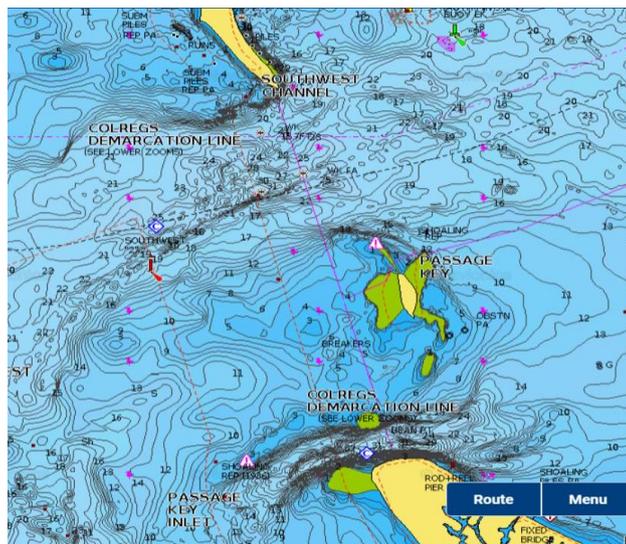
1. Vittori G. & Blondeaux P., Coco G. & Guza R.T. Subharmonic edge wave excitation by narrow-band, random incident waves. *J. Fluid Mech.* 868 (2019) R4
2. Ding X., Coco G., Guza R.T., Garnier R., Whittaker C., Dalrymple R.A., Wei, Z., Lomonaco P., Blondeaux P. & Vittori G. Laboratory observations of the intermittent growth of edge waves with random incident waves', *Ocean Sciences Meeting 2020*, 16-21 February 2020, San Diego, California (USA) CP11A-08.

## Forme di fondo di grande scala generate da correnti mareali

Gruppo DICCA: G. Vittori, P. Blondeaux

Ricerca finanziata da: Office of Naval Research (U.S. Navy)

Sia il fondo del mare sia il fondo dei corsi d'acqua sono caratterizzati dalla presenza di forme di fondo di grande scala che interagiscono con gli interventi finalizzati a controllare la dinamica del fondo del mare o del corso d'acqua oppure interagiscono con le opere aventi altre finalità (ad esempio una condotta sottomarina, un canale di navigazione e così via). E' per questo motivo che esistono molti studi che cercano di predire la comparsa delle forme di fondo e la loro evoluzione temporale. I risultati delle ricerche effettuate mostrano che le forme di fondo sono spesso il risultato di un fenomeno di instabilità. Nell'ambito di questo tema di ricerca, si sono analizzati i meccanismi fisici che conducono alla comparsa delle dune mareali e delle dune fluviali e si è mostrato che questi meccanismi, che nel passato si ritenevano molto diversi fra di loro, presentano forti analogie. Questo risultato consente di analizzare la possibilità di utilizzare alcuni approcci proposti per studiare le dune fluviali per lo studio delle dune mareali e viceversa. L'indagine teorica, basata su uno studio di stabilità, è stata anche applicata per la predizione delle forme di fondo generate in prossimità di uno stretto (Passage Key inlet – Anna Maria Island) dalle correnti mareali. Lo studio ha richiesto la determinazione del campo di moto con un approccio originale basato sulla tecnica dei 'point vortices'. Tale approccio ha consentito di valutare, con modesti costi computazionali, l'evoluzione delle strutture vorticosi generate dalla separazione dello strato limite dalla costa in prossimità dello stretto. I risultati ottenuti ben si accordano con i rilievi di campo disponibili in letteratura.



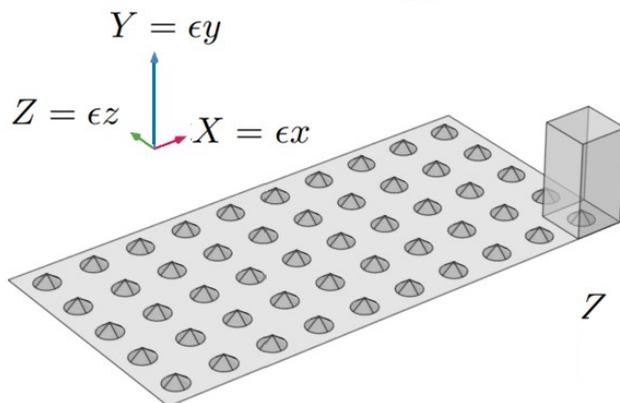
1. Vittori G. & Blondeaux P. River Dunes and Tidal Sand Waves: Are They Generated by the Same Physical Mechanism? *Water Resources Research* 56(5) (2020) e2019WR026800.
2. Blondeaux P. & Vittori G. Modeling Transverse Coastal Bedforms at Anna Maria Island (Florida). *J. Geophysical Research*, 125(7) (2020) e2019JC015837.

## Condizioni al contorno efficaci per pareti scabre micro-strutturate

Gruppo DICCA: A. Bottaro, A.N. Ahmed, S.B. Naqvi  
Collaborazione con: G. Tanda (DIME) e C. Airiau (Tolosa, F)  
Ricerca finanziata da: PRIN 2017

Pareti micro-strutturate sono la norma in natura ed in applicazioni tecnologiche, e il loro effetto sul comportamento a grande scala di un fluido può essere tutt'altro che trascurabile. La teoria dell'omogeneizzazione asintotica permette di derivare condizioni al contorno che modellano la presenza di micro-scabrezze distribuite sul moto macroscopico di un fluido. La procedura ruota attorno alla separazione delle scale spaziali e si basa su due fasi distinte. Nella prima si risolvono problemi ausiliari definiti su un volume elementare rappresentativo (VER); ciò permette di identificare opportuni coefficienti tensoriali che appaiono nelle condizioni al contorno efficaci. Nella seconda fase, i coefficienti trovati vengono impiegati nello studio del moto a grande scala, evitando così la necessità di risolvere numericamente tutti i dettagli del flusso nei dintorni delle micro-strutturazioni parietali.

I casi che sono stati investigati fino ad ora riguardano il flusso in canali e/o strati limite, anche generati da effetti di convezione naturale, in regime di moto laminare o turbolento, con (almeno) una parete costellata da micro-scabrezze distribuite, possibilmente elastiche e capaci di deformarsi sotto l'azione del fluido, includendo l'eventualità che la parete sia permeabile al fluido. Le domande a cui cerchiamo risposta riguardano l'effetto di elementi di rugosità di forma e dimensioni note sulla resistenza di attrito; come ottimizzare tali elementi, andando ad incidere sul loro eventuale comportamento elastico oppure sulla struttura porosa del mezzo sottostante, per soddisfare determinati obiettivi; come valutare l'autorità di controllo di micro-azionatori distribuiti su una parete sul moto macroscopico di un fluido.



In figura è illustrata una parete micro-strutturata, con elementi conici di rugosità. Il volume a forma di parallelepipedo sulla destra rappresenta un VER, elemento periodico in  $x$  e  $z$ , e allungato lungo  $y$ , per interfacciare il moto di parete con il flusso esterno a grande scala. La dimensione caratteristica del VER è  $l$ , mentre la macro-scala è  $L$ , con  $\epsilon = l/L \ll 1$ .

1. Zampogna G.A., Magnaudet J. & Bottaro A. Generalized slip condition over rough surfaces, *J. Fluid Mech.* 858 (2019) 407-436.
2. Bottaro A. Flow over natural or engineered surfaces: an adjoint homogenization perspective, *J. Fluid Mech.* 877 (2019) P1-P91.
3. Naqvi, S.B. & Bottaro, A. Interfacial conditions between a free-fluid region and a porous medium, *Int. J. Multiphase Flow* 141 (2021) 103585.

## Moti fluidi in mezzi porosi e poroelastici: applicazioni della teoria di omogeneizzazione

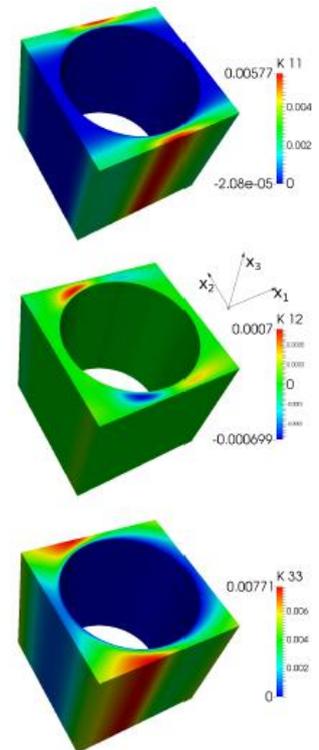
Gruppo DICCA:

A. Bottaro

Collaborazione con:

S.B. Naqvi (DIME), C. Airiau (Tolosa, F), D. Lasseux (Bordeaux, F),  
F.J. Valdés-Parada (Mexico)

Il moto di un fluido in un mezzo poroso è retto da un'equazione macroscopica che si chiama equazione di Darcy, ottenuta a metà del XIX secolo dall'ingegnere civile francese Henry Darcy su basi empirico-sperimentali. Tale equazione mette in relazione la velocità media del fluido nel mezzo poroso con il gradiente macroscopico di pressione, tramite una costante di proporzionalità che dipende dalla permeabilità del mezzo e dalla viscosità del fluido. Soltanto a partire dalla seconda metà del XX secolo la derivazione formale dell'equazione di Darcy è stata realizzata a partire dai principi di base di conservazione, tramite tecniche di medie volumetriche e/o approcci asintotici di omogeneizzazione. Tali tecniche si basano sulla definizione di problemi microscopici (a livello di uno o più pori) su una cella unitaria, oltreché su opportune operazioni di media. La figura mostra un esempio di soluzioni dei problemi microscopici che si ottengono quando la cella unitaria è composta da inclusioni solide cilindriche, disposte in modo regolare nello spazio. La media volumetrica di ciascuno dei campi visualizzati fornisce le componenti non-nulle del tensore di permeabilità.



Per il caso di mezzo poroelastico, l'equazione di Darcy dinamica fornisce la velocità relativa del fluido (rispetto al mezzo permeabile) attraverso un integrale di convoluzione temporale tra (la derivata della) permeabilità dinamica e un termine che include il gradiente di pressione e l'accelerazione del mezzo. Sia per mezzi porosi che poroelastici le equazioni macroscopiche di bilancio possono essere agevolmente ottenute dall'approccio di omogeneizzazione "aggiunta" proposto da Bottaro (*J. Fluid Mech.* 877, 2019). Sulla base di tale approccio sono stati effettuati (e in alcuni casi sono tuttora in corso) studi relativi a:

- (i) moti di fluidi non-Newtoniani in mezzi porosi;
- (ii) moti di fluidi sottoposti a gradienti di pressione temporvarianti;
- (iii) descrizione del moto attraverso una frattura nel mezzo poroso, o in prossimità di una frontiera solida.

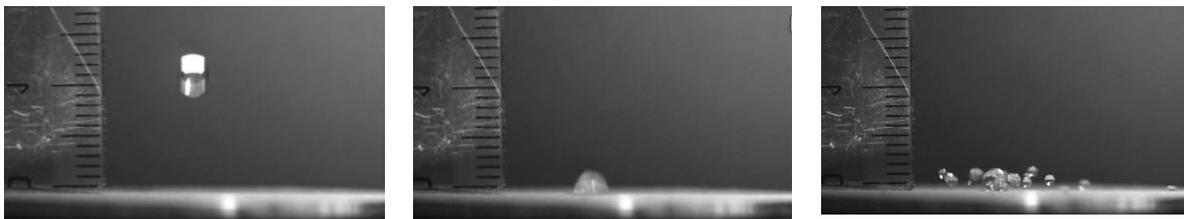
1. Zampogna G.A., Laci U., Bagheri S. & Bottaro A. Modeling waves in fluids flowing over and through poroelastic media, *Int. J. Multiphase Flow* 110 (2019) 148-164.
2. Airiau, C. & Bottaro, A. Flow of shear-thinning fluids through porous media, *Adv. Water Res.* 143 (2020) 103658.
3. Lasseux, D. & Valdés-Parada, F.J. & Bottaro, A. Upscaled model for unsteady slip flow in porous media, *J. Fluid Mech.* 923 (2021) A37.

## Interazioni di un liquido con una parete solida biomimetica

Gruppo DICCA: A. Lagazzo, M. Delucchi, A. Freda, J. Guerrero, A. Bottaro  
Collaborazione con: C. Boragno (DIFI), E. Rizzuto (DITEN)

Ricerca finanziata da: PRIN2017

L'interesse di ricerca parte dal presupposto che, in fase di progettazione di una nave, particolare attenzione deve essere rivolta a ridurre l'attrito tra la parte immersa dello scafo e l'acqua; ciò produce inoltre una significativa diminuzione di emissione di inquinanti e miglioramento dell'efficienza energetica. Questo obiettivo viene perseguito cercando di ottimizzare la forma dello scafo, ma anche scegliendo con attenzione i materiali più idonei al rivestimento delle superfici immerse e il trattamento superficiale dei materiali stessi. La volontà di sviluppare materiali e trattamenti innovativi ha portato alla progettazione e all'analisi di diverse superfici a carattere biomimetico, cioè superfici impregnate di lubrificante (*Lubricant-Impregnated Surfaces*), LIS, e superfici superidrofobiche, SHS. La valutazione dell'impatto di gocce (*bouncing*) su queste superfici può dare importanti informazioni sulla bagnabilità delle stesse, strettamente correlata con le loro potenziali proprietà anti-drag. I substrati micro-strutturati infusi con olio (LIS) su cui impatta una goccia d'acqua danno luogo a una varietà di interessanti fenomeni di bagnabilità. Un esempio è fornito dalle immagini sottostanti, che mostrano tre immagini istantanee della sequenza di impatto di una goccia su una superficie SHS. La valutazione di tali fenomeni risulta molto utile nell'ottimizzazione di questi materiali con finalità anti-attrito, visto che una configurazione con la goccia che non entra in contatto con la superficie solida, ma si trova su un sottile film del liquido impregnante, mostra la maggiore "scivolosità". Dal punto di vista delle superfici superidrofobiche (SHS) è importante notare che l'impatto delle gocce su di esse è stato ampiamente studiato negli ultimi anni a causa della sua importanza scientifica e di applicazioni industriali in alcuni settori quali *self-cleaning* e *anti-icing*. L'aspetto cruciale che deve essere considerato è quello del mantenimento di uno strato di gas inframmezzato tra la parete, caratterizzata da scabrezza superficiale, e il liquido, attraverso l'uso di una micro- e nano-strutturazione della superficie solida, di modo che il liquido possa scorrere sulla parete con conseguente riduzione dell'attrito.



1. Alinovi E. & Bottaro A. Apparent slip and drag reduction for the flow over superhydrophobic and lubricant-impregnated surfaces, *Phys. Rev. Fluids* 3 (2018) 124002.

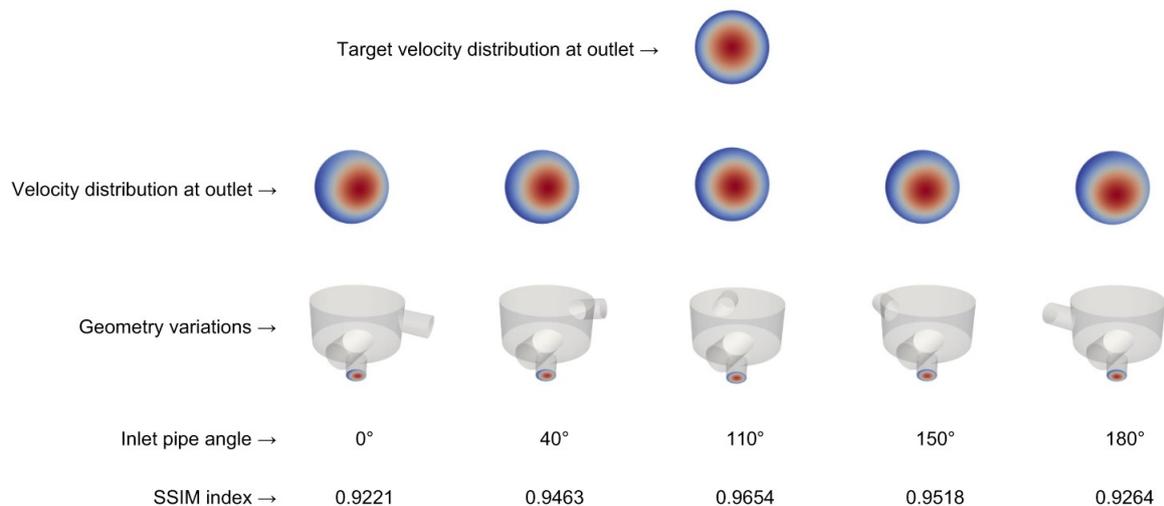
# Parametrizzazione CAD basata sul cloud e riconoscimento delle immagini per la progettazione ingegneristica

Gruppo DICCA:

J. Guerrero, A Barberis, E. Segalerba

Le simulazioni multifisiche e la CFD sono strumenti sempre più utilizzati per la certificazione di prodotti mediante analisi e simulazione. Anche prima di raggiungere il mercato, molti prodotti hanno subito una sorta di ottimizzazione euristica o metodologica. Sebbene l'ottimizzazione possa assumere forme diverse in campi diversi (ad es. finanza, sanità, operazioni, produzione, trasporti, edilizia, progettazione tecnica e così via), l'obiettivo finale è sempre ottenere il meglio da qualcosa in determinate circostanze.

Lo scopo di questa attività di ricerca è doppio. Per prima cosa, vogliamo utilizzare il cloud per supportare la parametrizzazione CAD durante l'esplorazione dello spazio parametrico nella progettazione ingegneristica. In secondo luogo, vogliamo usare tecniche di riconoscimento delle immagini per guidare lo studio d'ottimizzazione. In particolare, proponiamo l'utilizzo dello Structural Similarity Index Method (SSIM) [1]. L'utilizzo di questo metodo consente di confrontare immagini anziché quantità integrali. Con questo metodo possiamo progettare in anticipo come apparirà il campo, oppure possiamo usare immagini provenienti da esperimenti (numerici o fisici) per controllare lo studio di ottimizzazione.



In figura è illustrato un confronto qualitativo della distribuzione di velocità in uscita da un miscelatore. Nel metodo SSIM, il valore 1 significa che le immagini sono identiche. L'immagine target è mostrata nella prima riga della figura.

1. J. Guerrero, Cloud-based CAD parametrization and image recognition for engineering design work-flows based on OpenFOAM, Wolf Dynamics White Paper 2021-1. Gennaio 2021.
2. J. Guerrero, L. Mantelli, S. Naqvi, Cloud based CAD parametrization for design space exploration and design optimization in CFD, *Fluids* 5(1) (2020) 36.
3. J. Guerrero, L. Mantelli, S. Naqvi, Cloud-Based Cad Parametrization and Image Recognition For Support of Engineering Design Using Numerical Simulations, 15th OpenFOAM Workshop. Virginia Tech, Arlington, Virginia, USA. June 22-26, 2020.

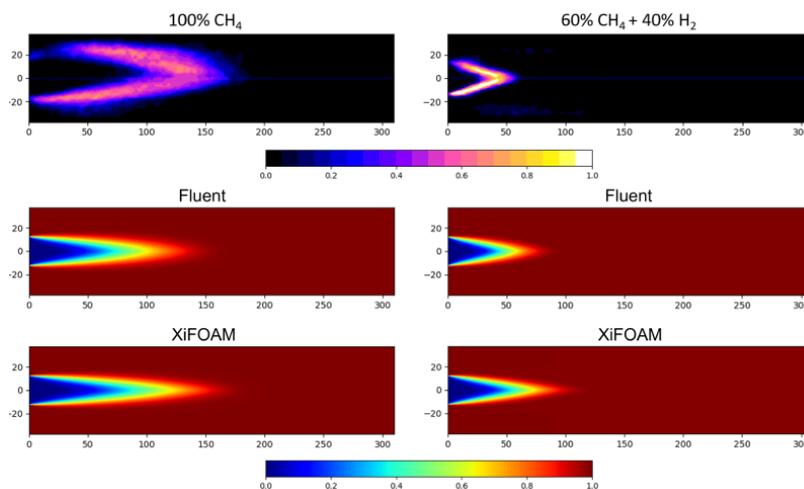
## Modellazione della turbolenza in combustione premiscelata con numero di Lewis non unitario

Gruppo DICCA: J. Guerrero, H. Kutkan, J. Wei

Ricerca finanziata da: Progetto EU Marie Curie Polka

Lo studio della combustione premiscelata turbolenta è un'area di ricerca attiva poiché la padronanza di questa tecnologia può tradursi direttamente in una maggiore efficienza e nella riduzione delle emissioni di NOx e di altri inquinanti. Tuttavia, modellare i fenomeni di combustione premiscelata è un compito non banale a causa dell'interazione tra turbolenza e reazioni chimiche. Per superare questa sfida, sono stati sviluppati e testati molti modelli di combustione, quali: eddy breakup model, turbulent flame speed closure, coherent flamelet model, algebraic flame surface wrinkling model.

In questa attività di ricerca, ci proponiamo di condurre simulazioni numeriche utilizzando diversi modelli di turbolenza e di combustione nell'ipotesi in cui la diffusività termica turbolenta differisca da quella di massa. L'obiettivo principale quindi è quello di calibrare diversi modelli di turbolenza sotto la condizione di numero di Lewis diverso di uno, oppure di trovare una correlazione tra il numero di Prandtl e il numero di Schmidt per diversi modelli di turbolenza RANS/URANS e RSM.



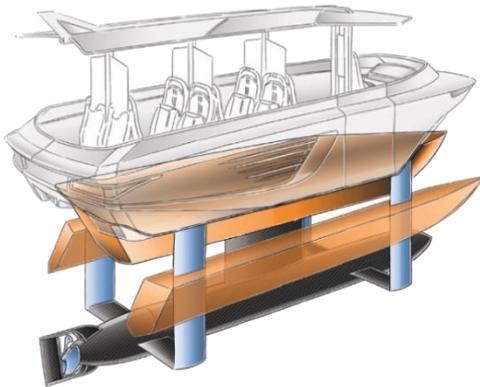
Nelle immagini sono confrontate diverse forme di fiamma. Riga superiore: chemiluminescenza OH\* normalizzata sperimentale. Riga centrale: forme numeriche di fiamma calcolate con Ansys Fluent. Riga inferiore: forme numeriche di fiamma calcolate con OpenFOAM. Le colonne corrispondono a diverse miscele.

1. H. Kutkan, J. Guerrero. Turbulent Premixed Flame Modeling Using the Algebraic Flame Surface Wrinkling Model: A Comparative Study between OpenFOAM and Ansys Fluent, *Fluids* 6(12) (2021) 462.
2. H. Kutkan, J. Guerrero, Pressurized turbulent premixed CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Air flame modelling. A comparison between OpenFOAM and Ansys Fluent, inviato per pubblicazione (2022).

## Simulazioni CFD e ottimizzazione di un water-taxi elettrico su foils

Gruppo DICCA: A. Barberis, J. Guerrero, A. Bottaro  
Collaborazione con: Verme Projects

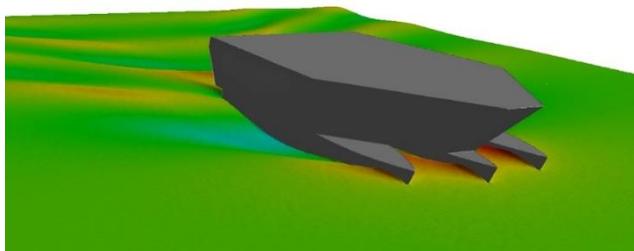
Ricerca finanziata da: PON 2021



Nel contesto del DM1061 (dottorato di ricerca su tematiche “green”) una nuova attività in collaborazione con la società Verme Projects di Lavagna è iniziata con l’obiettivo di progettare e ottimizzare Gerris Boat, un’imbarcazione ad assetto variabile particolarmente adatta per navigazione in acque chiuse. Il suo design è pensato per garantire prestazioni eccellenti dal punto di vista fluidodinamico, prendendo spunto dai moderni aliscafi; ambientale, utilizzando un sistema di propulsione elettrica o a idrogeno; sociale, rendendo l’imbarco accessibile anche a bambini, anziani e persone con difficoltà motorie

Infatti, lo scafo è in grado, a velocità elevate, di sollevarsi dal pelo libero dell’acqua grazie a un sistema di ali sommerse che generano il surplus di portanza necessario. Grazie a tale manovra, è possibile ridurre sia la resistenza d’attrito, permettendo l’installazione di un sistema propulsivo elettrico con conseguente riduzione delle emissioni inquinanti, che la formazione d’onda, con notevole vantaggio sulle prestazioni e sull’impatto ambientale.

In aggiunta a questo, Gerris Boat è dotato di un sistema di scafi laterali mobili, la cui posizione permette di variare l’assetto dell’imbarcazione. In questo modo è possibile adattare l’altezza della barca alla banchina in fase d’imbarco, rendendo agevole a tutti tale fase; mentre la barca è in volo, posizionando gli scafi poco al di sopra della superficie è possibile garantire un atterraggio morbido in caso di eventi inaspettati. Infine, per migliorare le prestazioni e la stabilità, si sta sviluppando un sistema di flap sul bordo d’attacco delle ali sommerse in grado di variare istantaneamente le quantità idrodinamiche dell’imbarcazione e adattare la configurazione alle condizioni operative di movimento.



Gli obiettivi del progetto sono l’analisi fluidodinamica di Gerris Boat in tutte le condizioni operative e l’ottimizzazione dello scafo e delle ali sommerse per minimizzare ulteriormente la resistenza d’attrito e la formazione d’onda.

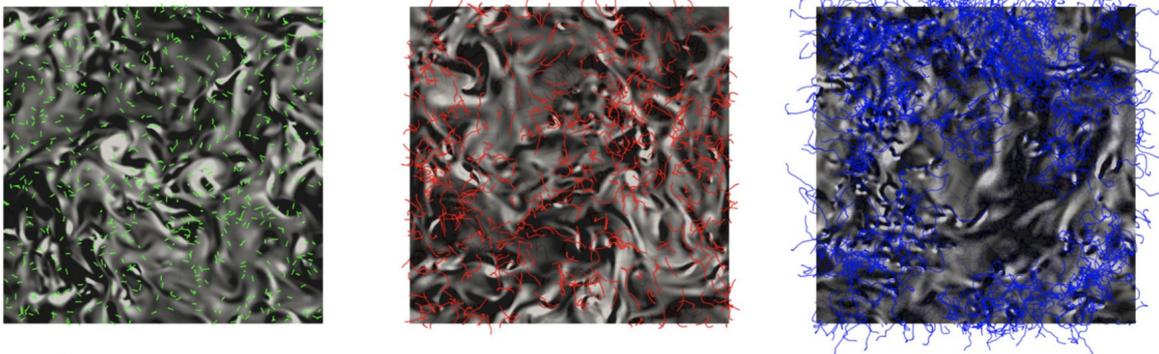
Per ottenere ciò, verranno inizialmente effettuate simulazioni numeriche utilizzando codici di calcolo ai volumi finiti (OpenFOAM e Fluent); successivamente si passerà alla fase di ottimizzazione tramite l’utilizzo di Dakota e la suite ANSYS. Per l’analisi dei dati verranno utilizzati i software Matlab e il codice di programmazione Python.

## Fluidodinamica di flussi complessi: da nuove tecniche di misura non invasive con fibre elastiche all'*energy harvesting*

Gruppo DICCA: A. Mazzino, M. Cavaiola  
Collaborazione con: C. Boragno (DICCA), M. Holzner e S. Brizzolara (ETHZ), M.E. Rosti e S. Olivieri (OIST, Giappone), L. Brandt (KTH)  
Ricerca finanziata da: Fondazione San Paolo (Progetto MINIERA), FISIR-Covid-19

Col termine flussi complessi si intendono flussi che ospitano agenti (particelle, fibre, membrane, ecc.) con i quali il fluido interagisce in modo spesso altamente non banale. L'agente viene trasportato dal fluido (spesso turbolento) ed il fluido è sovente influenzato dalla presenza del/degli agenti in sospensione.

Il gruppo lavora dal 2012 in tale ambito sui seguenti 3 filoni: i) sfruttare le proprietà elastiche di fibre in flussi turbolenti o laminari per mettere a punto metodologie di misura non invasive per le proprietà statistiche a due punti della turbolenza. Da tale filone è nata una nuova tecnica di misura battezzata col nome *Fiber-Tracking Velocimetry* (FTV). ii) Sfruttare le oscillazioni elastiche innescate in dispositivi dotati di elasticità interna per effetto del fluido in movimento per estrarre energia su scale dell'ordine dei mW. Da tale attività è nato un prototipo denominato FLEAP. iii) Studiare meccanismi di *sensing* di segnali idrodinamici da parte di nuotatori di forma snella in flussi laminari. Si tratta di un problema di primaria importanza che spazia dal campo dell'ingegneria biomedica alla navigazione intelligente. Per mezzo di un metodo ai contorni immersi lavoriamo a diversi modelli di nuoto sia di tipo *pusher* che di tipo *puller*. I modelli proposti sono stati testati rispetto a risultati analitici noti nel limite di flusso di Stokes, trovando eccellente accordo.



In figura sono illustrate tre sezioni 2D di un flusso turbolento con fibre in sospensione che interagiscono con il fluido che le ospita. I diversi colori indicano fibre di diverse lunghezze tutte appartenenti all'intervallo inerziale della turbolenza.

1. S. Brizzolara, M. E. Rosti, S. Olivieri, L. Brandt, M. Holzner and A. Mazzino, Fiber Tracking Velocimetry for Two-Point Statistics of Turbulence, *Phys. Rev. X* 11 (2021) 031060.
2. M. E. Rosti, A. A. Banaei, L. Brandt and A. Mazzino, Flexible Fiber Reveals the Two-Point Statistical Properties of Turbulence, *Phys. Rev. Letters* 121 (2018) 044501.
3. S. Olivieri, G. Boccalero, A. Mazzino and C. Boragno, Fluttering conditions of an energy harvester for autonomous powering, *Ren. Energy* 105 (2017) 530-538.

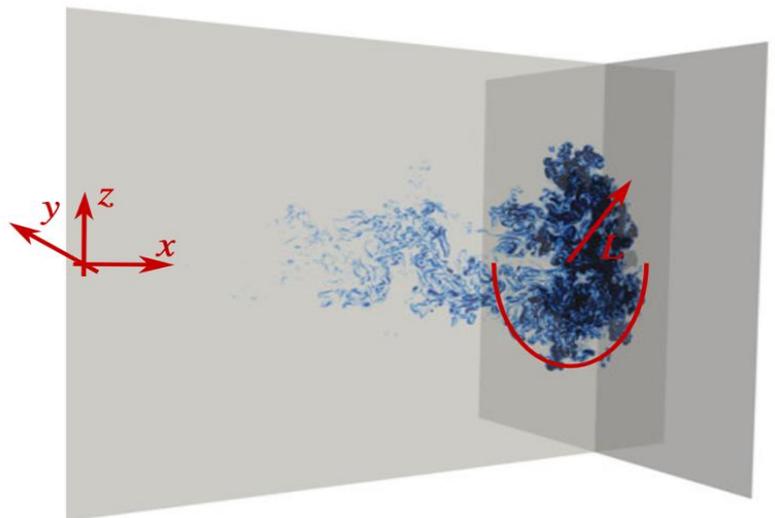
## Fluidodinamica del COVID-19

Gruppo DICCA: A. Mazzino, A. Seminara, M. Cavaiola  
Collaborazione con: M.E. Rosti e S. Olivieri (OIST, Giappone), L. Brandt (KTH, Svezia)  
Ricerca finanziata da: FISR-Covid-19

Il fatto ormai assodato per cui il COVID-19 ha quale meccanismo dominante di diffusione quello per via aerea, ha reso il problema della diffusione della pandemia un problema in buona parte fluidodinamico. Il gruppo ha identificato con strumenti quantitativi e accuratezza modellistica senza precedenti i parametri ambientali che condizionano in modo più pesante la diffusione del virus. Al contempo, tali studi hanno messo sul tavolo una serie di quesiti destinati ai virologi/biologi senza la cui risposta temi come il distanziamento sociale rimangono privi di fondamento scientifico.

Il gruppo sta lavorando alla messa a punto di un indicatore sintetico capace di definire, in funzione delle condizioni ambientali (legate alla quantità di radiazione UV proveniente dal sole, in primis) la tendenza del virus a disattivarsi (favorendo quindi la contrazione della pandemia) piuttosto che a replicarsi. Mediante l'utilizzo di modelli meteorologici che prevedono anche la quantità di radiazione ad onda corta incidente al suolo sarà possibile prevedere, su base giornaliera, quanto le condizioni ambientali siano favorevoli/sfavorevoli allo sviluppo della pandemia.

In figura è illustrato un *puff* turbolento associato ad un colpo di tosse simulato per mezzo di simulazioni numeriche dirette con risoluzioni senza precedenti. Tali simulazioni ci hanno permesso di capire i meccanismi di contagio per via aerea associati al COVID-19 nonché il ruolo giocato dalle condizioni ambientali.



1. M. E. Rosti, M. Cavaiola, S. Olivieri, A. Seminara and A. Mazzino, Turbulence role in the fate of virus-containing droplets in violent expiratory events, *Phys. Rev. Res.* 3 (2021) 013091.
2. A. Mazzino and M.E. Rosti, Unraveling the secrets of turbulence in a fluid puff, *Phys. Rev. Lett.* 127 (2021) 094501.
3. M. E. Rosti, S. Olivieri, M. Cavaiola, A. Seminara and A. Mazzino, Fluid dynamics of COVID-19 airborne infection suggests urgent data for a scientific design of social distancing, *Sci. Rep.* 10 (2020) 22426.

## Sensibilità e controllo di instabilità termoacustiche usando un modello debolmente nonlineare ed equazioni aggiunte

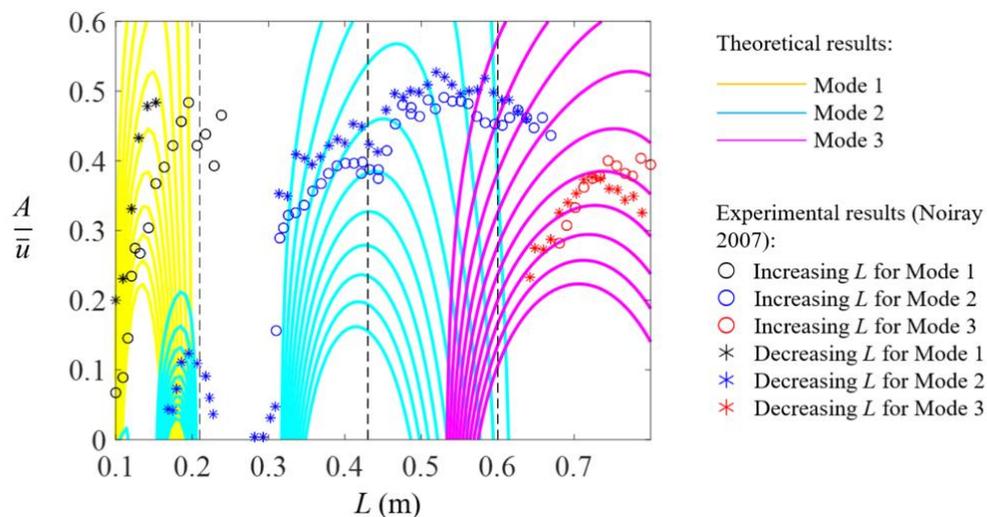
Gruppo DICCA: J.O. Pralits, J. Wei, A. Bottaro  
Collaborazione con: G. Campa, H. Kutkan (Ansaldo Energia)

Ricerca finanziata da: Horizon 2020 - Marie Skłodowska-Curie grant No 813367

La combustione dell'idrogeno da fonti rinnovabili è una tecnologia emergente che può sostituire i combustibili fossili e quindi fornire energia a emissioni zero. L'obiettivo del progetto POLKA (Pollution Know-how and Abatement), di cui fa parte il gruppo del DICCA, è risolvere seri problemi tecnici caratteristici della combustione dell'idrogeno: instabilità termoacustiche e ritorno di fiamma. Le instabilità termoacustiche sono oscillazioni di pressione di grande ampiezza causate da un'interazione crescente tra la fiamma e le onde acustiche, tendono a verificarsi in modo impreveduto e causano gravi danni al motore. La visione finale di POLKA è quella di creare nuove conoscenze fisiche e strumenti avanzati di simulazione, in modo da supportare lo sviluppo di sistemi di combustione alimentati a idrogeno (turbine a gas, motori aeronautici etc.).

Lo scopo principale per il gruppo del DICCA è quello di sviluppare un framework di ottimizzazione, teorico e analitico, per i sistemi termoacustici. In particolare, sviluppare un modello debolmente nonlineare per il sistema, studiare la dinamica tra diversi modi termoacustici stabili e instabili, trovare i parametri chiave e le condizioni operative per incanalare la maggior parte dell'energia acustica verso un modo particolare per poter controllare l'evoluzione dell'instabilità.

Nella figura sottostante è illustrata la mappa di instabilità nel piano  $L$ - $A$  (lunghezza-ampiezza normalizzata dell'oscillazione di velocità) per i primi tre modi del modello di camera di combustione usato nel lavoro di Noiray (tesi di Ph.D., Ecole Centrale Paris, 2007), qui ottenuti usando un modello analitico sviluppato da Gopinathan *et al.* (*Int. J. Spray & Combust. Dyn.* 2018).



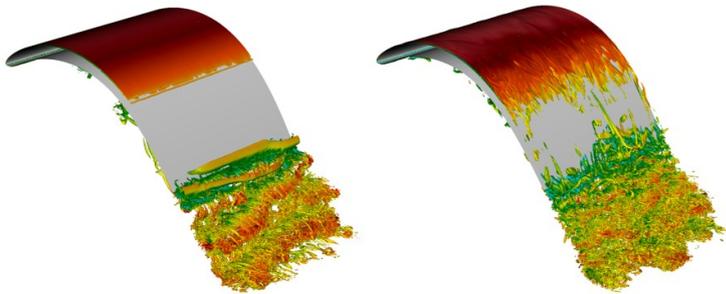
## Analisi di stabilità, transizione e controllo sulle pale di turbina di motori aeronautici

Gruppo DICCA: J.O. Pralits

Collaborazione con: D. Simoni, D. Lengani (DIME), A. Hanifi, D.S. Henningson (KTH)

Ricerca finanziata da: fondi DIME, ERC – Transep (KTH)

L'efficienza aerodinamica delle pale delle turbine a bassa pressione (LPT) dei moderni motori aeronautici è significativamente influenzata dai parametri geometrici e di funzionamento del flusso, poiché essi alterano l'evoluzione dello strato limite della pala e quindi la generazione di perdite. La previsione accurata dello sviluppo dello strato limite sulle diverse parti della lama è molto impegnativa poiché esso può essere laminare, transitorio, turbolento o addirittura separato. Infatti, lo strato limite che cresce su una pala LPT è soggetto a diverse condizioni variabili di forzatura esterna: forte gradiente di pressione favorevole sulla parte anteriore del lato aspirazione e lato pressione, forte gradiente di pressione avverso a valle della posizione di picco di aspirazione e cambiamento continuo nella distribuzione della pressione e nelle forze centrifughe al bordo d'attacco. Pertanto, si possono incontrare vari tipi di meccanismi di instabilità, lungo le diverse superfici, che portano alla formazione di diversi tipi di strutture coerenti negli strati limite della lama, come osservato in simulazioni ad alta fedeltà ed esperimenti. In questa tematica di ricerca i metodi numerici (DNS, Proper Orthogonal Decomposition (POD), extended POD, analisi statistica, stabilità lineare) coadiuvati da esperimenti in scala 1:1 sono impiegati per studiare e aumentare la conoscenza del flusso transizionale e il suo controllo su pale di turbina.



In figura si osserva la visualizzazione di strutture istantanee del moto di tipo  $\lambda_2$  sul dorso di una pala di turbina, ottenute da simulazioni DNS nei casi di turbolenza free-stream di basso livello (sinistra) e alto livello (destra).

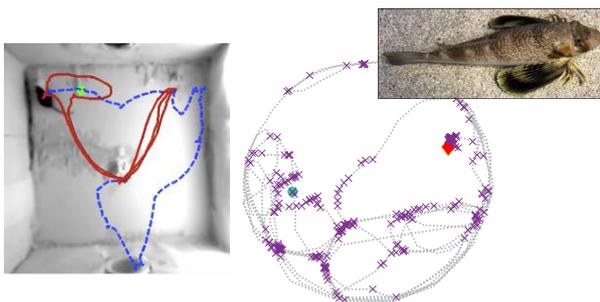
1. K. Đurović, L. De Vincentiis, D. Simoni, D. Lengani, J.O. Pralits, D.S. Henningson, A. Hanifi, Free-Stream Turbulence-Induced Boundary-Layer Transition in Low-Pressure Turbines, *J. of Turbomachinery*, 143(8) (2021) 081015.
2. M. Dellacasagrande, D. Lengani, J.O. Pralits, D. Simoni, K. Đurović, A. Hanifi, D.S. Henningson, Statistical characterization of free-stream turbulence induced transition under variable Reynolds number, free-stream turbulence and pressure gradient, *Physics of Fluids*, 33(9) (2021) 094115.
3. D. Lengani, D. Simoni, J.O. Pralits, K. Đurović, L. De Vincentiis, A. Hanifi, D.S. Henningson, On the receptivity of low-pressure turbine blades to external disturbances, inviato per pubblicazione a *J. Fluid Mechanics* (2021),

## Physics informed machine learning for turbulent navigation

Gruppo DICCA: A. Seminara, A. Mazzino, N. Rigolli, D. Lagomarsino Oneto, J. Qi, G. Losapia  
Collaborazione con: A. Verri, L. Rosasco (MalGa, DIBRIS), N. Bellono (Harvard), M. Vergassola (ENS Paris), D. Gire (U Washington), F. Viola (L'Aquila)  
Ricerca finanziata da: ERC 2021; NIH 2020; Air Force 2021

Gli organismi biologici vivono immersi in un ambiente fluido che veicola una grande varietà di segnali sensoriali – chimici, meccanici, elettromagnetici, termici ... Per sopravvivere, gli esseri viventi catturano informazione da questi segnali e la rielaborano per attuare comportamenti adeguati. A bassi numeri di Reynolds, le sostanze trasportate dal flusso sono facili da interpretare e algoritmi basati sulla discesa del gradiente sono tipicamente in grado di localizzare ad esempio la sorgente di un odore. Ma molti organismi macroscopici vivono immersi in flussi turbolenti che tendono a rompere i segnali olfattivi e meccanici il che rende la ricerca di cibo e di partner particolarmente complessa. Nonostante tale complessità, molti organismi risolvono il problema con un'efficacia spaventosa. Gli insetti sono senz'altro fra i più studiati: un maschio di falena può raggiungere la femmina a centinaia di metri di distanza, nello strato limite atmosferico a numeri di Reynolds dell'ordine di  $10^8$ - $10^9$ , usando tracce picomolari di feromone emesse dalla femmina. Ad oggi non si conoscono i principi computazionali messi in atto dagli organismi viventi per risolvere questi problemi.

Al DICCA ci occupiamo di questi problemi (i) accoppiando simulazioni numeriche dirette e modelli asintotici di fluidodinamica ad alti numeri di Reynolds, fra cui: plume di odore turbolenti [1,2] e interazioni idrodinamiche two-ways nel nuoto dei pesci. (ii) Inoltre usiamo algoritmi di apprendimento statistico di grande efficacia in ambiente turbolento. (iii) Infine, tramite esperimenti, osserviamo il comportamento e/o l'attività neuronale di topi [3,4], pesci, meduse e polpi.



Le immagini a fianco sono tratte da esperimenti di ricerca olfattiva con topi (a sinistra, collab. U Washington) e pesci (gallinelle di mare, collab. Harvard). Le traiettorie sono ottenute da analisi di immagini, e mostrano percorsi talvolta diretti, talvolta tortuosi, segno della complessità della ricerca olfattiva.

1. N. Rigolli, N. Magnoli, L. Rosasco, A. Seminara. Learning to predict target location with turbulent odor cues. Inviato a *eLife* (2021).
2. N. Rigolli, G. Reddy, A. Seminara, M. Vergassola. Alternation emerges as a multi-modal strategy for turbulent odor navigation. Inviato a *PNAS* (2021).
3. S.M. Lewis, L. Xu, N. Rigolli, M.F. Tariq, M. Stern, A. Seminara, D.H. Gire. Plume dynamics structure the spatiotemporal activity of glomerular networks in the mouse olfactory bulb, *Frontiers in Cell Neurosci.*, 15 (2021) 633757.

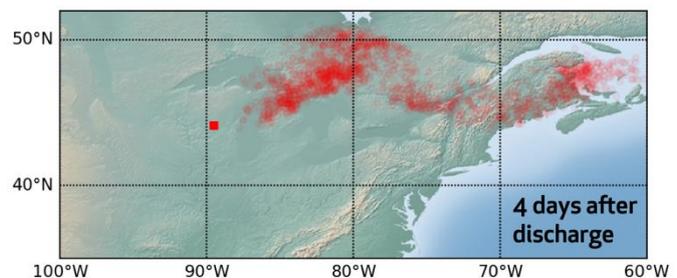
## Fungal strategies for spore liberation

Gruppo DICCA: A. Seminara, A. Mazzino, D. Lagomarsino Oneto  
Collaborazione con: A. Barla (MalGa, DIBRIS), A. Pringle (U. Wisconsin Madison)

Ricerca finanziata da: Air Force 2021

I funghi non hanno ali né gambe per muoversi, ma sono in grado comunque di viaggiare anche da una parte all'altra del globo attraverso la dispersione di spore in atmosfera. A livello microscopico, le spore sono spesso espulse con processi cellulari esplosivi (raggiungono accelerazioni di  $10^6$  g e velocità di decine di metri al secondo all'espulsione). Abbiamo dimostrato che questi processi microscopici sono stati ottimizzati [2] nel corso dell'evoluzione sia attraverso meccanismi di elastofluidodinamica sfruttati nell'espulsione delle singole spore dalle cellule – pistola [3], che attraverso jet macroscopici d'aria creati dalla sincronizzazione di migliaia di spore. Ma a fronte dell'ottimizzazione di piccola scala, la traiettoria delle spore in atmosfera è squisitamente stocastica. Ci occupiamo da alcuni anni di capire come si può prevedere il tempo di volo di particelle in atmosfera a partire dalle condizioni dell'atmosfera al momento del lancio. Accoppiando modellazione fisica con modellazione data driven statistica e tecniche di machine learning [1] abbiamo dimostrato che la stabilità dell'atmosfera e il ciclo diurno giocano un ruolo fondamentale nel determinare il tempo di volo. Simili tecniche modellistiche fisiche e data-driven sono quelle che sviluppiamo in parallelo per fare previsioni accurate in ambito meteorologico. Evidenze sperimentali suggeriscono che i funghi scelgono in maniera non banale il momento in cui liberano le spore. I nostri sforzi negli ultimi anni sono volti a capire se questi pattern di liberazione sono evoluti per massimizzare la sopravvivenza delle spore in atmosfera. Questa attività ha dirette ricadute per la previsione di dispersione di inquinanti e particolato in atmosfera e di patogeni agricoli.

La figura mostra uno snapshot della dispersione di spore in atmosfera [1].

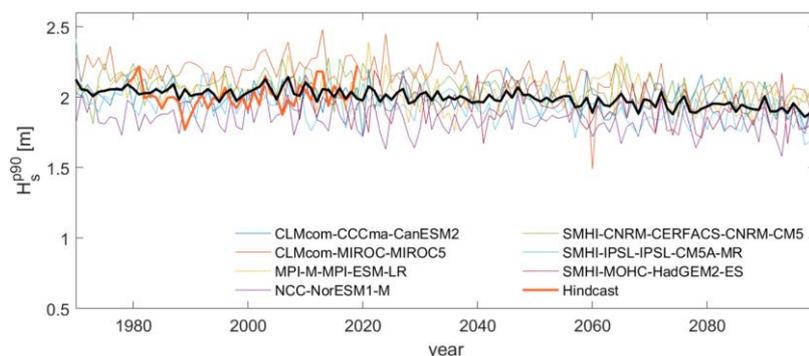


1. D. Lagomarsino Oneto, J. Golan, A. Mazzino, A. Pringle, A. Seminara. Timing of fungal spore release dictates survival during atmospheric transport, *PNAS* 117 (2020) 5134–5143.
2. M. Roper and A. Seminara. Myco-Fluidics: the fluid mechanics of fungal adaptation. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 51 (2019) 511–538.
3. J. Fritz, A. Seminara, M. Roper, A. Pringle and MP. Brenner. A natural O-ring optimizes the dispersal of fungal spores. *J. Roy. Soc. Interface* 10 (2013) 20130187.

## Cambiamenti climatici del clima meteo-marino: hotspot Mediterraneo

Gruppo DICCA: B. Besio, A. Lira Loarca, F. De Leo  
Collaborazione con: A. Baquerizo (Granada), A. Lopez Ruiz (Siviglia), N. Pinardi (Bologna)  
Ricerca finanziata da: Seal of Excellence (UniGe) – (Marie Curie, AXA – Sottomessi; ERC Italia, ERC EU, Interreg – In preparazione)

La caratterizzazione delle condizioni meteomarine è di fondamentale importanza per una serie di aspetti legati alla pianificazione, gestione, progettazione e tutela delle infrastrutture costiere e offshore. L'implementazione di modelli numerici ad hoc per la ricostruzione storica delle caratteristiche climatiche marine è sempre stata un'attività tipica sia dell'oceanografia fisica che dell'ingegneria costiera e marittima. In questo contesto le attività di ricerca si prefiggono lo scopo di sviluppare una serie di simulazioni numeriche atte a ricostruire il clima meteomarino del passato (1950-2020) all'interno del bacino del Mediterraneo e di realizzare delle simulazioni specifiche delle proiezioni climatiche delle caratteristiche meteomarine con un orizzonte temporale fino al 2100. Per questa seconda attività si partirà dai downscaling regionali prodotti nell'ambito del progetto EURO-CORDEX per poi realizzare un downscaling specifico ad alta risoluzione spaziale e temporale nel bacino del Mediterraneo. Il Mediterraneo presenta infatti caratteristiche peculiari in termini sia di esposizione e vulnerabilità di siti costieri (infrastrutture, città, urbanizzazioni, siti produttivi, siti archeologici), sia di traffico marittimo e pressione antropica sull'ambiente.



In figura è mostrato un ensemble della variazione dell'altezza d'onda nel bacino del Mediterraneo (1979-2100).

Le simulazioni così realizzate permetteranno di mettere a disposizione un insieme di modelli di proiezione climatica sulla base delle impostazioni della AR5 e AR6 al fine di fornire un set di dati abbastanza ampio (17 modelli per AR5 e 10 per AR6) e variegato per poter operare analisi di "ensemble" al fine di stimare le variazioni della climatologia meteomarina all'interno del bacino del Mediterraneo e le possibili ricadute in termini di rischio e vulnerabilità della aree costiere e delle attività produttive costiere e offshore.

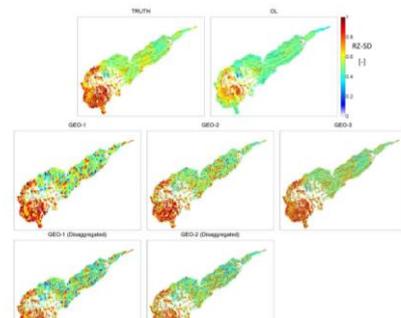
1. Lira-Loarca, A., Ferrari, F., Mazzino, A. & Besio, G. Future wind and wave energy resources and exploitability in the Mediterranean Sea by 2100. *Applied Energy*, 302 (2021) 117492.
2. Loarca, A.L., Cobos, M., Besio, G. & Baquerizo, A. Projected wave climate temporal variability due to climate change. *Stoch Environ Res Risk Assess*, 35 (2021) 1741-1757.

## Valutazione dell’impatto delle osservazioni satellitari sull’affidabilità delle previsioni meteo-idrologiche

Gruppo DICCA: G. Boni  
Collaborazione con: A. Parodi, L. Pulvirenti (Fondazione CIMA), A. Monti-Guarnieri (POLIMI), Nazzareno Pierdicca (Sapienza UNIRM)  
Ricerca finanziata da: ASI, ESA

La ricerca pone attenzione sulla valutazione dell’impatto di informazioni satellitari nella modellistica di letteratura. I risultati della ricerca devono proporre anche soluzioni per possibili aggiornamenti della modellistica, al fine di consentire un più efficace utilizzo delle informazioni da satellite, per la quale i modelli di letteratura, specialmente in campo idrologico, non sono generalmente stati progettati e implementati. L’attività si concentra sulle catene modellistiche operative per la previsione delle alluvioni, in particolare quindi sull’impatto dell’osservazione satellitare su modelli idrologici in configurazione operativa o su sistemi accoppiati meteo-idrologici. Due variabili, e le relative osservazioni, sono state in particolare considerate: l’umidità del suolo (SM), e la temperatura della sua superficie (LST). La ricerca ha visto due filoni principali: il primo ha analizzato le potenzialità delle osservazioni satellitari disponibili che forniscono stime delle variabili che determinano lo stato del suolo (LST e SM) in termini di miglioramento dell’affidabilità delle previsioni delle alluvioni, identificando potenzialità e limiti di tali prodotti, nonché proponendo possibili modifiche alla modellistica idrologica per un uso più efficace delle informazioni satellitari; il secondo si è focalizzato su possibili sviluppi futuri dei prodotti satellitari, anche in relazione a missioni satellitari programmate dalle agenzie spaziali Italiana ed europea (ESA e ASI) di caratteristiche innovative rispetto alle attuali (esempio SAR Geostazionario), cercando di identificare quali dovessero essere le specifiche di risoluzione spazio-temporale di osservazione del sensore per ottimizzarne l’impatto in termini di affidabilità della previsione.

In figura è mostrato un esempio di impatto del dato satellitare sulle prestazioni di un modello idrologico di previsione delle piene. Le diverse mappe mostrano quanto si riesce a ricostruire di una realtà al suolo della umidità del suolo (TRUTH), a partire da un run di riferimento (OL) e successivamente assimilando diversi prodotti satellitari (GEO...) in un modello idrologico



1. Cenci, L., Pulvirenti, L., Boni, G., and N. Pierdicca, Defining a Trade-off Between Spatial and Temporal Resolution of a Geosynchronous SAR Mission for Soil Moisture Monitoring. *Remote Sensing*, 10(12) (2018) 1950.
2. Silvestro, F., Gabellani, S., Rudari, R., Delogu, F., Laiolo, P., Boni, G., Uncertainty reduction and parameters estimation of a distributed hydrological model with ground and remote sensing data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19 (2015) 1727-1751.
3. Lagasio, M., Meroni, A., Boni, G., Pulvirenti, L., Monti-Guarnieri, A., Haagmans, R., Hobbs, S. and A. Parodi, Meteorological OSSEs for new Zenith Total Delay observations: impact assessment for the Hydroterra geosynchronous satellite on the October 2019 Genoa event, *Remote Sensing* 12.22 (2020) 3787.

## Studio e modellazione dei venti temporaleschi

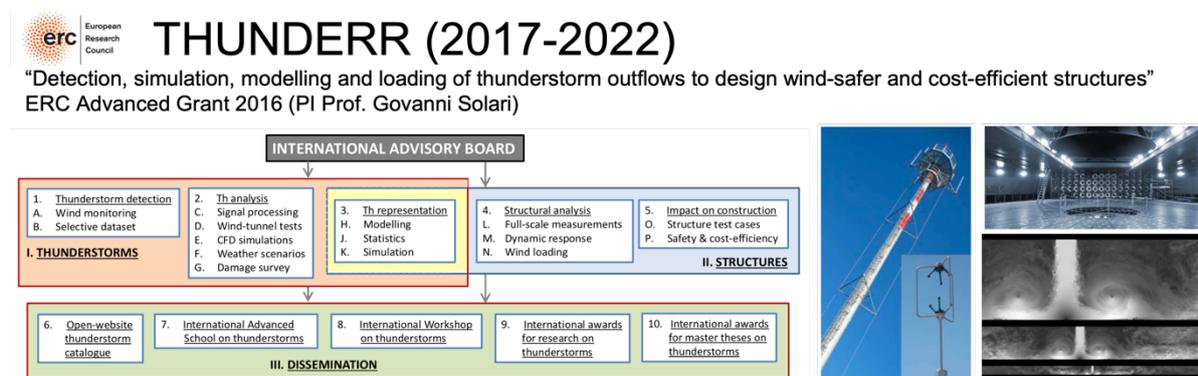
Gruppo DICCA: M. Burlando, G. Solari, F. Canepa, A. Xhelaj, J. Zuzul, D. Hourngir

Collaborazione con: D. Romanic (McGill, CA), H. Hangan (UWO, CA), S. Zhang (BUCEA, CN), I. Calotescu (UTCB, RO)

Ricerca finanziata da: THUNDERR

Uno dei due obiettivi scientifici del progetto THUNDERR è consistito nello studio dei venti prodotti al suolo durante i temporali (downburst e gust front) e nella ricostruzione delle caratteristiche delle nubi da cui si generano. Ad oggi, lo studio di questi fenomeni è stato affrontato soprattutto dal punto di vista della ricostruzione della cinematica e dinamica dei campi di vento al suolo, attraverso misure sperimentali in galleria del vento, simulazioni numeriche CFD e il loro confronto con misure al vero. Sulla base dei risultati ottenuti, è stato proposto un nuovo modello analitico del downburst, ottimizzato per la ricostruzione dei parametri geometrici e cinematici del fenomeno, e validato con misure anemometriche e una campagna di damage survey.

La genesi di questi fenomeni può essere riconducibile a diverse cause e una classificazione esaustiva degli scenari meteorologici in cui si possano manifestare gli eventi più intensi è attualmente in corso. Analogamente, grazie a numerose collaborazioni internazionali, è in corso il confronto sistematico tra thunderstorm outflow misurati in diverse parti del mondo. Infine, è stato recentemente aperto un nuovo campo di studio finalizzato alla simulazione numerica dei fenomeni temporaleschi mediante cloud model.



1. Burlando M., D. Romanic. On the ground-breaking contributions to downburst monitoring, modelling and detection. In *The Oxford Handbook of Non-Synoptic Wind Storms*, Hangan H. and Kareem A. (Eds.), Oxford University Press. New York, New York, United States (2020).
2. Burlando M., S. Zhang, and G. Solari. Monitoring, cataloguing, and weather scenarios of thunderstorm outflows in the northern Mediterranean. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 18 (2018) 2309–2330.
3. Burlando M., D. Romanić, G. Solari, H. Hangan, and S. Zhang. Field data analysis and weather scenario of a downburst event in Livorno, Italy on 1 October 2012. *Mon. Wea. Rev.* 145 (2017) 3507–3527.

## La misura dei campi di vento nello strato limite atmosferico mediante tecniche di remote sensing

Gruppo DICCA: M. Burlando, F. Canepa  
Collaborazione con: J.A. Benavent-Oltra (UPM, ES), D. Romanic (McGill, CA)  
Ricerca finanziata da: THUNDERR, AdS Portuale del Mar Ligure Occidentale, Orientale e Tirreno Settentrionale, Interreg Marittimo IT-FR

Nell'ambito dei progetti Europei Interreg "Vento e Porti" e "Vento, Porti e Mare" è stata realizzata nei principali porti commerciali dell'alto Tirreno una rete di monitoraggio del vento costituita da anemometri ultrasonici e lidar profiler. A questa si è aggiunto nel Porto di Genova un lidar scanner acquisito con il progetto ERC THUNDERR. Il database che raccoglie i dati acquisiti in continuo dalla rete di monitoraggio ha costituito il punto di partenza per una serie di studi sul campo di vento nello strato limite atmosferico, applicati alla meteorologia, all'ingegneria del vento e all'energia eolica.

L'utilizzo di tecniche di remote sensing, in particolare, ha permesso di studiare i dettagli dei campi di vento prodotti durante eventi temporaleschi. È stato messo a punto un algoritmo per la ricostruzione dei campi di vento bidimensionali a partire dalle misure radiali del lidar scanner utilizzando il codice SingleDop. Attualmente, è in fase di studio la possibilità di applicare questo stesso codice alle misure del radar meteorologico della Regione Liguria per ricostruire il campo di vento all'interno della nube temporalesca e, contemporaneamente, il campo di vento prodotto al suolo.



1. Burlando M., D. Romanic, G. Boni, M. Lagasio and A. Parodi. Investigation of the Weather Conditions During the Collapse of the Morandi Bridge in Genoa on 14 August 2018 using Field Observations and WRF Model. *Atmosphere* 11 (2020) 724.
2. Canepa F., M. Burlando, and G. Solari. Vertical profile characteristics of thunderstorm outflows. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 206 (2020) 104332.
3. Zhang S., G. Solari, M. Burlando, Y. Qingshan. Directional decomposition and properties of thunderstorm outflows. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 189 (2019) 71-90.

# Valutazione della sostenibilità nell'utilizzo e gestione della risorsa idrica in condizioni climatiche presenti e future

Gruppo DICCA:

S. De Angeli, G. Boni, A.C. Taramasso, G. Roth

Collaborazione con:

DHI Italia (future potenziali collaborazioni con UniGe DISTAV, IUSS Pavia, Eurac Research, UniFi DAGRI)

Ricerca finanziata da:

PON Ricerca e Innovazione 2014-2020

Obiettivo principale di questa ricerca è la valutazione della sostenibilità nell'utilizzo e gestione della risorsa idrica alla scala di bacino (per una serie di casi di studio selezionati), includendo aspetti di qualità delle acque e di gestione del rischio di siccità ed alluvioni.



La sostenibilità nell'utilizzo della risorsa idrica verrà inizialmente valutata confrontando la sua disponibilità (*water availability*) ed il suo consumo (*water footprint*). La *water availability* verrà valutata utilizzando un modello idrologico completo per la determinazione del bilancio idrico a scala di bacino. Verranno confrontati diversi modelli idrologici, tra cui modelli open source, come SWAT+, e prodotti commerciali, quali quelli forniti da DHI Italia, presso la quale verrà svolta parte di questa ricerca. La *water footprint* verrà modellata tenendo conto dei consumi idrici associati alle diverse attività antropiche presenti nel bacino di studio (agricoltura, industria, turismo, usi domestici ecc.). L'analisi verrà effettuata alla scala sub-mensile, al fine di tenere conto della variabilità stagionale sia della disponibilità idrica che dei consumi.

In aggiunta, una serie di indicatori di sostenibilità relativi alla qualità della risorsa idrica, alla sua accessibilità e al livello di rischio di siccità ed alluvioni verranno definiti ed integrati all'interno dell'analisi. Tali indicatori verranno messi in relazione con gli indicatori presenti all'interno di diversi framework internazionali, con principale riferimento agli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite. L'analisi sarà effettuata sia in condizioni socioeconomiche e climatiche presenti che future, andando quindi a modellare (i) l'impatto del cambiamento climatico sui regimi di precipitazione, (ii) i cambiamenti di uso suolo, (iii) future variazioni nella richiesta idrica dovute a cambiamenti nelle strategie di gestione della risorsa (e.g. nuove modalità di irrigazione, maggiore tasso di riutilizzo ecc.), cambiamenti demografici e nuovi pattern di sviluppo socioeconomico.

Le attività preliminari svolte sino ad oggi includono una ricognizione sullo stato dell'arte e uno studio approfondito del modello idrologico SWAT+ e degli input da esso richiesti.

## Un approccio sinergico tra modelli meteorologici ed intelligenza artificiale per i problemi di interesse ambientale

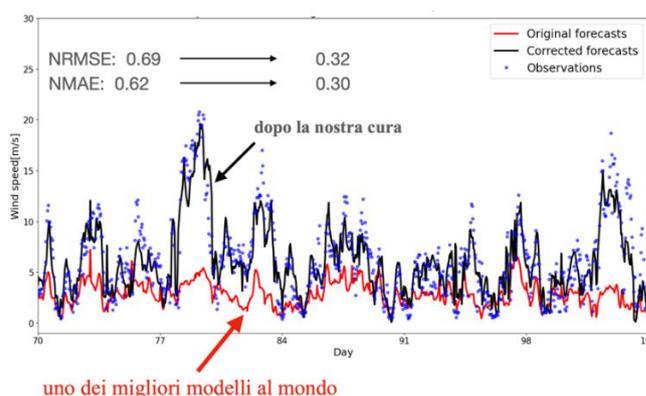
Gruppo DICCA: A. Mazzino, M. Cavaiola, A. Seminara  
Collaborazione con: D. Lagomarsino Oneto e L. Rosasco (DIBRIS), F. Ferrari (Univ. Statale di Milano), L. Biferale (Univ. Roma II), M. Fattore (EGO Energy S.p.A.)

Ricerca finanziata da: Fondazione CARIGE, Fondazione San Paolo, EGO Energy S.p.A.

Solo recentemente, grazie all'avvento di piattaforme di calcolo ad alte prestazioni, i modelli meteorologici hanno avuto modo di mostrare il loro enorme potere esplicativo e predittivo in una moltitudine di situazioni che hanno a che fare con l'ambientale. Basti pensare alle previsioni degli eventi meteorologici estremi (precipitazione, vento, temperatura) e come questi possano impattare sulle attività legate all'idrologia, all'idraulica, all'ingegneria marittima e all'ingegneria sanitaria e chimica o alla previsione del vento e/o della radiazione solare in relazione all'industria delle energie rinnovabili. Le moderne tecnologie informatiche hanno reso possibile studiare, riprodurre e visualizzare complessi fenomeni naturali e quindi progettare sistemi ingegneristici a salvaguardia dell'ambiente e dei suoi abitanti con un'accuratezza fino a pochi anni fa impensabile.

Il gruppo lavora oggi a una duplice sfida: i) raggiungere risoluzioni spaziali sempre più elevate al fine di descrivere esplicitamente fenomeni fisici oggi solo parametrizzati ma che si ritiene condizionino pesantemente la dinamica atmosferica. Un esempio eclatante sono i meccanismi di microfisica delle nuvole o i fenomeni radiativi. ii) sfruttare la rete di dati osservati per migliorare la previsione del modello meteo. Tale punto implica l'utilizzo di tecniche di Intelligenza Artificiale allo stato dell'arte che, a partire da un periodo di osservazioni sufficientemente lungo, possano apprendere la struttura dell'errore del modello e correggerne opportunamente le previsioni.

In figura è illustrata una serie temporale del modulo del vento previsto (linee rosse e nere) ed osservato (punti blue) ad altezza della navicella di una turbina eolica in orografia complessa (Abruzzo). Curva rossa: da previsioni a 24 ore del modello meteorologico europeo HRES; curva nera: a valle della nostra calibrazione basata su AI.



1. G. Casciaro, F. Ferrari and A. Mazzino, Comparing novel strategies of Ensemble Model Output Statistics (EMOS) for calibrating wind speed/power forecasts, *Appl. Energy* (in revisione, 2022).
2. P. Clark Di Leoni, A. Mazzino and L. Biferale, Synchronization to Big Data: Nudging the Navier-Stokes Equations for Data Assimilation of Turbulent Flows, *Phys. Rev. X* 10, (2020) 011023.
3. P. Clark Di Leoni, A. Mazzino and L. Biferale, Inferring flow parameters and turbulent configuration with physics-informed data assimilation and spectral nudging, *Phys. Rev. Fluids* 3 (2018) 104604.

## GNSS Meteorology

Gruppo DICCA: I. Ferrando, B. Federici, S. Gagliolo, D. Sguerso  
Collaborazione con: A. Walpersdorf (ISTerre, Université Grenoble-Alpes, Francia),  
L. Benvenuto (DIBRIS), P. Dabove (DIATI, Polito), T. Lebourg  
(GeoAzur - CNRS, Francia)

Ricerca finanziata da: INTERREG ALCOTRA CONCERT-EAUX

Con il termine GNSS Meteorology si intende l'impiego della tecnologia GNSS come strumento per studiare l'atmosfera. In questo ambito, il Laboratorio di Geomatica si è concentrato sulla valutazione del Precipitable Water Vapor (PWV) in Troposfera a partire da stime di Zenith Total Delay (ZTD) derivanti da osservazioni GNSS, dati di pressione e temperatura provenienti da stazioni di misura non co-locate con le stazioni GNSS stesse. Principali attività svolte:

(1) Realizzazione di un database contenente 18 anni di stime di ZTD per 181 stazioni permanenti GNSS poste al confine italo-francese, in sinergia e collaborazione con ISTerre.



(2) Sviluppo di una procedura automatica in ambiente GIS, chiamata G4M, per la valutazione della distribuzione spaziale di PWV e la localizzazione spazio-temporale di eventi meteorologici severi per mezzo di promettente indice denominato H-Index. Tale procedura è stata applicata in diversi scenari: mancate/false

allerte meteorologiche, piogge moderate e eventi alluvionali interessanti il territorio ligure, tra i quali quelli avvenuti a Genova nel 2011 e 2014, oltre che per la simulazione delle possibili applicazioni in real-time.

(3) Progettazione e installazione di una rete di stazioni GNSS a basso costo nel bacino montano del torrente Bendola (Val Roia) nell'ambito del progetto Interreg Alcotra Concert-Eaux. In tale contesto, è stata utilizzata la procedura G4M per l'analisi di alcuni eventi storici particolarmente significativi e per analisi legate alla tempesta Alex dell'ottobre 2020.

(4) Primi approcci alla stima di ZTD da osservazioni GNSS provenienti da smartphone, in collaborazione con DiBRIS e DIATI (Polito).

Le diverse esperienze hanno messo in luce l'importante contributo che una rete di stazioni GNSS può fornire alla interpretazione e al now-casting degli eventi meteorologici significativi.

1. Benvenuto, L., Dabove, P., Ferrando, I., Sguerso, D. Preliminary results on tropospheric ZTD estimation by smartphone. *Remote Sensing*, 13(22) (2021).
2. Benvenuto L., Ferrando I., Federici B., Sguerso D. The GNSS for Meteorology (G4M) Procedure and its application to four significant weather events. *International Association of Geodesy Symposia*, Springer, Berlin, Heidelberg (2020).
3. Ferrando I., Federici B., Sguerso, D. 2D PWV monitoring of a wide and orographically complex area with a low dense GNSS network. *Earth Planets and Space*, 70(54) (2018).

## Sustainable Energy and Climate

Gruppo DICCA: Ilaria Delponte, Adriana Del Borghi e Michela Gallo  
Collaborazione con: Corrado Schenone, Vincenzo Bianco (DIME)  
Ricerca finanziata da: Contratti continuativi con IRE Liguria dal 2010 ad oggi, Contratti con Comuni

La ricerca è condotta fin dal 2010 nel DICCA, grazie al rapporto continuativo con IRE spa (Agenzia Regionale per il Recupero le Infrastrutture ed Energia). Dall'opportunità di redigere il Piano dell'Energia Sostenibile di Genova (SECAP), si sono poi susseguite numerose occasioni (anche nel bacino del Savonese), non ultima l'allargamento del tema di ricerca al settore Cambiamenti Climatici e Adattamento, che sto sviluppando sempre in seno al Dipartimento. Si tratta di pianificare e programmare il passaggio tra la competenza industriale del settore energia e il coinvolgimento degli enti locali nella gestione di esso. Inoltre, negli ultimi anni, alla competenza locale in termini di approvvigionamento da rinnovabili e risparmio energetico si è aggiunta quella dell'adattamento ai cambiamenti climatici, secondo i diversi scenari di medio e lungo periodo (Strategia Nazionale e Regionale)  
Enucleando i filoni:

- Redazione dei SECAP, in particolare con articolazione della Baseline di riferimento dei consumi urbani e Action Plan delle azioni sostenibili per la riduzione di inquinanti.
  - *Risk Vulnerability Assessment and Adaptation*: stiamo elaborando un metodo semplificato per la redazione dei Piani Energia e Clima nei piccoli comuni. Ciò in attuazione delle Linee europee del Joint Research Center, ma mediante una procedura nuova da noi testata su casi chiave.
  - La ricerca è stata condotta in stretto contatto con i fisici tecnici, per quanto di competenza: anche ora nuovi sviluppi si stanno avendo con la collaborazione al *progetto RenOnBill* (H2020) in cui vengono analizzati i risultati degli incentivi non esclusivamente energetici degli interventi di riqualificazione urbana (pubblicazione in corso).
  - La ricerca si allarga e si intreccia anche con il tema portuale, in quanto lo stesso strumento urbanistico viene redatto anche per i porti, in seguito all'aggiornamento normativo del 2016.
1. Delponte I., Schenone C. Renewable energy sources in local sustainable energy action plans (SEAPS): Analysis and outcomes. *Energy Policy* 156 (2021) 1-11.
  2. Delponte I., (2021). Sustainable energy action plans (SEAPS) of 32 small and very small Italian municipalities: Focus on the transport sector. *Archivio di Studi Urbani e Regionali* (2021) 118-139.
  3. Delponte I., Schenone C. RES implementation in urban areas: an updated overview. *Sustainability* (2020) 1-14.

## Adattamento al Cambiamento Climatico

Gruppo DICCA: A.C.Taramasso, A. Del Borghi, M. Gallo, S. De Angeli  
Collaborazione con: DAD, Regione Liguria, Fondazione CIMA

Ricerca finanziata da: Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile  
"Bando Snsvs 2" - MITE

Il progetto, partendo dallo stato dell'arte delle informazioni scientifiche e delle policy e dal livello di consapevolezza sul tema del cambiamento climatico a livello regionale, individua una metodologia capace di fornire indicazioni e contenuti tecnici funzionali alla definizione della strategia di adattamento al cambiamento climatico, valorizzando quanto sviluppato da parte di Regione Liguria, in un'ottica di mainstreaming e di sostenibilità, nel contesto dello sviluppo sostenibile regionale. Obiettivo generale è rafforzare lo sviluppo sostenibile regionale supportando la costruzione della strategia regionale di adattamento al cambiamento climatico. Al suo interno sono previsti obiettivi specifici: (i) Costruire strumenti e metodi per l'identificazione di azioni per l'adattamento al cambiamento climatico; (ii) Analizzare e individuare processi di governance (e di mainstreaming) per implementare le politiche di adattamento al cambiamento climatico; (iii) Individuare strumenti per potenziare la resilienza di comunità, istituzioni e territori resilienti al cambiamento climatico.

In particolare, il gruppo DICCA si è dedicato in una prima fase alla mappatura della formazione (tipologia, contenuti, destinatari) già erogata o pianificata in ambito regionale a diversi livelli sul territorio nell'ambito dell'adattamento al cambiamento climatico.

La fase successiva ha avuto come obiettivo l'identificazione di un glossario e di contenuti formativi minimi per un uso corretto delle informazioni da parte del personale istituzionale e nel contesto di eventi di divulgazione esterna. Raffronto col contest normativo di riferimento ed identificazione di eventuali gap formativi, sia nel personale istituzionale che negli operatori territoriali, al fine di redigere un progetto formativo organico.



Sviluppi futuri saranno implementati con il Settore Affari Europei e Internazionali della Regione Liguria nel corso del 2022.

## Studi sperimentali su turbine eoliche di piccola taglia in ambiente urbano

Gruppo DICCA: L. Pagnini, M. Burlando, A. Orlando, G. Piccardo, M.P. Repetto

Ricerca finanziata da: Fondi di galleria del vento DICCA; Joint Usage Research Center Project-Tokyo Polytechnic University; fondi FRA Università di Genova; Compagnia di San Paolo, ERC THUNDERR Project

Le turbine eoliche di piccola taglia rappresentano una soluzione molto interessante per la produzione distribuita di energia sostenibile. Tuttavia, la maggior parte degli studi è rivolta alle grandi turbine, mentre quelle di piccola taglia sono ancora poco competitive. Il loro comportamento è complesso quanto quello delle turbine grandi e i fenomeni vibratorii possono comprometterne la sicurezza e la produzione. Pertanto, si pone la necessità, da un lato, di migliorare la tecnologia per queste specifiche applicazioni e, dall'altro, di definire procedure di calcolo semplificate e affidabili. Il gruppo di Ricerca del DICCA ha svolto una attività sperimentale unica nel suo genere su due turbine di uguale taglia (20kW), diversa tecnologia (ad asse orizzontale e verticale) ed esposte a due regimi di turbolenza, per vento da terra e da mare (Fig. 1). Sono stati acquisiti in maniera continua vento, potenza generata, rotazione delle pale e risposta strutturale. Sono stati studiati i parametri dinamici [1], la loro variazione in esercizio [2], la risposta strutturale. Emerge in particolare il ruolo della turbolenza, che condiziona profondamente la curva di potenza [3], secondo leggi non del tutto ancora chiare. Sono state effettuate prove su modelli in scala nella galleria del vento DICCA e della Tokyo Polytechnic University, ottenendo al momento risultati sul comportamento all'avvio.

Il gruppo è impegnato a portare avanti la ricerca su due fronti: mediante prove in galleria del vento e studi numerici, si vuole studiare il ruolo della turbolenza e tecniche di efficientamento delle pale con rugosità artificiali (*dimples*, Fig. 2); si vogliono sviluppare modelli di calcolo delle azioni e degli effetti del vento per definire procedure di progetto semplificate.

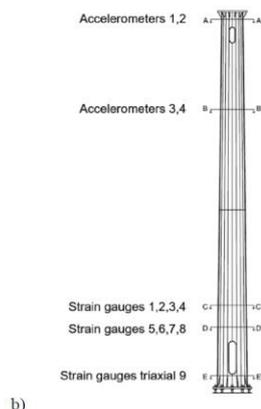


Figura 1. Turbina eolica ad asse verticale strumentata



Figura 2. *Dimple*

1. Pagnini L, Piccardo G, Repetto MP. Full scale behavior of a small size vertical axis wind turbine, *Renew. Energy*, 127 (2018) 41-55.
2. Pagnini L., Piccardo G. Modal properties of a vertical axis wind turbine in operating and parked conditions, *Eng Struct.* 242 (2021) 112587.
3. Pagnini L., Burlando M., Repetto M.P. Experimental power curve of small-size wind turbines in turbulent urban environment, *Appl Energy*, 154 (2015) 112-121.

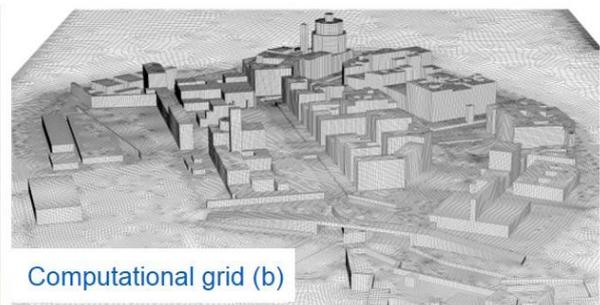
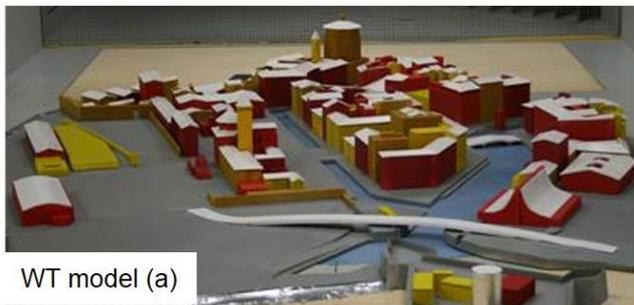
## Sperimentazione in galleria del vento e simulazione numerica dei campi di vento su terreno complesso e in ambiente urbano

Gruppo DICCA: M. Burlando, S. Torre  
Collaborazione con: A. Ricci (TUE, NL), F. Castellani (UniPe, IT)

Ricerca finanziata da: Compagnia di San Paolo; AdS Portuale del Mar Ligure Occidentale, Orientale e Tirreno Settentrionale; Cetena SpA; Regione Liguria

La simulazione numerica dei campi di vento ad alta risoluzione su terreno complesso è un settore di ricerca di cui mi occupo con continuità da più di 20 anni, utilizzando modelli meteorologici, a conservazione di massa e CFD, applicati sia all'ingegneria del vento sia all'energia eolica. Nel tempo, questa attività si è ampliata allo studio dei flussi in ambito urbano, realizzati sia mediante tecniche sperimentali in galleria del vento sia attraverso simulazioni numeriche CFD con descrizione esplicita della texture urbana.

Sono stati realizzati due casi studio principali, applicati al contesto portuale di Livorno e di Genova. Nel caso di Livorno, lo studio è stato finalizzato alla valutazione del canyoning urbano attraverso una campagna di misure in galleria del vento, simulazioni CFD ad altissima risoluzione e una campagna di misure in situ. Nel caso di Genova, l'interesse principale è stato lo studio delle azioni del vento sulle grandi navi ormeggiate in banchina e sulla valutazione e mitigazione dei rischi legati all'operatività portuale in relazione agli effetti del vento.



1. Ricci A., M. Burlando, M. P. Repetto, and B. Blocken. Simulation of urban boundary and canopy layer flows in port areas induced by different marine boundary layer inflow conditions. *Science of the Total Environment* 670 (2019) 876–892.
2. Ricci A., I. Kalkman, B. Blocken, M. Burlando, and M. P. Repetto. Impact of turbulence models and roughness height in 3D steady RANS simulations of wind flow in an urban environment. *Building and Environment* 171 (2020) 106617.
3. Castellani F., D. Astolfi, M. Burlando, L. Terzi. Numerical modelling for wind farm operational assessment in complex terrain. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 147 (2015) 320–329.

## Dinamica dei cavi

Gruppo DICCA:

G. Piccardo, S. Brusco

Collaborazione con:

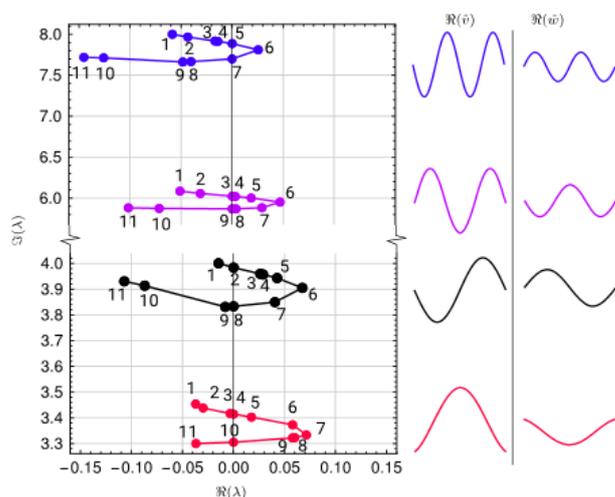
A. Luongo, D. Zulli (Università dell'Aquila)

Ricerca finanziata da:

Research Contract BMT Fluid Mechanics Ltd (2017), Fondi  
Galleria del Vento DICCA, ERC AdG THUNDERR (2017-2021)

I cavi sono ampiamente utilizzati in applicazioni civili e industriali, con un ruolo fondamentale nella realizzazione di strutture sospese e strallate. Le vibrazioni dei cavi indotte dall'azione del vento sono un argomento classico nelle applicazioni strutturali. Possono verificarsi vari fenomeni aeroelastici tra cui vibrazioni indotte da vortici, da pioggia e vento, *dry and ice galloping*. Per quanto riguarda le vibrazioni non lineari dei cavi sospesi, i termini quadratici giocano un ruolo fondamentale in presenza di risonanze interne. Nel caso di cavi inclinati, si possono osservare proprietà aggiuntive che non possono essere ottenute utilizzando la modellazione orizzontale del cavo.

I componenti del Gruppo di ricerca hanno studiato in passato effetti di possibili risonanze interne, in modelli discreti o continui non lineari, introducendo una modellazione consistente della rigidità flessionale e torsionale. Per i casi di *galloping*, considerare la possibile rotazione legata all'azione della forza media esercitata dal flusso appare importante per i cambiamenti nelle proprietà aerodinamiche della sezione trasversale. Si sono studiati metodi per valutare il comportamento di cavi supportanti strutture super alte (ad esempio, Expo 2020 Dubai Creek Tower [1]). Argomenti di ricerca a breve termine riguardano: l'analisi della dinamica multi-modale in ambito lineare (partendo da [2], considerando risonanze interne di tipo 1:1) e non lineare (partendo da [3], studiando le possibili interazioni in campo postcritico); la risposta a carichi transienti, quali eventi temporaleschi, considerando risonanze interne ed esterne.



Nella figura è illustrata l'evoluzione degli autovalori e delle autofunzioni corrispondenti all'aumentare della velocità del vento nel piano complesso [3]. Tutti e quattro gli autovalori diventano instabili e il recupero di stabilità (dovuto al progressivo cambio di orientamento della sezione trasversale) avviene con un ordine differente rispetto alla perdita di stabilità.

1. Carassale L. & Piccardo G. Nonlinear buffeting response of inclined stay cables, *Proc. 9<sup>th</sup> APCWE* (2017).
2. Piccardo G., Zulli D. & Luongo A. Dry galloping in inclined cables: Linear stability analysis, *Procedia Engineering*, 199 (2017) 3164–3169.
3. Zulli D., Piccardo G. & Luongo A. , On the nonlinear effects of the mean wind force on the galloping onset in shallow cables, *Nonlinear Dyn.* 103 (2021) 3127–3148.

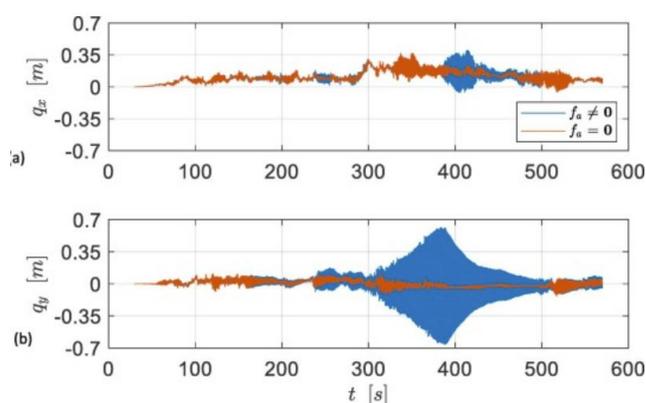
## Aerodinamica e aeroelasticità transiente di corpi tozzi

Gruppo DICCA: S. Brusco, H.-Y. Bin, G. Piccardo, E. Ruffini  
Collaborazione con: G. Buresti, A. Mariotti (Università di Pisa), M. Mason (The University of Queensland), Y.-L. Lo (Taipei Tech)

Ricerca finanziata da: ERC AdG THUNDERR (2017-2021), Fondi Galleria del Vento DICCA

Nell'ambito dell'Ingegneria del Vento, gli studi inerenti l'aerodinamica e l'aeroelasticità delle strutture assumono implicitamente che il vento sia un fenomeno stazionario, sul presupposto che esso sia riconducibile a fenomeni ciclonici a scala sinottica. Studi più recenti, nei quali si colloca il progetto ERC AdG THUNDERR, dimostrano invece che, in casi di *mixed climate* (tipici dell'Europa), la maggior parte dei danni causati dal vento alle strutture deriva da temporali a mesoscala che danno luogo a campi di vento fortemente transienti. Questa osservazione impone una rivalutazione e riformulazione dei principi alla base dell'aerodinamica e dell'aeroelasticità dei corpi tozzi.

Su questo argomento è stata sviluppata una Tesi di Dottorato [1] nel Progetto ERC THUNDERR. I casi investigati riguardano studi numerici preliminari di aerodinamica transiente [2], con la proposta di due famiglie di metodi per tenere conto dei cambiamenti direzionali nella valutazione della risposta strutturale, e di aeroelasticità transiente [3], con la proposta di un modello matematico per la valutazione delle forze indotte dal moto di strutture snelle soggette a flussi temporaleschi nell'ambito di una formulazione quasi-stazionaria. In [1] sono state progettate e svolte prove sperimentali nella galleria del vento multi-fan della Tamkang University (Taiwan) a cui si intende dare seguito. Le ricerche a breve termine prevedono: lo studio dei coefficienti aerodinamici e del distacco dei vortici da cilindri fissi di forma quadrata soggetti a flussi accelerati secondo quanto riportato in [1]; la progettazione e l'esecuzione di nuove prove aerodinamiche nella Galleria del Vento DICCA su cilindri di forma quadrata in presenza di angolo di attacco variabile nel tempo; la progettazione e l'esecuzione di nuove prove aeroelastiche nella Galleria del Vento di *The University of Queensland* su cilindri di forma quadrata soggetti a flussi accelerati.



In figura è illustrata la risposta dinamica in direzione alongwind (a) e crosswind (b) per un caso studio soggetto a un evento temporalesco reale [3]. Da un punto di vista numerico appare pertanto possibile l'insorgere di un fenomeno aeroelastico di tipo *galloping*.

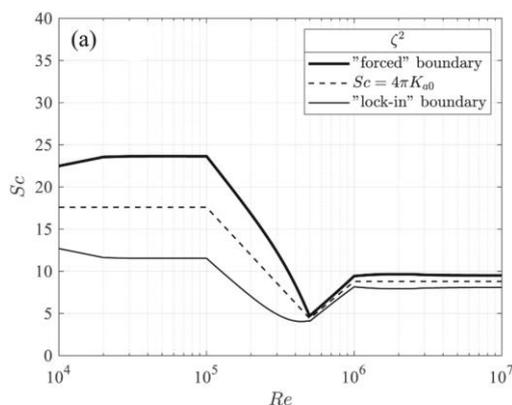
1. Brusco S. Transient phenomena induced by thunderstorm outflows on slender structures, *PhD Thesis*, University of Genoa (2021).
2. Brusco S., Lerzo V. & Solari G. Directional response of structures to thunderstorm outflows, *Meccanica*, 54 (2019) 1281–1306.
3. Brusco S. & Solari G. Transient aeroelasticity of structures subjected to thunderstorm outflows, *Engineering Structures*, 245 (2021) 112801.

## Vibrazioni indotte da vortici su strutture snelle

Gruppo DICCA: G. Piccardo, L.C. Pagnini, S. Brusco, E. Ruffini  
Collaborazione con: G. Buresti (Università di Pisa), S. Cammelli (WSP, UK), A. Bagnara (NOVA Fluid Mech, UK), D. Zulli (Università dell'Aquila)  
Ricerca finanziata da: Fondi Galleria del Vento DICCA, ERC AdG THUNDERR (2017-2021)

Le vibrazioni indotti dai vortici (VIV) rappresentano uno degli argomenti più importanti riguardanti le strutture e gli elementi snelli eccitati dal vento, nonché i corpi tozzi in aria e acqua. Tuttavia, la descrizione ingegneristica di questo fenomeno deriva principalmente dall'evidenza sperimentale e utilizza modelli empirici. I parametri chiave sono il numero di Strouhal e il numero di Scruton [1]. Il numero di Strouhal determina la frequenza di distacco dei vortici dalla struttura. È legato alla forma della sezione trasversale e, nel caso di strutture con superfici arrotondate, dipende dal numero di Reynolds, che governa direttamente la topologia del distacco dei vortici. Il numero di Scruton governa la regione di sincronizzazione in situazioni di *lock-in*.

Gli studi svolti riguardano la simulazione di VIV tramite smorzamento equivalente non lineare basato sull'approccio spettrale di Vickery & Basu [2] e la proposta di soglie quantitative relative ai domini del numero di Scruton, al fine di permettere una distinzione aprioristica dei regimi di *forced vibrations* e *lock-in* [1]. È stata inoltre eseguita una estesa campagna di misure su un modello aeroelastico di forma conica [3]. Le ricerche a breve termine principalmente riguardano: un approfondimento tecnico sull'approccio spettrale applicato a strutture di forma circolare, con lo studio di numerosi casi reali; l'analisi completa dei dati misurati in [3] con possibile generalizzazione di utilizzo del modello spettrale su strutture *tapered*; studi sperimentali in galleria del vento sullo smorzamento aerodinamico associato a VIV in ponti pedonali e possibile mitigazione di VIV tramite dispositivi NES (Nonlinear Energy Sink); analisi dei modi superiori associati a VIV in *super tall buildings*.



In figura è illustrato un dominio per le soluzioni semplificate proposte in [1] per i casi di regimi di *forced vibrations* e *lock-in*. Il dominio dipende fortemente dall'ampiezza limitante assunta (qui pari a 0.2 volte il diametro), ma è anche funzione della forma modale e dell'intensità di turbolenza.

1. Pagnini L.C & Piccardo G. VIV regimes and simplified solutions by the spectral model description, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 198 (2020) 104100.
2. Pagnini L.C & Piccardo G. A generalized gust factor technique for evaluating the wind-induced response of aeroelastic structures sensitive to vortex-induced vibrations, *J. Fluids Struct.*, 70 (2017) 181–200.
3. Brusco S. Vortex-shedding phenomenon of a highly tapered circular cylinder: comparison between theory and experiments, *M.Sc. Thesis*, University of Genoa (2017).

## Danneggiamento a fatica di strutture esposte ad azioni aleatorie

Gruppo DICCA: M.P. Repetto, A. Orlando  
Collaborazione con: A. Torrielli (R&D Engineering A/S, Denmark), C. Rizzo (DITEN),  
M. Lanza (IIS), S. Varni (Seteco)

Ricerca finanziata da: PRIN 2015, RELUIS 2021-2022

La fatica è un fenomeno di danneggiamento localizzato e progressivo che può portare a collasso fragile sotto carichi variabili nel tempo caratterizzati da ampiezze significativamente inferiori al carico ultimo del materiale. In ambito civile, risulta dimensionante per numerose strutture soggette a carichi fluttuanti indotti dal traffico (es. ponti), dal vento (es. turbine eoliche, pali e torri) o dalle onde (es. strutture offshore). La figura mostra il collasso per fatica del giunto di base di una torre faro. Il problema del danneggiamento a fatica dei materiali metallici riguarda, da un lato, la caratterizzazione della resistenza del materiale, dall'altro, la valutazione delle ampiezze e del numero di cicli di carico indotti sulla struttura. Quest'ultimo problema risulta particolarmente critico in presenza di carichi di natura aleatoria. La natura progressiva del fenomeno di fatica richiede infatti la valutazione delle azioni indotte durante l'intera vita strutturale e non solo in corrispondenza degli eventi estremi. Se risolta nel dominio del tempo, la valutazione del danno cumulato comporta un onere computazionale non affrontabile nelle applicazioni correnti. Inoltre, l'intrinseca non linearità del problema fa



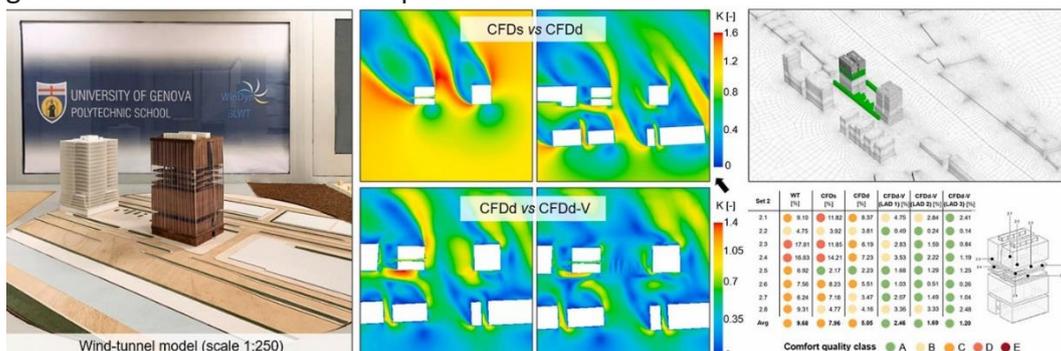
sì che non valga la sovrapposizione degli effetti e il problema sia estremamente sensibile alle incertezze dei parametri. Questa linea di ricerca, avviata molti anni fa con la mia tesi di dottorato, ha portato al primo metodo di natura normativa pubblicato sulla CNR-DT 207 R1/2018 per i carichi eolici. Gli sviluppi di ricerca più recenti riguardano: (1) la valutazione del danneggiamento a fatica sotto carichi aleatori non-gaussiani e non-stazionari; (2) lo sviluppo di metodi di simulazione numerica su base probabilistica, in grado di riprodurre le azioni indotte nell'intera vita strutturale con un onere computazionale ridotto; (3) lo studio della fatica oligociclica, ovvero indotta da un numero limitato di cicli con ampiezze tali da superare il limite di snervamento del materiale.

1. Orlando, A., Pagnini, L., Repetto, M.P. Structural response and fatigue assessment of a small vertical axis wind turbine under stationary and non-stationary excitation, *Renew. Energ.* 170 (2021) 251–266.
2. Repetto, M.P., Torrielli, A. Long term simulation of wind-induced fatigue loadings, *Eng. Struct.* 132 (2017) 551–561.
3. Repetto, M.P., Damele, M. Wind-Induced Fatigue Verification Standard Methods, *Lecture Notes in Civil Engineering*, 27 (2019) 573–586.

## Impatto del flusso di vento in ambienti complessi antropizzati

Gruppo DICCA: M.P. Repetto, M. Burlando, C. Pagnini, S. Torre  
Collaborazione con: A. Giachetta (DAD), A. Ricci (TU/e), B. Blocken (TU/e), D. Ruscelli (CETENA)  
Ricerca finanziata da: Compagnia San Paolo (2016-2018), EU Marittimo It-Fr (2009-2016), Cetena (2017-2018), Regione Liguria (2018-2021), PSA Genova Pra S.p.A. (2017-2019 e 2020-2021)

Una delle principali linee di ricerca multidisciplinari che porto avanti in collaborazione con il settore della Fisica dell'Atmosfera riguarda l'impatto del flusso di vento in ambienti complessi antropizzati. In particolare, la mia ricerca è volta alla valutazione dell'impatto del flusso in termini di (i) sicurezza e (ii) comfort delle aree. Riguardo al problema della sicurezza (i), le analisi sono soprattutto indirizzate alla valutazione di soglie critiche di instabilità di strutture e infrastrutture (containers impilati, navi ormeggiate, ecc) allo scopo di perfezionare modelli di rischio e sistemi di allerta. I modelli proposti, indirizzati prevalentemente alle infrastrutture portuali, sono esportabili a moltissimi altri ambiti sensibili all'azione del vento. Riguardo al problema del comfort (ii), le analisi sono volte alla valutazione degli effetti di canalizzazione del flusso, all'impatto della vegetazione e di elementi porosi. Entrambi i temi (i, ii) richiedono la concatenazione di tre passi fondamentali: 1) la modellazione del campo di vento locale, nelle aree complesse tra gli edifici o all'interno degli edifici stessi, risolti sperimentalmente o numericamente; 2) la valutazione della distribuzione statistica della velocità del vento in termini di valori correnti ed estremi; 3) il modello d'impatto dell'azione del vento sulla sicurezza o sul comfort. Gli apporti originali della ricerca riguardano sia l'avanzamento dei modelli 1), 2), 3), sia la formulazione di procedure operative unitarie ed efficienti. Per le importanti ricadute operative, questa linea di ricerca ha attratto interesse e finanziamenti anche dall'ambito privato. La figura mostra uno studio di comfort su un edificio a torre con un parco in quota, illustrando la modellazione sperimentale e numerica del flusso e la conseguente valutazione finale d'impatto.



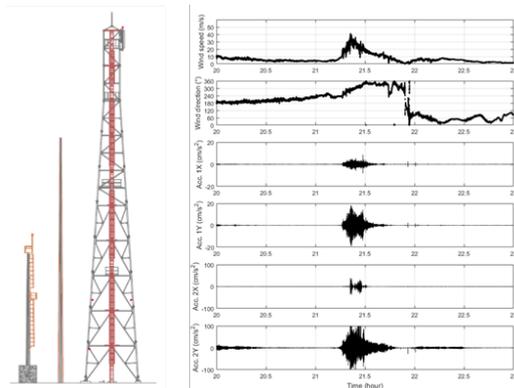
1. Ricci, A., Guasco, M., Caboni, F., Giachetta, A., Repetto, M.P. Impact of surrounding environments and vegetation on wind comfort assessment of a new tower with vertical green park, *Build Environ.* 207 (2022) 108409.
2. Torre, S., Burlando, M., Ruscelli, D., Repetto, M.P., Camauli, G. Wind tunnel experimental investigation of the aerodynamic coefficients reduction due to sheltering surroundings on a cruise ship moored in port, *J. Wind Eng. Ind. Aero.* 218 (2021) 104731.
3. Repetto, M.P., Burlando, M., Solari, G., Pizzo, M., Tizzi, M. A web-based GIS platform for the safe management and risk assessment of complex structural and infrastructural systems exposed to wind, *Adv. Eng. Softw.* 117 (2018) 29–45.

## Modelli predittivi di risposta dinamica di strutture all'azione del vento temporalesco

Gruppo DICCA: M.P. Repetto, M.T. Mengistu, L. Xiao  
Collaborazione con: S. Zhang (BUCEA, CN), I. Calotescu (UTCB, RO), P. De Gaetano (ARPAL)

Ricerca finanziata da: ERC AdG THUNDERR (2017-2021)

Il database dell'European Severe Storm Laboratory (ESSL) documenta oltre 60.000 casi di danneggiamenti e collassi strutturali dovuti a venti estremi registrati negli ultimi 3 anni in Europa; molti di questi sono associati a temporali, la cui intensità potrebbe aumentare nei prossimi anni, a causa del riscaldamento globale. A fronte di ciò, il calcolo delle azioni del vento sulle costruzioni è essenzialmente basato sul modello dei cicloni extratropicali, elaborato più di sessanta anni fa. I temporali sono fenomeni completamente diversi, per evoluzione localizzata e non stazionaria nello spazio e nel tempo. Nonostante la ricerca in questo ambito abbia proposto modelli delle azioni e della risposta dinamica non stazionaria delle strutture, la difficoltà di misurare tali eventi e la conseguente scarsità di dati sperimentali, ha limitato la validazione dei modelli e la possibilità di convergere su una formulazione unitaria e affidabile. La presente linea di ricerca, avviata nell'ambito del progetto THUNDERR, mira a fornire e validare un criterio di calcolo per le strutture esposte all'azione del vento temporalesco, utilizzando un approccio integrato analitico e sperimentale. In particolare, ispirandosi ai modelli di calcolo strutturale utilizzati in ambito sismico, un modello basato sulla tecnica dello spettro di risposta è stato formulato per l'azione del vento temporalesco. Inoltre, è stato proposto e realizzato un network di strutture monitorate in continuo ad hoc per lo studio dei temporali, con strumenti in grado di registrare simultaneamente il vento, la risposta strutturale e la dinamica delle nubi. Utilizzando algoritmi semi-automatici di separazione degli



eventi, la risposta agli eventi temporaleschi è collezionata in sotto database, i parametri che reggono il problema sono estratti e valutati statisticamente. Il comportamento delle strutture monitorate, confrontato con i modelli elaborati, permetterà di giungere al perfezionamento di un formato predittivo affidabile e utilizzabile in maniera operativa dai progettisti. La figura mostra uno schema delle tre strutture monitorate e la registrazione di un evento temporalesco intenso di cui si mostra

velocità, direzione e simultanei segnali accelerometrici.

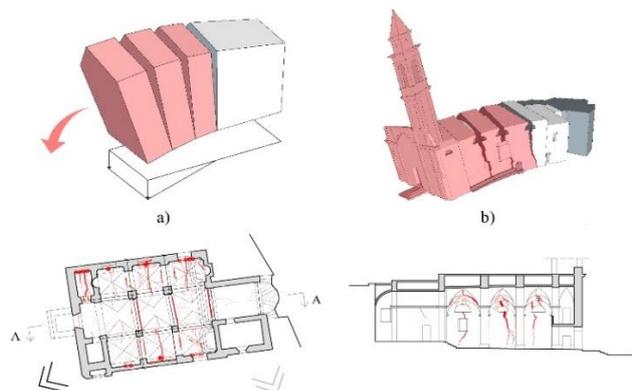
1. Solari, G., Burlando, M., Repetto, M.P. Detection, simulation, modelling and loading of thunderstorm outflows to design wind-safer and cost-efficient structures, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 200 (2020) 104142.
2. Zhang, S., Solari, G., Yang, Q., Repetto, M.P. Extreme wind speed distribution in a mixed wind climate, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 176 (2018) 239–253.
3. Zhang, S., Solari, G., De Gaetano, P., Burlando, M., Repetto, M.P. A refined analysis of thunderstorm outflow characteristics relevant to the wind loading of structures, *Prob. Eng. Mech.* 54 (2018) 9–24.

## Risposta strutturale di costruzioni monumentali all'azione delle frane

Gruppo DICCA: C. Calderini, C. Battini, R. Berardi, C. Ferrero, M. Rossi, G.L. Sacco.  
Collaborazione con: R. Vecchiattini (DAD), F.P. Portioli e R. Landolfo (Università degli Studi di Napoli "Federico II"), G. Giardina (TU Delft, Olanda), P. Roca (Universitat de Catalunya, Spagna).

Ricerca finanziata da: PRIN 2015 "Protecting the Cultural Heritage from water-soil interaction related threats"

La ricerca è finalizzata ad analizzare la risposta delle costruzioni monumentali all'azione delle frane. Particolare attenzione è posta alla tipologia delle chiese. Ad oggi, la ricerca si svolge su due fronti. Il primo è finalizzato a definire dei metodi di valutazione del rischio di queste costruzioni a scala territoriale. Il primo obiettivo che ci si è posti è stato di identificare i meccanismi di danno di queste costruzioni quando soggette a frana. A tal fine è stato fatto un rilievo a tappeto di tutte le chiese della Regione Liguria soggette a vincolo del MIC in area di frana attiva, arrivando a identificare cinque meccanismi di danno ricorrenti (vedi figura sottostante). Il prossimo obiettivo è la definizione razionale di un indice di danno e la definizione di una correlazione quantitativa tra tale indice e opportune misure di intensità della frana. A tal fine, è in atto una collaborazione con TU Delft (G. Giardina), finalizzata all'impiego di dati di monitoraggio satellitare. Il secondo fronte della ricerca è l'analisi della risposta di archi in muratura soggetti a movimenti differenziali del terreno. L'obiettivo è di definire dei limiti di spostamento differenziale degli appoggi (orizzontali e verticali), utili per definire soglie di allarme nei monitoraggi statici delle costruzioni ove siano presenti questi elementi strutturali. A tal fine sono state svolte analisi sperimentali (modello in scala testato in laboratorio) e numeriche (modelli FEM con interfaccia rigide e deformabili ed effetti di non linearità geometrica), che hanno portato a identificare alcune caratteristiche inedite della



risposta e a definire domini di spostamento per alcune tipologie di archi. Nel prossimo futuro si parteciperà ad un bando Horizon Europe, Research and innovation on cultural heritage and CCIs-2022 (HORIZON-CL2-2022-HERITAGE-01), "Effects of climate change and natural hazards on cultural heritage and remediation". Si intende inoltre partecipare al PE3 relativo ai rischi ambientali del PNRR.

1. Ferrero, C., Calderini, C., Roca, P. Experimental response of a scaled dry-joint masonry arch subject to inclined support displacements, *Eng. Structures*, in stampa (2022).
2. Ferrero, C., Calderini, C., Portioli, F., Roca, P. Large displacement analysis of dry-joint masonry arches subject to inclined support movements, *Eng. Structures* 238 (2021) 112244.
3. Ferrero, C., Cambiaggi, L., Calderini, C., Vecchiattini, R. Damage assessment of historic masonry churches exposed to slow-moving landslides, *International Journal of Architectural Heritage*, 15(8) (2021) 1170–1195.

## Caratterizzazione meccanica di elementi strutturali metallici storici

Gruppo DICCA: C. Calderini, C. Battini, A. Nunziata, B. Di Napoli  
Collaborazione con: P. Piccardo (DCCI), R. Vecchiattini (DAD), P. Matteis (PoliTO), Istituto Italiano della Saldatura, P. Dillmann (CNRS, France).

Ricerca finanziata da: Progetto RELUIS - AQ DPC/ReLUIIS 2014-2018  
POR FSE Liguria 2014-2020, Linea di Azione 1 (Progetto CHAINS)

La ricerca ha lo scopo di caratterizzare meccanicamente elementi strutturali metallici storici quali i tiranti o le chiavi o le catene. Tali elementi sono frequentemente presenti nelle costruzioni in muratura, con la funzione di contrastare le spinte di archi e volte o quella di connettere le pareti e i solai tra loro. Pur essendo prevalentemente costituiti da una lega



metallica di ferro e carbonio simile all'acciaio, essi hanno una natura fibrosa e molto disomogenea che li rende dissimili dagli elementi strutturali in acciaio moderni (vedi figura a fianco, che mostra una barra da cemento armato moderna e un tirante metallico antico dopo una prova di trazione). Da qui, e dall'evidenza della scarsità di dati e ricerche su questi elementi strutturali, è nata l'esigenza di condurre una estesa campagna di ricerca sperimentale. Grazie ad un accordo con la Soprintendenza, è stato possibile recuperare da diversi cantieri di restauro numerosi campioni di tiranti metallici storici. Su questi sono state fatte indagini di tipo meccanico, metallografico e chimico, grazie alla collaborazione con P. Piccardo

del DCCI. Tali indagini hanno portato a conoscere la composizione chimica della lega metallica e la sua micro e macro struttura. L'aspetto più significativo emerso è proprio relativo alla macrostruttura, che è di fatto quella di un materiale composito costituito da una matrice metallica e da molte inclusioni vetrose. Tali inclusioni hanno l'effetto di ridurre la sezione resistente effettiva degli elementi strutturali e di ridurre la resistenza del materiale composito. La ricerca ha anche consentito di fornire, per la prima volta, dei valori sperimentali di resistenza, modulo elastico e duttilità di tiranti antichi. Ulteriori futuri sviluppi sono relativi alla definizione di coefficienti di riduzione della resistenza per tenere conto della presenza dei difetti e alla resistenza a fatica, in merito alla quale si sta collaborando con il Politecnico di Torino. Un altro fronte su cui è stata condotta la ricerca è quello della valutazione della integrità strutturale di tiranti e catene negli edifici storici. Questa ricerca è stata finanziata dal progetto POR FSE della Regione, condotto con l'Istituto Italiano della saldatura. Nel corso del progetto, appena concluso, è stata valutata l'applicabilità di diversi metodi diagnostici normalmente usati per valutare l'integrità di strutture metalliche moderne a elementi metallici antichi. La ricerca, più in generale, ha mosso l'interesse verso il tema più generale delle strutture metalliche esistenti, su cui si intende lavorare nel prossimo futuro.

1. Calderini C., Dillmann P. Editori su invito dello Special Issue "Historic metal tie rods" dell' *Int. J. Architectural Heritage*, 13(3) (2018).
2. Calderini, C., Piccardo, P., Vecchiattini, R. Experimental Characterization of Ancient Metal Tie-Rods in Historic Masonry Buildings. *Int. J. Arch. Her.*, 13(3) (2019) 425–437.
3. Battini, C., Calderini, C., Vecchiattini, R. (2019). 3D Digital Survey of Iron Tie-Rods in Masonry Buildings: Cross-Sections Analysis and Error Estimation, *Int. J. Architectural Heritage*, 13(3) (2019) 438–450.

## Risposta strutturale di volte in muratura ad azioni differenziali e sismiche

Gruppo DICCA:	C. Calderini, M. Rossi
Collaborazione con:	M. Alforno, F. Venuti e A. Monaco (PoliTO), N. Bianchini, P. Lourenço e N. Mendes (Universidade do Minho, Portogallo), Laboratorio Nacional de Engenharia Civil (Lisbona, Portogallo), F. Portioli (Università degli Studi di Napoli “Federico II”)
Ricerca finanziata da:	“Seismic Response of Masonry Cross Vaults shake table tests and numerical validations”, H2020-EU.1.4.1.2. - INFRAIA-01- 2016-2017 - Integrating Activities for Advanced Communities, Seismology and Earthquake Engineering Research Infrastructure Alliance for Europe (SERA).

La ricerca è finalizzata allo studio del comportamento statico e dinamico di volte in muratura, con l’obiettivo di fornire dati sperimentali e formulare modelli per la valutazione della loro sicurezza. Essa è stata rivolta ai seguenti temi specifici: la simulazione sperimentale del comportamento di volte a crociera sotto azioni sismiche, il confronto tra metodi di analisi statica e dinamica, l’analisi dell’influenza di alcuni fattori costruttivi quali la tessitura muraria



e le condizioni di vincolo. In particolare, i primi due temi sono stati studiati nell’ambito del progetto “Seismic Response of Masonry Cross Vaults shake table tests and numerical validations”, un progetto sperimentale finanziato dalla UE. Nell’ambito di tale progetto, sono state condotte due diverse sperimentazioni su tavola vibrante: la prima su un modello in scala (già testato staticamente presso il Laboratorio del DICCA), la seconda su un modello in scala reale di volta a crociera. Con i colleghi portoghesi che hanno contribuito alla ricerca, è stata recentemente una call per una “Blind test competition”, una gara di previsione dei risultati sperimentali mediante modelli numerici e analitici cui hanno aderito più di trenta

gruppi di ricerca da tutto il mondo. La pubblicazione dei risultati sperimentali e dei migliori modelli di previsione è prevista per il 2022, in una special issue del *Bullettin of Earthquake Engineering*. Il tema dell’influenza di alcuni fattori costruttivi quali la tessitura muraria e le condizioni di vincolo è stato approfondito invece in collaborazione con il Politecnico di Torino. Nella ricerca, è stato definito un metodo di modellazione micromeccanica ad elementi finiti per volte di diversa geometria e tessitura, e mediante tale metodo sono state svolte numerose analisi parametriche, studiando sia azioni differenziali (cedimenti) che azioni sismiche.

1. N. Bianchini, N. Mendes, C. Calderini, P.X. Candeias, M . Rossi and P.B. Lourenço. Seismic response of a small-scale masonry groin vault: Experimental investigation by performing quasi-static and shake table tests, in stampa su *Bulletin of Earthquake Engineering* (2022).
2. Alforno, M., Monaco, A., Venuti, F., Calderini, C. Validation of Simplified Micro-models for the Static Analysis of Masonry Arches and Vaults, *International Journal of Architectural Heritage*, 15(8) (2021) 1196–1212.
3. Rossi, M., Calderini, C., Di Napoli, B., Cascini, L., Portioli, F. Structural analysis of masonry vaulted staircases through rigid block limit analysis, *Structures*, 23 (2019) 180-190.

## Monitoraggio strutturale e identificazione dinamica di costruzioni esistenti in muratura

Gruppo DICCA:

S. Cattari, M. Lepidi, D. Sivori

Collaborazione con:

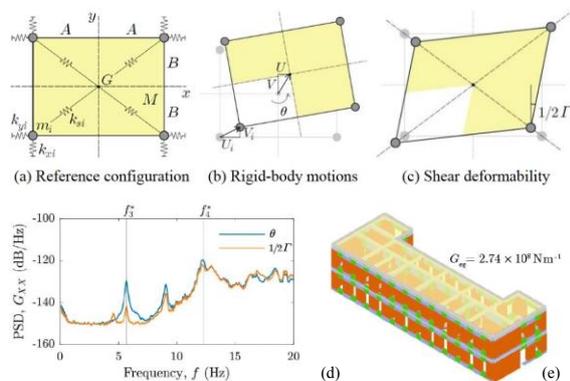
Osservatorio Sismico delle Strutture (DPC), F. Ubertini  
(Università di Perugia), S. Barani (DISTAV)

Ricerca finanziata da:

PRIN 2017, DPC-ReLUIS (WP6 – Monitoraggio e Dati Satellitari)

Il monitoraggio e la misura della risposta vibrazionale (AVT- *Ambient Vibration Test*) di strutture costituiscono un ambito di ricerca che ha avuto un rapido e crescente sviluppo negli ultimi decenni, con un enorme potenziale ancora inesplorato. I progressi tecnologici ottenuti nella sensoristica ne hanno infatti favorito l'applicabilità in svariati ambiti strutturali e con ricadute molto diversificate, che vanno al di là del solo SHM- *Structural Health Monitoring*.

In questo contesto, la ricerca ad oggi già sviluppata si colloca nell'uso di parametri di identificazione dinamica per la calibrazione di modelli numerici utili a supporto di valutazioni di sicurezza di costruzioni esistenti. Particolare attenzione è rivolta al costruito in muratura con ricadute sulla stima della risposta sia nell'ambito delle azioni in esercizio (per l'interpretazione di variazioni indotte da fenomeni di degrado) che dovute ad eventi rari (quali il sisma). L'utilizzo di dati da AVT può costituire una preziosa risorsa per indirizzare le scelte di modellazione [1], promuovere un uso integrato di diverse strategie (ad es. modelli di dettaglio ad elementi finiti e semplificati a telaio equivalente) [2] e, quindi, aumentare l'affidabilità delle valutazioni. Nella ricerca finora condotta, è stata sviluppata una procedura inversa originale che sfrutta le misure di vibrazione ambientale per fornire una stima quantitativa della



rigidezza nel piano a taglio dei solai [3]. In figura è illustrato il modello dinamico meccanico (a) su cui tale procedura si basa. Il modello a quattro gradi di libertà consente il moto rigido del diaframma nel piano (di traslazione nelle due direzioni e di rotazione, b) e piccole deformazioni di scorrimento angolare dovute a taglio (c). La soluzione del problema inverso consente l'identificazione strutturale del parametro di rigidezza  $K_s$  che governa la risposta a taglio dei diaframmi di piano a partire

dai dati di identificazione dinamica (d). Questo dato è quindi utilizzabile per orientare i valori da assumere per la rigidezza equivalente  $G_{eq}$  dei solai (e), che costituisce una delle incertezze più significative nell'interpretazione della risposta di edifici esistenti in muratura.

1. Cattari S., Degli Abbati S., Alfano S., Brunelli A., Lorenzoni F., Da Porto F. "Dynamic calibration and seismic validation of numerical models of URM buildings through permanent monitoring data", *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 50(10) (2021) 2690-2711.
2. Cattari S., Sivori D., Alfano S., Ierimonti L., Cavalagli N., Venanzi I., Ubertini F. Calibration of numerical models to support SHM: the Consoli Palace of Gubbio, Italy, Proc. of 8th ECCOMAS conference, Greece, 27-30 June 2021.
3. Sivori D., Lepidi M., Cattari S., Structural identification of the dynamic behavior of floor diaphragms in existing buildings", *Smart Structures and Systems*, 27(2) (2021) 173-191.

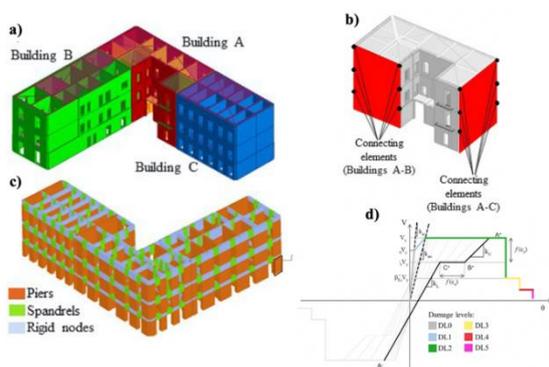
## Modellazione di edifici in muratura isolati o in aggregato

Gruppo DICCA: S. Cattari, S. Lagomarsino, S. Degli Abbati, M. Angiolilli, S. Alfano, D. Sivori, A. Brunelli, F. Parisse, S. Pinasco

Collaborazione con: Varie università italiane (Bologna, Pavia, Chieti-Pescara), R.Bento (Univ. di Lisbona), P.B.Lourenco (Univ. di Minho)

Ricerca finanziata da: PRIN 2017; DPC-ReLUI5 – WP10 (Contributi normativi relativi a Costruzioni Esistenti in Muratura)

La modellazione di edifici in muratura può essere affrontata con varie strategie, che operano a diverse scale: i) singoli componenti, ii) materiale omogeneo equivalente, iii) pannelli strutturali. Quale che sia l'approccio adottato, un requisito essenziale è la capacità di descrivere il comportamento fortemente non lineare della muratura. Negli ultimi decenni si è assistito ad un rapido sviluppo di programmi di calcolo dedicati *ad hoc* al costruito in muratura. All'incremento di tali potenzialità si affianca però una complessità crescente nella gestione di tali strumenti da parte del mondo professionale. Ne consegue la necessità attuale e stringente di linee guida e casi studio benchmark utili per controllarne l'affidabilità, ridurre la dispersione dei risultati ottenibili oltre che promuovere un uso consistente tra approcci che operano a scale diverse. In questa direzione si contestualizzano alcuni recenti sforzi della ricerca svolta ([1], [2]). In aggiunta a questo obiettivo generale, molti sono ancora i problemi aperti più specifici da risolvere. Da oltre venti anni il gruppo di ricerca è impegnato nello sviluppo di legami costitutivi per diverse componenti strutturali, implementati nel software Tremuri (Lagomarsino et al. 2013, *Eng Struct*, 56:1787–1799), che opera secondo l'approccio a telaio equivalente (scala iii) e consente di eseguire anche analisi dinamiche non lineari. Questo strumento offre la possibilità ai ricercatori coinvolti di verificare l'efficacia dei modelli formulati e applicarli a casi studio emblematici. La disponibilità di uno strumento accurato consente di verificare l'attendibilità di modelli semplificati, proposti in normativa. Una tematica complessa ma rilevante e attuale è la modellazione di edifici in muratura in



aggregato, tipici dei nostri centri storici. Il tema è evocato in figura [3](a), accentuando l'attenzione sulle sfide di modellazione poste dall'interazione tra le unità (b). In c) è raffigurato il modello a telaio equivalente del sistema complesso, mentre in d) è illustrato un legame costitutivo multilineare a tratti, a base fenomenologica, implementato nel software Tremuri per descrivere la risposta non lineare, anche in campo dinamico, di pannelli murari.

1. Cattari S., Magenes G. Benchmarking the software packages to model and assess the seismic response of unreinforced masonry existing buildings through nonlinear static analyses, *Bull Earthquake Eng.* (2021)
2. Cattari S., Camilletti D., D'Altri A.M., Lagomarsino S. On the use of continuum finite element and equivalent frame models for the seismic assessment of masonry walls, *Journal of Building Engineering*, Vol.43 (2021) 102519.
3. Angiolilli M., Lagomarsino S., Cattari S., Degli Abbati S. Seismic fragility assessment of existing masonry buildings in aggregate, *Engineering Structures*, 247 (2021) 113218.

# Studio dei meccanismi locali e dei fenomeni di amplificazione dell'azione sismica in quota

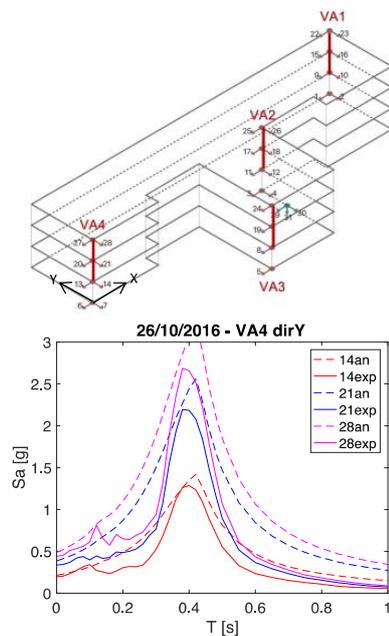
Gruppo DICCA:

S. Degli Abbati, S. Lagomarsino

Ricerca finanziata da:

DPC-ReLUIIS – WP10 (Contributi normativi relativi a Costruzioni Esistenti in Muratura)

In letteratura con il termine “meccanismi locali” ci si riferisce a modalità di danno delle costruzioni in muratura che interessano fenomeni di ribaltamento fuori piano di porzioni più o meno estese di pareti. A seguito dell'attivazione del meccanismo, il collasso di tali porzioni avviene per perdita di equilibrio. Tale risposta è usualmente studiata in maniera disaccoppiata dalla risposta globale nel piano delle pareti, adottando l'ipotesi semplificata di comportamento rigido della muratura e riferendosi ai principi dell'analisi limite applicati a catene cinematiche. Il comportamento dinamico di sistemi a blocchi rigidi oscillanti è estremamente complesso [1], ma la risposta dinamica delle configurazioni reali può essere efficacemente simulata tramite approcci di verifica semplificati, basati sull'analisi cinematica non lineare e che attuino una verifica in spostamento, in accordo con gli approcci prestazionali per le verifiche di sicurezza sismica. Tale approccio è stato formulato proprio nell'ambito di questo gruppo di ricerca: Lagomarsino S. (2015) *Bull Earthquake Eng*, 13: 97–128. In questo



contesto si inseriscono alcuni contributi originali [2]. È importante evidenziare che, nella maggior parte dei casi, tali meccanismi coinvolgono porzioni sommitali delle costruzioni. Pertanto, un aspetto cruciale risiede nella corretta definizione dell'input sismico in quota. Questo tema non è strettamente legato alle costruzioni in muratura, ma coinvolge anche la verifica di elementi non strutturali (parapetti, tamponature), che i recenti eventi sismici hanno dimostrato avere un ruolo molto importante sugli impatti economici, oltre che sulla sicurezza. La figura riporta un confronto teso a verificare l'affidabilità di una formulazione analitica proposta dal gruppo di ricerca per la definizione di spettri di piano [3], un approccio disaccoppiato che consente di caratterizzare l'azione sismica in quota. La figura in (b) mostra gli spettri di risposta calcolati con tale formulazione (linea tratteggiata) confrontati con quelli costruiti dagli accelerogrammi (linea continua), registrati da sensori posti a diverse quote (nei tre colori) di un edificio monitorato permanentemente dal Dipartimento della Protezione Civile (a).

1. Degli Abbati S., Lagomarsino S. Out-of-plane static and dynamic response of masonry panels, *Engineering Structures*, 150 (2017) 803-820.
2. Degli Abbati S., Cattari S., Lagomarsino S. Validation of displacement-based procedures for rocking assessment of cantilever masonry elements, *Structures*, 33 (2021) 3397-3416.
3. Degli Abbati S., Cattari S., Lagomarsino S. Theoretically-based and practice-oriented formulations for the floor spectra evaluation, *Earthquakes and Structures*, 15(5) (2018) 565-581.

## Metamateriali con risposte diodiche fatti di schiume cementizie altamente porose

Gruppo DICCA:

A. Caggiano

Collaborazione con:

I. Peralta (CIMEC-AR & TU Darmstadt) e J. Dolado (CSIC, Spain)

Un diodo termico è un sistema intelligente che ha un forte flusso di calore preferenziale in una direzione (*Forward*) e un'alta resistenza in quella opposta (*Reverse*). Può rivoluzionare il settore delle costruzioni e dell'edilizia, con un enorme impatto sulla realizzazione di “Nearly-Zero-Energy-Buildings (NZEBS)” e riduzioni di CO<sub>2</sub> associate. Si tratta di un concetto altamente innovativo, ma in gran parte inesplorato, che apre a un'ampia varietà di materiali e componenti intelligenti a risparmio energetico, da utilizzare negli NZEB e in involucri per edifici.

I sistemi diodi cementizi si basano su approcci computazionali (di meta-ottimizzazione) per la progettazione di schiume cementizie altamente porose che funzionano come diodi termici. Uno strumento sinergico di modellazione all'avanguardia sarà studiato attraverso varie discipline (e.g., Meccanica Computazionale, Fisica dei Materiali e Fisica Tecnica) e scale (dalla scala nano a quella degli edifici). L'ipotesi specifica dell'approccio di ricerca è che sintonizzando (inter-)proprietà dinamiche e asimmetriche di interazione dei componenti (a basso costo), sarà possibile progettare una schiuma termica diodica cementizia e meta-ottimizzata. A tal fine, combinando la teoria dei fononi per generare “band-gaps”, bolle d'aria e materiali porosi con “arrangements” gerarchici a bassa conducibilità, microfibre ad alta conducibilità e materiali a cambiamento di fase, è possibile ottenere una schiuma diodica termica ottimizzata.

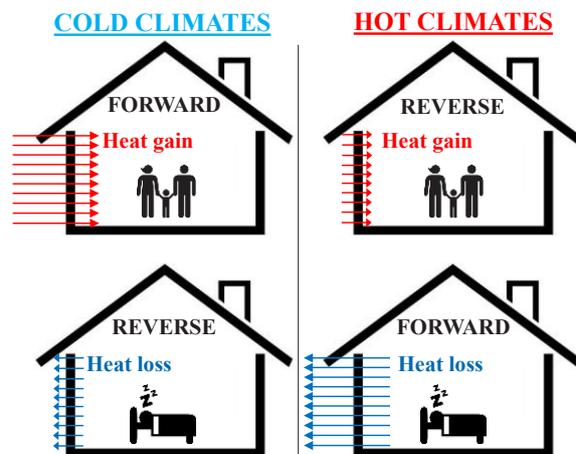


Fig. 1. Isolamento intelligente con l'impiego di diodi termici in climi freddi e caldi.

Gli obiettivi della ricerca sono:

- Progettazione computazionale di un diodo termico cementizio con proprietà conduttive/diffusive *à la carte*, in entrambe direzioni di flusso “Forward” e “Reverse”;
- Progettazione computazionale di un diodo termico cementizio con una conduttività/diffusività quasi nulla (NZ) nella direzione del flusso inverso;
- Progettazione di una schiuma con diodicità termica estremamente elevata;
- Progettare uno strato ultrasottile ~ 2.0 cm (max.) di schiuma diodica per NZEBs.

1. Caggiano A., Mankel C., Koenders E. Reviewing theoretical and numerical models for PCM-embedded cementitious composites, *Buildings*, 9(1) (2019) 3.
2. Gilka-Bötzow A., Folino P., Maier A., Koenders E., Caggiano A. Triaxial Failure Behavior of Highly Porous Cementitious Foams Used as Heat Insulation, *Processes*, 9 (2021) 1373.
3. Fachinotti V., Bre F., Mankel C., Koenders E., Caggiano A. Optimization of multilayered walls for building envelopes including PCM-based composites, *Materials*, 13 (2020) 2787.

## Materiali a cambio di fase (PCM) in rinforzi tessili in fibra (FRT) per recuperi termo-energetici e strutturali

Gruppo DICCA:

A. Caggiano, S. Lagomarsino

Collaborazione con:

I. Peralta (CIMEC-AR & TUDa) e E. Koenders (TU Darmstadt, DE)

Il sistema di rinforzo PCM-FRT, per recuperi strutturali e termo-energetici in costruzioni esistenti sia di calcestruzzo che di muratura, è composto da fibre a maglia bidirezionale potenziate con PCM. Il sistema può essere impiegato contestualmente in azioni di recupero/riabilitazione strutturale/meccanico (a flessione e a taglio) e volte a migliorare l'efficienza energetica dell'intero edificio. Il sistema può essere incollato utilizzando resine epossidiche o malta cementizia.

### BENEFICI PRINCIPALI:

1. Sistema di rafforzamento strutturale;
2. Recupero termo-energetico;
3. Miglioramento degli indici di durabilità;
4. Migliora d'impermeabilità acqua/vapore;
5. Sostenibile e riciclabile;
6. Resistente al fuoco;
7. Facile installazione;
8. Compatibile con calcestruzzo e muratura;
9. Resistente ai cicli di gelo/disgelo.



### PROPRIETÀ DEL SISTEMA:

- Miglioramenti strutturali/meccanici (resistenza a taglio in pannelli di muratura, aumento della capacità portante di colonne e pilastri, eliminazione della possibile formazione di cerniere plastiche in archi e volte, redistribuzione delle tensioni all'interno della struttura, aumento della duttilità nell'elemento strutturale rinforzato, miglioramento della capacità di dissipazione dell'energia di frattura);
- Miglioramenti dell'accumulo termico-energetico (migliora del comfort termico in edifici e costruzioni, risparmio e ottimizzazione dell'energia, involucri edilizi, miglioramento delle prestazioni di isolamento e cappotto negli edifici).

### CAMPI DI APPLICAZIONE:

- Consolidamento di tetti e/o volte storiche;
- Rinforzo di pareti esterne e interne in muratura.

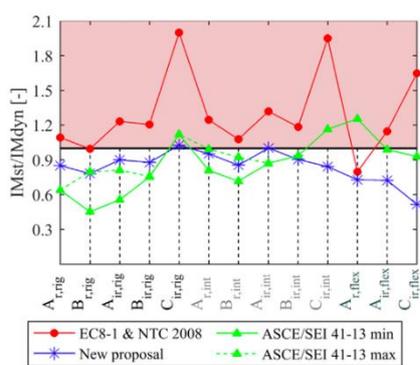
TIPO DI RICERCA: Approccio sperimentale e su base numerica.

1. Caggiano A., Ferreira S., Mankel C., Sam M., Koenders, E. "eNeRGy storage in TEXtile reinforcement system (NRG-TEX)", *Erfindung* 20/21. Brevetto tedesco, in fase di approvazione.
2. Mankel C., Caggiano A., Koenders E. Thermal energy storage characterization of cementitious composites made with recycled brick aggregates containing PCM, *Energy and Buildings*, 202 (2019) 109395.
3. Caggiano A., Schicchi D. A thermo-mechanical interface model for simulating the bond of FRP strips glued to concrete substrates exposed to elevated temperature, *Eng. Struct.*, 83 (2015) 243-251.

## Metodi di analisi e approcci di verifica per la valutazione della sicurezza sismica di edifici in muratura

Gruppo DICCA: S. Lagomarsino, S. Cattari, S. Giusto  
 Collaborazione con: CEN/TC 250/SC 8 - EUROCODE 8: Earthquake Resistance Design of Structures, Project Team for drafting the new version; CNR - Commissione per la redazione e l'analisi di norme tecniche  
 Ricerca finanziata da: DPC-ReLUIIS – WP10 (Contributi normativi relativi a Costruzioni Esistenti in Muratura)

Disporre di affidabili approcci di valutazione della sicurezza sismica è requisito imprescindibile per lo sviluppo di strategie di mitigazione della vulnerabilità sismica del costruito esistente. Le procedure ormai consolidate e validate per le moderne tipologie strutturali, quali quelle in calcestruzzo armato, evidenziano significativi limiti nella loro applicazione agli edifici in muratura. Questi limiti sono conseguenza di peculiarità che contraddistinguono il costruito esistente in muratura, fra le quali si menzionano: la presenza di solai flessibili (volte o lignei); l'enorme varietà delle tipologie di muratura e dettagli costruttivi (es.: qualità delle connessioni tra pareti e pareti e solai), che rende il processo di conoscenza e il trasferimento delle informazioni acquisite nel modello di calcolo difficilmente standardizzabile; ricorrenti fattori di irregolarità architettonica. Il processo di valutazione della sicurezza richiede di disporre di metodi di analisi e approcci di verifica accurati. Su tutti e due gli ambiti il gruppo di ricerca porta avanti da anni ricerche con duplice finalità, ossia: con approcci di elevato dettaglio, per analisi di livello superiore, anche affidabilistici; con approcci semplificati, perchè i prodotti della ricerca siano trasferibili in ambito normativo e quindi utilizzabili a livello professionale.



La figura mostra il rapporto tra l'accelerazione massima compatibile con il raggiungimento dello stato limite di collasso, stimata con un approccio di verifica basato sull'esecuzione di analisi statiche nonlineari ( $IM_{st}$ ), e quella ottenuta da analisi dinamiche nonlineari ( $IM_{dyn}$ ), assunta come target. Rapporti superiori all'unità denunciano stime non conservative dell'approccio statico. Diversi metodi ad oggi adottati in normative internazionali (EC8, ASCE/SEI) sono confrontati al variare di strutture caratterizzate da diversi dettagli costruttivi (A/B/C), livelli

di irregolarità (r/ir) e rigidezza dei solai (rig/int/flex). Si osserva come il metodo proposto in [1], ed in parte recepito nella Circolare delle Norme Tecniche delle Costruzioni emanata nel 2019, consenta di ottenere stime più affidabili.

1. Marino S., Cattari S, Lagomarsino S. Are the nonlinear static procedures feasible for the seismic assessment of irregular existing masonry buildings? *Engineering Structures*, 200 (2019) 109700.
2. Haddad, J., Cattari, S. & Lagomarsino, S. Use of the model parameter sensitivity analysis for the probabilistic-based seismic assessment of existing buildings, *Bull Earthquake Eng.* 17 (2019) 1983–2009.
3. Lagomarsino S., Marino S., Cattari S. Linear static procedures for the seismic assessment of masonry buildings: Open issues in the new generation of European codes, *Structures*, 26 (2020) 427-440.

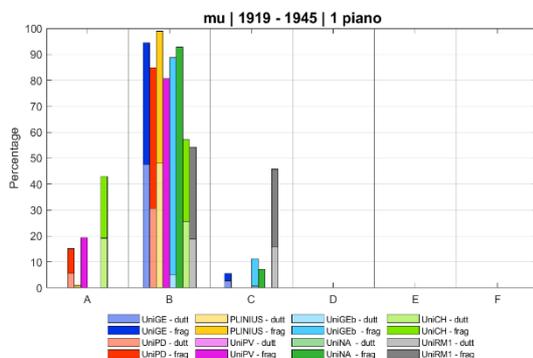
## Curve di fragilità per classi di edifici da usare in analisi di rischio sismico a scala territoriale

Gruppo DICCA: S.Lagomarsino, S.Cattari, M. Angiolilli, S.Alfano, A. Brunelli, S. Giusto

Collaborazione con: B.Borzi (EUCENTRE), V.Silva (GEM - Global Earthquake Model) R.Bento (Università di Lisbona)

Ricerca finanziata da: DPC-ReLUIIS – WP4 MARS (Mappe di Rischio e Scenari di danno sismico); DPC-ReLUIIS – WP3 RINTC-e Progetto Rischio Implicito

Le analisi di rischio sismico a scala territoriale sono condotte classificando il costruito in classi a comportamento omogeneo, tramite i parametri disponibili nell’inventario (materiale strutturale, epoca di costruzione e numero di piani), e caratterizzandone l’esposizione in termini di numero di edifici, appartamenti, abitanti e superficie di costruito. Il calcolo è di natura probabilistica e considera la convoluzione tra la pericolosità nel sito (probabilità di occorrenza del terremoto in funzione dell’intensità) e la vulnerabilità del costruito (probabilità di avere prefissati livelli di danno in funzione dell’intensità, espressa tramite curve di fragilità). Funzioni di conseguenza correlano il danno fisico nell’edificio al numero di vittime o edifici inagibili e alle perdite economiche dirette. Il gruppo di ricerca si occupa in particolare di vulnerabilità ed alcuni degli articoli sviluppati nel corso degli anni sono riferimenti molti citati. Dal 2019 Sergio Lagomarsino è coordinatore nazionale del WP4-MARS, che coinvolge 27 UR [1]. In tale ambito, la ricerca del gruppo DICCA è orientata allo sviluppo di curve di fragilità con diversi approcci: a) euristico; b) meccanico-analitico; c) numerico, da analisi dinamiche non lineari.



Riguardo all’approccio a), il modello macrosismico (proposto in r1) è stato calibrato e validato con i dati di danno osservato negli ultimi terremoti in Italia portando al metodo euristico [2]. Grazie a questo metodo sono state inoltre definite: una metrica per le curve di fragilità, basata su classi di vulnerabilità EMS98, e procedure per convertire e integrare curve ottenute anche con approcci diversi in un modello di vulnerabilità unico, attraverso un approccio ad albero logico. La figura

mostra, per una specifica tipologia di edifici (edifici in muratura ad un piano, realizzati tra il 1919 ed il 1945), la distribuzione nelle classi EMS (da A-F), stimata da diverse UR.

1. Masi A., Lagomarsino S., Dolce M., Manfredi V. & Ottonelli D. Towards the updated Italian seismic risk assessment: exposure and vulnerability modelling. *Bull Earthquake Eng.* 19 (2021) 3253–3286.
2. Lagomarsino S., Cattari S. & Ottonelli D. The heuristic vulnerability model: fragility curves for masonry buildings. *Bull Earthquake Eng.*, 19 (2021) 3129–3163.
3. Simoes A.G., Bento R., Lagomarsino S., Cattari S., Lourenco P.B. Fragility Functions for Tall URM Buildings around Early 20th Century in Lisbon. Part 1: Methodology and Application at Building Level - Part 2: Application to different classes of buildings. *International Journal of Architectural Heritage*, 15 (2021) 349-389.

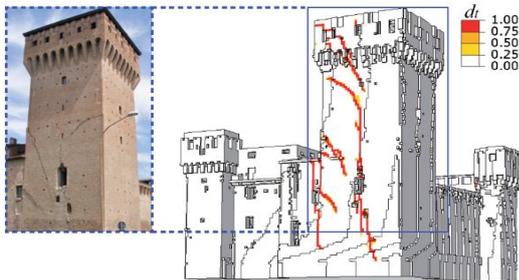
## Prevenzione del patrimonio culturale: valutazione della sicurezza e consolidamento

Gruppo DICCA: S. Lagomarsino, S. Cattari, S. Degli Abbatì, L. Paletta  
Collaborazione con: C. Cancino (Getty Conservation Institute, Los Angeles), V. Silva (UNESCO-GEM Global Earthquake Model)

Ricerca finanziata da: DPC-ReLUI5 – WP5 (Interventi di rapida esecuzione a basso impatto ed integrati), Soprintendenze di diverse Regioni

Il patrimonio monumentale è soggetto al degrado dei materiali, in assenza di manutenzione, al verificarsi di dissesti statici, per interventi impropri o modifiche dell'ambiente antropizzato, e al rischio da eventi naturali rari (ad es. il sisma), quando manca la prevenzione. I manufatti storici sono stati realizzati con un approccio empirico (regole dell'arte) ed il consolidamento con tecniche invasive e materiali inadeguati spesso risulta non efficace, perché non compatibile con il funzionamento originario. Esiste quindi un problema di sicurezza e conservazione, che richiede una stretta sinergia tra le discipline del consolidamento e del restauro.

Questo gruppo di ricerca ha avuto, negli ultimi venticinque anni, un ruolo significativo a livello nazionale ed internazionale. Tra il 2007 ed il 2011 ha contribuito alla redazione delle Linee Guida per i Beni Culturali (DPCM 9/2/2011) e ha coordinato il progetto Europeo PERPETUATE (FP7). Due articoli sono oggi un riferimento sul tema: 1) Lagomarsino (2006), *Bull Earthquake Eng*, 4(4):445–463; 2) Lagomarsino and Cattari (2015), *Bull Earthquake Eng*, 13(1):13–47. Negli



ultimi anni sono state sviluppate metodologie di analisi e verifica, finalizzate anche al progetto di consolidamento, utilizzabili in edifici monumentali (chiese, torri, fortezze, palazzi complessi), per i quali le norme dell'edilizia corrente non sono applicabili. In aggiunta a questo sono stati sviluppati strumenti *ad hoc* per il rilievo del danno.

Ad esempio in [1] la metodologia originariamente sviluppata nel 1997 per le chiese, a seguito del terremoto Umbria-Marche e poi adottata formalmente dalla Protezione Civile, è stata aggiornata tenendo conto dell'esperienza del rilievo dei successivi eventi sismici. Riguardo l'analisi, diversi approcci sono proposti: i) suddivisione della costruzione in macroelementi, dotati di un comportamento autonomo, e successiva analisi per sottostrutture [2], ii) uso di un modello unico, ma con procedure che consentano una valutazione di sicurezza distinta su ciascuna porzione del manufatto [3]. La figura mostra un esempio di analisi condotta con l'approccio ii) sulla Rocca di San Felice sul Panaro, danneggiata del sisma dell'Emilia (2012).

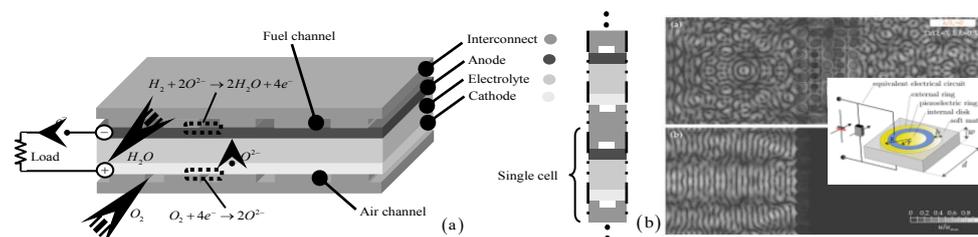
1. Lagomarsino S., Cattari S., Ottonelli D., Giovinazzi S. Earthquake damage assessment of masonry churches: proposal for rapid and detailed forms and derivation of empirical vulnerability curves, *Bull Earthquake Eng*. 17(6) (2019) 3327–3364.
2. Lagomarsino S., Ottonelli D., Cattari S. Performance-based assessment of masonry churches: Application to San Clemente Abbey in Castiglione a Casauria (Italy), in *Numerical Modeling of Masonry and Historical Structures: From Theory to Application* (2019) 55–89.
3. Degli Abbatì S., D'Altri A.M., Ottonelli D., de Miranda S., Lagomarsino S. Seismic assessment of interacting structural units in complex historic masonry constructions by nonlinear static analyses, *Computers and Structures*, 213 (2019) 51–71.

## Modellazione multifisica di materiali complessi multicampo

Gruppo DICCA: A. Bacigalupo, V. Diana  
Collaborazione con: A. Piccolroaz, D. Misseroni (Univ. Trento, IT), M. Paggi, G. Gnecco, Deison Texeira (IMT Lucca, IT), R. Del Toro (INFN Genova, IT), M.L. De Bellis (Univ. Chieti e Pescara), G. Zavarise (Politecnico di Torino, IT), F. Fantoni (Univ. Brescia), L. Morini (Cardiff University, UK)

Ricerca finanziata da: UNMASKED 2020, GNFM-IndAM, MINIERA San Paolo 2019

I materiali compositi soggetti a fenomeni termodiffusivi, termoelettrici ed elettromagnetici sono di enorme interesse per molte importanti applicazioni ingegneristiche e tecnologiche. Ad esempio, diversi dispositivi di energia rinnovabile, raccoglitori ed estrattori di energia, attuatori elettromeccanici, rilevatori termici, sensori piezo-elettrici, sono realizzati in generale da materiali periodici eterogenei a microstruttura complessa spesso gerarchica (Fig. 1a: schematizzazione della cella periodica di una SOFC). Una loro accurata caratterizzazione costitutiva alla macroscale è pertanto di fondamentale importanza per la progettazione ottimale e la modellazione multifisica di nuovi materiali multifunzionali dalle proprietà estreme. Il gruppo di ricerca del DICCA lavora allo (i) sviluppo di tecniche rigorose di omogeneizzazione asintotica ed asintotico-variazionale per caratterizzare in modo sintetico ed accurato il comportamento statico e dinamico di svariati materiali periodici multicampo attraverso la determinazione consistente dei tensori costitutivi globali; (ii) sviluppo di tecniche di omogeneizzazione ad alta frequenza per la completa caratterizzazione delle proprietà dispersive dei materiali periodici multicampo; (iii) concezione di nuovi meta-materiali periodici, a microstruttura anche gerarchica, in grado di offrire prestazioni statiche e dinamiche superiori rispetto ai materiali ordinari per realizzare, ad esempio, nano-generatori e sensori auxetici termo-piezolettrici iper-performati; (iv) sfruttamento di meccanismi diffusi di risonanze locali multicampo per la progettazione ottimale di metadispositivi intelligenti dotati di funzionalità avanzate per il controllo della propagazione di onde elastiche (filtraggio in frequenza di vibrazioni; manipolazione del fronte d'onda; trasporto, intrappolamento, localizzazione ed estrazione di energia) (Fig. 1b: metafiltro acustico attivo: prestazione di filtraggio al variare del parametro di controllo del risonatore locale elettro-meccanico).



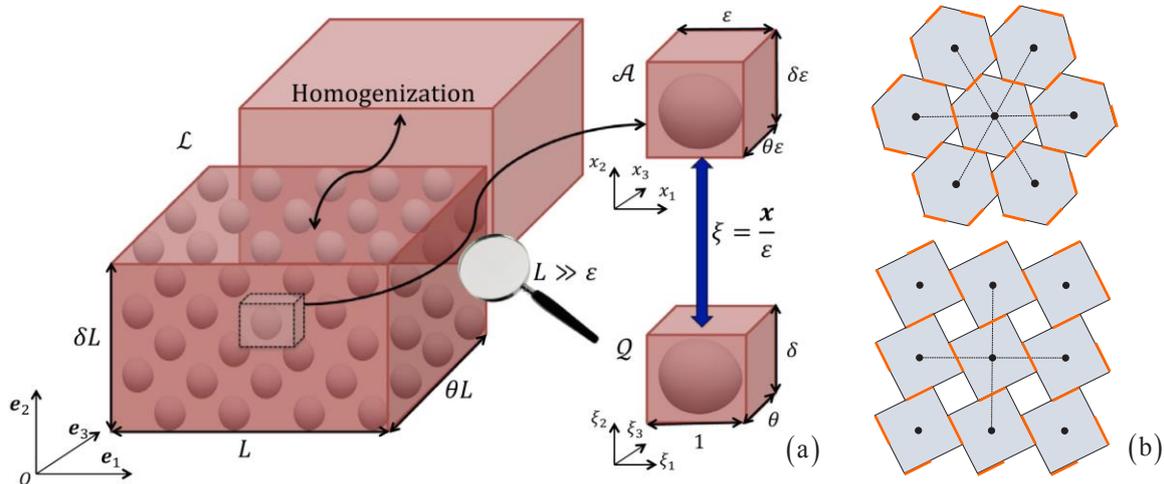
1. M.L. De Bellis, A. Bacigalupo, G. Zavarise, Characterization of hybrid piezoelectric nanogenerators through asymptotic homogenization. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 355 (2019) 1148-1186.
2. F. Fantoni, A. Bacigalupo, Wave propagation modeling in periodic elasto-thermo-diffusive materials via multifield asymptotic homogenization. *International Journal of Solids and Structures*, 196 (2020) 99-128.
3. A. Bacigalupo, M.L. De Bellis, D. Misseroni, Design of tunable acoustic metamaterials with periodic piezoelectric microstructure. *Extreme Mech. Letters*, 40 (2020) 100977.

## Omogeneizzazione multiscala di materiali microstrutturati

Gruppo DICCA: A. Bacigalupo, L. Gambarotta, M. Lepidi, V. Diana  
 Collaborazione con: D. Bigoni, F. Dal Corso (Univ. Trento), M. Paggi, G. Gnecco (IMT Lucca), R. Del Toro (INFN Genova), M.L. De Bellis (Univ. Chieti - Pescara), G. Zavarise (PoliTO), F. Fantoni (Univ. Brescia)

Ricerca finanziata da: PRIN 2015, MINIERA 2019, UNMASKED 2020, GNFM-INdAM

Materiali artificiali microstrutturati di nuova generazione che presentano caratteristiche meccaniche di estrema leggerezza, rigidità, e resistenza possono essere concepiti attraverso opportune scelte della topologia della microstruttura, per lo più finalizzate ad ottimizzare la distribuzione periodica delle fasi solide rispetto ai vuoti. Inoltre, la topologia multifase della microstruttura può anche essere progettata per ottenere e massimizzare prestazioni esotiche come l'auxeticità. Il concepimento ed il progetto ottimo di questi materiali sono anche alimentati dai recenti sviluppi nei campi tecnologici della microingegneria di alta precisione così come nel campo della produzione additiva ad alta fedeltà. La periodicità della microstruttura determina importanti effetti di scala che implicano da un lato importanti effetti di strato limite e dall'altro il fenomeno della dispersione delle onde elastiche che propagano nel materiale. La necessità di ottenere una descrizione sintetica – e comunque accurata – delle proprietà meccaniche dei materiali microstrutturati e di ridurre gli oneri computazionali che comportano in generale le modellazioni micromeccaniche motivano la formulazione di tecniche di omogeneizzazione multiscala (immagine (a): descrizione multiscala. Tratta da: Del Toro R., Bacigalupo A., Paggi M., *Int. J. Solids Struct.*, 172, 110-146, 2019), in grado di descrivere accuratamente la risposta statica e dinamica di questi materiali. Il gruppo sviluppa tecniche rigorose di omogeneizzazione statica e dinamica in continui locali e non locali di materiali periodici di Cauchy, ovvero tecniche avanzate di continualizzazione per la caratterizzazione costitutiva consistente dei materiali discreti (immagine (b): nuovi materiali auxetici a blocchi rigidi ed interfacce elastiche. Adattata da: Bacigalupo A., Gambarotta L., *Extreme Mech. Lett.*, 39, 100769, 2020).



1. Bacigalupo A., De Bellis M.L., Zavarise G. Asymptotic homogenization approach for anisotropic micropolar modeling of periodic Cauchy materials. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 388 (2022) 114201.
2. Bacigalupo A., Gambarotta L. Identification of non-local continua for lattice-like materials. *International Journal of Engineering Science*, 159 (2021) 103430.
3. Vadalà F., Bacigalupo A., Lepidi M., Gambarotta L. Bloch wave filtering in tetrachiral materials via mechanical tuning. *Composite Structures*, 201 (2018) 340-351.

## Meccanica delle murature e delle strutture murarie

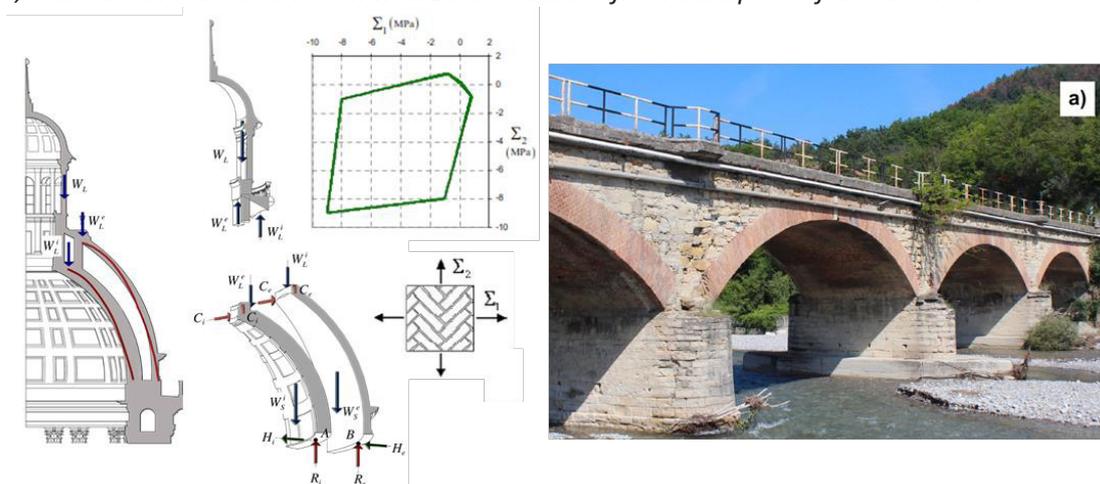
Gruppo DICCA:

A. Brencich, L. Gambarotta

Collaborazione con:

Latka D., Matysek P. (Cracow University of Technology, PL), Orban Z.  
(University of Pecs, HU)

La valutazione della sicurezza e l'individuazione di tecniche di rinforzo di costruzioni in muratura implica una conoscenza del comportamento meccanico delle apparecchiature murarie e delle strutture murarie a vari livelli di dettaglio per la formulazione di procedure operative basate su modelli meccanici i cui parametri siano derivati da opportune metodologie sperimentali speditive o di dettaglio. L'attività di ricerca, avviata da diverso tempo, affronta diverse tematiche che riguardano numerosi problemi aperti riguardanti la risposta statica e dinamica delle murature e delle costruzioni murarie. Recenti ricerche sviluppate in DICCA hanno portato alla formulazione di modelli elastici di murature a blocchi che superano inconsistenze termodinamiche dei modelli in letteratura, tuttavia rimane ancora aperto il problema della modellazione del danneggiamento e della rottura di pareti murarie soggetta ad azioni pluriassiali monotone e cicliche utili alla comprensione del collasso di pareti e volte murarie e delle arcate di ponti in muratura, in particolare per ponti ad asse sbieco. L'attività sperimentale è finalizzata alla validazione dei modelli e verrà sviluppata anche per la definizione di prove speditive *in situ*. Altrettanto aperto è il problema della sicurezza dei ponti in muratura e delle relative tecniche di consolidamento e rinforzo. Sulla base di precedenti ricerche sviluppate in DICCA e internazionalmente riconosciute, si svilupperà una tecnica di rinforzo con iniezioni di miglioramento delle proprietà geomeccaniche del riempimento sovrastante le arcate murarie che modifica i meccanismi di collasso ed eleva la resistenza rispetto ai carichi di esercizio. L'efficacia di tale procedura è stata provata in alcune limitate prove di laboratorio su modelli in scala ridotta di ponti ad arco; si prevede l'esecuzione di una campagna sperimentale sistematica su modelli di ponte in scala ridotta, ed è possibile una collaborazione con docenti DICCA del settore Geotecnica. Tale attività verrà proposta nel contesto di "HORIZON-CL5-2022-D6-02-06: Smart and efficient ways to construct, maintain and decommission with zero emissions from transport infrastructure".



1. Bacigalupo, A., Gambarotta, L., Lepidi M. Thermodynamically consistent non-local continualization for masonry-like systems. *Int. J. Mech. Sciences*, 205 (2021) 106538.
2. Brencich A., Łatka D., Matysek P., Orban Z., Sterpi E. Compressive strength of solid clay brickwork of masonry bridges: Estimate through Schmidt Hammer tests. *Construction and Building Materials*, 306 (2021) 124494.
3. Bacigalupo A., Brencich A., Gambarotta L. A simplified assessment of the dome and drum of the Basilica of S. Maria Assunta in Carignano in Genoa, *Engineering Structures*, 56 (2013) 749-765.

## Ancoraggio delle armature da Cemento Armato

Gruppo DICCA:

A. Brencich

Collaborazione con:

Kaminski T. (Techn. Univ. of Wroclaw)

Uno dei temi spesso sottovalutato nella progettazione e nel rinforzo delle strutture in Cemento Armato è l'aderenza delle armature al calcestruzzo.

Lo sviluppo della tecnologia costruttiva ha introdotto e diffuso l'impiego di barre di acciaio da rotolo (diametri fino a 16mm) che presentano, sia *ab origine* che per le fasi di lavorazione cui sono sottoposte, corrugamenti meno pronunciati di quelli delle barre trafilate commercializzate in matasse.



L'approccio normativo attuale, anche degli Eurocodici, è ancora sostanzialmente basato sui risultati sperimentali ottenuti al Politecnico di Monaco di Baviera da Leonhardt negli anni '70 e, tra i diversi parametri per il calcolo dell'ancoraggio della barra, non prevede il degrado dei corrugamenti delle barre di armatura e non distingue tra ancoraggi rettilinei ed ancoraggi con piegatura terminale.

Due sono i temi che ci si propone di studiare nel prossimo triennio sotto il profilo sperimentale:

1. Analisi e confronto dei meccanismi di collasso e della resistenza del meccanismo di aderenza in barre di acciaio da rotolo e da matassa, al variare della classe di calcestruzzo e del confinamento trasversale. Si prevede il coinvolgimento di 1-2 tesisti.
2. Analisi e confronto dei meccanismi di collasso e della resistenza degli ancoraggi rettilinei confrontati con gli ancoraggi a terminale deviato (deviazione di 45°, 90°, doppia deviazione a 90°), al variare della classe di calcestruzzo e del confinamento trasversale. Si prevede il coinvolgimento di 1-2 tesisti.

In entrambi i casi, verranno prodotti dei campioni ad hoc da sottoporre a prova nel Laboratorio Strutture del DICCA.

1. Brencich A., Nebiacolombo M., Anchorage of reinforcement bars in Hennebique structures, *Construction and Building Materials*, 265 (2020) 120184.

## Modelli continuo-molecolari per elasticità non-locale, frattura e multifisica

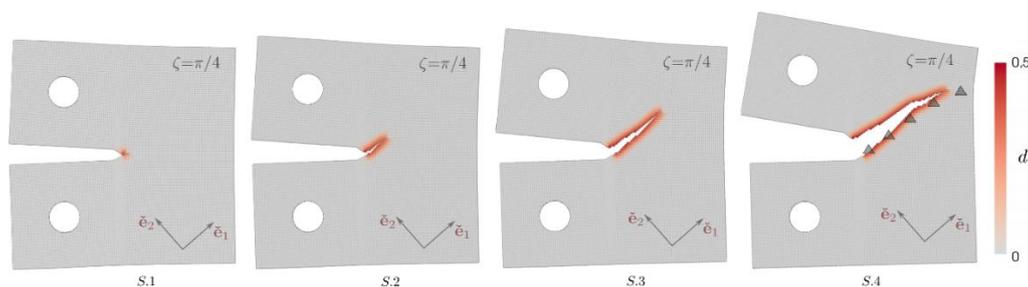
Gruppo DICCA:

V. Diana

Collaborazione con:

R. Ballarini (University of Houston, TX, US), S. Casolo, V. Carvelli (PoliMI), J. Labuz (University of Minnesota Twin Cities, MN, US)

Comprendere come i materiali standard e complessi si comportano, le loro specifiche condizioni di rottura e la loro resistenza quando deformati, è fondamentale per il loro corretto utilizzo e per la progettazione di nuovi materiali con potenziale impatto sulla produzione, sull'ingegneria dei materiali e sulle tecnologie correlate. Le basi teoriche fornite dalla meccanica del continuo classico (MCC) hanno consentito lo sviluppo di tecniche analitiche e computazionali rigorose e robuste capaci di descrivere comportamenti complessi in solidi e strutture, comprese grandi deformazioni e relazioni costitutive non lineari con dipendenza dal tempo. Tuttavia, a causa delle caratteristiche intrinseche delle sue equazioni governative, la MCC e in generale la fisica dei continui di tipo classico risulta limitata nella sua capacità di descrivere proprietà dispersive dei materiali, comportamenti non-locali e soprattutto problemi che coinvolgono discontinuità geometriche come le cricche. Modelli non-locali di tipo continuo-molecolare (CM), basati su equazioni integrali invece che differenziali alle derivate parziali negli spostamenti come in MCC, risultano essere molto efficaci per modellare fenomeni come la formazione spontanea di superfici di frattura nei solidi, meccanismi di trasporto non locale, effetti di scala in mezzi multifase, chiralità e trasferimento di calore in corpi con discontinuità in evoluzione. Il gruppo di ricerca, in collaborazione con A. Bacigalupo, M. Lepidi e L. Gambarotta del DICCA, applica le proprie competenze sul tema per (i) sviluppare analiticamente nuove formulazioni di tipo meccanicistico capaci di descrivere comportamenti complessi di materiali reali in statica e dinamica, anche accoppiando fenomeni fisici diversi; (ii) implementare le suddette formulazioni originali in codici di calcolo home-made per la risoluzione di problemi ingegneristici di elevato interesse teorico e applicativo come l'evoluzione della frattura in materiali eterogenei e anisotropi (in figura sono mostrate le fasi di evoluzione del danneggiamento in tessuto osseo corticale simulate utilizzando un modello originale sviluppato dal gruppo), la propagazione di onde elastiche in materiali microstrutturati o il comportamento piezoresistivo di nanocompositi deformabili.



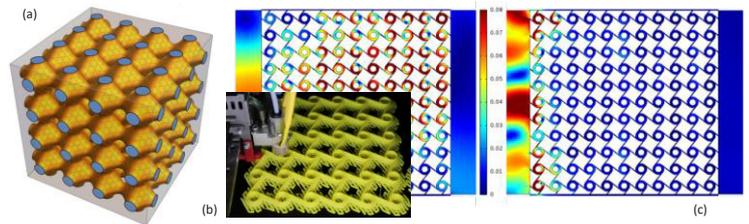
1. Diana, V., Ballarini, R., Crack kinking in isotropic and orthotropic micropolar peridynamic solids. *International Journal of Solids and Structures* 196-197 (2020) 76–98.
2. Diana, V., Carvelli, V., Continuum-molecular models for anisotropic electrically conductive materials., *International Journal of Mechanical Sciences*, 211 (2021) 106759.
3. Diana, V., Bacigalupo, A., Lepidi, M., Gambarotta, L., Anisotropic peridynamics for homogenized microstructured materials. Inviato per pubblicazione a *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* (2021).

## Ideazione, modellazione, analisi, progettazione ottima di metamateriali meccanici per applicazioni funzionali

Gruppo DICCA: M. Lepidi, A. Bacigalupo, L. Gambarotta  
Collaborazione con: F. Auricchio, S. Morganti (Univ. Pavia), W. Lacarbonara e A. Arena, (Sapienza Univ. Roma), G. Gnecco (IMT Lucca), V. Settimi (Univ. Politecnica Marche), R. Del Toro (INFN Genova)

Ricerca finanziata da: PRIN 2015, MINIERA 2019, UNMASKED 2020, GNFM-IndAM

Nell'ambito della scienza e dell'ingegneria dei materiali, il XXI secolo sta osservando la rivoluzionaria ascesa dei metamateriali. In meccanica, un metamateriale *meccanico* (o *acustico*) è un mezzo artificiale microstrutturato, ossia internamente organizzato in una microstruttura periodica o aperiodica (anche composita e/o gerarchica) di celle elementari (Fig. 1a), la cui dimensione *microscopica* caratteristica è inferiore alla lunghezza d'onda tipica dei principali fenomeni dinamici (come propagazione di onde elastiche, trasporto e dissipazione di energia) che interessano il metamateriale a livello *macroscopico*. L'inarrestabile successo dei metamateriali è alimentato dai progressi tecnologici nei settori della micro-ingegneria, del calcolo assistito, dell'apprendimento automatico e della stampa additiva (Fig. 1b). Il gruppo di ricerca del DICCA applica le proprie competenze di meccanica dei solidi e delle strutture per (i) concepire nuove microstrutture periodiche in grado di offrire prestazioni statiche e dinamiche superiori (leggerezza, resistenza, auxeticità, rifrazione, dispersione) rispetto a materiali tradizionali, (ii) formulare modelli continui e discreti, sia analitici sia computazionali, per descrivere la risposta lineare e nonlineare di metamateriali nuovi ed esistenti, (iii) definire approcci metodologici innovativi per la soluzione di problemi spettrali diretti e inversi, basati su tecniche matematiche di omogeneizzazione, trasformazione, approssimazione asintotica, (iv) sfruttare micromeccanismi diffusi di risonanza locale, amplificazione inerziale pantografica, dissipazione viscoelastica per la progettazione e ottimizzazione di metastrutture e metadispositivi dotati di funzionalità avanzate (filtraggio di vibrazioni a bassa o alta frequenza; polarizzazione e guida reciproca o non-reciproca di onde elastiche; trasporto, localizzazione e raccolta di energia meccanica; protezione sismica, invisibilità acustica di inclusioni, resistenza all'impatto balistico; silenziamento del rumore; controllo attivo e passivo, Fig. 1c) per applicazioni in numerosi ambiti dell'ingegneria (civile, meccanica, biomeccanica, aerospaziale, navale, dello sport, etc.).



1. Auricchio F., Bacigalupo A., Gambarotta L., Lepidi M., Morganti S., Vadala F. A novel layered topology of auxetic materials based on the tetrachiral honeycomb microstructure. *Materials & Design*, 179 (2019) 107883.
2. Vadalá F., Bacigalupo A., Lepidi M., Gambarotta L. Free and forced wave propagation in beam lattice metamaterials with viscoelastic resonators. *Int. J. Mechanical Sciences*, 193 (2021) 106129.
3. Bacigalupo A., Gnecco G., Lepidi M., Gambarotta L. Machine-learning techniques for the optimal design of acoustic metamaterials. *J. Optimization Theory and Applications*, 187(3) (2020) 630.

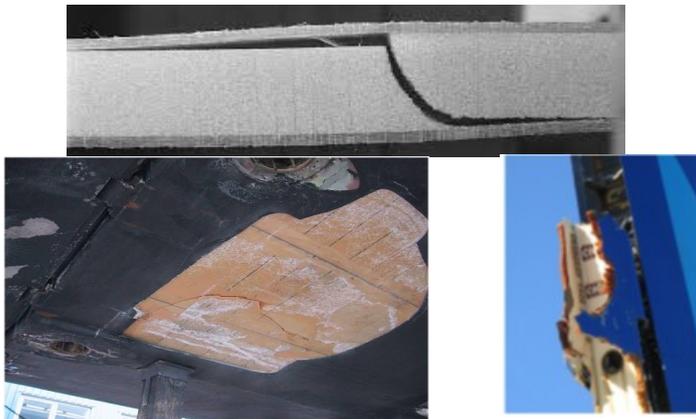
## Mitigazione del danno in compositi sandwich per strutture navali e aeronautiche soggette a condizioni estreme

Gruppo DICCA: R. Massabò, V. Vassallo  
Collaborazione con: C. Berggreen (DTU, Denmark)

Ricerca finanziata da: ONR Global e U.S. ONR, 2021-2024

Le strutture navali e aeronautiche di nuova generazione devono accogliere e superare le sfide del futuro. Lo sfruttamento e il controllo delle zone artiche, divenute accessibili in conseguenza dei cambiamenti climatici, necessitano di vascelli ed aeromobili affidabili e robusti, in grado di operare in ambienti caratterizzati da temperature estreme e in condizioni di carico estreme, quali gli impatti con lastre di ghiaccio galleggianti. Le strutture in composito sandwich offrono grandi vantaggi se ne è garantita l'integrità.

Il progetto di ricerca, partito nell'ottobre 2021, è il naturale sviluppo di progetti condotti dai due gruppi di ricerca per l'U.S. Office of Naval Research, Solid Mechanics Program, Basic Research, negli anni 2004-2020, relativi alla meccanica dei materiali compositi. Investigheremo la complessa interazione dei meccanismi di danneggiamento e frattura in compositi sandwich soggetti ad eventi dinamici e sollecitazioni di fatica in presenza di temperature estreme. Formuleremo criteri e modelli per l'analisi della propagazione dei difetti all'interfaccia e della loro deviazione e conseguente propagazione nel nucleo. Svilupperemo e testeremo un nuovo concetto di mitigazione del danno, da integrare nelle strutture sandwich, per incrementarne robustezza e tolleranza al danno nei confronti di azioni di servizio ed estreme. Il lavoro di ricerca sarà condotto mediante sperimentazione (DTU), modellazione analitica (UNIGE) e numerica (DTU/UNIGE).



La figura illustra una frattura catastrofica per distacco della faccia dal nucleo e deviazione nel nucleo (kinking) in composito sandwich (in alto). Gli effetti di questo tipo di collasso sullo scafo di una nave del Royal Danish Navy (basso sinistra) e sul timone di un airbus A310 (2005, destra).

1. Massabò, R. Upper and lower bounds for the parameters of one-dimensional theories for sandwich fracture specimens, *J. Appl. Mech.* 88 (2020) 031014 1- 11.
2. Sabbadin, P., Massabó, R., Berggreen, C. An improved analysis of a STB specimen for fracture characterization of laminates and foam-cored sandwich composites under mode III loads, *Eng. Fract. Mec.* 236 (2020) 107198.
3. Barbieri, L., Massabò, R., Berggreen, C. The effects of shear and near tip deformations on interface fracture of symmetric sandwich beams, *Eng. Fract. Mech.* 201 (2018) 298-321.

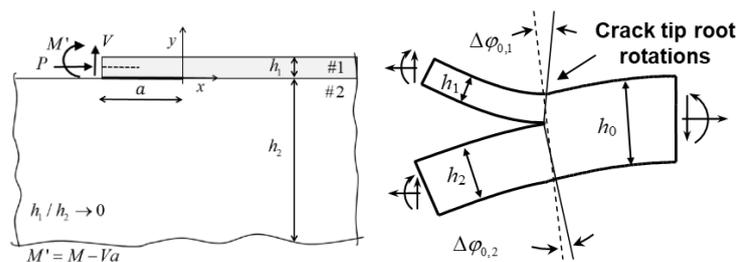
## Frattura di interfacce bimateriali

Gruppo DICCA: R. Massabò, I. Monetto  
Collaborazione con: K. Ustinov (RAS, Russia)

Ricerca finanziata da: PRIN 2017; U.S. ONR 2017

Sistemi stratificati sono utilizzati in numerose applicazioni ingegneristiche a scale diverse: nella micro-elettronica (MEMSs) e nano-ingegneria (nanobeams), nelle applicazioni strutturali dell'ingegneria eolica (pale in composito) e in quelle in ambito civile, marino, aeronautico e aerospaziale (FRP, laminati, sandwich, barriere di rivestimento termico). L'integrità dei componenti è controllata dal collasso per distacco/delaminazione degli strati, conseguente alla presenza ed evoluzione di difetti inter-laminari causati dai processi costruttivi o in servizio.

Gli studi attuali condotti dal gruppo di ricerca si concentrano sulla derivazione di soluzioni fondamentali e lo sviluppo di modelli per l'analisi della risposta meccanica dei sistemi. Usiamo la teoria dell'elasticità, la meccanica della frattura e delle interfacce, l'omogeneizzazione e la meccanica delle strutture. I problemi investigati recentemente, anche con la collaborazione di ex-dottoranti e studenti magistrali, riguardano la derivazione di soluzioni esatte per i parametri che controllano i processi di frattura e distacco in strati di materiale ortotropo con proprietà estreme, in film sottili su substrato, in sistemi multistrato con un divario estremo delle proprietà elastiche. Stiamo lavorando alla derivazione di condizioni al contorno esatte capaci di descrivere le deformazioni locali all'apice delle delaminazioni in trattazioni basate sulla meccanica delle strutture per l'analisi degli strati distaccati; alla formulazione di modelli omogeneizzati strutturali per l'analisi efficace dei sistemi e dei processi di delaminazione multipla; e alla derivazione di formule accurate di calibrazione a supporto della sperimentazione per la caratterizzazione delle proprietà a frattura.



La figura a sinistra illustra il problema del distacco di un film sottile da un semi-spazio infinito. A destra, uno strato omogeneo/bi-materiale delaminato; le rotazioni delle sezioni all'apice descrivono gli effetti delle deformazioni locali in trattazioni basate su teorie strutturali.

1. Ustinov, K., Massabò, R., Lisovenko, D. Orthotropic strip with central semi-infinite crack under arbitrary loads applied far apart from the crack tip. Analytical solution, *Eng. Failure Anal.* 110 (2020) 104410.
2. Monetto, I., Roberta Massabò, R. An analytical solution for the inverted four-point bending test in orthotropic specimens, *Eng. Fract. Mech.* 245 (2021) 107521.
3. Massabò, R., Darban, H., Mode II dominant fracture of layered composite beams and wide-plates: a homogenized structural approach, *Eng. Fract. Mech.* 213 (2019) 280-301.

## Il vetro antico e moderno e la conservazione del patrimonio storico

Gruppo DICCA: R. Massabò, I. Monetto, S. Vozzella  
Collaborazione con: G. Royer-Carfagni (Univ. Parma)

Ricerca finanziata da: Progetti sottomessi a revisione

Il vetro è materiale antico e da salvaguardare, presente ad esempio nelle finestre monumentali degli edifici storici, e materiale moderno, “green”, utilizzato nella progettazione di strutture innovative e per la protezione sostenibile, visibile/invisibile del patrimonio storico ed artistico. E' un materiale fragile, la cui risposta meccanica è controllata dalla presenza di difetti, vuoti e inclusioni che inducono collassi per propagazione subcritica o catastrofica delle fessure. La laminazione con polimeri termoelastici e/o l'accoppiamento con telai d'acciaio ne aumenta la sicurezza e capacità portante in caso di rottura, grazie all'adesione dei frammenti al polimero e all'azione di contenimento dei telai, e questo suggerisce innovative applicazioni nella conservazione del costruito storico.

Le nostre ricerche attuali riguardano il problema della propagazione subcritica e controllata dei difetti preesistenti e la conseguente riduzione nel tempo della capacità portante degli elementi (fatica statica). Utilizziamo le tecniche della meccanica della frattura e dell'analisi probabilistica per una previsione rigorosa dei coefficienti empirici riduttivi della resistenza utilizzati nei codici di progettazione; i casi studiati riguardano le vetrate soggette all'azione del vento. Stiamo lavorando inoltre al problema della nucleazione dei difetti dovuta al cambiamento di fase, con conseguente aumento di volume, delle particelle di solfuro di nichel presenti in condizioni instabili nel vetro a causa dei processi di tempera termica; è un fenomeno di frattura spontanea che induce rotture ritardate. Affrontiamo il problema mediante modellazione teorica, utilizzando approcci al discreto, basati sulla meccanica della frattura, e al continuo, mediante modellazione phase-field e tecniche variazionali.



La figura illustra una inclusione di solfuro di nichel nel vetro. Il cambiamento di fase dell'inclusione, da a a b, produce l'aumento di volume che è all'origine della frattura spontanea del vetro (destra).

1. Vozzella, S., Massabò, R., G. Royer-Carfagni, Static fatigue and probabilistic calibration of the modification coefficient  $K_{mod}$  for the strength of glass under wind-load time-histories”, submitted 11<sup>th</sup> *European Solid Mechanics Conf.*, ESMC 2022, Galway, Ireland.
2. Darban, H., Massabò, R. A homogenized structural model for shear deformable composites with compliant interlayers. *Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design*, 1 (2018) 269–290.
3. Massabò R., Monetto I., Local zigzag effects and brittle delamination fracture of n-layered beams using a structural theory with three displacement variables. *Frattura ed Integrità Strutturale*, 14 (2020) 275-287.

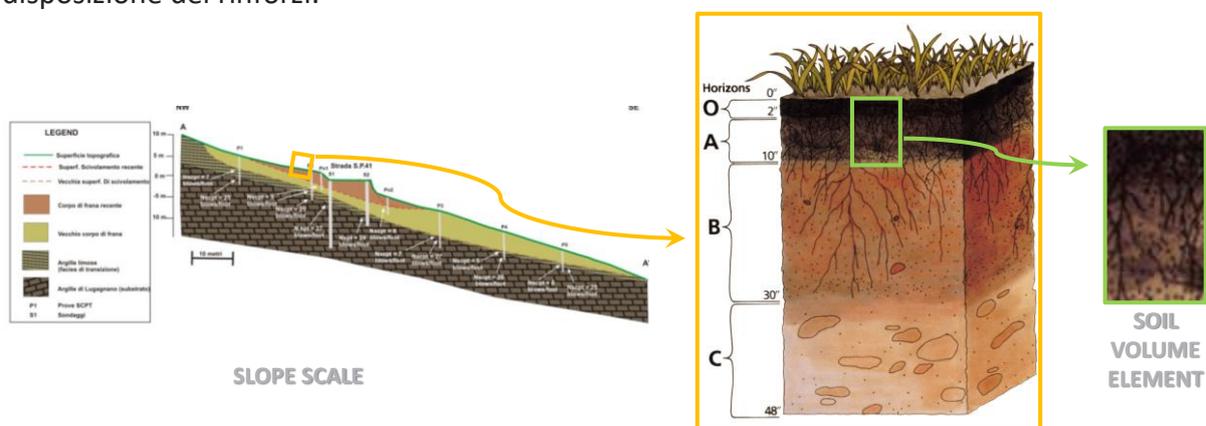
## Modellazione integrata strutturale e geotecnica

Gruppo DICCA:

I. Monetto, R. Bovolenta

Si tratta di un nuovo filone di ricerca in cui competenze teoriche, metodologie e approcci di soluzione tipici di due ambiti tanto vicini quanto diversi come l'ingegneria geotecnica e quella strutturale vengono integrati per investigare due problemi di particolare interesse applicativo.

Analisi dell'interazione terreno - rinforzo in suoli radicati: il suolo radicato, illustrato in figura e oggetto di studio dell'ingegneria naturalistica, viene modellato come un composito costituito da una matrice opportunamente rinforzata da fibre di piccola/media lunghezza (le radici) disposte in modo casuale/ordinato; si adotta quindi una descrizione basata su un approccio di tipo probabilistico per tenere conto della aleatorietà della geometria e disposizione dei rinforzi.



Analisi dell'interazione terreno - struttura in depositi multi-strato e FGM: le massicciate stradali o ferroviarie e/o i terreni naturali rinforzati mediante fibre vengono trattati come sistemi multi-strato e/o compositi la cui composizione si modifica gradualmente (situazione analoga si ha nei terreni radicati, come illustrato in figura) generando variazioni continue delle proprietà meccaniche (Functionally Graded Materials); di ciò è molto importante tenere conto nei problemi di interazione tra la struttura portata e il terreno di fondazione.

1. Bovolenta R., Mazzuoli M., Berardi R., "Soil bio-engineering techniques to protect slopes and prevent shallow landslides", *Rivista Italiana di Geotecnica*, 3 (2018) 44-65.
2. Monetto, I., Drugan, W.J. A micromechanics - based nonlocal constitutive equation for elastic composites containing aligned spheroidal heterogeneities, *J Mech Phys Solids*, 57 (2009) 1578-1595.
3. Monetto, I., Campi, F. Numerical analysis of two-layer beams with interlayer slip and step-wise linear interface law, *Engineering Structures*, 144 (2017) 201-209.

# Il modello a gradiente di funzionalità per ottimizzare le prestazioni di elementi strutturali in materiale composito

Gruppo DICCA:

R. Sburlati

Collaborazione con:

M. Kashtalyan (University of Aberdeen, UK), R. Cianci (DIME)

R. Atashipour (University of Chalmers, Sweden)

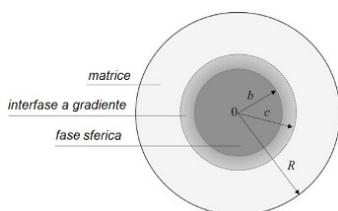
I due principali campi di ricerca sono affrontati nell'ambito della meccanica dei solidi e delle strutture e si avvalgono del modello costitutivo a gradiente di funzionalità lavorando con due diverse scale di osservazione.

- *Micro/nanoscala* (tecniche di omogeneizzazione materiali compositi)

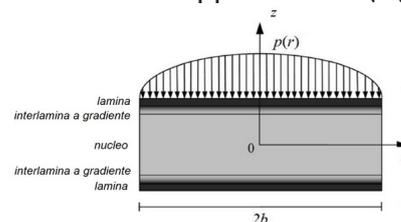
Per valutare con maggior accuratezza le proprietà elastiche di compositi realizzati con una matrice in cui sono immerse fasi di tipo sferico si introduce una zona all'interfaccia tra fase e matrice, detta *interfase*, descritta con una legge costitutiva variabile in direzione radiale (materiale eterogeneo a gradiente). Il modello introdotto è utile per due motivi: a) valutare la variazione delle proprietà meccaniche in presenza di *difetti o danni localizzati* nella zona di interfaccia fase/matrice, b) valutare l'incremento di prestazioni meccaniche se si introduce un *rivestimento delle fasi sferiche* con un materiale a gradiente (nanocompositi). L'obiettivo della ricerca è quello di fornire formule *analitiche* per la determinazione delle *proprietà elastiche e termiche* del composito con interfase a gradiente attraverso approcci di tipo energetico utilizzando la teoria dell'elasticità (Fig. a).

- *Macroscale* (risposta elastica di strutture multistrato)

Nelle strutture *sandwich* uno dei fenomeni di danno più significativo riguarda il distacco localizzato tra nucleo e lamine (*delaminazione*) dovuto alla differenza tra le proprietà elastiche dei due materiali che lo compongono (lamine e nucleo). La presenza di *strati realizzati con materiale a gradiente* consente di progettare strutture sandwich in cui i fenomeni di distacco tra le lamine si riducono. In tale ambito l'obiettivo specifico della ricerca è la determinazione di soluzioni *analitiche* per valutare la risposta, ad azioni statiche e dinamiche, di elementi strutturali multistrato in cui sono presenti strati di materiale a gradiente. Le soluzioni analitiche che si vogliono ottenere consentono di fornire informazioni utili nelle fasi di progettazione di alcune tipologie di elementi strutturali (piastre, condotte, ...) e permettono il controllo (benchmark) di soluzioni numeriche approssimate (Fig. b).



(a) modello composito con interfase a gradiente



(b) piastra sandwich con elementi a gradiente

1. Sburlati, R., Cianci, R. Shear modulus prediction of a particulate composite reinforced with hollow spheres surrounded by a graded interphase, *Compos. Struct.*, 250 (2020) 112528.
2. Sburlati, R., Kashtalyan, M. Graded Insulation to Improve High Pressure Resistance in Deepwater Flowlines: a Closed Form Analytical Elastic Solution, *New Achievements in Continuum Mechanics and Thermodynamics, Advanced Structured Materials* 108, Chapter 29 (2019) 433-446.
3. Sburlati, R., Cianci, R. and Kashtalyan, M. Hashin's bounds for elastic properties of particle-reinforced composites with graded interphase, *International Journal of Solids and Structures*, 138 (2018) 224-235.

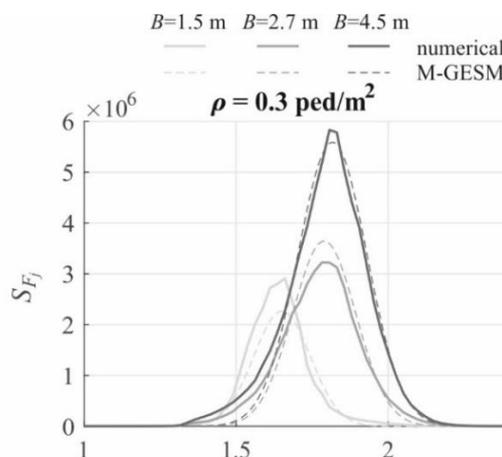
## Modello spettrale equivalente del carico pedonale

Gruppo DICCA: F. Tubino  
Collaborazione con: R. Santoro (Università di Messina), A. Sofi (Università Mediterranea di Reggio Calabria), K. Van Nimmen (KU Leuven), F. Venuti (Politecnico di Torino)

Ricerca finanziata da: Incentivo alla Progettazione Europea UNIGE

L'analisi delle vibrazioni indotte dai pedoni richiede un approccio probabilistico basato sulla distribuzione dei parametri che caratterizzano il passo umano (frequenza di passo, tempi di arrivo, velocità di passo). La risposta dinamica può essere valutata numericamente utilizzando simulazioni Monte Carlo, che possono essere onerose dal punto di vista computazionale e poco pratiche a livello progettuale. Un approccio alternativo consiste nella modellazione della forza indotta dai pedoni come un processo aleatorio stazionario equivalente. Nella sua formulazione base, il modello spettrale equivalente è stato introdotto nell'ipotesi di traffico pedonale libero e tenendo conto della sola prima armonica di carico. Le ricerche recenti hanno avuto lo scopo di estendere il modello spettrale equivalente all'analisi della risposta multi-modale dei ponti pedonali, tenendo conto anche delle armoniche superiori di carico. Inoltre, il modello spettrale equivalente è stato esteso a densità di folle elevate, sulla base di simulazioni numeriche del traffico mono-direzionale a densità crescente. Vista la significativa incertezza dei parametri strutturali e di carico, un ulteriore aspetto considerato è la propagazione delle incertezze che caratterizzano questi parametri sulla stima del livello di vibrazione dei ponti pedonali.

In figura è riportato un confronto della densità di potenza spettrale del carico modale ottenuto a partire da simulazioni numeriche del traffico pedonale e quella fornita dal modello spettrale equivalente (GESM) per tre diverse larghezze del dominio di simulazione ( $B=1.5$  m,  $B=2.7$  m,  $B=4.5$  m). Le ricerche in corso hanno l'obiettivo di fornire una caratterizzazione probabilistica affidabile del carico indotto dai pedoni in condizioni di traffico bi-direzionale, attraverso analisi numeriche e sperimentali.



1. Van Nimmen K., Van den Broeck P., Lombaert G., Tubino F. Pedestrian-induced vibrations of footbridges: an extended spectral approach, *Journal of Bridge Engineering ASCE*, 25(8) (2020) 04020058.
2. Santoro R., Sofi A., Tubino F. Serviceability assessment of footbridges via improved interval analysis, *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part B: Mechanical Engineering*, 7(2) (2021) 020906.
3. Venuti F, Tubino F (2021). Human-induced loading of footbridges due to restricted pedestrian traffic: probabilistic characterization and equivalent spectral model, *Structure and Infrastructure Engineering*, DOI: 10.1080/15732479.2021.1897630.

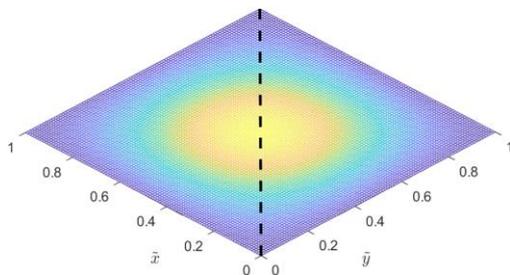
## Vibrazioni indotte dall'uomo sui solai

Gruppo DICCA: F. Tubino, E. Bayat  
Collaborazione con: Robert Bird Group (RBG)

Ricerca finanziata da: Fondo di Ricerca di Ateneo (FRA)

I solai leggeri sono molto sensibili alle vibrazioni indotte dall'uomo. Essi sono soggetti a diverse condizioni di carico. Solai ad uso ufficio o residenziale sono normalmente soggetti all'azione di una o più persone in moto, che possono essere modellate come carichi multi-armonici mobili. Nei solai destinati ad ospitare persone che assistono ad eventi sportivi o concerti, le persone occupano posizioni fissate e può assumere un ruolo significativo l'interazione uomo-struttura. Le normative correnti forniscono modelli di carico molto semplificati per l'analisi del livello di vibrazione, che spesso portano a stime non realistiche dell'accelerazione. La ricerca in corso ha l'obiettivo di fornire soluzioni analitiche per la valutazione delle vibrazioni indotte dall'uomo sui solai, a partire dall'esperienza maturata nell'analisi delle vibrazioni dei ponti pedonali.

Un primo obiettivo è fornire soluzioni analitiche per la valutazione della risposta dinamica di un solaio ideale rettangolare ad un carico armonico mobile, tenendo conto della variabilità della frequenza di passo e del percorso, definendo il percorso critico che genera la risposta dinamica massima. Considerando l'aleatorietà dei parametri in gioco, si valuterà l'affidabilità delle procedure attualmente suggerite dalle normative. Inoltre, si analizzerà la possibilità di estendere allo studio delle vibrazioni dei solai la definizione di modelli spettrali equivalenti del carico indotto da più persone, introdotti per domini mono-dimensionali.



La Figura illustra il percorso critico che genera la risposta dinamica massima per un solaio quadrato, eccitato in risonanza con il primo modo di vibrazione.

Un secondo obiettivo è l'analisi dell'interazione uomo-struttura in solai destinati ad ospitare spettatori di eventi sportivi o concerti. Con riferimento ai ponti

pedonali, il problema è stato affrontato modellando le persone come sistemi a un grado di libertà in moto. L'implementazione in modelli a elementi finiti complessi di solai comporta complicazioni che ne limitano l'uso a livello progettuale, di interesse per i partner industriali.

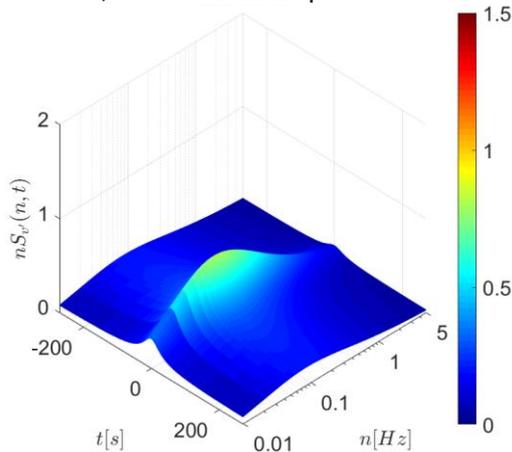
1. Tubino F., Piccardo G. Serviceability assessment of footbridges in unrestricted pedestrian traffic condition, *Structure and Infrastructure Engineering* 12(12) (2016) 1652-1662.
2. Tubino F. Probabilistic assessment of the dynamic interaction between multiple pedestrians and vertical vibrations of footbridges, *Journal of Sound and Vibration*, 417 (2018) 80-96.
3. Cubangbang, J. Crowd dynamics excitation and human-structure interaction analysis in a concert hall. Tesi di laurea magistrale, Relatori: Federica Tubino, Luca Vacca (2021).

## Modello spettrale evolutivo per i temporali e risposta dinamica delle strutture

Gruppo DICCA: F. Tubino, L. Roncallo  
Collaborazione con: G. Muscolino (Università di Messina)  
Ricerca finanziata da: ERC AdG THUNDERR (2017-2021)

La natura non stazionaria del campo di vento generato dai temporali rende non idonei i modelli utilizzati per la rappresentazione dei venti sinottici. Attualmente non è disponibile in letteratura un modello affidabile per il calcolo della risposta dinamica a questi fenomeni.

Le ricerche recenti hanno avuto l'obiettivo di introdurre modello spettrale evolutivo dei temporali per formulare un metodo di stima della risposta dinamica massima delle strutture. Il modello spettrale evolutivo è stato introdotto a partire dall'analisi statistica di 129 temporali misurati. La velocità del vento è stata modellata come la somma di una componente media lentamente variabile nel tempo, ed una componente fluttuante modellata come un processo aleatorio uniformemente modulato. Sono stati proposti due modelli analitici per la funzione modulante, che includono parametri caratteristici dell'evento temporalesco.



La figura mostra la densità di potenza spettrale evolutiva della parte fluttuante della velocità del vento, in funzione del tempo ( $t$ ) e della frequenza ( $n$ ).

Partendo dal modello evolutivo della velocità del vento, il valore medio della risposta dinamica massima è stato stimato utilizzando una tecnica di letteratura basata sull'introduzione di un processo stazionario equivalente. L'affidabilità dell'approccio è stata dimostrata dal confronto con la risposta dinamica massima ottenuta da 129 temporali reali. Le ricerche in corso hanno l'obiettivo di studiare la sensibilità della risposta dinamica massima ai parametri caratteristici del temporale, di introdurre soluzioni in forma chiusa che consentano di generalizzare ai temporali i metodi comunemente adottati per i venti sinottici, e l'estensione della formulazione all'analisi dei sistemi a più gradi di libertà.

1. Roncallo L., Solari G. An evolutionary power spectral density model of thunderstorm outflows consistent with real-scale time-history records, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 203 (2020) 104204.
2. Tubino F., Solari G. Time varying mean extraction for stationary and nonstationary winds, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 203 (2020) 104187.
3. Roncallo L., Solari G., Muscolino G., Tubino F. Maximum dynamic response of linear elastic SDOF systems based on an evolutionary spectral model for thunderstorm outflows, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, inviato per pubblicazione (2021).

## Dissesti superficiali di versante

Gruppo DICCA:

R. Bovolenta, D. Gallipoli, R. Berardi, D. Bianchi

Collaborazione con:

M. Leoni (docente a contratto ICAR07-WeSI Geotecnica).

Le frane superficiali (coinvolgenti tipicamente i primi metri di sottosuolo), principalmente causate dalle piogge, sono uno dei rischi naturali più critici poiché spesso evolvono in fenomeni caratterizzati da cinematismi altamente distruttivi. Inoltre, sono frequentemente associate a danni su manufatti anche gravi, e disservizi per infrastrutture interagenti con i versanti coinvolti. Infine, sono spesso non prevedibili, poiché la frana si innesca senza evidenti segnali precursori del dissesto. In superficie il suolo è caratterizzato da condizioni di parziale saturazione e dalla presenza di vegetazione. Entrambi svolgono un ruolo chiave da un punto di vista meccanico e idrologico: la resistenza del terreno tende infatti a diminuire passando da condizioni parzialmente sature a sature, mentre la vegetazione superficiale è estremamente efficace nella protezione e nel rinforzo superficiale di un versante; è quindi spesso invocata come potenziale misura preventiva e correttiva per la stabilizzazione dei pendii.

Approcci opportuni sono in corso per consentire di tenere in debita considerazione le condizioni di parziale saturazione del terreno e il processo di infiltrazione delle acque meteoriche nella modellazione di un versante. Inoltre, si è approfondita l'analisi del contributo stabilizzante offerto dalla vegetazione ad un pendio e si intende ulteriormente sviluppare tale ricerca considerando non solo l'effetto meccanico, ma anche quello idrologico, avvalendosi anche di opportuna sperimentazione in campo. Le suddette tematiche di ricerca potranno contribuire a chiarire i processi che avvengono superficialmente nei pendii, consentendo una migliore analisi e modellazione della stabilità degli stessi, nell'ottica di sviluppare azioni tese a migliorare la resilienza dei territori al rischio frana mediante interventi sostenibili.



Esempi di frane superficiali

1. Le T.M.H., Gallipoli D., Sánchez M., Wheeler S. Stability and failure mass of unsaturated heterogeneous slopes. *Canadian Geotechnical J.* 52(11) (2015) 1747–1761.
2. Mazzuoli M., Bovolenta R., Berardi R. Experimental investigation on the mechanical contribution of roots to the shear resistance of a sandy soil. *Procedia Engineering* 158, (2016) 45-50.
3. Bovolenta R., Mazzuoli M., Berardi R. Soil bio-engineering techniques to protect slopes and prevent shallow landslides. *Rivista Italiana di Geotecnica*, 3 (2018) 44-65.

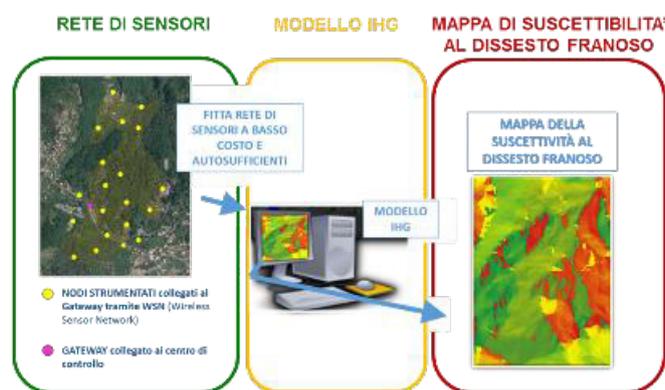
## Monitoraggio, analisi e previsione di frane pluvio-indotte

Gruppo DICCA: R. Bovolenta, B. Federici, R. Passalacqua, D. Sguerso, S. Viaggio, A. Iacopino, I. Parvez

Collaborazione con: Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM); Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS).

Ricerca finanziata da: INTERREG ALCOTRA (concluso nel dicembre 2020).

Il gruppo di ricerca ha sviluppato il sistema innovativo LAMP (LANDslides Monitoring and Predicting), che consente l'analisi 3D e la previsione di frane innescate da piogge. LAMP è basato su un modello (IHG), che integra modellazione idrologica e geotecnica, ed è alimentato, anche in tempo reale, da una rete di monitoraggio a basso costo, autosufficiente, gestibile da remoto e, se necessario, facilmente rilocabile, consentendo di monitorare ampie porzioni di territorio. Sono impiegati sensori di temperatura e contenuto d'acqua nel suolo, oltre ai dati di pioggia osservati da pluviometri o radar meteorologici. La rete di monitoraggio può essere dotata anche di ricevitori GNSS (eventualmente a basso costo) per la misura degli spostamenti di versante. I prodotti finali del modello sono mappe di suscettibilità al dissesto franoso in occorrenza di precipitazioni misurate e/o attese nel breve termine. Il sistema LAMP può essere adottato sia per l'analisi in tempo reale sia per la previsione delle aree di frane pluvio-indotte. LAMP permette quindi di passare dai tradizionali metodi di controllo di tipo geotecnico solitamente eseguiti mediante tecniche profonde, piuttosto onerose ed invasive, ad un sistema superficiale, sinergico tra differenti tecniche e modelli innovativi utili per una operazione che si può definire di "nowcasting idrogeologico". LAMP può essere di supporto alla gestione e al presidio del territorio e delle sue strutture e infrastrutture. Nell'ambito del progetto INTERREG – ALCOTRA, denominato AD-VITAM, cinque siti (quattro in Italia e uno in Francia), tra il 2019 e il 2021, sono stati dotati delle reti di monitoraggio del sistema LAMP di figura. Per un monitoraggio affidabile, diffuso, continuo e sostenibile, la ricerca si sta concentrando su: analisi di affidabilità dei sensori e calibrazione mediante opportuna sperimentazione in laboratorio e in situ; affinamento del modello IHG e della sua calibrazione; implementazione di una nuova procedura capace di integrare dati satellitari con sensori distribuiti a terra; sviluppo del sistema mediante automatizzazione del flusso dati.



1. Federici B.; Bovolenta R.; Passalacqua R. From rainfall to slope instability: an automatic GIS procedure for susceptibility analyses over wide areas. *Geomatics, Natural Hazards & Risk* 6(5-6) (2015) 454-472.
2. Bovolenta R.; Federici B.; Berardi R.; Passalacqua R.; Marzocchi R.; Sguerso, D. (2017). Geomatics in support of geotechnics in landslide forecasting, analysis and slope stabilization. *Geingegneria Ambientale e Mineraria*, 151(2) (2017) 57-62.
3. Bovolenta R.; Iacopino A.; Passalacqua R.; Federici B. (2020). Field measurements of soil water content at shallow depths for landslide monitoring. *Geosciences*, 10(10) (2020) 1-26.

## Metodi di stabilizzazione sostenibile per il miglioramento del comportamento meccanico e della durabilità dei terreni

Gruppo DICCA: A. W Bruno, D. Gallipoli  
Collaborazione con: C. Perlot (Université de Pau et des Pays de l'Adour, France)  
Ricerca finanziata da: ACBA 2016-2018,  
Newcastle University (start-up funding) 2019-2021

Le costruzioni in terra (rilevati stradali, argini fluviali) costituiscono una parte significativa delle reti infrastrutturali di trasporto o protezione del territorio dal rischio idrogeologico. Frequentemente, i terreni impiegati per la realizzazione di tali costruzioni presentano caratteristiche meccaniche e di durabilità scadenti e non adeguate al funzionamento delle infrastrutture. Tali limiti riguardano, ad esempio, il rigonfiamento dei terreni in seguito all'infiltrazione di acqua piovana o scarsa resistenza ad azioni erosive che possono minare alla funzionalità e alla stabilità delle costruzioni. Per ovviare a tali limiti, si ricorre comunemente a metodi di stabilizzazione basati sull'impiego di leganti cementizi che impattano notevolmente sull'ambiente con consumo di materie prime ed energia, emissioni di diossido di carbonio, etc.

Le attività di ricerca del gruppo sono quindi dirette alla sostituzione di metodi di stabilizzazione ad alta intensità energetica con metodi più sostenibili. I metodi di stabilizzazione sviluppati hanno riguardato: a) geo-polimerizzazione dei terreni tramite impiego di attivatori alcalini impiegati a basse concentrazioni; b) la precipitazione di carbonato di calcio con proprietà leganti per effetto di attività catalitica di enzimi ureasi estratti da materiali di origine vegetale; c) bio-polimerizzazione dei terreni tramite aggiunta di gomme leganti (e.g. gomma di guar, gomma xantana) impiegate comunemente nell'industria alimentare. I risultati ottenuti mostrano un significativo miglioramento delle proprietà meccaniche di rigidità e resistenza al taglio nonché di resistenza all'azione erosiva dell'acqua. Le attività di ricerca future mireranno allo sviluppo di nuovi metodi di stabilizzazione con leganti naturali e allo studio quantitativo degli impatti ambientali dei metodi proposti tramite analisi del ciclo di vita.

1. A. W. Bruno, B. Scott, Y. D'Offay-Mancienne, C. Perlot. Recyclability, durability and water vapour adsorption of unstabilised and stabilised compressed earth bricks. *Materials and Structures*, Springer, 53 (2020) 149.
2. S. Muguda-Viswanath, G. Lucas, P. N. Hughes, C. E. Augarde, C. Perlot, A.W. Bruno, D. Gallipoli, Durability and hygroscopic behaviour of biopolymer stabilised earthen construction materials. *Construction and Building Materials*, 259 (2020) 119725.
3. A. Cuccurullo, D. Gallipoli, A. W. Bruno, C. Augarde, P. Hughes, C. La Borderie. Earth stabilisation via carbonate precipitation by plant-derived urease for building applications. *Geomechanics for Energy and the Environment*, (2020) 100230.

## Progettazione ottimizzata di pali termici per lo sfruttamento dell'energia geotermica superficiale

Gruppo DICCA: A. W Bruno  
Collaborazione con: D. Taborda (Imperial College London, UK)  
A. Najdi (UP Catalunya, Spain – Newcastle University UK)  
B. Balzano (Cardiff University, UK)

Ricerca finanziata da: Newcastle University (start-up funding) 2019-2021

Lo sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili rappresenta una delle più grandi sfide dei nostri giorni. In tale contesto, il pieno uso dell'energia geotermica superficiale per il condizionamento degli ambienti interni degli edifici e il riscaldamento dell'acqua, potrebbe segnare la svolta nel processo di decarbonizzazione del settore residenziale. L'uso dell'energia geotermica superficiale avviene tramite elementi strutturali (pali di fondazione, muri di sostegno) che vengono equipaggiati con tubi termici all'interno dei quali un fluido viene messo in circolazione da una pompa al fine di scambiare calore con il terreno circostante. Tradizionalmente, la comunità scientifica ha sviluppato metodi di ottimizzazione dello sfruttamento dell'energia geotermica superficiale basati sull'aumento della conduttività termica dei materiali costituenti le strutture termo-attive (i.e. fluido di circolazione, tubi termici, materiale costituente i pali o muri di sostegno). Al contrario, le tecniche di progettazione e costruzione delle strutture termo-attive si basano ancora su principi e metodi tradizionali. Per ovviare a tale limite, le attività di ricerca sviluppate al DICCA mirano ad impiegare moderni metodi di ottimizzazione quali analisi multi-parametriche che ottimizzano le forme e le dimensioni delle strutture termo-attive per massimizzare l'efficienza energetica e migliorare il comportamento meccanico. Tale progettazione ottimizzata sfrutta poi, in fase di costruzione, tecniche moderne come la stampa 3D delle strutture termo-attive attraverso cui si raggiunge una notevole flessibilità esecutiva.

Le attività di ricerca sviluppate su tale tematica hanno riguardato la simulazione numerica agli elementi finiti di pali di fondazione ottimizzati tramite il software di calcolo Code Bright. I risultati mostrano come una progettazione ottimizzata possa aumentare la performance energetica dei pali di circa il 3% rispetto a pali termici tradizionali. Tale risultato preliminare sarà ulteriormente migliorato da attività di ricerca future che mireranno ad una progettazione delle strutture termo-attive ottimizzata in modo sistematico e alla validazione sperimentale dei modelli proposti.

1. A. W. Bruno, D. Alamoudi. A simple thermal conductivity model for unsaturated geomaterials accounting for degree of saturation and dry density. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 6 (2020) 46.
2. A. W. Bruno, A. Najdi, B. Balzano, L. R. Slater. An empirical thermal conductivity model to assess the thermal performance of an optimized energy pile. Inviata per pubblicazione a *Geomechanics for Energy and the Environment* (2021)

## Modellazione costitutiva di materiali porosi multifase

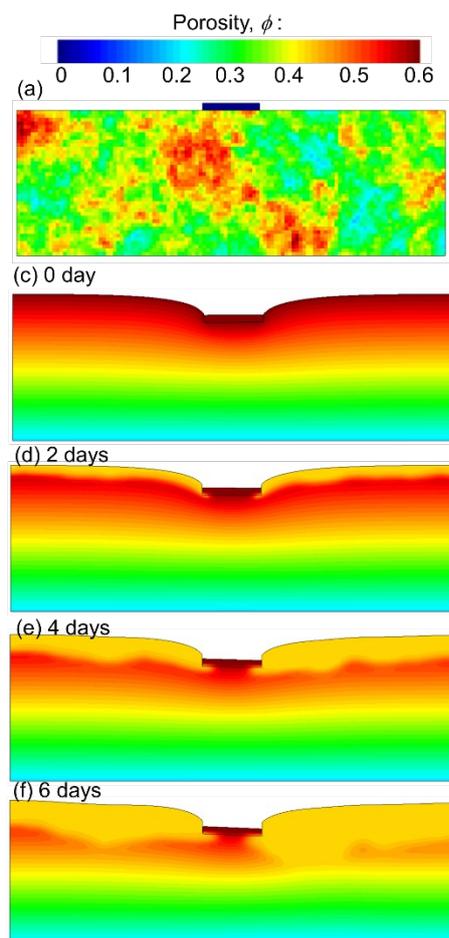
Gruppo DICCA:

D. Gallipoli, A.W. Bruno, R. Bovolenta

Collaborazione con:

S. Wheeler (University of Glasgow, UK), D. Toll (University of Durham, UK), V. Navarro (Universidad de Castilla La Mancha, ES) e M. Biglari (Razi University, Iran)

I modelli costitutivi descrivono matematicamente il comportamento di un materiale sotto carico. Tipicamente, essi mettono in relazione le sollecitazioni applicate al materiale con le deformazioni che ne derivano. La più semplice di queste relazioni è la legge elastica di Hooke secondo cui sollecitazioni e deformazioni sono linearmente correlate. Nel caso dei terreni, i modelli costitutivi possono essere particolarmente complessi in quanto il materiale contiene al suo interno tutte e tre le fasi: la fase solida dei grani, la fase liquida dell'acqua interstiziale e la fase gassosa dell'aria interstiziale. Insieme a modelli meccanici, che legano sollecitazioni e deformazioni, occorre quindi anche definire dei modelli di ritenzione idrica che legano le variazioni di contenuto d'acqua e pressioni interstiziali. I modelli meccanici e quelli di ritenzione idrica non possono essere tra loro indipendenti ma devono essere "accoppiati" in quanto le deformazioni influenzano il contenuto d'acqua e viceversa le variazioni di contenuto d'acqua influenzano le deformazioni. Un'ulteriore complicazione è dovuta al fatto che il comportamento idro-meccanico non obbedisce ad una legge elastica, nemmeno a piccole deformazioni ed è pertanto necessario ricorrere a leggi elasto-plastiche che tengano in conto la possibilità di deformazioni e/o cambiamenti di contenuto d'acqua irreversibili.



Il gruppo di ricerca geotecnico ha da anni avviato un'ampia attività di ricerca nel campo della modellazione costitutiva dei terreni utilizzando una pluralità di approcci dall'elasto-plasticità classica alla plasticità ad incrudimento progressivo. Tali modelli hanno trovato una molteplicità di applicazioni dalla simulazione dei fenomeni di innesco frana dovuti all'infiltrazione di acque meteoriche alla simulazione dei cedimenti differenziali di fondazioni superficiali su terreni con proprietà spazialmente eterogenee (in figura).

1. D. Gallipoli, A. Gens, R. Sharma, J. Vaunat. An elasto-plastic model for unsaturated soil including the effect of saturation degree on mechanical behaviour. *Géotechnique*, 53(1) (2003) 123-135.
2. D. Gallipoli, A.W. Bruno. A bounding surface compression model with a unified virgin line for saturated and unsaturated soils. *Géotechnique*, 67(8) (2017) 703-712.
3. D. Gallipoli, A.W. Bruno, F. D'Onza, C. Mancuso. A bounding surface hysteretic water retention model for deformable soils. *Géotechnique*, 65(10) (2015) 793-804

## Materiali costruttivi in terra cruda ad alta inerzia igrotermica

Gruppo DICCA:

D. Gallipoli, A.W. Bruno

Collaborazione con:

A. Fabbri (École nationale des travaux publics de l'État, F), C. Augarde (University of Durham, UK), Céline Perlot (Université de Pau et des Pays de l'Adour, F)

La tecnica costruttiva della “terra cruda” (nota come “rammed earth”, “terre crue” o “pisé de terre”) è stata utilizzata per l’edilizia residenziale in vari periodi storici e in diverse regioni del mondo. Costruzioni, comprendenti abitazioni rurali, strutture multipiano fino ad imponenti cittadelle militari, si trovano in Francia, Italia, Spagna, Portogallo, nella regione del Maghreb, in America Latina ed in Cina. Le recenti politiche di edilizia sostenibile, favorevoli all’utilizzo di risorse naturali ad alta efficienza energetica, hanno riacceso l’interesse per questa tecnica costruttiva, anche alla luce dei mezzi tecnologici oggi disponibili. La terra cruda presenta bassi livelli di energia incorporata, energia operativa e energia di fin di vita, il che riduce lo sfruttamento delle risorse naturali non solo durante la costruzione ma anche durante il funzionamento e la demolizione degli edifici. Inoltre, contrariamente all’opinione comune, la terra cruda, se manufatta correttamente, presenta un’alta resistenza, un’elevata rigidità ed ottimi livelli di durabilità. Il gruppo geotecnico ha sviluppato una innovativa



tecnica di costruzione in muratura mediante mattoni di terra cruda lavorata a pressioni molto elevate per migliorarne le caratteristiche meccaniche. Con riferimento al risparmio di energia operativa, esperimenti di laboratorio hanno evidenziato la grande inerzia igro-termica della terra cruda, che può immagazzinare o liberare grandi quantità di umidità e calore mediante scambi con l’atmosfera circostante. Ciò ha il vantaggio di attenuare le oscillazioni di umidità relativa e temperatura all’interno delle abitazioni mantenendo delle condizioni ambientali ottimali. Tali misure di laboratorio trovano riscontro in testimonianze raccolte dagli occupanti di edifici in terra cruda, che hanno indicato alti livelli di comfort abitativo in assenza di impianti di condizionamento. Tuttavia, per giustificare futuri investimenti in questa pratica costruttiva, occorrono studi che si fondino su un programma di monitoraggio degli ambienti interni di edifici reali, in aggiunta ad analisi di laboratorio a piccola scala. È in questa area che si concentreranno le future attività del gruppo geotecnico traendo anche vantaggio da collaborazioni esterne con istituti di ricerca che dispongono delle necessarie infrastrutture sperimentali (vedi figura).

1. P.A. Jaquin, C.E. Augarde, D. Gallipoli, D.G. Toll. The strength of unstabilised rammed earth materials. *Géotechnique*, 59(5) (2009) 487- 490.
2. A.W. Bruno, D. Gallipoli, C. Perlot, J. Mendes. Mechanical behaviour of hypercompacted earth for building construction. *Materials and Structures*, 50 (2017) 160.

## MATER: Materiali Alternativi in Terra per l'Edilizia Residenziale

Gruppo DICCA: L.M Lalicata, D. Gallipoli  
Collaborazione con: Materrup (Saint-Geours-de-Maremne, Fr)

Ricerca finanziata da: PON 2021

La terra cruda (*rammed earth*) rappresenta un'allettante alternativa ai classici materiali da costruzione (muratura, acciaio e calcestruzzo) grazie alla sua ridotta impronta ambientale valutata nell'intero ciclo di vita dell'opera [1]. I setti in terra cruda vengono preparati compattando diversi strati di terreno umido alla densità ottimale all'interno di cassaforme direttamente in cantiere. Rimossa la cassaforma, il materiale incrementa nel tempo sia la rigidità che la resistenza in seguito alla progressiva evaporazione dell'acqua di porosità e quindi all'aumento della suzione. In aggiunta alla ridotta quantità di energia necessaria a creare l'opera, le costruzioni in terra cruda, in quanto porose, presentano delle ottime proprietà igro-termiche che garantiscono un elevato livello di comfort per gli abitanti oltre che una riduzione delle spese di riscaldamento e raffreddamento dell'edificio durante la vita utile dell'opera [2]. Nelle regioni aride o semi aride, le opere in terra cruda presentano una buona resistenza agli agenti atmosferici, come testimoniato anche dai numerosi reperti archeologici. Nelle zone temperate invece, la loro durabilità può essere compromessa dalla pioggia e dall'umidità relativa dell'ambiente esterno. Ad oggi, la valutazione della durabilità della terra cruda è ancora oggetto di discussione nella comunità scientifica data l'assenza degli standard sperimentali per valutarla e la difficoltà di condurre sperimentazioni in vera grandezza. Da un punto di vista computazionale, nonostante le leggi matematiche che governano il flusso di calore, temperatura e umidità relativa siano note, sembrano mancare dei codici di calcolo sufficientemente accurati, ma anche adeguatamente semplici, in grado di descrivere in modo soddisfacente l'impatto che le condizioni ambientali al contorno hanno sul comportamento dell'opera. Scopo del presente progetto è contribuire a colmare parte delle lacune introdotte in precedenza con l'obiettivo di superare alcuni degli ostacoli che attualmente limitano la diffusione della tecnica costruttiva della terra cruda nella pratica corrente. Il progetto si propone di studiare, principalmente mediante analisi computazionali e numeriche, l'accoppiamento termo-idro-meccanico (THM) della terra cruda con particolare attenzione agli effetti indotti da una variazione delle condizioni ambientali al contorno sulla relazione tensione-deformazione del materiale. Le simulazioni saranno condotte sia alla scala del singolo elemento di volume che alla scala del problema al finito studiando la risposta di uno o più setti murari in presenza di diverse combinazioni di carichi meccanici, termici e igrometrici costanti e/o variabili nel tempo. Infine, la collaborazione con l'azienda Materrup consentirà di allargare il campione sperimentale, di validare e verificare la bontà dei modelli numerico-matematici ed esplorare nuovi possibili scenari applicativi.

1. Gallipoli D., Bruno A.W., Perlot C., Mendes J. A geotechnical perspective of raw earth building. *Acta Geotechnica* 12(3) (2017) 463–478.
2. Bruno A.W., Gallipoli G., Perlot G., Mendes J. Mechanical behaviour of hypercompacted earth for building construction, *Mater. Struct.* 50 (2017) 1.

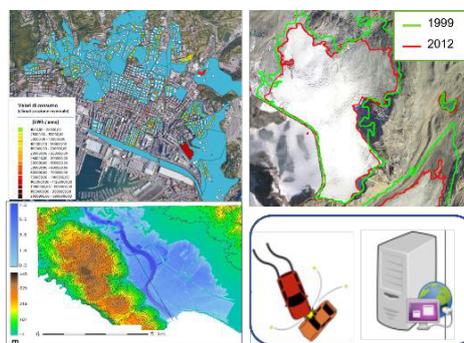
## Strumenti di analisi geospaziali

Gruppo DICCA: B. Federici, I. Ferrando, D. Sguerso  
Collaborazione con: G. Besio, M. Bolla Pittaluga, R. Bovolenta (DICCA), P. Povero (DISTAV), G. Delzanno (DIBRIS), P. Zatelli (Università di Trento), M. Cannata (Istituto Scienze della Terra - Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana SUPSI)

Ricerca finanziata da: ASI per il progetto NARVALO

Il gruppo di ricerca utilizza strumenti GIS e GeoDB per la gestione e l'analisi di dati geospaziali, anche in tempo reale, a supporto di diversi ambiti applicativi, dalla pianificazione al monitoraggio alla modellazione dell'ambiente naturale e antropico, sia terrestre che marino.

Ha sviluppato tools innovativi e procedure automatizzate dedicati all'analisi di diversi fenomeni naturali o situazioni di rischio, quali per la valutazione di aree potenzialmente allagabili a seguito di un'onda di piena fluviale o di tsunami, per l'analisi dell'accessibilità territoriale in ambiente impervio per la ricerca dispersi, per la pianificazione della visibilità satellitare GNSS tenendo conto delle reali ostruzioni al segnale date dalla morfologia del terreno o del costruito, per la ricostruzione della batimetria e la classificazione del fondale da immagini aeree RGB, per l'analisi e la previsione delle frane innescate dalle precipitazioni (LAMP – vedi altra scheda), per la localizzazione spazio-temporale delle precipitazioni meteorologiche intense su area vasta e orograficamente complessa (G4M – vedi altra scheda). Ha implementato un sistema di allerta anti-collisione di mezzi e/o personale all'interno di aree interportuali, mediante gestione in GeoDB di posizioni rilevati mediante ricevitori GNSS e IMU e analisi predittiva delle traiettorie in GIS (NARVALO), ed un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) per l'individuazione delle aree più idonee all'installazione di impianti di itticoltura offshore. Infine, sta recentemente sperimentando l'utilizzo di immagini satellitari ottiche multispettrali per l'analisi dello scioglimento sia dell'Antartide che dei ghiacciai Alpini, della torbidità in mare e del contenuto di umidità nel suolo.



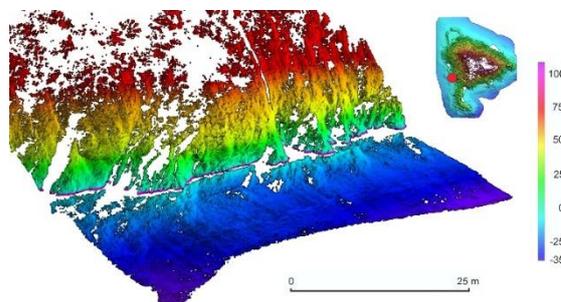
1. Marzocchi R., Leotta M., Federici B., Delzanno G. The NARVALO project: Real time collision avoidance system in a GIS environment based on precise GNSS positioning, *Geoingegneria Ambientale e Mineraria*, 151 (2017) pp.33-38.
2. Marzocchi R., Federici B., Cannata M., Cosso T., Syriou A. Comparison of one-dimensional and two-dimensional GRASS GIS models for flood mapping, *Applied Geomatics*, 6(4) (2014) 245-254.
3. Federici B., Giacomelli D., Sguerso D., Vitti A., Zatelli P. A Web Processing Service for GNSS realistic planning, *Applied Geomatics*, 5 (2013) 45-57.

## Rilevamento e monitoraggio in ambito marino e costiero

Gruppo DICCA: B. Federici, I. Ferrando, S. Gagliolo, A.A. Karaki, D. Sguerso  
Collaborazione con: M. Caccia (CNR-INM - Centro Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ingegneria del Mare, Genova), N. Corradi, P. Brandolini, M. Montefalcone (DiSTAV), IIM - Istituto Idrografico della Marina

Nell'ambito dei rilevamenti in ambiente marino e costiero, il Laboratorio di Geomatica ha acquisito esperienza d'integrazione di differenti tecniche (laser scanner, fotogrammetria close-range e aerea da drone, Single/Multi Beam Echo Sounder) per il rilevamento tanto della porzione emersa quanto di quella immersa, dedicando particolare attenzione alla continuità del rilevamento. Nell'elaborazione dei dati si è posta particolare attenzione alla verifica della qualità e della coerenza dei dati ottenuti tramite l'impiego di software free e open-source. L'approccio geomatico nel rilevamento integrato è stato finora applicato ad analisi geomorfologiche (Isola Gallinara ad Albenga, Porto Sole a Sanremo) e al monitoraggio della salute dei coralli (Maldives).

Inoltre, si è sperimentata una metodologia per la classificazione del fondale e la generazione di superfici batimetriche in aree costiere fino ai 10 m di profondità a partire da immagini aeree RGB.



Nell'ambito del corso di dottorato in Maritime Sciences and Technologies è in corso di studio la definizione e implementazione di un approccio interdisciplinare di integrazione di rilevamenti aerei da drone e sottomarini, al fine di proporre linee guida per il rilevamento integrato automatico a servizio del settore nautico, che tengano in considerazione i costi, la sicurezza della navigazione e tutti gli aspetti legislativi legati alle operazioni in porto.

Inoltre, poiché a livello internazionale emerge la necessità di individuare procedure in grado di monitorare le variazioni del livello del mare nel tempo, in collaborazione con l'IIM si intende integrare misure effettuate da mareometri con quelle GNSS che ne permettono l'inquadramento in un sistema di riferimento globale. Il monitoraggio GNSS permetterà di tenere in conto di eventuali movimenti geodinamici, che altererebbero le valutazioni altimetriche ottenute mediante sola strumentazione mareometrica. Il monitoraggio del cambiamento del livello del mare potrà portare a un miglioramento sia della sicurezza della navigazione sia della resilienza del territorio costiero.

1. Sguerso D., Azzola A., Bianchi C.N., Federici B., Gagliolo S., Morri C., Montefalcone M. 3D photogrammetric surveys on coral reefs in the Maldives. Proceeding of 2019 IMEKO TC-19 International Workshop on Metrology for the Sea, Genoa, Italy, October 3-5, 2019, 292-297.
2. Federici B., Corradi N., Ferrando I., Sguerso D., Lucarelli A., Guida S., Brandolini P. (2019). Remote sensing techniques applied to geomorphological mapping of rocky coast: the case study of Gallinara Island (Western Liguria, Italy). *European Journal of Remote Sensing*, 52(sup4) (2019) 123-136.
3. Betti B., Demarte M., Federici B., Pierozzi M., Sinapi L. e Sguerso D. Mareometria e GNSS, Convegno Cartografia e Crescita Blu, Genova 10-12 maggio 2017, 1-6.

## Monitoraggio geomatico di ponti

Gruppo DICCA: I. Ferrando, B. Federici, S. Gagliolo, D. Sguerso, A. Brencich  
 Collaborazione con: A. Giussani (Politecnico di Milano, Lecco)

Ricerca finanziata da: Città Metropolitana di Genova, Mise - 5G SMART Genova

Il monitoraggio geomatico di strutture ed infrastrutture consiste nel rilevamento periodico di punti di riferimento o superfici, per la valutazione di parametri geometrici, individuati di comune accordo con specialisti nell'ingegneria delle strutture. Le tecniche di rilevamento impiegate per effettuare il monitoraggio di un ponte includono la livellazione geometrica, la stazione totale, il GNSS, la fotogrammetria ed il laser scanner. Durante il monitoraggio devono essere sempre previsti elementi stabili nel tempo quale "riferimento", e inoltre le diverse situazioni al contorno nelle varie epoche di misura devono essere chiaramente confrontabili o tra loro riconducibili, in modo da ottenere un quadro completo delle variazioni dei parametri geometrici oggetto di monitoraggio eventualmente intercorse nel periodo di analisi. Particolare attenzione è posta alla valutazione degli effetti termici indotti durante le fasi di monitoraggio dalle variazioni dell'irraggiamento solare su strutture metalliche (eventualmente con materiali compositi), ed alla calibrazione della strumentazione in campo prova a norma ISO 17123. Inoltre, nell'ambito del progetto 5G SMART Genova è in fase di impianto il monitoraggio di infrastrutture a medio-alta frequenza (10 Hz – 100 Hz) mediante sistema GPS/GNSS integrato con misure accelerometriche. Nella tabella che segue sono elencano alcuni casi studio affrontati a vario titolo dal Laboratorio di Geomatica.

Nome	Località, Anno	Tipologia costruttiva	Obiettivo
Ponte Paleggiati SP 9 Crocefieschi	Busalla, 2021	cls armato precompresso	risposta in frequenza con tecniche GNSS e accelerometriche integrate (in fase di impianto)
Ponte Morandi	Genova, 2018	strallata (acciaio + cls)	rilevamento strutturale post-crollo mediante tecniche integrate
Ponte loc. Lago	Sori, 2017	muratura	rilevamento strutturale e stato fessurativo mediante fotogrammetria integrata con laser scanner
Modello in scala	Genova, 2017	arco a conci	confronto laser scanner vs comparatori in laboratorio
Ponte Settembrin	Carasco, 2015	acciaio	collaudo statico con livellazione geometrica di elevata precisione
Ponte SP 225 Val Fontanabuona	Carasco, 2014	acciaio	collaudo statico con livellazione geometrica di elevata precisione
Ponte SP 226 Valle Scrvia	Avosso, 2010	appoggio su piloni (acciaio + cls)	collaudo statico con livellazione geometrica di elevata precisione
Ponte ferroviario del Campasso	Genova, 2003	acciaio	riclassificazione del ponte in categoria D4 mediante livellazione geometrica di elevata precisione

1. Pera, D., Ferrando, I. An integrated monitoring system through 3D laser scanner and traditional instruments for load test on arch bridge, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-5/W1 (2017) 321–328.
2. Federici B., Ferrando I., Sguerso D., Belfiore S. & Bellina P. (2015). Monitoraggio altimetrico di elevata precisione di ponte in acciaio, *Atti della 19° Conferenza Nazionale ASITA* (2015) 867-868.
3. Crovetto F., Piccardo C., Federici B., Sguerso D., Cosso T., Marzocchi R. Campo prova topografico a norma ISO 17123 a Genova, 17° Convegno Nazionale ASITA, Riva del Garda, 5-7 novembre, (2013) 503-510.



## Rilevamento geomatico in condizioni di emergenza

Gruppo DICCA: D. Sguerso, B. Federici, I. Ferrando, S. Gagliolo  
Collaborazione con: L. Pinto (Politecnico di Milano), S. Podestà,  
Ministero della Cultura (MiBACT), Gter srl spin off di Unige

Gli scenari di emergenza dovuti a catastrofi naturali e/o a situazioni a rischio crolli di opere antropiche richiedono interventi da svolgersi in sicurezza ma in condizioni di estrema urgenza. In tale scenario, il rilevamento metricamente affidabile offerto dalle competenze geomatiche consente di gestire al meglio le operazioni propedeutiche al restauro e consolidamento delle strutture mediante la realizzazione di un accurato modello 3D; inoltre, rappresenta un prezioso contributo come valore testimoniale ed uno strumento per la gestione dell'intera emergenza, ad esempio nel computo delle macerie da movimentare. La tecnica che si presta maggiormente a rispettare i requisiti di sicurezza per l'operatore è senz'altro la fotogrammetria da UAV (Uncrewed Aerial Vehicle), che gli permette di condurre la missione a debita distanza dall'area a rischio, senza dover per questo rinunciare alla qualità finale del dato acquisito. Una fase necessaria che ancora oggi richiede la presenza in situ è, tuttavia, la realizzazione del cosiddetto rilievo di appoggio, mediante strumenti tradizionali o GNSS, utile per acquisire punti di controllo adeguatamente distribuiti necessari per scalare e geo-riferire il modello fotogrammetrico 3D risultante. Un'altra problematica che si riscontra nella realizzazione di un rilievo fotogrammetrico, specialmente nelle condizioni di emergenza prospettate, è legata alla necessità di lunghi tempi di post-processamento dei dati, che si possono protrarre per molti giorni in proporzione alle performance dell'hardware utilizzato e al numero di immagini acquisite. È assolutamente necessario pertanto poter ottimizzare la scelta dei parametri dell'elaborazione in maniera adeguata, per ottenere un risultato con risoluzione ed accuratezza sufficienti agli scopi da raggiungere, pur mantenendo tempistiche in linea con l'urgenza richiesta. Il Laboratorio di Geomatica ha avuto occasione di interfacciarsi



con questo tipo di scenario in diverse occasioni, tra le quali si annoverano la partecipazione alle fasi di messa in sicurezza della Torre Civica di Norcia (in figura) coordinate dal prof. Podestà su incarico del MiBACT a seguito del terremoto in Centro Italia (2016) e di altri beni culturali nelle zone limitrofe colpite dal sisma, svolte in collaborazione con Gter srl, oltre che per svolgere attività di rilevamento del Ponte Morandi a seguito del crollo in qualità di Ausiliari di Polizia Giudiziaria (2018).

1. Gagliolo, S., Federici, B., Ferrando, I., Passoni, D., Sguerso, D. Methodological report on emergency surveys for Cultural Heritage, in stampa su ASITA Proceedings in Springer "Communications in Computer and Information Science Series – CCIS" (2022).
2. Gagliolo, S., Fagandini, R., Passoni, D., Federici, B., Ferrando, I., Pagliari, D., Pinto, L., Sguerso, D. Parameter optimization for creating reliable photogrammetric models in emergency scenarios, *Applied Geomatics* 10 (2018) 501-514.
3. Gagliolo S., Fagandini R., Federici B., Ferrando I., Passoni D., Pagliari D., Pinto L., Sguerso D. (2017). Use of UAS for the conservation of historical buildings in case of emergencies, presentazione orale al GEORES 2017, Firenze, Italy, *Intern. Archives Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLII-5/W1 (2017) 81-88.

## Suite fotogrammetrica per una gestione ottimizzata del rilevamento

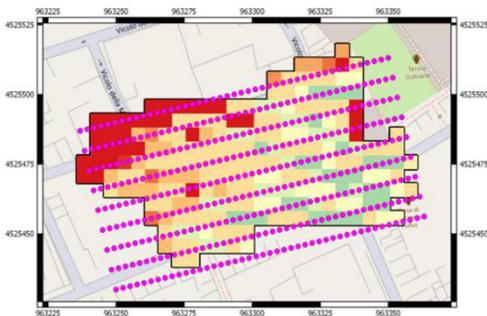
Gruppo DICCA: D. Sguerso, B. Federici, I. Ferrando, S. Gagliolo

Collaborazione con: Finnish Geospatial Research Institute (FGI, Finlandia)

Ricerca finanziata da: Museo Nazionale dell'Antartide, Genova

Sviluppo di una suite fotogrammetrica per la gestione dell'intera filiera di rilevamento, con particolare attenzione ad ambienti e condizioni sfidanti. L'obiettivo è fornire strumenti innovativi a supporto di operatori con livello di esperienza medio-bassa, per dar loro la possibilità di un processing fotogrammetrico accuratamente personalizzabile in base allo scenario complesso da trattare. La suite è organizzata per supportare le fasi di pianificazione, acquisizione, elaborazione e restituzione, con particolare attenzione all'ottimizzazione del rilevamento nel rispetto delle precisioni richieste; ad oggi è così costituita:

- U.Ph.O. (Unmanned Photogrammetric Office) permette di valutare realisticamente a priori le precisioni della campagna di acquisizione fotogrammetrica, anche da UAV (Uncrewed Aerial Vehicle), mediante approccio rigoroso basato sulla simulazione di rete spaziale, tenendo conto dello specifico scenario analizzato (in figura è riportata il progetto del rilievo drone della Regio VII, Insula 14 del Parco archeologico di Pompei) e di verificarle a posteriori a rilievo avvenuto;
- tool di "fotogrammetria dinamica" dedicato alla fase di acquisizione ed elaborazione, in via di sviluppo grazie alla collaborazione con FGI e il Museo dell'Antartide di Genova. Lo scopo è applicare tale approccio ad una ricostruzione in real-time, capace di adattare in continuo il modello 3D dello scenario in movimento e contemporaneamente sovrainporlo allo stesso oggetto reale mediante proiezione. Tale approccio può essere considerato in maniera speculare per ottenere informazioni relative al posizionamento ed alla navigazione di un robot che si trovi in condizioni di mancata visibilità dei satelliti GNSS;
- MAGO (Mesh Adattiva per la Generazione di Ortofoto) consente di produrre ortofoto secondo un approccio rigoroso basato sulla ricostruzione di una mesh adattiva a partire dalla nuvola di punti. Tali ortofoto si sviluppano in automatico su superfici continue non complanari secondo criteri adattivi di machine learning.



1. Gagliolo, S., Federici, B., Ferrando, I., Sguerso, D. MAGO: a new approach for orthophotos production based on adaptive mesh reconstruction, presentazione orale al GEORES 2019, Milan, Italy, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W11 (2019) 533-538.
2. Gagliolo, S., Passoni, D., Federici, B., Ferrando, I., Sguerso, D. U.Ph.O and MAGO: two useful instruments in support of photogrammetric UAV survey, presentazione orale al ISPRS Geospatial Week UAV-g 2019, Enschede, The Netherlands, *Intern. Archives Photogramm., Remote Sensing and Spatial Inform. Scie.*, XLII-2/W13 (2019) 289-296.
3. Passoni, D., Federici, B., Ferrando, I., Gagliolo, S., Sguerso, D. The estimation of precision in the planning of UAS photogrammetric surveys, *Intern. Archives Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2 (2018) 837-843.

## Rilievo dinamico/statico degli elementi costruttivi e dell'architettura

Gruppo DICCA: C. Battini  
Collaborazione con: R. Vecchiattini (DAD)

Ricerca finanziata da: Convenzioni ed economie di gestione di altre convenzioni

La ricerca che è stata portata avanti negli anni sia all'interno dei laboratori del DICCA che in situ riguarda l'uso dei differenti sistemi di rilevamento che la tecnologia offre per determinare geometrie e dati utili a più settori disciplinari coinvolti.

Per quanto riguarda le prove in Laboratorio si segnalano numerose prove effettuate su sistemi CFS, incentrata sull'instabilità locale/distorsionale degli elementi semplicemente compressi, e su giunti flangiati trave/colonna per valutare la resistenza a flessione. Tali prove hanno consentito agli studenti di Ingegneria di confrontare numericamente il comportamento reale con quello ricavato dall'applicazioni delle leggi matematiche. I dati raccolti sono stati impiegati per la redazione di articoli scientifici, oltre come materiale per la redazione di tesi di Laurea nei corsi proposti dal DICCA.

Altri studi in Laboratorio hanno visto analisi CFD e test in galleria del vento per l'ottimizzazione del nuovo Viadotto Genova; finanziato da Spea Engineering S.p.A. Responsabili Prof. Giuseppe Piccardo e Prof. Maria Pia Repetto, DICCA, Università di Genova – 2019.

Sempre in questi anni sono state sviluppate e sperimentate nuove metodiche di modellazione a partire da nuvole di punti tridimensionali per il retopology di forme complesse al fine di valutare in modo più accurato il comportamento sismico e la stabilità delle strutture analizzate. A tal proposito si segnalano alcuni casi studio:

- Rilievo di alcune Chiese per il Progetto di Ricerca di Interesse Nazionale PRIN 2015: PERICLES-Protecting the Cultural Heritage from water-soil interaction related threats;
- Rilievi tridimensionali e modellazioni parametriche di manufatti come "silos granari di Genova" cd.Hennebique"; documentazione 3D del reperto n. 132 nell'ambito dell'incidente probatorio afferente al crollo del ponte c.d. Ponte Morandi.



*Profili in acciaio formati a freddo – CFS: analisi architettoniche e strutturali.*



*Prove di carico di un giunto flangiato – analisi deformazioni.*

C. Battini, C. Calderini, R. Vecchiattini. 3D Digital Survey of Iron Tie-Rods in Masonry Buildings: Cross-Sections Analysis and Error Estimation. *International Journal of Architectural Heritage*, 13 (3) (2019) 429-441.

C. Battini, R. Vecchiattini, Data parametric representation for monitoring of cultural heritage. *Applied Geomatics*, 10 (2018) 191-204.

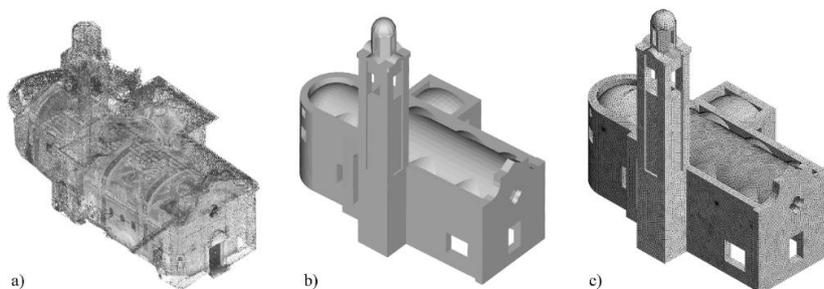
## Rilievo e rappresentazione dell'architettura

Gruppo DICCA: C. Battini  
Collaborazione con: Vari docenti DaD e DICCA; R. Quattrini (DICEA, Univpm)  
Ricerca finanziata da: Segretariato regionale per la Liguria, Opificio delle Pietre Dure di Firenze, Direzione regionale Musei Liguria, imprese private

L'acquisizione di informazioni sempre più dettagliate di oggetti ed architetture ha spinto la comunità scientifica a sviluppare nuove tecniche e metodologie di gestione e rappresentazione di dati. La ricerca svolta in questi anni è stata sempre finalizzata a testare e provare nuovi sistemi di rappresentazione che fossero utili a più soggetti e che permettessero il continuo aggiornamento ed implementazione. I casi studio analizzati sono stati svariati provenienti sia da convenzioni di ricerca instaurate con enti pubblici e società private, ma anche come materiale acquisito a soli fini didattici (esami e tesi di Laurea).

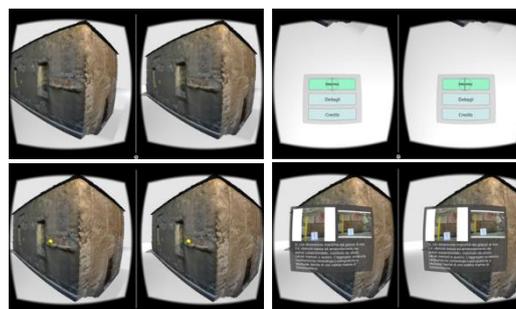
Tra i filoni seguiti in questa ricerca devono essere sottolineati:

- Utilizzo della realtà virtuale, aumentata ed immersiva sia stand alone che connessa ad un server per aggiornamento delle informazioni;
- Rappresentazione parametrica di dati tabellari per una fruizione immediata;
- Modellazione parametrica di architettura (BIM e HBIM) e gestione delle informazioni anche tramite algoritmi specifici;
- Sperimentazione ed ottimizzazione di flussi di lavoro (dal rilievo all'estrazione di informazioni come calcolo superfici, normali, assi principali, etc...).



*Point cloud model (a), geometrical model (b), mesh (c).*

1. C. Battini, Realtà virtuale, aumentata e immersiva per la rappresentazione del costruito. Altralea Edizioni srl, Firenze (2017) 1-132.
2. R. Quattrini, C. Battini, R. Mammoli, HBIM to VR. Semantic awareness and data enrichment interoperability for parametric libraries of historical architecture. *Intern. Archives Photogram., Remote Sensing & Spatial Information Scie.* XLII-2 (2018) 937-943.



*Immagini stereoscopiche della Chiesa di S. Agostino della Cella, Genova.*

## Sistema stereoscopico per il monitoraggio degli spostamenti di navi ormeggiate durante episodi di forte vento

Gruppo DICCA:

C. Battini

Negli ultimi anni, un aumento significativo delle esigenze commerciali ha costretto il settore navale a costruire navi sempre più grandi dando vita a un fenomeno chiamato "gigantismo navale", volto a ridurre o ottimizzare costi di trasporto. Tuttavia, tale sviluppo non è stato proporzionale a quello delle aree portuali, le quali non si sono adattate a questa tendenza e ad oggi la maggior parte di esse è ancora inadeguatamente attrezzata per gestire l'attracco di navi giganti. Pertanto, si verificano sempre più incidenti a causa del guasto del sistema di ormeggio di queste megastrutture. Questi incidenti sono generalmente associati a episodi di forte vento e hanno spesso comportato gravi danni strutturali, perdite economiche e infortuni dei lavoratori. All'interno di una ricerca di dottorato, si sta sviluppando uno studio sul rischio di disormeggio di navi portacontainer di nuova generazione. Tale attività si sviluppa tramite di un'intensa campagna sperimentale in sito svolta in collaborazione con il Terminal Container PSA nel porto di Genova, società Cetena (Fincantieri Group), e il Gruppo dei Antichi ormeggiatori del porto di Genova.

Un sistema interamente progettato e realizzato all'interno del dipartimento è stato allestito all'interno dell'area portuale di Prà (vedasi figura) per la misurazione degli spostamenti che le navi ormeggiate subiscono in condizioni meteorologiche avverse. In particolare, la misurazione degli spostamenti si basa su *computer stereo vision approach* tramite cui è possibile ricostruire la posizione spaziale di un oggetto attraverso una coppia di immagini stereoscopiche dello stesso. Una serie di immagini successive consente il rilevamento degli spostamenti dell'oggetto. Il sistema è composto da 2 telecamere distanti 1800 mm che puntano un bersaglio sulla prua della nave. Il sistema risulta essere completamente indipendente dal punto di vista energetico, questo consente un agevole installazione del sistema anche in siti privi di connessione elettrica cablata.

Il sistema viene attivato dall'operatore portuale al momento dell'ormeggio della nave tramite un pulsante di attivazione e di spegnimento. Durante il funzionamento, il sistema lavora con una frequenza di campionamento di circa sette secondi. Anche l'analisi di postprocessing delle immagini è stato sviluppato all'interno del dipartimento. Allo stato attuale il sistema ha una precisione di circa 1 centimetro sulla posizione dell'oggetto monitorato.



*Sistema di monitoraggio stereoscopico installato ed operativo.*

1. Torre, S. Safe management of mooring systems for large ships under strong wind condition, Ph.D. Thesis, XXXIV ciclo, in corso di stesura (2022).

## Urban Mobility Challenge

Gruppo DICCA:	Ilaria Delponte
Collaborazione con:	Enrico Musso, Lara Penco, Daniela Ambrosino (CIELI) Giampiero Lombardini, Emanuele Sommariva (DAD)
Ricerca finanziata da:	Progetto POR Regionale Get-UP, Convenzioni con Comuni, Accordo Quadro ANCI Associazione Nazionale Comuni Italiani, Conto Terzi Aziende di Trasporto, Partecipazione a Bando Maas4Italy con ComGE

Le recenti introduzioni legislative in materia di Transizione Ecologica hanno interessato massicciamente tutte le politiche e gli strumenti riguardanti la mobilità urbana e territoriale. In particolare, la mia competenza già è stata utile nella redazione di Piani della Mobilità Sostenibile nel territorio ligure e molte opportunità di avanzamento si stanno aprendo che costituiscono ciascuna un approfondimento di ricerca degna di nota (con già finanziamenti in parte acquisiti). Cito qui di seguito alcune delle indagini svolte e le relative pubblicazioni.

- *Mobility as a Service*: essa viene definita come: “un sistema in cui una gamma completa di servizi di mobilità è fornita ai clienti dagli operatori del trasporto”. Sochor et al. (2017) introducono 5 possibili livelli di integrazione MaaS, passando dallo scenario attuale in cui i servizi di mobilità sono completamente separati allo scenario di massima integrazione tra tutti gli stakeholders e le politiche sociali. Tale ricerca è portata avanti grazie al Progetto POR Get-UP e alla partecipazione al bando Maas4Italy.
- La declinazione delle *sfide della mobilità urbana* si intreccia con le problematiche territoriali che fanno emergere la necessità di costruire un « abito su misura » per le diverse realtà di eccellenza ligure, in termini di progettazione di piattaforme logistiche e di circolazione stradale, ma anche di ciclabilità, arredo urbano, spazi pubblici. Detta ricerca è approfondita grazie al conto terzi e alla collaborazione con il DAD.
- Grande enfasi è stata data nell’ultimo periodo dal (2014 ad oggi) alla sostenibilità delle azioni nelle c.d. *Aree Interne come contemplate dalla Strategia Nazionale (SNAI)*: un filone peculiare è quello del trasporto ed in particolare dei trasporti flessibili a chiamata che costituiscono il futuro del servizio in aree di domanda debole. La filiera risulta molto fertile perché non vi sono molti studi e applicazioni. Si sta approfondendo tale tema grazie a un Dottorato dedicato (vinto a Bando Ministeriale, 2 in tutto l’Ateneo)

Ad accrescere l’importanza strategica dei filoni citati (in termini di finanziamenti acquisibili e di posizionamento negli Ecosistemi di Innovazione) è l’attribuzione alla sottoscritta della Delega come Mobility Manager dell’Ateneo che attribuisce quindi anche al DICCA questa competenza (e non ad altre branche pur presenti in Ateneo).

1. Delponte I., Costa V. SNAI ed aree di domanda debole del trasporto, un approccio place-based: il caso dell’area Antola-Tigullio, *Rivista BDC* 14(2) (2021) 2284-4732.
2. Delponte I. Sustainable urban mobility plan and the electric mobility challenge. First results of the planning process in Genoa (IT), *J. Land Use, Mobility and Environment TEMA* 3 (2021) 1970-1987.
3. Delponte I., Rosasco P. Sustainable mobility and economic sustainability: the case of the new trolleybus line in Genoa, *Rivista Valori e Valutazioni*, 29 (2021) 2036-2040.

## Green Infrastructures and Ports

Gruppo DICCA:	Ilaria Delponte
Collaborazione con:	Enrico Musso, Giovanni Satta, Claudio Ferrari (CIELI) Fabio Ballini, Aykut Olcer (WMU World Maritime University) Joan Vicente Rufi, Sergi Nuss (Università di Girona)
Ricerca finanziata da:	Progetto Twinning con Università di Girona, Laboratorio Congiunto UniWeLab con azienda WeBuild, Bando PON Green, Accordi con Enti e Autorità Portuali

La ricerca, pur avviata da tempo, si innesta sull'Ecosistema Intelligent Port, ma ha evidentemente molti risvolti "a terra". In particolare si enumerano di seguito:

- Nell'ambito dell'Accordo Quadro con la società WeBuild abbiamo avviato un Laboratorio Congiunto con tema Green Infrastructures. All'interno di esso, è stato bandito un posto di Dottorato PON Green e si intende sviluppare la filiera mediante un ulteriore posto che verrà finanziato sul tema "Innovazione e Digitalizzazione delle Infrastrutture". All'interno del Laboratorio è già in fase di conclusione una tesi dottorale sul tema dell'interazione con Veicoli a Guida Autonoma e percezione degli utenti.
- Ulteriori declinazioni per le infrastrutture sostenibili sono la realizzazione di una nuova area retroportuale per il Bacino di Spezia (contratto da siglare fra poco) e di aree buffer per le merci a servizio del Porto di Genova e Savona. Detto tema risulta particolarmente strategico, in quanto non si tratta di semplici interventi territoriali ma di elaborare una performance in termini di indicatori per ottenere il finanziamento europeo per la realizzazione di essi, conformemente agli standard EU delle reti TEN-T *Trans European Networks*. Tali ricerche sono state sostenute anche grazie al rapporto con Autostrade per l'Italia ASPI (sono responsabile dell'Accordo Quadro come Unige): in questo ambito verrà bandito un posto di Dottorato Industriale nel 2022 da parte di ASPI. In merito a questo tema, collaboro come Visiting Professor alla WMU di Malmö.
- Altre ricerche collegate sono il concept del bypass in tunnel per il Tigullio Occidentale ed, in termini più generali, il *superamento delle condizioni di emergenza infrastrutturale* che si sono già venute a creare per il crollo del Ponte Morandi. A tal proposito, il DICCA ha fatto una proposta su Horizon Europe in collaborazione con RINA e Autorità Portuale per la *resilienza delle infrastrutture portuali*.
- Sulle *infrastrutture e la loro accettabilità nel contesto paesaggistico*, la ricerca si sta sviluppando grazie ad un progetto competitivo a Bando con Università di Girona (Twinning, durata biennale).

1. Delponte I. Institutional and non-institutional governance initiatives in urban transport planning: the paradigmatic case of the post-collapse of the Morandi bridge in Genoa. *Sustainability* (2021) 1-18.
2. Delponte I. Blu. Verdi. Grigie. Tre infrastrutture o gradazioni di colore? In *Paesaggi D'acqua - In STUDI URBANI E REGIONALI* ISBN:978-88-351-1994-4 (2021) 13-21.
3. Delponte I., Sciacaluga M. Investigation on human factors and key aspects involved in autonomous vehicles -AVS- acceptance: New instruments and perspectives. *Transportation Research Procedia* 45 (2020) 708–715.

## La gestione sostenibile dei rifiuti nelle Città-porto del Mediterraneo

Gruppo DICCA: F. Pirlone, I. Spadaro  
Collaborazione con: MOBilità SOStenibile Sardegna, Autorità Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, Comune di Genova, Assonautica Savona, Union des Ports de Plaisance de Corse

Ricerca finanziata da: Progetto MED-3R ENPI CBC Bacino del Mediterraneo  
Progetto PORT-5R Interreg V-A Italia Francia Marittimo  
Progetto PORT-5Rplus Interreg V-A Italia Francia Marittimo (in attesa di finanziamento)

Ad oggi, una delle tematiche prioritarie a livello urbano è quella della gestione sostenibile dei rifiuti, volta a gestire il processo dei rifiuti dalla loro produzione fino alla raccolta, trasporto, trattamento (riciclaggio o smaltimento) e riutilizzo dei materiali di scarto, riducendo le relative conseguenze sulla salute dell'uomo e dell'ambiente. Il miglioramento di tale gestione è considerata una delle più grandi sfide ambientali, e non, a livello internazionale e risulta di notevole importanza in termini di strategie urbane secondo le logiche della sostenibilità. L'UE ha richiesto agli SM di provvedere alla predisposizione di Piani di gestione dei rifiuti ai livelli di scala pertinenti. Nella ricerca si intende definire uno strumento partecipato tra diversi stakeholders del territorio, capace di realizzare, a partire dalle esperienze maturate, un sistema integrato dei rifiuti, in cui le diverse fasi costituiscano azioni coordinate e integrate nell'ambito dell'intero processo. Oggetto della ricerca sarà la tematica nelle Città-porto dell'area transfrontaliera del Mediterraneo nordoccidentale, realtà più complesse rispetto alle città, viste le diverse competenze istituzionali e la gestione per tali ambiti. Particolare attenzione sarà posta ai rifiuti prodotti durante l'emergenza sanitaria in cui si è assistito ad un incremento della produzione di materiali plastici mono-uso non riciclabili che stanno contribuendo ulteriormente all'inquinamento del mare.



In figura è illustrato l'approccio del Piano che si intende sviluppare nelle Città-porto

1. Spadaro I., Pirlone F., Candia S. Waste management: new policies for EU port cities, *International Planning Studies*, ISSN 1469-9265, (2021) 1-13.
2. Pirlone F. I rifiuti e i Piani di gestione urbana all'interno della governance, Collana Città e territorio, Franco Angeli ISBN 978-88-917-1498-5, Milano, (2021) 1-191.
3. Pirlone F., Spadaro I. The definition of an Urban Waste Management Plan: the case of Genoa, in "The Sustainable City X", Brebbia C.A., Florez-Escobar W.F. (eds), WIT Transactions on Ecology and The Environment Press, Southampton, UK, ISSN: 1743-3541, (2015) 387-398.

## Strumenti per un turismo sostenibile

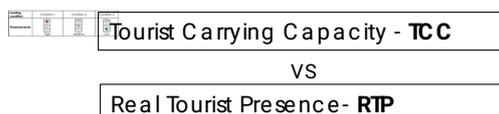
Gruppo DICCA: F. Pirlone, I. Spadaro, S. Candia  
 Collaborazione con: Comune di Genova; Camere di Commercio di Sassari, Tirreno e Maremma, Var, Corsica; Comuni di Venezia, Dubrovnik, Rovaniemi, Braga, Krakow

Ricerca finanziata da: Progetto "Tourism-Friendly Cities", programma URBACT  
 Progetto MARITTIMOTECH+, Interreg V-A IT FR Marittimo

Il turismo è un settore che coinvolge numerose attività e di conseguenza risorse e servizi che non possono prescindere dalla tutela e dal rispetto dell'ambiente.

La ricerca ha la finalità di proporre strategie, strumenti e azioni affinché il turismo possa diventare lento e sostenibile, riducendo il suo impatto negativo sulle città e i territori che più soffrono il sovraffollamento. L'obiettivo è quello di sviluppare delle strategie, strumenti e azioni condivise, attraverso un lavoro congiunto con tutti gli stakeholder coinvolti, che porti a soluzioni ed esperienze che tengano in considerazione un bilanciamento tra le esigenze della comunità e la promozione del turismo grazie ad uno sviluppo urbano sostenibile dell'ambiente, della società e dell'economia locale. Tra gli attori importante accompagnare e a far crescere anche start up per valorizzare il territorio e la relativa offerta turistica.

La ricerca intende definire un Piano per un turismo sostenibile partecipato tra i diversi attori elaborato attraverso nuovi strumenti di tipo partecipativo. Tale Piano deve basarsi su approcci metodologici oggettivi. A tal riguardo sarà considerato e rivisto il metodo della tourist carrying capacity (TCC) al fine di identificare obiettivi e relativi interventi. Il turismo sarà analizzato anche alla luce della situazione emergenziale in corso.



In figura è illustrato lo strumento TCC da considerare in un piano del turismo sostenibile .

Loading condition	Condition 1	Condition 2	Condition 3
Threshold level	 High	 Medium	 Low

1. Candia S., Pirlone F. (2021), Tourism Environmental Impacts Assessment to Guide Public Authorities towards Sustainable Choices for the Post-COVID Era, *Sustainability*, 14(18) (2021) 1-16.
2. Candia S., Pirlone F., Spadaro I. Integrating the carrying capacity methodology into tourism strategic Plans: A sustainable approach to tourism. *International Journal of Sustainable Development and Planning* 15(3) (2020) 393-401.
3. Pirlone F., Spadaro I. A Sustainable Tourism Action Plan in the Mediterranean coastal areas, *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 12(6) (2017) 995-1005.

## La città circolare: piani, progetti, indicatori

Gruppo DICCA:	F. Pirlone, I. Spadaro, F. Paoli
Collaborazione con:	Comune di Genova, Città metropolitana di Genova, organizzazione Tondo, Gruppo Unige sostenibile, PhD in Sustainable Development and Climate change
Ricerca finanziata da:	Contratto con Enel “Develop of a Circular Cities - study in view of the Pre-COP / COP 26 events Progetto MARITTIMOTECH+, Interreg V-A IT FR Marittimo Progetto PORT-5Rplus Interreg V-A Italia Francia Marittimo (in attesa di finanziamento)

Oggi le città sono protagoniste della transizione globale verso un'economia circolare, in quanto rappresentano centri di consumo ma allo stesso tempo sono anche centri di innovazione, produzione e relazioni economico-sociali. Agenda 2030 ha introdotto un nuovo approccio per le città, un approccio circolare volto ad aumentare l'urbanizzazione inclusiva e sostenibile. Una città circolare è un sistema urbano pensato per essere rigenerato, accessibile e ricco di risorse. Trasformare le nostre realtà in città circolari significa rivisitare e gestire i vari strumenti urbanistici esistenti coinvolgendo i diversi stakeholders per una strategia condivisa. La ricerca ha la finalità di definire un Piano d'azione per la città circolare. Le principali tematiche urbane da approfondire in tale strumento possono essere: la rigenerazione urbana, la mobilità sostenibile, la gestione sostenibile dei rifiuti, le infrastrutture verdi e blu e l'innovazione tecnologica. Inoltre la ricerca, all'interno di tale Piano, intende identificare azioni circolari e definire indicatori (di contesto, di processo, ...) per raggiungere la circolarità. La progettazione di tali azioni sarà condotta a diversi livelli di scala in ambito urbano e prevede un rapporto costante con amministrazioni locali, popolazione ed aziende innovative operanti nel territorio.



In figura è illustrato il concetto di città circolare.

1. Pirlone, F. "Circular cities impacts on decarbonization and beyond" November 2021, COP 26 Gasglow, realized by Enel Foundation, Arup, Bocconi University, Universidad de los Andes, University of Genoa
2. Candia S., Pirlone F., MSW: from pollution/degradation source to resource, Rivista *Tema Journal of Land Use, Mobility and Environment*. 9(2)(2016) 305-322.

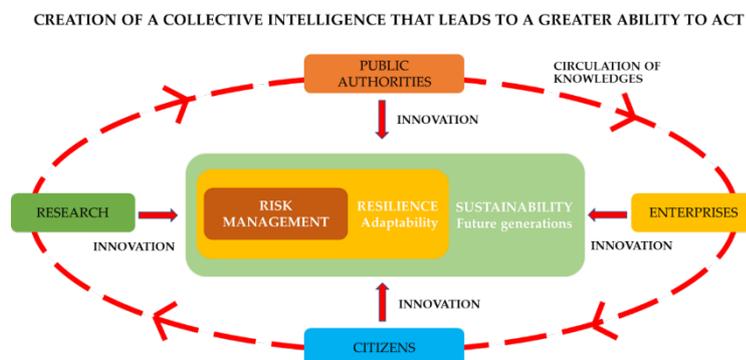
## Resilienza e messa in sicurezza del territorio dai rischi

Gruppo DICCA: I. Spadaro, F. Pirlone, A. Palla, I. Gnecco  
Collaborazione con: Comune di Genova, Università coinvolte nel PRIN

Ricerca finanziata da: PRIN bando 2020 (ammesso a finanziamento)

La resilienza urbana è diventata un obiettivo importante per le città (Agenda 2030, PNRR in Italia, ad esempio), in particolare nell'affrontare i cambiamenti climatici. I disastri naturali e provocati dall'uomo che si sono verificati negli ultimi anni mostrano come la resilienza di un territorio non dipende solo dalle azioni svolte dalle autorità pubbliche ma richiede il lavoro congiunto di tutti gli attori che vivono o lavorano in una città. Un altro aspetto emerso è che non sempre gli attuali strumenti sono in grado di pianificare e gestire con successo le diverse fasi che caratterizzano i rischi.

L'obiettivo principale della ricerca è pertanto la definizione e implementazione di un approccio resiliente, partecipativo e quindi sostenibile al tema della sicurezza del territorio dai rischi esterni. La ricerca intende approfondire il concetto di esposizione all'interno della definizione di rischio. L'implementazione della prospettiva della resilienza richiede la definizione di un approccio multiscale e intersettoriale. E questo approccio deve supportare la transizione e l'adattamento di quattro attori principali- enti pubblici, ricerca, imprese, cittadini – (Principio della Quadrupla elica) attraverso specifiche strategie, strumenti di governance territoriali e tecnologie ICT.



In figura si riporta la correlazione considerata tra rischio, resilienza, sostenibilità e il principio della Quadrupla elica. Per la definizione della metodologia, secondo l'approccio "learning by doing", verranno esplorati più casi studio e grazie all'uso del GIS saranno realizzati scenari dinamici (che tengono conto dei luoghi e tempi degli esposti indagati) per individuare azioni di mitigazione in tempo di pace ed emergenza.

1. Pirlone F., Spadaro I., The resilient city and adapting to the health emergency. Towards sustainable university mobility, *Tema Journal of Land Use, Mobility and Environment*, Special Issue COVID-19 vs CITY-20, scenarios, insights, reasoning and research (2020) 305-314.
2. Pirlone F., Spadaro I., Candia S., More Resilient Cities to Face Higher Risks. The Case of Genoa, *Sustainability*, 12 (2020) 1-21.
3. Pirlone F., Spadaro I., The places and times in risk management. The case of the school system, in "Environmental and territorial modelling for planning and design", Leone A., Gargiulo C. (eds), FedOApres, Napoli (2018) 159-168.

## Blue economy e promozione del territorio

Gruppo DICCA:	I. Spadaro, F. Pirlone, F. Bruno
Collaborazione con:	Chambres de Commerce de Ajaccio et de la Corse du Sud; Université de Corse; Fondazione MOSOS; Promocamera - Azienda Speciale Camera di Commercio di Sassari; Regione Liguria; Alfa Liguria
Ricerca finanziata da:	Progetti: PORT-5R e MarittimoMOB (Interreg V-A Italia-Francia Marittimi); POR Sardegna FSE 14-20

Il tema della blue economy, e il fatto di considerare il porto quale elemento di raccordo tra mare e territorio circostante, è strategico per il territorio che si affaccia sul Mediterraneo. Rispetto a questa tematica mancano le professionalità con competenze adeguate per rispondere alle esigenze del mondo del lavoro odierno e il problema potrebbe acuirsi in prospettiva di implementare il PNRR.

Nella ricerca si intende sviluppare un'analisi di *benchmark*, per comparare quanto esistente a livello mondiale, per poi approfondire i bisogni delle imprese rispetto a tematiche quali nautica, turismo sostenibile, accoglienza sicura e gestione sostenibile dei rifiuti. Importante considerare anche il Repertorio Nazionale e regionali delle figure professionali. Ciò per individuare gli elementi chiave per realizzare un percorso di accelerazione che punti alla valorizzazione, innovazione sostenibile del territorio e allo sviluppo dell'economia locale.

### TEMATICHE CARATTERIZZANTI

- **Autoimprenditorialità**
- **Città porto – strumenti di pianificazione nelle realtà portuali.**
- **Sostenibilità ed economia circolare.**
- **Utilizzo di tecnologie innovative.**
- **Gestione sostenibili dei rifiuti nelle città-porto.**
- **Gestione della mobilità sostenibile.**
- **Turismo sostenibile**
- **Esperienze di start up nella nautica e nel turismo sostenibile**

In figura si riportano alcune delle tematiche/ricerche utili da approfondire. A partire dall'esperienza sviluppata in MarittimoMOB si intende infatti realizzare un Acceleratore transfrontaliero italo-francese quale strumento di supporto per formare nuove figure professionali e accompagnare i giovani nel lancio sul mercato di nuove idee imprenditoriali competitive nel mondo. L'acceleratore offre all'area di cooperazione una rete di competenze e specialità, un laboratorio di intelligenza interdisciplinare. Per essere competitivo l'Acceleratore necessita di specializzarsi, e la blue economy rappresenta uno degli aspetti prioritari su cui si intende puntare.

1. Spadaro I., Un laboratorio per l'innovazione territoriale. La Quadrupla elica e l'Acceleratore transfrontaliero italo francese per lo sviluppo sostenibile. Collana Città e Territorio, Franco Angeli srl (2021) 1-133.
2. Pirlone F., Spadaro I., Verso una gestione sostenibile dei rifiuti nei porti del mediterraneo. Vers une gestion durable des déchets dans les ports de la méditerranée, (IT\_FR) Franco Angeli, Milano (2020) 1- 475.
3. Pirlone F., Spadaro I., A Sustainable Tourism Action Plan in the Mediterranean coastal areas, *International Journal of Sustainable Development & Planning* 12 (2017) 995-1005.

## La rigenerazione urbana sostenibile: sfide e potenzialità

Gruppo DICCA:

I. Spadaro, F. Pirlone

Collaborazione con:

Comune Genova, Comune Busalla, Associazioni del territorio  
Assessorato Sviluppo Economico Portuale e Marittimo-  
Logistica del Comune, Direzione sviluppo economico progetti di  
Innovazione del Comune, Autorità di Sistema Portuale del  
M.L.O., RFI, Autostrade per l'Italia, Comune Albisola Superiore

Ricerca finanziata da:

Fondazione Primavera, Comune di Busalla

La rigenerazione è un tema di grande interesse urbanistico nelle realtà urbane. La sfida che le città-porto si trovano ad affrontare risiede nella dismissione di estese aree (spesso localizzate nei waterfront), nelle quali è necessario insediare nuove funzioni, per superare la condizione di aree marginali e degradate e divenire spazio integrante della città e di interazione con l'elemento acqua.

La ricerca parte dall'approfondimento in letteratura della definizione di rigenerazione urbana, dall'analisi di casi studio internazionali virtuosi per arrivare alla identificazione di un approccio e di tematiche chiave per poter sviluppare un processo di rigenerazione che sia sostenibile e porti a un miglioramento della qualità di vita dei suoi abitanti. Le città affacciate sul mare o su fiumi si stanno adoperando per rigenerare le proprie realtà di confine con l'acqua anche facendo convergere la necessità di renderli fruibili pubblicamente e resilienti ai cambiamenti climatici.



In figura alcuni aspetti attorno al quale si sviluppano i progetti. Le soluzioni ragionano sulle infrastrutture verdi e blu per creare un legame tra mare e città -o tra diversi parti della città stessa- sicuro, producendo benefici ecosistemici. Un altro concetto importante da considerare è la circolarità. La ricerca ha previsto poi un'innovazione di processo lavorando sul coinvolgimento del territorio attraverso concorsi pubblici che creano le condizioni della partecipazione oltre dell'Università, dei diversi stakeholder pubblici e privati fondamentali nel progetto.

1. Spadaro I., Pirlone F., Energy Planning and Sustainability. In: Leal Filho W., Gökçin Özuyar P., Azul A.M., Brandli L., Lange Salvia A., Wall T. (eds), Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer (2021) 485-496.
2. Pirlone F, Spadaro I., Un nuovo approccio alla sostenibilità nei Piani urbani di mobilità sostenibile in Italia, rivista *TERRITORIO*, Franco Angeli – fascicolo 96/2021 (2021) 116-126.
3. Pirlone F., Spadaro I, Candia S., Ugolini P., Waterfront and Sustainable Mobility. The case study of Genoa, in *Transport infrastructure and system*, London: Taylor & Francis (2017) 661-669.

## Valutazione e sviluppo di processi di conversione di biomasse di rifiuto a intermedi chimici e biofuels tramite processi termocatalitici

Gruppo DICCA:	G. Busca, A. Casazza, G. Garbarino, E. Finocchio, E. Spennati, G. Riani, M. Borella
Collaborazione con:	T.K. Phung (International University & Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Vietnam)
Ricerca finanziata da:	Contratti industriali (IRLE, Grace)

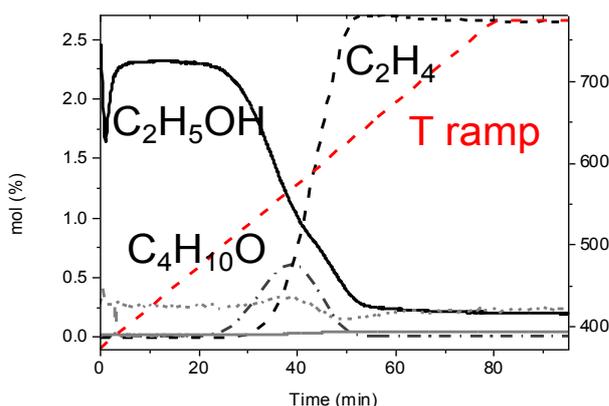
La ricerca consiste nello studio, sperimentale e/o bibliografico-concettuale, dei processi che possono produrre intermedi chimici e biocarburanti a partire da materie prime rinnovabili e non commestibili. In particolare, si considera la produzione di intermedi analoghi a quelli oggi derivati dalla petrolchimica, a partire da materie prime vegetali non edibili e di rifiuto. Tra le materie prime considerate, la lignina (sottoprodotto della produzione della carta e del bioetanolo), e gli olii vegetali non commestibili (es. olio di jatropha, olii algali e olii di frittura esausti). Si considera anche la trasformazione di bioetanolo ligneo-cellulosico e di biogas derivato da rifiuti. Tra i prodotti la cui sintesi da queste materie prime è desiderabile, gli idrocarburi, in particolare aromatici, benzine per automobili e per aerei, jet fuels e gasoli. Uno degli obiettivi della ricerca è di non prevedere l'utilizzo di idrogeno "green" di tipo elettrolitico, in quanto energeticamente troppo dispendioso da produrre.

1. Busca, G., Production of Gasolines and Monocyclic Aromatic Hydrocarbons: From Fossil Raw Materials to Green Processes, *Energies* 14 (2021) 4061.
2. Phung, T.K., Le Minh Oham, T., Vu, K.B., Busca, G. (Bio)Propylene production processes: A critical review, *J. Environ. Chem. Eng.* 9 (2021) 105673
3. Phung, T. K., Busca, G., Selective bioethanol conversion to chemicals and fuels via advanced catalytic approaches, in S. Nanda, D.-V.N. Vo, P.K. Sarangi, eds., *Biorefinery of alternative resources: targeting green fuels and platform chemicals*, Springer, Heidelberg (2020) 75-104.

## Adsorbenti e catalizzatori eterogenei: chimica delle superfici per la transizione energetica

Gruppo DICCA: E. Finocchio, G. Garbarino.  
Collaborazione con: P. Riani (DCCI, Università di Genova), M.A. Larrubia Vargas (Univ. de Malaga, Spain), R.Lopez Fonseca, B. de Rivas (Univ. del Pais Vasco, Spain), C. Cristiani (Mat4En2, CMIC, Politecnico Milano).  
Ricerca finanziata da: fondi FRA Unige; Finanziamento individuale ANVUR delle Attività Base di Ricerca-FFABR2017.

La linea di ricerca considera lo studio approfondito di adsorbenti e catalizzatori eterogenei a base di ossidi, ossidi misti e nanoparticelle di metalli nobili e/o metalli di transizione supportati. Considerato il fatto che il 90% dei processi industriali usa un catalizzatore ben caratterizzato e consolidato, la sfida della transizione energetica pone nuove domande per lo sviluppo, la caratterizzazione della chimica delle superfici dei catalizzatori a cui per natura si accoppia la valutazione dell'attività dei materiali sviluppati. La spettroscopia FT-IR è una tecnica versatile ed in continua evoluzione, che consente di lavorare in atmosfera controllata e operando l'adsorbimento e co-adsorbimento di molecole sonda, e si rivela inoltre estremamente utile nello screening di materiali in prove TPSR (Temperature Programmed Surface Reaction, Fig. 1) e TPD (Temperature Programmed Desorption) di ammoniaca o altre molecole modello, permettendo la valutazione delle proprietà redox e acido-base dei catalizzatori e lo studio dei meccanismi di reazione a livello molecolare. Lo studio approfondito della chimica delle superfici dei materiali consente da un lato la comprensione dei risultati di attività delle prove in flusso e dall'altro di poter innovare continuamente la formulazione dei catalizzatori al fine di incrementarne le performances in termini di conversione e selettività al prodotto voluto, configurandosi quindi come un punto essenziale della catalisi eterogenea. Le tematiche centrali affrontate, nell'ambito della transizione energetica, sono: i) l'adsorbimento e la conversione catalitica di CO<sub>2</sub> a metano e composti C<sub>2</sub>+; ii) la conversione catalitica di biomolecole



semplici a composti chimici ad elevato valore aggiunto; iii) l'ossidazione e combustione di Composti Organici Volatili (VOC) possibili inquinanti ambientali.

La figura mostra un esempio di profili di conversione catalitica in modalità TPSR.

1. Balzarotti R., Fratolocchi L., Latorrata S., Finocchio E., Cristiani C., Effective Ce-based catalysts deposition on ceramic open cell foams, *Appl. Catal. A: Gen.*, 584 (2019) 117089.
2. Finocchio E., Gonzalez-Prior J., Gutierrez-Ortiz J.I., Lopez-Fonseca R., Busca G., de Rivas B. Surface characterization of mesoporous CoOx/SBA-15 catalyst upon 1,2-dichloropropane oxidation, *Materials*, 11(6) (2018) 912.
3. Phung T.K., Garbarino G. On the use of infrared spectrometer as detector for temperature programmed (TP) techniques in catalysts characterization. *J. Ind. Eng. Chem.*, 47 (2017) 288-296.

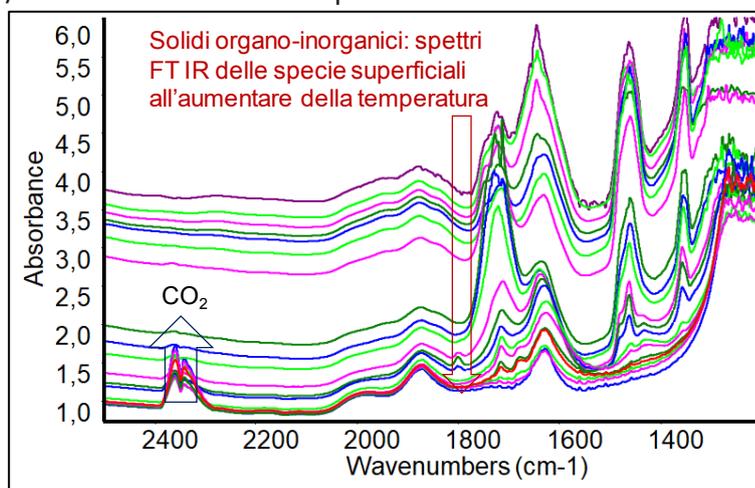
## Studio delle interazioni superficiali e caratterizzazione di materiali solidi complessi

Gruppo DICCA: E. Finocchio, A. Lagazzo, G. Ramis  
Collaborazione con: C. Cristiani (Mat4En2, CMIC, Politecnico Milano)

Ricerca finanziata da: fondi FRA Unige; Finanziamento individuale ANVUR delle Attività Base di Ricerca-FFABR2017

Lo studio delle interazioni superficiali tipo host-guest è fondamentale per la comprensione dei processi di funzionalizzazione di materiali avanzati e per processi di adsorbimento e di rilascio in diverse applicazioni tecnologiche, tra cui: applicazioni ambientali per adsorbimento di ioni metallici da soluzioni acquose<sup>1</sup>; applicazioni biomediche per sistemi di adsorbimento/rilascio di composti farmacologicamente attivi (amminoacidi, antibiotici)<sup>2</sup>. In particolare, per il primo tipo di applicazioni, sia l'utilizzo come adsorbenti di materiali solidi naturali o di recupero, che l'adsorbimento e riutilizzo di ioni metallici come materia prima da acque reflue, vanno nella direzione della conservazione e protezione dell'ambiente.

Nell'ambito di queste tematiche sono in fase di studio diverse formulazioni di adsorbenti solidi a base di ossidi a porosità controllata, ossidi misti, argille e ibridi organo-inorganici. La spettroscopia IR (figura 1) utilizzata nel nostro laboratorio, unita ad altre tecniche di caratterizzazione come XRD, microscopia elettronica, analisi termogravimetrica, permette di analizzare nel dettaglio le interazioni tra la matrice inorganica e gli eventuali gruppi funzionalizzanti organici<sup>3</sup>, e le interazioni con le specie adsorbite, evidenziando la natura dei siti attivi e possibili fenomeni di disattivazione /avvelenamento di siti superficiali.



La figura mostra un esempio di studio spettroscopico di materiali in temperatura crescente.

1. Cristiani C., Iannicelli-Zubiani E.M., Bellotto M., Dotelli G., Gallo Stampino P., Latorrata S., Ramis, G. and E. Finocchio. Capture mechanism of La and Cu ions in mixed solutions by clay and organoclay. *Ind. Eng. Chem. Res.* 60(18) (2021) 6803–6813.
2. Dabiri S.M.H., Lagazzo A., Aliakbarian B., Mehrjoo M., Finocchio E., Pastorino L. Fabrication of alginate modified brushite cement impregnated with antibiotic: Mechanical, thermal, and biological characterizations. *J. Biomed. Mater. Res. - Part A*, 107(9) (2019) 2063–2075
3. Cristiani C., Iannicelli-Zubiani E.M., Dotelli G., Finocchio E., Stampino P.G., Licchelli M. Polyamine-based organo-clays for polluted water treatment: Effect of polyamine structure and content. *Polymers* 11(5) (2019) 897.

## Processi catalitici per la produzione di intermedi per la chimica industriale verde

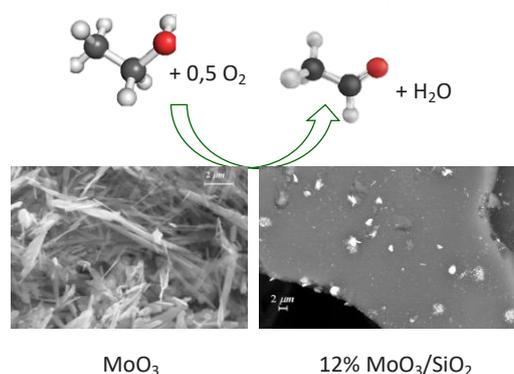
Gruppo DICCA: G. Garbarino, G. Busca, E. Finocchio  
Collaborazione con: P. Riani e A. Comite (DCCI), D. Debecker (ULouvain), M. Villa Garcia (USAL, ES), E. Rodriguez Castellon (UMA, ES)

Ricerca finanziata da: contratti industriali del gruppo di ricerca, FRA docente

Il concetto di economia circolare ha un ruolo chiave nello sviluppo di nuove tecnologie industriali volte alla cosiddetta chimica industriale verde, in cui i concetti di bioraffineria e chimica 4.0 sono dei targets da raggiungere. Tuttavia, per raggiungere questi obiettivi si ha la necessità di riformulare e sviluppare nuovi materiali catalitici e processi innovativi a partire da risorse rinnovabili e/o di scarto. Tra queste possiamo citare in maniera non esaustiva etanolo, biomasse, streams da processi di fermentazione o biogas, ma diverse altre materie prime possono essere immaginate, se includiamo anche la possibilità di sviluppare processi che siano ritenuti meno *energy-intensive*, rispetto agli attuali. Certamente la catalisi eterogenea in questo gioca un ruolo di primaria importanza.

Negli anni, lo sviluppo, caratterizzazione e test di catalizzatori per la conversione di etanolo, etil acetato, acido acetico, composti aromatici sono stati oggetto della ricerca, portando avanti lo studio di catalizzatori supportati per la produzione di H<sub>2</sub> rinnovabile, acetaldeide, etilene, syngas e sviluppando nuovi catalizzatori che possano consentire ad esempio di “switchare” un processo endotermico (che richiede energia) in uno esotermico, si pensi alle deidrogenazioni ossidative, nel caso del bioetanolo. Le domande a cui cerchiamo risposta riguardano le performances dei catalizzatori, le possibili applicazioni valutando condizioni rilevanti a livello industriale, lo studio delle superfici, il meccanismo e la cinetica delle reazioni coinvolte, e la disattivazione del catalizzatore con lo scopo di sviluppare catalizzatori stabili per processi innovativi.

La figura illustra la morfologia di sistemi MoO<sub>3</sub> e MoO<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> per la deidrogenazione ossidativa di etanolo ad acetaldeide, dove sono stati condotti studi sia su materiali con orientamento preferenziale sia su sistemi supportati, ottenendo risultati promettenti per sistemi ternari includenti Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> testati in transitorio, stato stazionario e ad elevate velocità spaziali.



1. G. Pampararo, G. Garbarino, N. Ardoino, P. Riani, G. Busca, *J. Chem. Tech. Biotech.* 96 (2021) 3293–3303.
2. I. Valsamakis, G. Garbarino, *J. Chem. Techn. Biotech.* 96 (2021) 1116-1124.
3. G. Garbarino, P. Riani, M. Villa García, E. Finocchio, V. Sanchez Escribano, G. Busca, *Catal. Today* 354 (2020), 167-170.

## Processi catalitici omogenei ed eterogenei Liquido/Solido per la chimica industriale verde

Gruppo DICCA: G. Garbarino  
Collaborazione con: P. Riani (DCCI), A. Palanca (Spiga Nord spa), T.K. Phung (Ho Chi Minh City, VT), P. Pescarmona (RUG, NL)

Ricerca finanziata da: contratti industriali del gruppo di ricerca, FRA docente, presentata domanda Curiosity Driven

Il concetto di economia circolare ha un ruolo chiave nello sviluppo di nuove tecnologie industriali volte alla cosiddetta chimica industriale verde, in cui i concetti di bioraffineria e chimica 4.0 sono dei targets da raggiungere. Tuttavia, per raggiungere questi obiettivi si ha la necessità di sviluppare nuovi processi e materiali catalitici impiegando biomasse e altri scarti di produzione quali glicerolo o interessanti platform chemicals (molecole piattaforma) quali sorbitolo, furfurale ecc. La catalisi e la possibilità di sviluppare catalizzatori eterogenei per queste applicazioni giocano un ruolo da protagonista vista la maggior facilità di separazione del prodotto dal mezzo di reazione e il loro possibile riutilizzo nelle conversioni successive.

La ricerca ha come punto focale lo sviluppo, caratterizzazione e test di catalizzatori per la conversione delle materie prime sopra citate a prodotti chimici ad elevato valore aggiunto, non solo sviluppando il materiale e testandolo ma anche sviluppando configurazioni reattoristiche e tecnologie analitiche innovative che consentono di avere informazioni che spaziano dalla scienza dei materiali, alla chimica organica, all'ingegneria chimica dei reattori e della catalisi eterogenea, passando per la chimica delle superfici. Le domande a cui cerchiamo risposta riguardano le performances dei catalizzatori, le possibili applicazioni valutando condizioni rilevanti a livello industriale, lo studio delle superfici, il meccanismo e la cinetica delle reazioni coinvolte, e la disattivazione del catalizzatore, puntando allo sviluppo e all'innovazione di processi per applicazioni industriali liquido/solido. Tra le tematiche la formulazione di catalizzatori per applicazioni industriali, in funzione della configurazione reattoristica adottata, è oggetto di interesse. Altresì, quando si parla di biomasse o risorse di scarto, sia la variabilità della composizione sia il contenuto di impurezze risultano di primaria importanza e uno studio approfondito del ruolo di queste è dedicato sia all'avvelenamento del catalizzatore che alle strategie impiantistiche.

1. G. Garbarino et al. "Polyglycerol production: homogeneous vs. heterogeneous catalysis", in preparazione.

## Cattura della CO<sub>2</sub> e riutilizzo per la produzione di combustibili e intermedi chimici

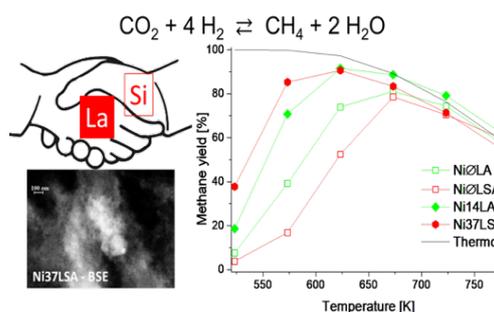
Gruppo DICCA: E.S. Atakoohi, E. Spennati, G. Garbarino  
Collaborazione con: P. Riani e R. Freccero (DCCI) e E.J. Hensen (TU/e, NL), M. Villa Garcia (USAL, ES), Diamond Light Source (UK), ESRF (FR), I. Pieta (ICHP, PL)

Ricerca finanziata da: Contratti industriali, FRA docente, presentate domande FIS e Fincantieri

Lo sviluppo di nuovi processi per l'utilizzo industriale di CO<sub>2</sub> come materia prima è una delle sfide chiave del prossimo futuro nell'ottica della transizione energetica. Tuttavia, l'elevata inerzia chimica del reagente richiede l'introduzione di energia e/o H<sub>2</sub> verde, oltreché lo sviluppo di catalizzatori eterogenei per queste applicazioni. Il Technologies Readiness Level (TRL) è decisamente limitato per numerosi intermedi chimici, mentre per metano e metanolo (TRL 8) diverse sfide tecnologiche sono ancora aperte. In questo scenario, si inseriscono le sfide oggetto della presente ricerca che avrà come obiettivo quello di contribuire ai targets delle nazioni unite per il 2030 (SDG 7,12,13), con un impatto potenziale a livello globale.

Negli anni, lo sviluppo, caratterizzazione e test di catalizzatori per la conversione di CO<sub>2</sub> a metano, CO e alcoli superiori tramite idrogenazioni sono stati oggetto della ricerca, portando avanti metodiche preparative innovative per lo sviluppo di catalizzatori nanostutturati con proprietà ben definite e "su misura" per l'applicazione voluta, in termini di dispersione, area superficiale del metallo, distribuzione dei siti acido-basici etc. Le domande a cui cerchiamo risposta riguardano l'effetto dei promotori su conversione e selettività, le performances catalitiche, il meccanismo e la cinetica delle reazioni coinvolte, le possibili applicazioni on-demand (reattori on-off ad esempio) e la disattivazione del catalizzatore sviluppando processi e tecnologie reattoristiche innovative per applicazioni stazionarie e *onboard*.

La figura riportata illustra l'attività catalitica di sistemi con proprietà acido-basiche ottimizzate dalla ricerca condotta e corrispondentemente l'incrementata attività catalitica nella reazione di metanazione della CO<sub>2</sub>, illustrando l'importanza della sinergia tra Ni e promotori, lantano e silicio nel caso specifico.



1. P. Riani, I. Valsamakis, T. Cavattoni, V. Sanchez Escribano, G. Busca, G. Garbarino, *Appl. Catal. B: Environ.* 284 (2021) 119697.
2. G. Garbarino, P. Kowalik, P. Riani, K. Antoniak-Jurak, P. Pieta, A. Lewalska-Graczyk, W. Lisowski, R. Nowakowski, G. Busca, I.S. Pieta, *Ind. Eng. Chem. Res.* 60(18) (2021) 6554-6564.
3. W.L. Vrijburg, G. Garbarino, W. Chen, A. Parastaev, A. Longo, E.A. Pidko, E.J.M. Hensen, *J. Catal.* 382 (2020) 358-371.

## Processi fotocatalitici per la produzione di bio-fuel

Gruppo DICCA: G. Ramis; E. Bahadori  
Collaborazione con: I. Rossetti (UniMI)

Ricerca finanziata da: PRIN2015

Lo sviluppo di una economia circolare implica l'impiego di processi innovativi che necessitano di energia. Per garantire la sostenibilità ambientale, la maggior parte di questa energia, idealmente la totalità, deve provenire da fonti rinnovabili. Visto che difficilmente potrà essere messa a punto una tecnologia unica risolutiva del problema, si deve indirizzare la ricerca verso processi adattabili ai diversi contesti ambientali, sociali, economici e tipologie di alimentazioni disponibili. In questo scenario, i processi fotocatalitici assumono una particolare rilevanza, in quanto in grado di produrre vettori energetici quali idrogeno, biogas e altri da biomasse e anidride carbonica usando, come energia necessaria per la reazione, direttamente la radiazione solare.

In particolare, il fotoreforming del glucosio è stato studiato su  $\text{TiO}_2$  con differenti fotoreattori, concentrandosi sull'effetto delle condizioni di reazione: temperatura, pressione, co-catalizzatori e concentrazione del substrato. L'effetto della pressione, studiato per la prima volta in un reattore prototipo, è stato particolarmente significativo, diminuendo la selettività in idrogeno, ma migliorando la conversione del substrato. Allo stesso tempo, la pressione moderatamente superiore a quella ambiente ha permesso di operare ad alta temperatura ( $80^\circ\text{C}$ ), aumentando la produttività dell'idrogeno. La produttività raggiunta è significativamente superiore al benchmark di letteratura.

Recentemente, dati di irraggiamento solare raccolti a Milano, circa  $45^\circ$  parallelo Nord, e dati di attività di alcuni fotocatalizzatori (es.  $\text{TiO}_2$  P25 commerciale,  $\text{TiO}_2$  preparata mediante pirolisi a fiamma, 0,2% wt/wt Au/P25) sono stati utilizzati per modellare la fattibilità e l'efficienza di un fotoreattore solare ideale per la fotoriduzione di  $\text{CO}_2$  in fase liquida. La migliore prestazione teorica è stata ottenuta con titania P25 commerciale, nonostante fosse il materiale con il band gap più ampio (3,41 eV contro 3,31 per FSP e 3,12 per Au/P25). La maggior parte dell'energia stoccata nei prodotti è stata immagazzinata sotto forma di acido formico. Un confronto tra l'allestimento proposto e un fotoreattore irraggiato con lampade UV alimentate a pale eoliche o pannelli solari mostra che quest'ultima strategia è molto meno efficiente di quella ipotizzata nel fotoreattore solare diretto.

1. I. Rossetti, E. Bahadori, A. Tripodi, A. Villa, L. Prati, G. Ramis "Conceptual design and feasibility assessment of photoreactors for solar energy storage" *Solar Energy*, 172 (2018) 225-231.
2. G. Ramis, E. Bahadori, I. Rossetti "Design of efficient photocatalytic processes for the production of hydrogen from biomass derived substrates" *International Journal of Hydrogen Energy*, 46 (2021) 12105-12116.
3. F. Conte, A. Tripodi, I. Rossetti, G. Ramis "Feasibility study of the solar-promoted photoreduction of  $\text{CO}_2$  to liquid fuels with direct or indirect use of renewable energy sources" *Energies*, 14 (2021) 2804.

## Processi fotocatalitici per il trattamento degli azotati nelle acque

Gruppo DICCA: G. Ramis; E. Bahadori

Collaborazione con: I. Rossetti (UniMI)

Ricerca finanziata da: CARIPLO2015

Le sostanze azotate come ammoniaca, nitriti, nitrati e composti azoici sono tra i più diffusi contaminanti delle acque. Queste sostanze provengono principalmente da zone agricole intensive, a causa della dispersione di fertilizzanti e concimi idrosolubili a base di azoto, ma anche da reflui industriali o urbani ricchi di derivati dell'azoto. Al momento, il metodo più efficiente per l'abbattimento sia dell'ammoniaca che dei nitrati è il processo biologico, ma presenta difficoltà di gestione (dipendenza da pH, temperatura e presenza di sostanze tossiche), generazione di sottoprodotti e richiedono grandi attrezzature. Lo scambio ionico è tradizionalmente utilizzato per rimuovere i nitrati, ma produce una salamoia ricca di nitrati, cloruri e solfati che è difficile da smaltire. L'osmosi inversa e l'elettrodialisi sono meno comuni, perché costose sia per l'installazione che per i costi operativi. Pertanto, lo sviluppo di nuovi processi economici, selettivi e facilmente scalabili è necessario; tra questi la fotocatalisi, che sfrutta energia totalmente rinnovabile, gioca un ruolo significativo. La foto-ossidazione di  $\text{NH}_3$  è stata sviluppata su fotocatalizzatori a base di  $\text{TiO}_2$ . Tra diverse sorgenti di radiazione, la lampada a LED, in la combinazione con  $\text{TiO}_2$  promosso da Ag è stata in grado di spingere la conversione dell'ammonio al 48% dopo 4 h di reazione, mentre la luce solare naturale, raggiunge il 38%. L'instabilità di questa fonte è però un fattore molto critico. La riduzione fotocatalitica di nitrati e nitriti è stata sviluppata in un fotoreattore semibatch. I catalizzatori impiegati sono a base di  $\text{TiO}_2$  drogata con metalli di transizione. Il pH ottimale per raggiungere la massima conversione con la minore selettività ad ammoniaca è funzione del tipo di  $\text{TiO}_2$ . La maggiore conversione dei nitrati è stata ottenuta aggiungendo Ag su titania P25 commerciale, aumentandola fino a 3.5 volte rispetto al semiconduttore non drogato. Come modello di inquinante azoico si è utilizzato il Levafix Brilliant Red. La sua rimozione dall'acqua è stata testata con tre diversi Processi di Ossidazione Avanzata (APO): reazione con  $\text{H}_2\text{O}_2$  e radiazione UV, reazione di Fenton e reazione di Photo-Fenton. Le migliori prestazioni sono state osservate utilizzando una lampada UV a bassa potenza direttamente immersa nella soluzione. Il tempo necessario per degradare una soluzione di 100 ppm (pH 7, 25 °C, 36 mg/L di catalizzatore, 1 equivalente di ossidante) era di ca. 10 minuti per i processi Photo-Fenton e UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$ , (per completare la degradazione in condizioni di oscurità 160 minuti). La formazione di intermedi nocivi è stata valutata utilizzando il microrganismo *Daphnia magna*. I risultati hanno individuato nella quantità residua di  $\text{H}_2\text{O}_2$  in soluzione la principale causa di tossicità.

1. F.S. Freyria, M. Armandi, M. Compagnoni, G. Ramis, I. Rossetti, B. Bonelli "Catalytic and photocatalytic processes for the abatement of N-containing pollutants from wastewater. Part 2: organic pollutants" *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 17 (2017) 3654-3672.
2. E. Bahadori, A. Tripodi, G. Ramis, I. Rossetti "Semi-batch photocatalytic reduction of nitrates: role of process conditions and co-catalysts" *ChemCatChem*, 11 (2019) 4642-4652.
3. F. Conte, V. Pellagatta, A. Tripodi, G. Ramis, I. Rossetti "Photo-oxidation of ammonia to molecular nitrogen in water under UV, Vis and sunlight irradiation" *Catalysts*, 11 (2021) 975-990.

## Idrogeno per Steam Reforming (SR) da materie rinnovabili

Gruppo DICCA: G. Ramis; E. Bahadori  
Collaborazione con: I. Rossetti (UniMI)

Ricerca finanziata da: PRIN2015

Una crescente attenzione è rivolta all'idrogeno come vettore di energia pulita, in quanto il suo unico sottoprodotto di combustione è H<sub>2</sub>O. Nonostante gli enormi potenziali vantaggi, l'uso dell'idrogeno è attualmente limitato dall'insufficiente capacità delle tecnologie di stoccaggio e trasporto in sicurezza. Inoltre, oggi il 47% dell'idrogeno mondiale è prodotto da gas naturale, il 30% da petrolio, il 19% da carbone e la restante frazione tramite elettrolisi dell'acqua quindi, circa il 96% dell'idrogeno deriva dalla conversione delle risorse fossili, il che significa una coproduzione netta di CO<sub>2</sub>. Sono quindi necessari nuove fonti e nuovi processi per produrre idrogeno in modo sostenibile.

In un ambito di bioraffineria integrata, lo SR del bioetanolo è una valida opportunità. Il MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> è stato scelto come catalizzatore stabile, attivo, selettivo e con margini di miglioramento. Un carico di Ni dall'1,5 al 10% in peso ha migliorato la conversione di etanolo e la resa di idrogeno, mentre la deposizione di coke e la quantità dei sottoprodotti sono diminuiti. La ridotta acidità superficiale, attribuita ai centri attivi di Ni, ha impedito un esteso coking del catalizzatore, conseguente alla formazione di etilene e successiva polimerizzazione. La piccola quantità di coke, prevalentemente amorfo, sui catalizzatori esauriti consente inoltre una facile riattivazione. L'analisi dell'etanolo adsorbito a temperatura variabile ha evidenziato gli intermedi di reazione e la loro evoluzione con la temperatura, permettendo di suggerire i principali percorsi di reazione. L'acetaldeide è stata individuata come importante intermedio, in rapida evoluzione. Tra i possibili percorsi evolutivi dell'acetaldeide, l'ossidazione a specie acetato e carbonato (probabilmente stabilizzati dai centri basici del supporto) è stata preferita rispetto alla decomposizione a metano e CO, giustificando la distribuzione dei prodotti evidenziata attraverso i test di attività. Per poter procedere allo scale-up del processo sono stati considerati tre esempi di sfruttamento del bioetanolo come fonte rinnovabile: a) produzione centralizzata di idrogeno; b) calore ed energia cogenerazione (scala residenziale); c) produzione di etilene. Dopo la progettazione del processo e l'implementazione di espressioni cinetiche basate su dati sperimentali o da letteratura, la valutazione economica dei tre processi ha permesso di stimarne la sostenibilità economica. La produzione centralizzata di idrogeno dal bioetanolo è stata considerata conveniente a partire da bioetanolo diluito proveniente da colture di prima generazione. Con un incremento del costo del greggio, e conseguente prezzo dell'etilene, diventa invece competitiva la produzione di bio-etilene.

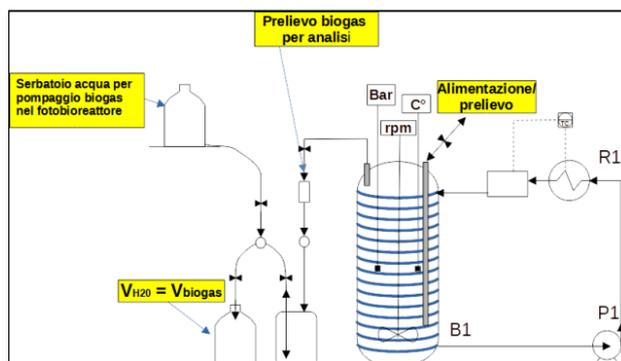
1. A. Di Michele, A. Dell'Angelo, A. Tripodi, E. Bahadori, F. Sanchez, D. Motta, N. Dimitratos, I. Rossetti, G. Ramis "Steam reforming of ethanol over Ni/MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> catalysts" *International Journal of Hydrogen Energy*, 44 (2019) 952-964.
2. I. Rossetti, A. Tripodi, G. Ramis "Hydrogen, ethylene and power production from bioethanol: Ready for the renewable market?" *International Journal of Hydrogen Energy*, 45 (2020) 10292-10303.
3. F. Conte, S. Esposito, V. Dal Santo, A. Di Michele, G. Ramis, I. Rossetti "Flame pyrolysis synthesis of mixed oxides for glycerol steam reforming" *Materials*, 14 (2021) 652-671.

## Digestione anaerobica di residui agroindustriali nell'ottica di un approccio zero-waste

Gruppo DICCA: A. Converti, A.A. Casazza, C. Solisio, S. Mirizadeh  
Collaborazione con: J. M. Domínguez González (Università di Vigo, Spagna), S. Al Arni (Ha'il University).  
Ricerca finanziata da: Contratti aziendali (Prof. Solisio). Spese sostenute in parte da progetti dell'Università di Ha'il e dalla Xunta de Galicia

Una delle attività di ricerca del Gruppo di Biotecnologie Ambientali del DICCA riguarda l'applicazione del processo di digestione anaerobica per il recupero energetico di residui agroindustriali. Al momento le ricerche sono dirette verso l'impiego della sansa derivante dal processo di produzione dell'olio di oliva in un impianto in scala di laboratorio da 7 litri con sistema di agitazione e controllo della temperatura. La sansa viene essicata (al fine di stabilizzarla), diluita in acqua e in seguito digerita.

Due filoni di ricerca diversi riguardano l'upgrading del biogas a biometano e il riutilizzo del digestato. Nel primo caso il biogas prodotto viene convogliato verso un fotobioreattore in cui una microalga cresce autotroficamente usando la CO<sub>2</sub> del biogas come unica fonte di carbonio. Come conseguenza il biogas è convertito a biometano nel quale la percentuale di metano può superare il 90%. Il secondo approccio sfrutta la capacità delle microalghe di crescere in condizioni mixotrofiche quando è disponibile una fonte di carbonio organico quali i contaminanti ancora presenti nel digestato. In questo caso il digestato prodotto nel primo step è trattato nel fotobioreattore in modalità fed batch, consentendo in tal modo di ridurre la domanda chimica di ossigeno (COD) in alcuni casi fino all'80%. Una combinazione dei due approcci consentirebbe di trasformare un residuo agroindustriale come la sansa (o altri residui analoghi) esclusivamente in biometano e in biomassa microalgale da impiegare rispettivamente come biocombustibile e come materia prima per la produzione di biodiesel, perseguendo in tal modo l'obiettivo zero-waste.



In figura è illustrato lo schema di impianto del digestore anaerobico in scala di laboratorio, impiegato per la digestione in modalità fed batch della sansa. La ricerca ha portato a valori di produttività di biogas fino a 130 L/kg:giorno.

1. A. Converti, R.P.S. Oliveira, B.R. Torres, A. Lodi & M. Zilli, Biogas production and valorization by means of a two-step biological process, *Bioresour. Technol.* 100(23) (2009) 5771-5776.
2. A.A. Casazza, A. Converti & M. Rovatti, Trattamento di inquinanti emergenti in acque da digestione anaerobica di liquami suinicoli mediante microalghe. *IDA* 4(2) (2017) 109-116.
3. D. Bove, S. Merello, D. Frumento, S. Al Arni, B. Aliakbarian & A. Converti, A critical review of biological processes and technologies for landfill leachate treatment. *Chem. Eng. Technol.* 38(12) (2015) 2115-2126.

## Impianti per estrazione solido-liquido non-convenzionale per la valorizzazione di residui dell'industria agroalimentare

Gruppo DICCA: A.A. Casazza, M. Pettinato, J. Li, P. Perego  
Collaborazione con: D Palombo (DISC), Maria Ines Sucupira Maciel (University of Pernambuco), Fariba Deghani (University of Sydney)  
Ricerca finanziata da: BUYT, SoLVE, Piovan S.P.A.

Il Food Eng Lab si occupa da anni di tecniche estrattive non convenzionali, utilizzando solventi green con l'obiettivo di ridurre al minimo l'impatto sull'ambiente. In tal senso, le ricerche prevedono il riutilizzo di residui agroalimentari per recuperare molecole bioattive. In accordo con il concetto di bioraffineria, le attività di ricerca si focalizzano sullo step finalizzato all'ottenimento di un prodotto di maggior valore sul mercato: il recupero di composti ad alto valore aggiunto mediante metodi innovativi finalizzati a preservarne la bioattività, di interesse per la produzione di integratori alimentari, farmaci e cosmetici e secondariamente su ulteriori riutilizzi del residuo solido del processo estrattivo. Le tecniche di estrazione 'green' implementate nel Food Eng Lab tendono a escludere l'utilizzo dei solventi organici, ottimizzando le condizioni operative del processo estrattivo. Vengono studiate estrazioni innovative quali l'estrazione assistita da microonde, da altre pressioni e temperatura, e da ultrasuoni, valutando l'ottimizzazione delle variabili operative, le cinetiche di estrazione, i pre e post trattamenti in funzione dei campi applicativi cui gli estratti sono destinati. Recentemente lo studio è stato esteso ad una nuova tecnica di estrazione brevettata dal gruppo di Ricerca (SoLVE), con la quale il recupero delle diverse molecole bioattive può essere condotto in maniera più efficiente, riducendo i volumi di solvente, gli step di processo necessari e i tempi morti. Tale brevetto è stato finanziato dal Programma di valorizzazione dei brevetti "Build up your tech" finalizzato a permettere l'incremento del TRL, ed è oggetto di un progetto di ricerca finanziato dall'azienda Piovan S.p.A. mirato all'estrazione di contaminanti da PET riciclato. Gli estratti pensati per applicazioni alimentari, cosmetiche e farmaceutiche prodotti nel Food Eng Lab vengono validati biologicamente nel centro interdipartimentale BELONG tra la Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche e la Scuola Politecnica.



Impianti estrattivi in scala del Food Engineering Laboratory.

1. Silva M.F.D., Pettinato M., Casazza A.A., Maciel M.I.S., Perego P. Design and evaluation of non-conventional extraction for bioactive compounds recovery from spent coffee (*Coffea arabica* L.) grounds. *Chem. Eng- Res. Des.*, 177 (2022) 418-430.
2. Ferrari P.F., Pettinato M., Casazza A.A., De Negri Atanasio G., Palombo P., Perego P. Polyphenols from Nerone Gold 26/6, a new pigmented rice, via non-conventional extractions: antioxidant properties and biological validation. *J. Chem. Tech. & Biotech.*, 96(6) (2021) 1691-1699.
3. Casazza A.A., Pettinato M., Perego P. Polyphenols from apple skins: A study on microwave-assisted extraction optimization and exhausted solid characterization. *Separation and Purification Technology*, 240 (2020), 116640.

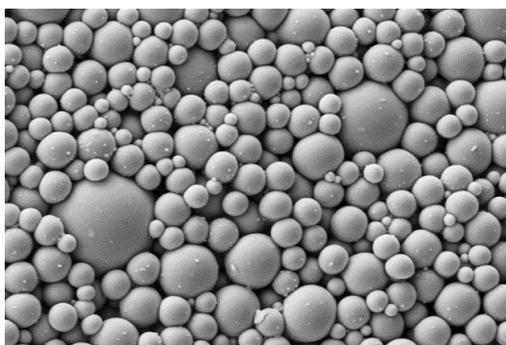
## Produzione di micro e nanoparticelle per l'incapsulamento di molecole attive

Gruppo DICCA: R. Campardelli, A.A. Casazza, M. Pettinato, P.F. Ferrari, G. De Negri Atanasio, P. Perego

Collaborazione con: D. Palombo (DISC), G. Firpo (DIFI), B. Sarmento (Porto)

Ricerca finanziata da: Curiosity Driven 2020

La progettazione e la produzione di particelle di diversa origine rappresenta un argomento cardine del gruppo di ricerca. La stabilizzazione di principi attivi in particelle polimeriche è molto utilizzata in diversi campi di applicazione e presenta numerosi vantaggi. In particolare, nell'ambito biomedico i sistemi micro e nanoparticellari vengono impiegati per delivery di molecole di interesse in modo da migliorarne la farmacocinetica, in alcuni casi l'efficacia e la sicurezza, riducendone gli effetti collaterali. Inoltre, i carrier, possono trovare impiego anche nella diagnostica per immagini in diversi ambiti medici. Le nanoparticelle presentano un rapporto superficie/volume maggiore rispetto a carrier più grandi: vengono quindi usati come vettori trasportando e rilasciando farmaci direttamente ai tessuti. Risulta quindi di particolare interesse sviluppare tecniche innovative per la produzione di tali costrutti in modo da avere la miglior particelle in termini di efficienza di incapsulamento, dimensione, stabilità e morfologia. Tali carrier vengo prodotti presso il nostro dipartimento con diverse tecniche (ad esempio doppia emulsione, spray-drying) ed in base all'applicazione finale vengono scelti i materiali della particella (polimeri di sintesi, polimeri di origine naturale, lipidi per la produzione di liposomi), le dimensioni e la velocità di rilascio dell'agente incapsulato. Grazie alla collaborazione con il DISC è nato un progetto per la produzione di particelle, opportunamente modificate in superficie, deputate al drug delivery targettizzato al sito bersaglio.



Particelle polimeriche di  
acido polilattico-co-  
glicolico (PLGA)

1. Calliari, C.M., Campardelli, R., Pettinato, M., Perego, P. Encapsulation of Hibiscus sabdariffa Extract into Zein Nanoparticles *Chemical Engineering and Technology*, 43(10) (2020) 2062–2072.
2. De Negri Atanasio, G., Ferrari, P.F., Campardelli, R., Perego, P., Palombo, D. Poly (Lactic-co-glycolic acid) nanoparticles and nanoliposomes for protein delivery in targeted therapy: A comparative in vitro study *Polymers*, 12(11) (2020) 1–14, 2566
3. Trucillo, P., Ferrari, P.F., Campardelli, R., Reverchon, E., Perego, P. A supercritical assisted process for the production of amoxicillin loaded liposomes for anti-microbial applications *Journal of Supercritical Fluids*, 163 (2020) 104842

## Produzione di protesi elettrofilate per la sostituzione di vasi sanguigni di piccolo calibro

Gruppo DICCA: P.F. Ferrari, G. De Negri Atanasio, J.O. Pralits, P. Perego  
Collaborazione con: D. Palombo (DISC), O. Monticelli (DCCI)

Ricerca finanziata da: Proof of Concept 2021 (PoC)

I sostituti vascolari sono dispositivi medici che vengono impiantati allo scopo di ripristinare l'efficacia di un tratto vascolare che, per diversi motivi, non sia più in grado di trasportare il sangue correttamente. Attualmente le protesi vascolari in commercio presentano un medio o grosso calibro, in ogni caso un diametro maggiore di 6 mm. La difficoltà nella progettazione di protesi di piccolo calibro è data dal fatto che la pressione è più bassa all'interno del vaso di piccolo calibro, portando un aumento del tempo di contatto tra sangue e protesi e aumentando il rischio trombotico.

La protesi progettata presso il nostro laboratorio viene prodotta grazie alla tecnica di elettrofilatura miscelando un *blend* di due polimeri, il poli( $\epsilon$ -caprolattone) e il poli(glicerol sebacato), entrambi biocompatibili, a cui viene addizionata la quercetina come modulatore del processo infiammatorio post-impianto. Tali sostituti vascolari sono stati studiati dal punto di vista morfologico, della suturabilità, della degradazione e della bio ed emocompatibilità.

Tali costrutti sono stati validati utilizzando un bioreattore costruito *ad hoc* al fine di valutarne il comportamento sotto regimi pressori che simulino le condizioni fisiologiche alle quali sono sottoposti i vasi periferici di piccolo calibro.



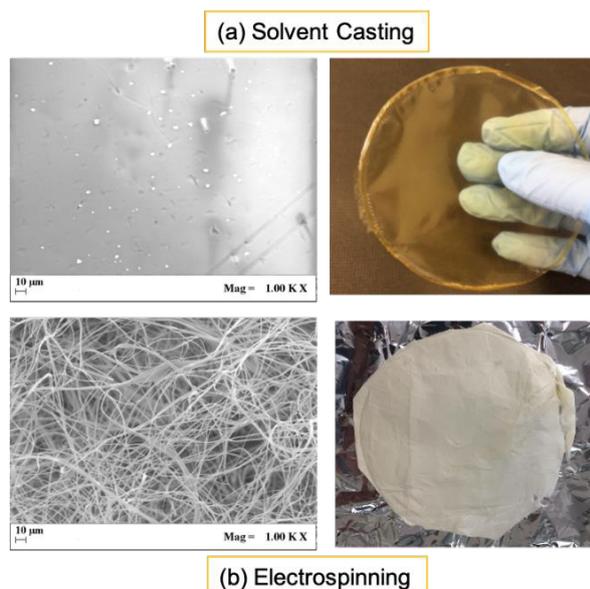
Protesi vascolari elettrofilate.

1. Ferrari, P.F., Aliakbarian, B., Palombo, D., Perego, P. Small diameter vascular grafts coated with gelatin. *Chemical Engineering Transactions*, 57 (2017) 1441-1446.
2. Ferrari, P.F., Aliakbarian, B., Lagazzo, A., Palombo, D., Perego, P. Tailored electrospun small-diameter graft for vascular prosthesis. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 66 (2017) 635-643.

## Produzione di biomateriali per lo sviluppo di imballaggi attivi in campo alimentare

Gruppo DICCA: R. Campardelli, M. Pettinato, E. Drago, M. Bolla, P. Perego  
Collaborazione con: G. Firpo (DIFI), I. De Marco (Università di Salerno, DIIN)

Il settore degli imballaggi alimentari è recentemente diventato uno dei temi di ricerca più interessanti a livello mondiale. Nell'era dell'Industria 4.0, anche questo settore è soggetto a una forte innovazione spronata dall'esigenza di ridurre sia i volumi di rifiuti derivanti da materiali di origine fossile sia lo spreco alimentare dovuto al deperimento prematuro dei prodotti confezionati a causa di scorrette modalità di trasporto e stoccaggio. In quest'ottica, il settore del packaging alimentare sta abbandonando il vecchio concetto di semplice protezione e contenimento del prodotto, per aprirsi ad una visione innovativa che prevede un'interazione diretta e controllata del materiale di imballaggio con il prodotto alimentare attraverso sistemi definiti "imballaggi attivi". Gli obiettivi primari di questo argomento di ricerca sono quindi: l'individuazione di nuove materie prime derivanti da fonti naturali e rinnovabili (come residui dell'industria agro-alimentare) per lo sviluppo di biomateriali e, nello specifico di bio-film; l'ingegnerizzazione di questi bio-film tramite il caricamento di composti attivi di origine naturale con azione antimicrobica e antiossidante; la ricerca di tecniche di filmatura non convenzionali, adatte al trattamento di composti termolabili. Le principali sfide di questo argomento di ricerca sono poste dall'obiettivo di rendere i suddetti bio-film competitivi in termini di proprietà meccaniche, proprietà di barriera ai gas e cinetiche di rilascio dei composti attivi. Per questo, nel nostro gruppo, sono state adottate diverse tecniche di produzione come il solvent casting, lo spin coating e l'elettrospinning. Le prime due tecniche consentono di ottenere pellicole continue e trasparenti, adatte all'impiego come packaging primario con ottime proprietà barriera, mentre la tecnica di elettrofilatura consente di produrre materiali nanostrutturati con ottime cinetiche di rilascio dei composti attivi incapsulati, adatti all'impiego come patches da inserire all'interno del packaging primario.



Differenza morfologica e strutturale di bio-film a base di zeina prodotti tramite solvent casting e tramite elettrospinning.

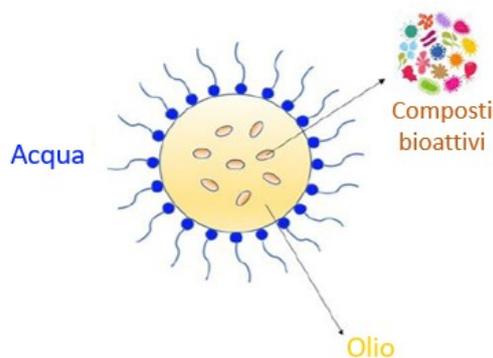
1. R. Campardelli, M. Pettinato, E. Drago, P. Perego. Production of Vanillin-Loaded Zein Sub-micron Electrospun Fibers for Food Packaging Applications. *Chemical Engineering & Technology*, 44 (2021) 1-8
2. E. Drago, R. Campardelli, M. Pettinato, P. Perego. Innovations in Smart Packaging Concepts for Food: An Extensive Review. *Foods* (2020) 9
3. Drago, E., Franco, P., Campardelli, R., De Marco, I., Perego, P. Zein electrospun fibers purification and vanillin impregnation in a one-step supercritical process to produce safe active packaging. *Food Hydrocolloids*, 122 (2022) 107082.

## Incapsulamento di composti bioattivi in emulsioni

Gruppo DICCA: R. Campardelli, C. Bufalini, J.O. Pralits, P.Perego  
Collaborazione con: D. Palombo (DISC), P.F. Ferrari (DISC)

Ricerca finanziata da: Premio Start Cup Unige 2019

L'incapsulamento di sostanze bioattive è un processo attraverso il quale differenti tipi di composti bioattivi vengono intrappolati all'interno di un materiale di supporto. È un campo di ricerca in continua evoluzione al fine di trovare tecniche sempre più innovative e performanti. Pertanto, sono attualmente studiati nuovi metodi per la stabilizzazione in formulazioni liquide, tra cui le emulsioni. Un'emulsione è un sistema bifasico in cui una fase è dispersa nell'altra sotto forma di fini goccioline, ottenuta quando i due liquidi scelti per la formulazione, sono completamente immiscibili, come ad esempio acqua e olio. Esistono diverse tipologie di emulsioni, classificate in base alla distribuzione spaziale delle fasi liquide: emulsioni singole, come emulsioni olio-in-acqua (O/W) ed acqua-in-olio (W/O), ed emulsioni più complesse, chiamate doppie emulsioni, come emulsioni olio-in-acqua-in-olio (O/W/O) ed acqua-in-olio-in-acqua (W/O/W). Le emulsioni trovano impiego in molti settori industriali, come quello alimentare, farmaceutico e cosmetico. Tra le varie applicazioni, le emulsioni vengono utilizzate dal nostro gruppo di ricerca per incapsulare componenti bioattivi al fine di proteggerli dalle condizioni esterne, mascherare il sapore, rallentare i processi di degradazione, aumentare la stabilità e la shelf-life. Le emulsioni sono considerate come uno dei sistemi di incapsulamento e rilascio più popolari per un'ampia gamma di molecole bioattive lipofile, idrofile e anfifiliche, grazie al loro alta efficienza di incapsulamento, al mantenimento della stabilità chimica delle molecole incapsulate e al rilascio controllato. Si possono incapsulare diverse sostanze bioattive, come ad esempio vitamine, coloranti, aromi, conservanti, antiossidanti, polifenoli e farmaci. Oltre ai composti bioattivi si possono incapsulare anche i microorganismi, come ad esempio i probiotici. Un'applicazione specifica del gruppo di ricerca, svolta nell'ambito dello spin-off BEST, riguarda l'incapsulamento di ceppi microbici in emulsioni doppie del tipo W/O/W per l'applicazione agricola.



In figura è mostrata un'emulsione doppia del tipo acqua-in-olio-in-acqua per l'incapsulamento di sostanze bioattive per applicazioni alimentare, farmaceutiche, cosmetiche e agricole

## **Valutazione della sostenibilità lungo il ciclo di vita dei processi agroalimentari per un riposizionamento competitivo delle Green Technologies valutato con approccio Water Energy Food Nexus**

Gruppo DICCA: M. Gallo, A. Del Borghi, L. Moreschi, E. Gagliano,  
Collaborazione con: L. Lombardi Statistics Division (ESS) of FAO, F. Vagliasindi  
Università degli Studi di Catania

Ricerca finanziata da: SOC. COOP. Agricola CONSERVE ITALIA

L'attività di ricerca si inserisce all'interno dell'Ambito di ricerca e innovazione "Prodotti alimentari, bioeconomia, risorse naturali, agricoltura, ambiente (PNR 2021-2017) ed in particolare Green technologies – Articolazione 6 e rientra nell'Area di specializzazione Agrifood della Strategia Nazionale di Specializzazione Intelligente (SNSI). La ricerca riguarda la definizione di una metodologia che consenta nel ciclo di vita una quantificazione degli impatti lungo la filiera, considerando tutti i comparti riconducibili all'agricoltura, all'industria della trasformazione alimentare ed al packaging, che sono compresi nell'Area di specializzazione Agrifood.

La ricerca sarà realizzata lungo la filiera dei vegetali e seguirà un approccio basato sul Water Energy Food (WEF) Nexus, valutando l'interconnessione esistente tra cibo, acqua, energia e cambiamenti climatici. La metodologia sarà congruente con la metodologia LCSA (Life Cycle Sustainability Assessment), integrando le norme che regolano il Life Cycle Assessment (ISO 14040-44), il Life Cycle Costing (LCC), la S-LCA (Social Life Cycle Assessment) ed i principi dell'Economia Circolare. La base del WEF Nexus è un tentativo di bilanciare diversi usi delle risorse dell'ecosistema (energia, acqua, terra, suolo e fattori socioeconomici) partendo dal presupposto che esistono chiare interazioni tra acqua, cibo ed energia che possono tradursi in sinergie o compromessi tra diversi settori o gruppi di interesse. La ricerca mira ad effettuare un'ottimizzazione multi-variabile dei processi agroalimentari in cui viene definito il punto di ottimizzazione rappresentato dal "miglior compromesso" tra impronta idrica, consumi energetici, cambiamenti climatici e resa agricola della coltura, come esemplificato in figura.

La ricerca ha quindi come obiettivo la definizione e la quantificazione di un indicatore unico di sostenibilità che consideri i diversi aspetti dell'impronta quantificando, oltre alle emissioni di gas serra, i consumi idrici, il fabbisogno energetico e di suolo, anche gli impatti economici e sociali.

$$I_{GWP} = \frac{GWP_{baseline}}{GWP_{specifico}}$$

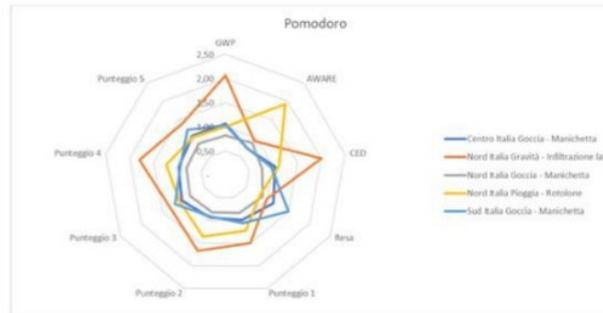
$$I_{AWARE} = \frac{AWARE_{baseline}}{AWARE_{specifico}}$$

$$I_{CED} = \frac{CED_{baseline}}{CED_{specifico}}$$

$$I_{Resa} = \frac{Resa_{specifica}}{Resa_{baseline}}$$

$$I_{WEF} = \sum_i f_{pesatura,i} * I_i$$

Pesatura	Pt. 1	Pt. 2	Pt. 3	Pt. 4	Pt. 5
GWP	25,0%	33,3%	16,7%	55,3%	27,6%
AWARE	25,0%	33,3%	16,7%	22,5%	11,2%
CED	25,0%	33,3%	16,7%	22,2%	11,1%
Resa	25,0%	0,0%	50,0%	0,0%	50,0%



L'attività prevede la definizione di tre aree geografiche in Italia (Nord, Centro e Sud) e, rispetto ad ogni singola coltura studiata, l'identificazione delle aree di miglioramento e delle green technologies applicabili.

La ricerca si configura come un'attività di alto impatto in termini di ricadute scientifiche, sociali ed economiche sul territorio nazionale grazie al coinvolgimento dell'azienda Conserve Italia, società Cooperativa Agricola capofila di società di capitali presenti sia in Italia che in altri paesi dell'Unione Europea, leader nazionale ed europea grazie a marchi di prestigio quali Valfrutta, Cirio, Yoga, Derby Blue e Juver, con un fatturato di oltre 665,6 milioni, 2.134 dipendenti, 8 stabilimenti produttivi situati lungo il territorio nazionale e 5 centri logistici. Le ricadute saranno misurabili in termini di riduzione dell'impatto delle filiere analizzate ed in termini di nuove tecnologie sostenibili definite.

1. Del Borghi, A., Moreschi, L., Gallo, M. Circular economy approach to reduce water-energy-food nexus. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 13 (2020) 23-28.
1. Del Borghi, A., Strazza, C., Magrassi, F., Taramasso, A.C., Gallo, M. Life Cycle Assessment for eco-design of product-package systems in the food industry - The case of legumes. *Sustainable Production and Consumption*, 13 (2018) 24-36.

## Simulazione di processo a diverse scale di dettaglio

Gruppo DICCA: E. Arato, B. Bosio, C. Moliner (PERT)

Ricerca finanziata da: Paul Wurth, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (progetto "Piter on Board" con il CNR).

Il PERT (*Process Engineering Research Team*) è costituito da ricercatori che svolgono attività di studio nell'ambito di temi tradizionali e innovativi dell'ingegneria di processo. L'attività è promossa da investimenti di società che richiedono supporto scientifico al PERT, ed è sostenuta da finanziamenti ministeriali ed europei. L'interesse suscitato dai risultati ottenuti e l'attualità degli argomenti di ricerca hanno favorito inoltre numerose collaborazioni non solo con multinazionali (quali ExxonMobil, Ecospray, ENI, Paul Wurth, ...), ma anche con università e centri di ricerca nazionali ed internazionali. Gli studi del PERT sulla simulazione di processo costituiscono un'attività di ricerca applicata che l'esperienza ha mostrato sostenersi efficacemente grazie al procedere parallelo di modellazione e sperimentazione, in un rapporto di verifica e guida reciproca. Lo studio viene condotto su diverse scale fenomenologiche: si va dallo studio dei fenomeni a livello di micro-scala fino a raggiungere la scala di sistema. A titolo d'esempio si riportano due figure inerenti le tematiche maggiormente sviluppate, relative a sistemi termochimici ed elettrochimici, ma l'approccio di modellizzazione su diverse scale fenomenologiche è stato convalidato su processi anche molto differenti, come per esempio il trasporto della CO<sub>2</sub> (dall'analisi delle equazioni di stato all'ottimizzazione delle stazioni di pompaggio lungo le pipeline), l'applicazione della criochirurgia (dallo studio dei fenomeni di trasporto di calore nei tessuti all'ottimizzazione dell'apparecchiatura di refrigerazione) o i fenomeni di adsorbimento (dai meccanismi diffusivi nel materiale adsorbente all'efficienza globale di cattura).

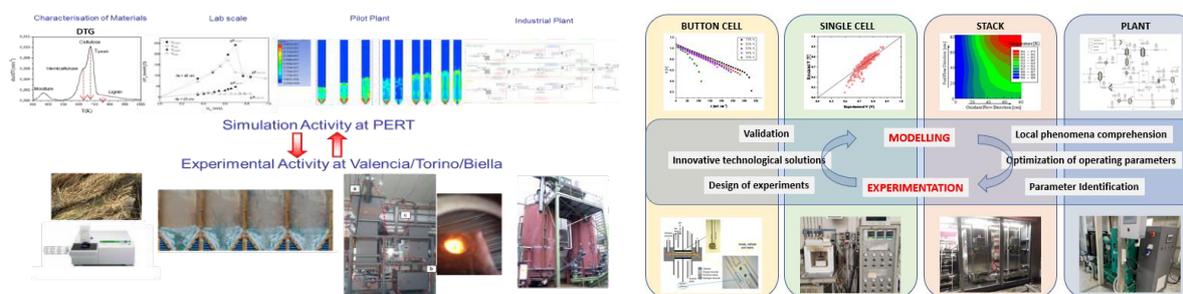


Fig. 1. Esempi di simulazione multiscala di processo

1. Moliner C., Marchelli F., Bosio B., Arato E. Multiscale modelling of Spouted and Spout-Fluid Beds: key for their successful scale up, *Energies* 10(11) (2017) 1729-1767.
2. Bosio, B., Bove, D., Guidetti, L., Avalle, L., Arato, E. Numerical Simulation of the Heat Transfer in the Cryoprobe of an Innovative Apparatus for Cryosurgery, *Journal of Biomechanical Engineering* 141 (1) (2019).
3. Mazzoccoli, M., Bosio, B., Arato, E., Brandani, S. Comparison of equations-of-state with P-ρ-T experimental data of binary mixtures rich in CO<sub>2</sub> under the conditions of pipeline transport, *Journal of Supercritical Fluids* 95 (2014) 474-490.

## Simulazione di processi termochimici

Gruppo DICCA: E. Arato, C. Moliner

Collaborazione con: M. Baratieri e F. Marchelli (UNIBZ), G. Rovero (ex POLITO)

Ricerca finanziata da: Biochar e borse di dottorato UNIBZ (D. Bove e F. Marchelli)

La ricerca è rivolta allo studio teorico dei processi termochimici tramite modelli di simulazione, il loro confronto con dati sperimentali per la loro validazione e il loro uso per l'ottimizzazione del processo. La simulazione si focalizza su due scale di processo: modelli CFD con software commerciali (Fluent) o di codice aperto (MFIK) per lo studio fluidodinamico dei reattori fluidizzati tipo spouted bed e simulazioni di processo con software commerciali (Aspen Plus) o di codice aperto (COCO) per lo studio dei bilanci di materia e energia delle diverse unità operative. I modelli CFD mirano a studiare i parametri fondamentali dei reattori spouted bed (velocità di spouting, caduta di pressione, altezza di fontana, tempi di residenza). Questi risultati sono validati con dati ottenuti da due unità sperimentali presso il Politecnico di Torino e il sito industriale Filidea. Una delle unità contiene un modulo di base quadrata di 20 cm di lato e l'altra unità è composta di quattro moduli (in serie e in parallelo). Le simulazioni di processo riguardano lo studio delle reazioni termochimiche (pirolisi, gassificazione, incenerimento) che avvengono nei reattori in condizioni di equilibrio e pseudo-equilibrio chimico e tramite l'inserimento delle cinetiche di reazione. I dati sperimentali per la validazione dei modelli sono ottenuti dalle collaborazioni con altre entità pubbliche e private.

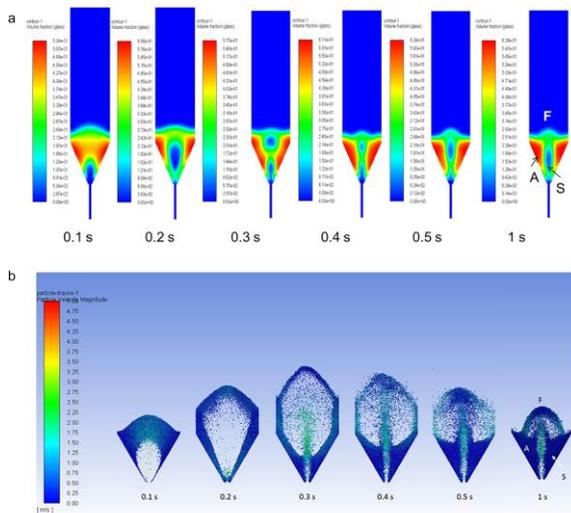


Fig. 1. Esempi di simulazioni CFD

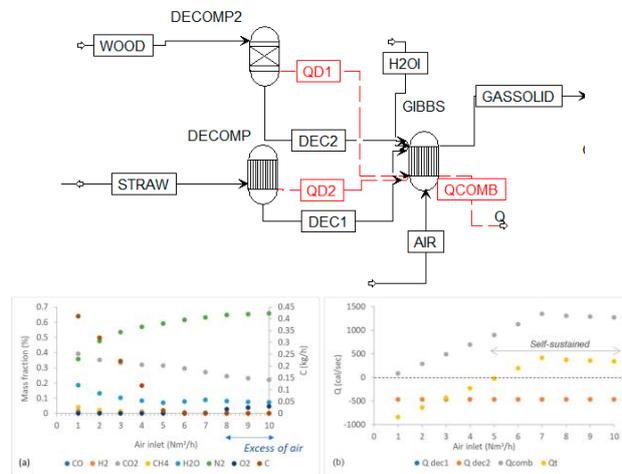


Fig. 2. Flowsheet e risultati di simulazione Aspen Plus

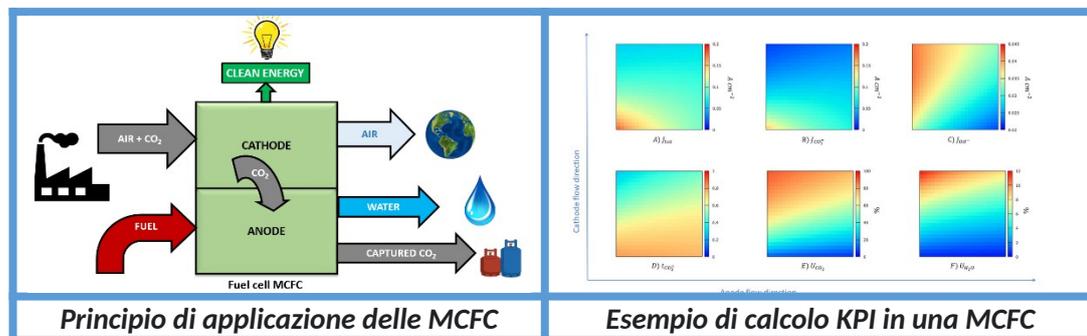
1. Marchelli F., Quinfu H., Aibing Y., Bosio B., Arato E. Comparison of different drag models in CFD-DEM simulations of spouted beds, *Powder Techn.* 360 (2020) 1253-1270.
2. Moliner C., Marchelli F., Spanachi N., Martinez-Felipe A., Bosio B., Arato E. CFD simulation of a Spouted Bed: comparison between the Discrete Element Method (DEM) and the Two Fluid Method (TFM), *Chemical Eng. Journal*, 377 (2019) 120466.
3. Moliner C., Marchelli F., Curti M., Bosio B., Rovero G., Arato E. Spouting behaviour of binary mixtures in square-based spouted beds, *Particology*, 43 (2019) 193-201.

## Celle a Combustibile a Carbonati Fusi per la produzione di energia pulita e la simultanea cattura della CO<sub>2</sub>

Gruppo DICCA: B. Bosio, D. Bove e A. Sheikh  
Collaborazione con: M. Cassir (Chemie ParisTech, FR), C. Lagergren (KTH, SE),  
S. Nam (KIST, KR), M.C. Ferrari (Univ. Edinburgh, UK), L. Barelli  
(Univ. Perugia, IT), M. Della Pietra (ENEA, IT)

Ricerca finanziata da: ExxonMobil USA (2017-20), Ecospray Technologies (2020-22)

Le Celle a Combustibile a Carbonati Fusi (MCFC, dall'acronimo inglese) sono reattori elettrochimici in grado di trasformare direttamente l'energia chimica del combustibile alimentato in energia elettrica con elevato rendimento e basso impatto ambientale. Questo tipo di celle si distingue dalle altre per l'ulteriore capacità di catturare la CO<sub>2</sub> da esasti di impianti di potenza o altri processi industriali, caratterizzandosi come un sistema di cattura "attivo" esente dagli onerosi consumi energetici propri dei sistemi tradizionali. In uno scenario mondiale che propone l'obiettivo "zero emissioni entro il 2050", le potenzialità delle MCFC stanno suscitando grande interesse nel mondo della ricerca e industriale. Il gruppo in oggetto studia questa tecnologia da oltre 20 anni, avendo acquisito una notevole esperienza in termini di simulazione a diversi gradi di dettaglio (dai fenomeni di trasporto e di cinetica elettrochimica sulla scala dei pori degli elettrodi all'analisi di sistema sulla scala di impianto). Il progetto più recente, finanziato da ExxonMobil, ha permesso l'identificazione e la modellizzazione di un meccanismo di reazione mai osservato precedentemente in letteratura. Attualmente la collaborazione con Ecospray Technologies sta promuovendo anche lo sviluppo sperimentale di questa tecnologia e ha portato alla prossima inaugurazione di un laboratorio congiunto (CapLab - Electrochemical Cells for Carbon Capture and Energy Transition).

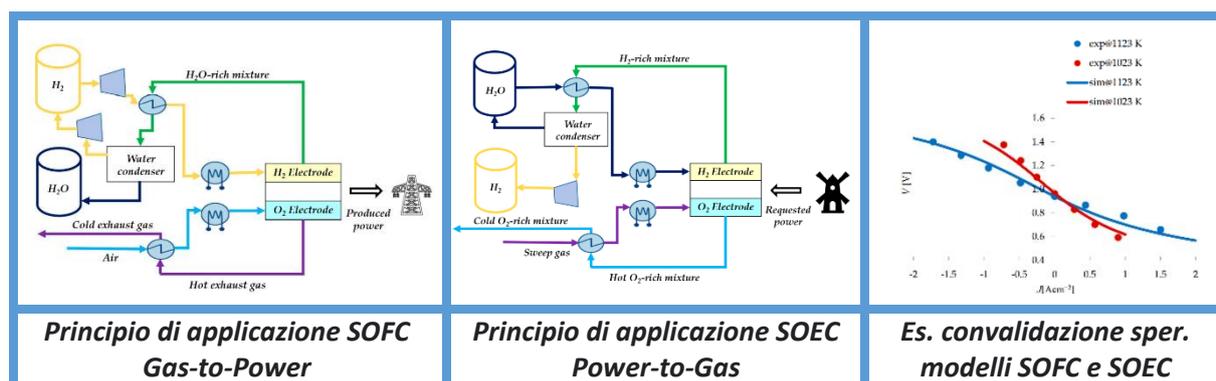


1. Barckholtz, T.A., Elsen, H., Kalamaras, P.H., Kiss, G., Rosen, J., Bove, D., Audasso, E., Bosio, B.: Experimental and Modeling Investigation of CO<sub>3</sub>=/OH<sup>-</sup> Equilibrium Effects on Molten Carbonate Fuel Cell Performance in Carbon Capture Applications, (2021) *Frontiers in Energy Research*, 9 (2021) 669761.
2. Cooper, R., Bove, D., Audasso, E., Ferrari, M.C., Bosio, B.: A feasibility assessment of a retrofit Molten Carbonate Fuel Cell coal-fired plant for flue gas CO<sub>2</sub> segregation. *Int. J. of Hydrogen Energy*, 46(28) (2021) 15024-15031.
3. Bove, D., Audasso, E., Barckholtz, T., Kiss, G., Rosen, J., Bosio, B.: Process analysis of molten carbonate fuel cells in carbon capture applications. *Int. J. of Hydrogen Energy*, 46 (28) (2021) 15032-15045.

## Vettore Idrogeno: Celle a Ossidi Solidi in applicazioni “Gas-to-Power” e “Power-to-Gas”

Gruppo DICCA: B. Bosio, F.R. Bianchi  
 Collaborazione con: S. Massucco (DITEN), P. Piccardo (DCCI), A. Massardo (DIME),  
 D. Vladikova (IEES, BG), A. Hagen (DTU, DK), S. McPhail (ENEA, IT), P. Polverino (Univ. Salerno, IT).  
 Ricerca finanziata da: PRIN2017 (2019-22), progetto europeo Ad Astra (2018-22).

L'attuale processo di transizione energetica richiede lo sviluppo di nuove tecnologie per la produzione di energia pulita e l'incremento dell'uso di risorse rinnovabili. Il vettore idrogeno si propone come una soluzione interessante, consentendo la produzione di energia elettrica pulita (se alimentato a celle a combustibile ad alta efficienza) e offrendo la possibilità di immagazzinare l'energia elettrica ottenibile da fonti rinnovabili, tipicamente aleatorie e discontinue (se prodotto dall'acqua con celle elettrolitiche alimentate da tale energia). Questi i concetti alla base delle applicazioni dette rispettivamente “Gas-to-Power” e “Power-to-Gas” e oggi possibili mediante celle già tecnologicamente consolidate per le singole direzioni di processo. In questo contesto le celle ad ossidi solidi (SOC) sono invece strumenti ancora oggetto di ricerca accademica e industriale per la peculiare possibilità di funzionare in modalità reversibile, potendo assolvere cioè entrambe le funzioni in uno stesso dispositivo che può operare con alta efficienza sia come cella a combustibile (SOFC) sia come elettrolizzatore (SOEC). Il gruppo in oggetto studia questa tecnologia da alcuni anni, avendo ottimizzato un modello di simulazione 3D basato su una innovativa formulazione cinetica convalidata su dati sperimentali relativi ad entrambe le modalità di esercizio. In particolare, il gruppo sta attualmente partecipando ad un progetto PRIN2017 per l'integrazione di tale modello in una analisi di sistema per applicazioni 100% rinnovabili e ad un progetto europeo focalizzato sull'indagine e la modellizzazione chimico-fisica dei fenomeni di invecchiamento che penalizzano le prestazioni di tali celle nel tempo.



1. Padinjarethil, A.K., Bianchi, F.R., Bosio, B., Hagen, A. : Electrochemical Characterization and Modelling of Anode and Electrolyte Supported Solid Oxide Fuel Cells, *Frontiers in Energy Research*, 9 (2021) 668964.
2. Bianchi, F.R., Bosio, B. : Operating principles, performance and technology readiness level of reversible solid oxide cells, *Sustainability*, 13(9) (2021) 4777.
3. Bianchi, F.R., Baldinelli, A., Barelli, L., Cinti, G., Audasso, E., Bosio, B.: Multiscale modeling for reversible solid oxide cell operation, *Energies*, 13(19) (2020) 5058.

## Progetto H<sub>2</sub>ELM

Gruppo DICCA: M. Paola Carpanese, Davide Cademartori, Davide Clematis  
Collaborazione con: A. Sanson, E. Mercadelli, A. Gondolini (CNR-ISTEC, Faenza)

Ricerca finanziata da: progetto vincitore (su 74 progetti proposti) dell'iniziativa - promossa da Crédit Agricole Italia e Fondazione Carispezia, in collaborazione con Wylab e le Village Nowtilus – che selezionava e supportava lo sviluppo di idee imprenditoriali per il settore dell'economia del mare (link: <https://seainnovationhub.it/>).

Abbiamo da poco terminato un percorso di incubazione utilizzando un network di imprenditori e investitori, con l'obiettivo di creare uno spin-off universitario. Il progetto H<sub>2</sub>ELM studia lo sviluppo di un sistema di propulsione basato su una nuova generazione di celle a combustibile a ossidi solidi (SOFCs), caratterizzate da una microstruttura innovativa. Tale nuovo design di cella è stato concepito per soddisfare il settore marittimo, ma potrebbe essere ottimizzato anche per l'ambito aeronautico, grazie alla notevole densità di potenza in grado di erogare.

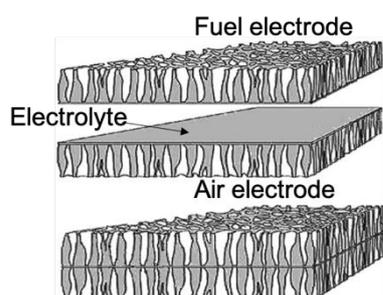


Fig. 1

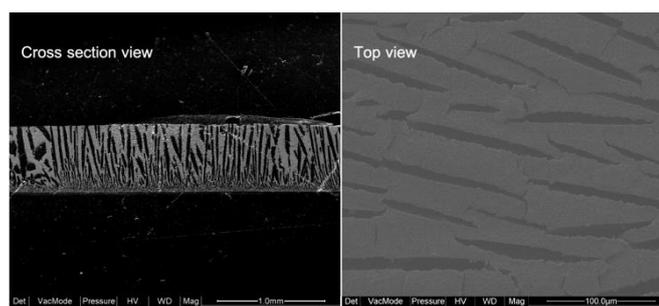


Fig. 2

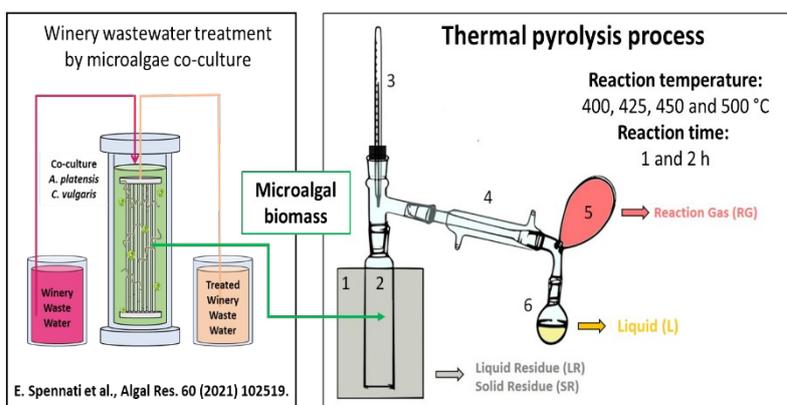
Cuore del sistema di propulsione è uno *stack* di celle reversibili a ossidi solidi (R-SOCs), abbinato ad una fonte di energia rinnovabile. Quest'ultimo aspetto è di primaria importanza perché si tratta di una *power unit* che svolge anche il ruolo di unità di ricarica, raggiungendo un'efficienza complessiva dell'80%. Lo stesso dispositivo può infatti operare in due modalità, trasformando l'energia elettrica generata da un pannello solare in combustibile (H<sub>2</sub>) da immagazzinare a bordo (modalità elettrolizzatore), ovvero utilizzare il combustibile nella stessa unità, che operi come unità di potenza (modalità cella a combustibile), per sostenere la propulsione dell'imbarcazione. La struttura innovativa di cella, mostrata in Fig. 1, si basa sul lavoro di Du et al., *Materialia* 1 (2018) 198-210. In Fig. 2 si riportano le microimmagini in sezione e in superficie di uno *scaffold* realizzato dal nostro gruppo di ricerca in collaborazione con CNR-ISTEC. Le porosità monodirezionali sono ottenute attraverso la tecnica del *freeze-tape casting* e sono tali da ottimizzare l'accesso e la fuoriuscita dei gas evitando pericolosi accumuli, che danneggerebbero la struttura compromettendone le prestazioni. Sulla struttura porosa saranno depositati gli elettrocatalizzatori (lato combustibile e lato aria), attraverso la tecnica dell'infiltrazione, attività alla quale il gruppo sta lavorando proficuamente, avendo ottenuto risultati eccellenti in via di pubblicazione.

## Pirolisi a medio-bassa temperatura di biomasse per la produzione di chemicals e biocombustibili

Gruppo DICCA: A.A. Casazza, G. Busca, A. Converti, M. Borella

Ricerca finanziata da: Contratti industriali (IRLE)

Negli ultimi anni sono stati dedicati sforzi considerevoli alla ricerca di nuovi processi per la sostituzione di materie prime fossili con fonti rinnovabili. La motivazione principale di tali sforzi è associata sia alla necessità di ridurre l'emissione dei gas serra, sia alla produzione di biocombustibili e intermedi chimici di derivazione non fossile. Diverse tipologie di biomasse, e tra queste le stesse microalghe, post recupero di composti di interesse, possono essere ulteriormente valorizzate mediante pirolisi a medio bassa temperatura (300-550 °C). I prodotti liquidi e gassosi derivanti dalla rottura di macromolecole presenti nella matrice trattata possono, in funzione delle condizioni operative o della biomassa utilizzata, trovare applicazione come combustibili alternativi a quelli di origine fossile. Parallelamente può essere approfondita la possibilità di ottenere tramite cracking molecole di interesse per il settore chimico. Durante gli anni sono state testate e studiate svariate matrici mettendo a punto oltre alle condizioni di pirolisi (temperatura, catalizzatore, ecc.) anche nuove metodiche analitiche per una caratterizzazione completa dei campioni di partenza e dei prodotti liquidi, gassosi e solidi. La possibilità di ottenere nuovi prodotti da matrici di scarto colloca pienamente tale attività nel filone della *green chemistry*.



In figura è schematizzato lo studio dell'impiego di biomassa microalgale proveniente dalla depurazione in continuo di acque reflue per la produzione di chemicals e biocombustibili solidi e gassosi mediante pirolisi a temperature comprese tra 400 e 500°C.

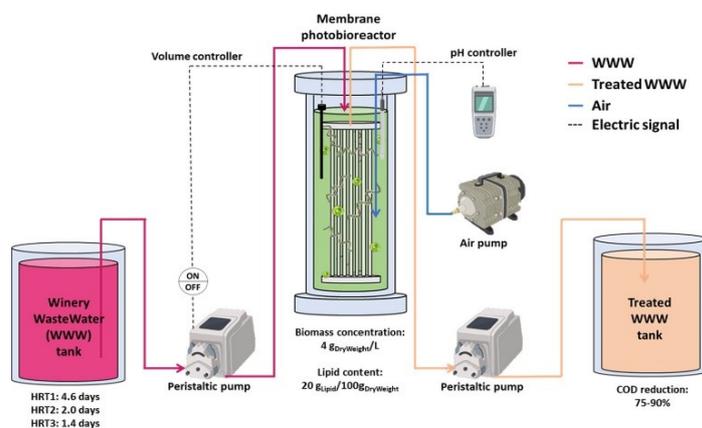
1. Spennati E., Casazza A.A., Converti A. & Busca G., Thermocatalytic pyrolysis of exhausted *Arthrospira platensis* biomass after protein or lipid recovery, *Energies*, 13 (2020) 5246.
2. Casazza A.A., Spennati E., Converti A. & Busca G., Production of carbon-based biofuels by pyrolysis of exhausted *Arthrospira platensis* biomass after protein or lipid recovery, *Fuel Process. Technol.* 201 (2020) 106336.
3. Casazza A.A., Aliakbarian B., Lagazzo A., Garbarino G., Carnascali M.M., Perego P. & Busca G., Pyrolysis of grape marc before and after the recovery of polyphenol fraction, *Fuel Process. Technol.* 153 (2016) 121-128.

## Trattamento di acque reflue industriali mediante microalghe

Gruppo DICCA:

A.A. Casazza, A. Converti, S. Mirizadeh

Il rapido sviluppo dell'urbanizzazione e dell'industrializzazione comporta la produzione di grandi quantità di acque reflue in tutto il mondo. Queste possono in parte essere sfruttate per la crescita di microalghe, riducendone i costi di coltivazione e rendendo più fattibile la produzione di biocarburanti. La crescita di microalghe porta inoltre alla purificazione delle acque reflue impiegate, in quanto le cellule, attuando un metabolismo mixotrofico, sono in grado di assorbire e utilizzare molte delle molecole organiche presenti nelle acque riducendone il carattere inquinante. La biomassa microalgale a valle della coltivazione può essere raccolta e impiegata per la produzione di *biofuels* o per il recupero di *chemicals*. Il gruppo di ricerca dispone di sistemi di crescita microalgale con modalità sia discontinua che continua. Con tali impianti sono stati trattati reflui provenienti dal settore oleario, vitivinicolo e liquami da discarica, ottenendo sempre più che soddisfacenti risultati. Uno dei risultati più promettenti ha riguardato la messa a punto di un sistema in continuo capace di rimuovere fino all'90 % del COD delle acque dell'industria vitivinicola con un tempo di ritenzione idraulica (HRT) di 4,5 giorni. La biomassa cresciuta ha raggiunto una concentrazione pressoché costante (1,0-1,2 g/l) durante le settimane di prova passando dal sistema a membrane a uno in continuo completo.



In figura è mostrato lo schema dell'impianto di trattamento acque reflue dell'industria vitivinicola mediante microalghe. L'impianto è dotato di un sistema a membrane per il mantenimento della biomassa microalgale internamente al fotobioreattore, con fuoriuscita del refluo trattato privo di particelle in sospensione.

1. Spennati E., Casazza A.A., Mirizadeh, S., Solisio C. & Converti A., *Chlorella vulgaris* and *Arthrospira platensis* growth in a continuous membrane photobioreactor using industrial winery wastewater, *Algal Res.*, 60 (2021) 102519.
2. Spennati E., Casazza A.A. & Converti A., Winery wastewater treatment by microalgae to produce low-cost biomass for energy production purposes. *Energies*, 13 (2020) 2490.
3. Casazza A.A. & Rovatti M., Reduction of nitrogen content in landfill leachate using microalgae, *Desalin. Water Treat.* 127 (2018) 71-74.

## Impiego di microalghe e cianobatteri per la cattura di CO<sub>2</sub>

Gruppo DICCA: A. Converti, A.A. Casazza, C. Solisio, S. Mirizadeh  
Collaborazione con: R.B. Bezerra (Federal Rural University of Pernambuco, Brasile),  
E. Pinto (Università di Sau Paulo, Brasile)

Ricerca finanziata da: Contratti aziendali (Prof. Solisio), Spese sostenute in parte da progetto dell'Università di Ha'il (Arabia Saudita)

Come è noto le microalghe e i cianobatteri, in condizioni autotrofe, sono in grado di crescere utilizzando come unica fonte di carbonio la CO<sub>2</sub> e come energia quella solare. Questa capacità viene sfruttata dal gruppo di ricerca per la cattura di CO<sub>2</sub> da emissioni atmosferiche, per l'upgrading del biogas a biometano, per effettuare studi bioenergetici del metabolismo autotrofo e per saggiare la performance di diversi tipi di fotobioreattori in scala di laboratorio (open pond, fotobioreattori tubulari verticali e orizzontali e fotobioreattori elicoidali e a colonna). Il gruppo di ricerca dispone di una quindicina di fotobioreattori con queste diverse configurazioni, di volumi diversi e con diverse aree di esposizione alla radiazione luminosa. Nelle ricerche di cattura della CO<sub>2</sub> da emissioni e di upgrade del biogas a biometano vengono studiati come parametri principali il fotoperiodo (alternanza luce-buio), la densità del flusso di fotoni fotosintetici, il rapporto area esposta/volume, la portata e la concentrazione della CO<sub>2</sub> in aria. Uno dei risultati più promettenti ha riguardato la messa a punto di un sistema combinato di crescita ed estrazione non distruttiva della frazione lipidica della microalga *Chlorella vulgaris* che potrebbe essere impiegata per la produzione in continuo di biodiesel eliminando la necessità di rimpiazzare la biomassa esausta.



In figura sono illustrate alcune delle configurazioni di bioreattore usate. L'impianto tubolare orizzontale da 5 L ha consentito di ottenere una concentrazione di biomassa (circa 10 g/L peso secco) circa un ordine di grandezza superiore a quella di un comune open pond.

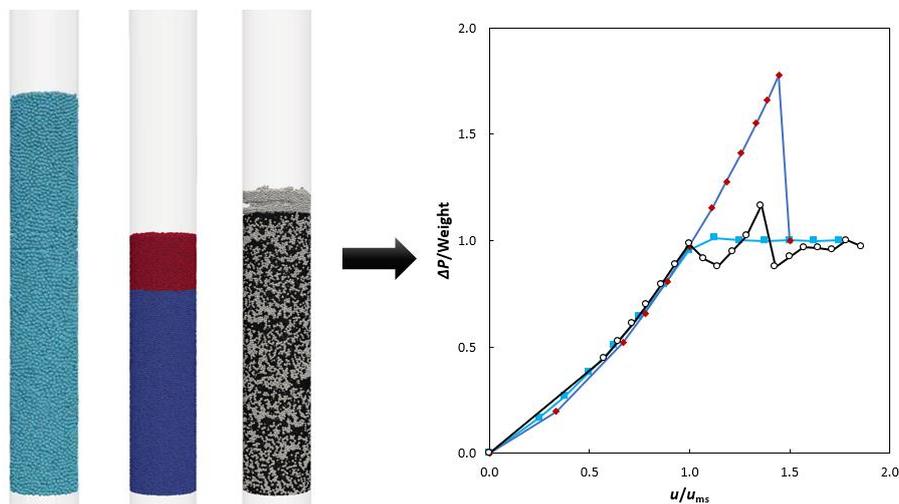
1. Mirizadeh S., Casazza A.A., Converti A., Nosrati M., & Shojaosadati S.A. Repetitive non-destructive extraction of lipids from *Chlorella vulgaris* grown under stress conditions. *Bioresour. Technol.*, 326 (2021) 124798.
2. Y.A.S. Moura, D.A. Viana-Marques, A.L.F. Porto, R.P. Bezerra & A. Converti, Pigments production, growth kinetics and bioenergetic patterns in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyta) in response to different culture media. *Energies*, 13(20) (2020) e5347.
3. da Silva M., Casazza A.A., Ferrari P.F., Al Arni S. & Converti A., New bioenergetic and thermodynamic approach to batch photoautotrophic growth of *Arthrospira (Spirulina) platensis* in different photobioreactors and under different light conditions. *Bioresour. Technol.* 207 (2016) 220-228.

## Studi sul comportamento sperimentale e sulla simulazione numerica di reattori a letti fluidi

Gruppo DICCA: Renzo Di Felice, Filippo Marchelli  
Collaborazione con: Università degli Studi de L'Aquila, University College London (UK), Kuwait Oil Company

Questo lavoro si inquadra nella attività portata avanti negli ultimi decenni anni dal Prof. Renzo Di Felice, attività che rappresenta un punto di riferimento a livello mondiale nel settore del comportamento fluidodinamico di sistemi a letto fluido.

Negli ultimi anni la ricerca si è concentrata sullo studio dei reattori a letto fluidizzato attraverso nuove tecniche sperimentali e computazionali. Sono stati studiati diversi tipi di letti fluidizzati: unità classiche o innovative, dispositivi gas-solido o liquido-solido e letti composti da miscele monodisperse, binarie o polidisperse. Per la loro simulazione, sono stati impiegati sia metodi basati sulle singole particelle (CFD-DEM) che metodi basati sull'approccio continuo (TFM), attraverso il programma open source MFIX e il programma commerciale Ansys Fluent. Uno dei focus della ricerca ha riguardato l'indagine di aspetti fondamentali, quali l'applicazione di vari modelli di scambio della quantità di moto tra fase fluida e fase-solido in diverse condizioni operative e la valutazione della transizione di miscele binarie allo stato fisso a quello fluidizzato (schematizzato in figura), per diverse configurazioni iniziali. Il nostro lavoro si è concentrato anche su unità di interesse industriale, come i dispositivi a letti fluidizzati applicati ai processi di conversione termochimica della biomassa. Inoltre si sta esplorando l'applicazione dei risultati ottenuti a sistemi di interesse della comunità scientifica di geologia.



1. F. Marchelli, R. Di Felice. A CFD-DEM study of monocomponent and same size binary-solid beds at incipient fluidization *Powder Technology*, in corso di stampa (2022).
2. F. Marchelli, R. Di Felice. A Comparison of Ansys Fluent and MFIX in Performing CFD-DEM Simulations of a Spouted Bed, *Fluids*, 6 (2021) 382.
3. F. Marchelli, R. Di Felice. A discrete element method study of solids stress in cylindrical columns using MFIX, *Processes*, 9 (1) (2021) 1-19.

## Processi innovativi per la riduzione della emissione di gas serra da attività industriali

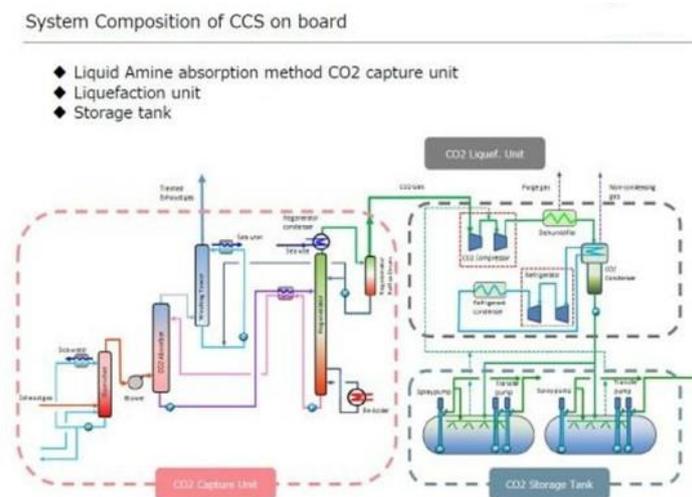
Gruppo DICCA: Renzo Di Felice, Wander Cardoso, Seyedmohsen Hosseini  
Collaborazione con: DICCI, DIME, NTNO (Norvegia)

Ricerca finanziata da: Comunità Europea, Fincantieri, Italiana Coke

Questo filone di ricerca è finalizzato allo sviluppo di processi e tecnologie a basso impatto ambientale in un'ottica di riduzione delle emissioni di gas serra e di decarbonizzazione delle attività industriali. Le attività svolte sono numerose ed interdisciplinari. Per questo motivo esse sono condotte in stretto rapporto con altri gruppi di ricerca di UNIGE, come il gruppo Membrane del DICCI coordinato dal Prof. Comite ed il gruppo TPG del DIME coordinato dal Prof. Massardo. Presso i laboratori di "Principi di Reattori Chimici" del DICCA (REACT) vengono approfonditi, sia dal punto di vista processistico che da quello sperimentale, gli aspetti più rilevanti al campo di conoscenze della ingegneria chimica, che vanno poi inglobati nel trattamento più generale della problematica in questione.

A solo titolo di esempio si riportano alcuni aspetti che sono stati studiati di recente:

- Studio di nuovi assorbenti per la cattura della CO<sub>2</sub> con soluzioni liquide rigenerabile
- Produzione della ammoniaca "verde"
- Economia circolare applicata alla chiusura sostenibile del ciclo dei rifiuti: Utilizzo del CSS per la produzione di gas di sintesi (H<sub>2</sub> e CO)
- Uso di big data per la riduzione delle emissioni in processi di produzione di materiali ferrosi



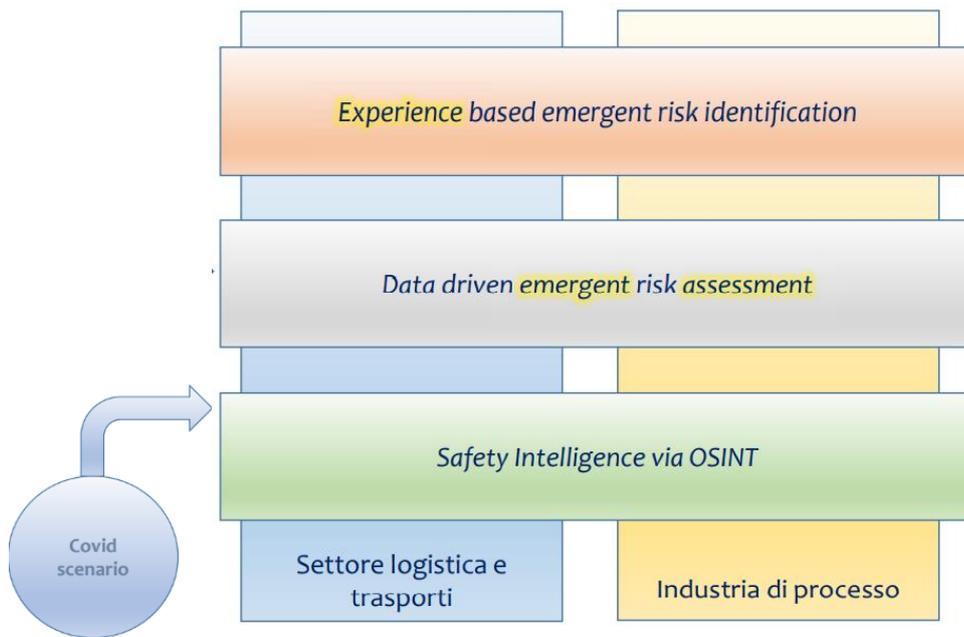
1. R. Ramezani, I. M. Bernhardsen, R. Di Felice, H. K. Knuutila. Physical properties and reaction kinetics of CO<sub>2</sub> absorption into unloaded and CO<sub>2</sub> loaded viscous monoethanolamine (MEA) solution, *Journal of Molecular Liquids* 329 (2021) 115569.
2. R. Ramezani, R. Di Felice. Kinetics study of CO<sub>2</sub> absorption in potassium carbonate solution promoted by diethylenetriamine, *Green Energy & Environment* 6 (2021) 83.
3. R. Ramezani, S. Mazinani, R. Di Felice. State-of-the-art of CO<sub>2</sub> capture with amino acid salt solutions, *Reviews in Chemical Engineering*, in corso di stampa (2022).

## **DRIVERS: Approccio combinato data-driven ed experience-driven all'analisi del rischio sistemico**

Gruppo DICCA: B. Fabiano, M. Pettinato, F. Currò  
Collaborazione con: Università Campus Bio Medico di Roma (coordinatore nazionale)  
– Università di Messina - ARPAL Unità Grandi Rischi

Ricerca finanziata da: INAIL bando nazionale 2021

L'attività di ricerca è finalizzata allo sviluppo (progettazione e realizzazione prototipale) di strumenti innovativi per aumentare in modo "esponenziale" la capacità di risposta a fenomeni caratterizzati dalla imprevedibilità, ovvero riconfigurare o aggiornare i necessari criteri di sicurezza sotto il profilo organizzativo e gestionale dei sistemi industriali, e in particolare di processo, attraverso un approccio dinamico e integrato al risk management mediante: (a) metodi innovativi di predizione e valutazione dinamica del rischio interpretati attraverso modelli procedurali e protocolli basati su machine learning; (b) applicativi formativi e/o piattaforme informatiche per renderne possibile la fruibilità rispettando criteri di accessibilità e praticabilità immediata sia da parte dei gestori e i responsabili della sicurezza degli impianti, sia del personale dedicato ai controlli afferente agli enti di controllo e autorità competenti. Il progetto DRIVERS mira a sviluppare un framework di risk analysis che combini le dimensioni di tipo data-driven ed experience-driven, unendo dunque approcci basati sull'elaborazione, anche tramite tecniche di intelligenza artificiale, di dati dal campo, serie storiche ed informazioni di tipo OSINT con approcci mirati a sistematizzare, secondo opportuni formalismi, l'esperienza di decisori umani. Nello specifico, la dimensione experience-driven mira al coinvolgimento di esperti di settore, al fine di identificare modelli di decisione e quantificazione del rischio basati su una summa di molteplici criteri potenzialmente in conflitto (e.g., mediante tecniche di Multi-criteria decision aiding, quali l'approccio Sparse Analytic Hierarchy Process, nonché a sviluppare approcci basati su regole che consentano di tener conto di espressioni di tipo linguistico, quantificandone il grado di ambiguità e contraddizione (es. logica fuzzy). Nel complesso, il sistema DRIVERS consentirà di automatizzare e sistematizzare i processi decisionali attualmente implementati presso le organizzazioni (segnatamente legati anche all'emergenza Covid 19), consentendo un'integrazione con gli approcci data-driven e favorendo la cross-fertilizzazione dei due domini. Il sistema di quantificazione e gestione automatizzata del rischio proposto nel progetto consentirà di supportare le decisioni tenendo conto di insights che non sarebbero ottenibili sulla base delle singole prospettive data-driven ed experience-driven (mostrate in figura) e consentirà di comprendere con maggior chiarezza i rischi di natura esponenziale, intervenendo principalmente in prevenzione mediante metodiche di "early-warning".



1. Vairo, T., Gualeni, P., Reverberi, A.P., Fabiano, B. Resilience dynamic assessment based on precursor events: Application to ship Ing bunkering operations. *Sustainability* 13(12) (2021) 6836.
2. Bragatto, P., Vairo, T., Milazzo, M.F., Fabiano, B. The impact of the COVID-19 pandemic on the safety management in Italian Seveso industries. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2021, 70 (2021) 104393.
3. Vianello, C., Strozzi, F., Mocellin, P., ...Pozzi, R., Maschio, G. A perspective on early detection systems models for COVID-19 spreading. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 538 (2021) 244–252.

## Scale-up, dinamica di start-up e di esercizio ciclico di reattori chimici

Gruppo DICCA:

O. Paladino, M. Neviani

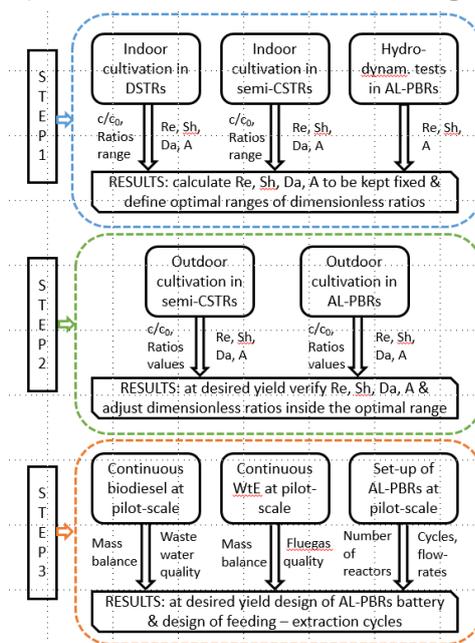
Collaborazione con:

M. De Francesco (Emerson Automat. Sols.), P. Bagnerini (DIME)

Ricerca parzialmente finanziata da Ansaldo Energia.

Negli ultimi anni sono emersi nuovi processi green per produzione di biocombustibili e per l'immagazzinamento di idrogeno e di energia. Tuttavia, si prevede un rallentamento dopo un primo veloce sviluppo fino a TRL 3-4. Attualmente i principali motivi che rallentano il raggiungimento di un TRL più elevato sono principalmente i seguenti:

- 1) E' molto difficile effettuare uno scale-up rigoroso per i processi biochimici, fotocatalitici, elettrochimici. Ciò è principalmente dovuto al numero/tipologia dei fenomeni da considerare, alla complessità dei sistemi spesso multifase e alla forma del reattore, che non può essere mantenuta simile nel passaggio di scala.
- 2) Per tali processi assume fondamentale importanza la progettazione dinamica, necessaria per la presenza di comportamenti dinamici fortemente non lineari (tipici di microorganismi, reazioni biochimiche e/o elettrochimiche) ma anche perché le condizioni operative ottimali prevedono esercizio in semicontinuo o ciclico e i reattori mostrano isteresi e rilassamento.
- 3) A scala lab talvolta non vengono rilevate le problematiche relative alla durata della



produzione e agli eventuali cicli ripetuti, che per sistemi biologici/ elettrochimici comportano un deterioramento non sempre prevedibile, e quindi un continuo aggiustamento delle condizioni di esercizio. Tutto ciò necessita lo sviluppo di strategie di controllo dedicate. I processi investigati fino ad ora riguardano la produzione di biocombustibili mediante l'utilizzo di microalghe, integrati a ciclo chiuso all'interno di bioraffinerie. Essendo lo scale-up e la scelta delle condizioni operative dei fotobioreattori (airlift e flat-plate) vincolati dagli altri processi (le alghe sono alimentate con fumi e acque reflue), è stato proposto un approccio misto basato sul teorema PI accoppiato a tuning dinamico. La progettazione dinamica è stata svolta mediante simulazione con modelli fisicamente basati per le fasi Gas-Liquido (accoppiamento di CFD e tecniche front-tracking = level sets) e mediante modelli

basati sui dati (Nonlinear-ARX e Hammerstein-Wiener) per i processi biochimici e i parametri di crescita. E' stato poi implementato un Model Predictive Control per l'estrazione ottimale. La figura illustra lo schema dell'approccio adottato per lo scale-up.

Strategie simili sono in corso di studio per alcuni reattori elettrochimici.

1. Paladino O. and Neviani M., Scale-up of photo-bioreactors for microalgae cultivation by  $\pi$ -theorem. *Biochemical Engineering Journal*, 153 (2020) 107398
2. Paladino O. and Neviani M., Airlift photo-bioreactors for *Chlorella vulgaris* cultivation in closed-loop zero waste biorefineries, *Biomass and Bioenergy*, 144 (2021) 105926
3. Neviani M., Bagnerini P. and Paladino O., Gas bubble dynamics in airlift photo-bioreactors for microalgae cultivation by level set methods. *Fuel*, 292 (2021) 120402

## Modelli e metodi per l'analisi di rischio sanitario-ambientale in condizioni di incertezza

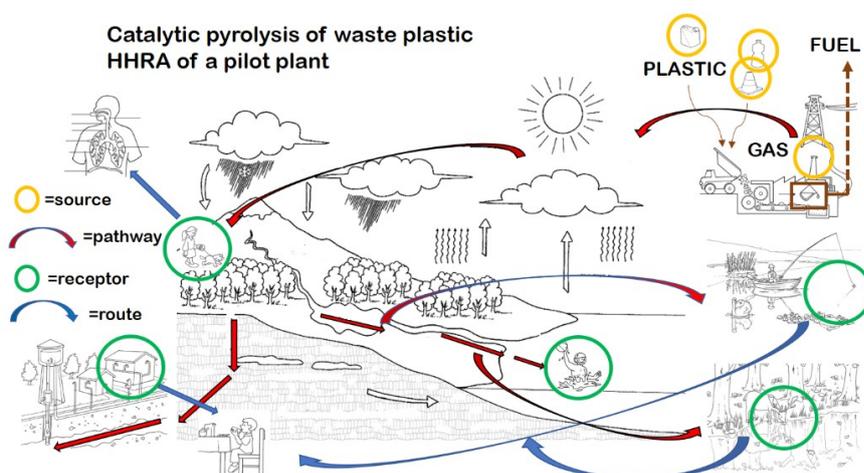
Gruppo DICCA:

O. Paladino, A. Moranda

Collaborazione con:

M. Massabò (CIMA Res. Found), G. Robbins (Univ. Connecticut),  
C. Falugi (ex DISTAV), M. Seyedsalehi (Univ. Tsinghua)

L'analisi di rischio sanitario ambientale è uno strumento scientifico utile ad assumere decisioni che possono profondamente impattare sulla salute dei cittadini. Una procedura formalizzata di analisi di rischio coinvolge molte incertezze e parametri altamente variabili. Le incertezze possono derivare sia dalla scelta del modello concettuale, con percorsi multipli in differenti compartimenti ambientali e differenti vie di esposizione, sia dai modelli in vivo/in vitro utilizzati negli studi tossicologici. Esse possono anche essere associate alle estrapolazioni proposte per la valutazione degli effetti, che ad esempio non prevedono amplificazione/ riduzione di effetto dovute ad interazione di più sostanze chimiche o variabilità tra la popolazione. Molte volte infine l'incertezza è dovuta alla mancata o ridotta conoscenza delle sorgenti di contaminazione, quali la portata e la composizione dei flussi in uscita da insediamenti industriali di cui non si conoscono nel dettaglio i cicli produttivi, o da una interpretazione soggettiva delle poche informazioni qualitative disponibili. L'attività di ricerca riguarda lo sviluppo di modelli matematici per la descrizione dei percorsi degli inquinanti e l'applicazione di metodologie per considerare le incertezze sia nell'identificazione dell'hazard sia nella valutazione dell'esposizione e/o degli effetti. Molte delle applicazioni sono rivolte allo studio di casi complessi del territorio ligure.



La figura rappresenta il modello concettuale dei possibili percorsi e delle vie di esposizione individuati per un impianto di produzione di combustibile liquido da pirólisi di scarti plastici.

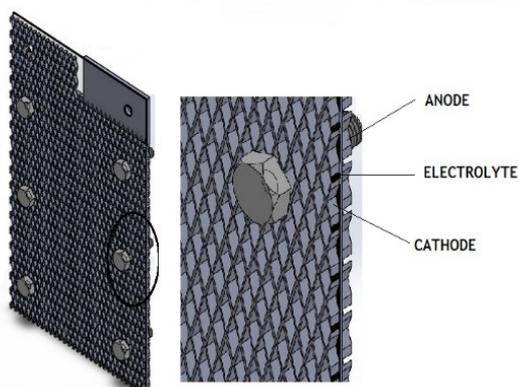
1. Paladino O. and Moranda A. , Human Health Risk Assessment of a pilot-plant for catalytic pyrolysis of mixed waste plastics for fuel production. *Journal of Hazardous Materials* 405 (2021) 124222.
2. Paladino O., Seyedsalehi M., Massabò M., Probabilistic risk assessment of nitrate groundwater contamination from greenhouses in Albenga plain (Liguria, Italy) using lysimeters. *Science of the Total Environment* 634 (2018) 427-438.
3. Paladino O. Massabò M., Health risk assessment as an approach to manage an old landfill and to propose integrated solid waste treatment: A case study in Italy, *Waste Management* 68 (2017) 344-354.

## Ossidazione elettrochimica con elettrolita solido polimerico

Gruppo DICCA: M. Panizza, D. Clematis  
Collaborazione con: Sires (Barcellona, Spagna), Chaabane Elaoud (Sfax, Tunisia), Puccini (Pisa)

Ricerca finanziata da: Contratti con aziende, POR FESR LIGURIA 2014-2020, FRA

I processi di ossidazione elettrochimica avanzata (EOAPs) rappresentano una valida alternativa ai convenzionali per la rimozione di composti organici dalle acque reflue. I vantaggi di questi processi sono sia di carattere tecnologico, grazie ad una più semplice gestione del processo, sia di natura ambientale, con una riduzione dell'impatto. L'efficacia di rimozione e i consumi energetici di questi sistemi sono influenzati da diversi fattori, tra cui le caratteristiche chimico-fisiche del refluo e la geometria della cella elettrochimica hanno un ruolo primario. La conducibilità della soluzione e la distanza elettrodica, con un forte impatto sulla tensione di cella e quindi sui costi energetici, sono due parametri importanti da considerare nella progettazione dell'impianto. La pratica più comune per ridurre la tensione di cella è l'aggiunta di un elettrolita di supporto in soluzione. Questa opzione, tuttavia, può introdurre nuove problematiche dovute all'interazione tra l'inquinante e l'elettrolita stesso con formazione di nuovi composti recalcitranti.



Una possibile alternativa, recentemente considerata e investigata nei Laboratori di Elettrochimica Ambientale del DICCA, prevede di introdurre un elettrolita solido polimerico (SPE) tra i due elettrodi come riportato in figura. Questo approccio ha due vantaggi immediati: i) riduzione del gap elettrodico con conseguente riduzione della tensione di cella e dei consumi energetici, ii) rimozione dei problemi correlati all'aggiunta dell'elettrolita di supporto.

I risultati ottenuti nella rimozione di diversi composti organici mostrano un'elevata efficacia di rimozione sia dell'inquinante principale che degli intermedi di reazione. La ricerca futura sarà incentrata nella valutazione del degrado dell'elettrolita solido polimerico nel tempo in funzione delle condizioni operative (intensità di corrente applicata, pH e composizione chimica del refluo) con lo scopo di identificare le cause e i meccanismi del degrado stesso. Un'ulteriore sezione della ricerca sarà quindi volta a valutare possibili azioni per rallentare il possibile degrado. In quest'ottica saranno considerati pretrattamenti iniziali o processi di riattivazione ciclica.

1. Clematis D., Panizza M. Electrochemical oxidation of organic pollution in low conductive solutions, *Curr. Opinion in Electrochem.* 26 (2021) 100665
2. Clematis D., Panizza M. Solid polymer electrolyte as an alternative approach for the electrochemical removal of herbicide from groundwater, *Electrochim. Acta*, 378 (2021) 138217
3. Tasca A., Clematis D., Stefanelli E., Panizza M., Puccini M., Ciprofloxacin removal: BDD anode coupled with solid polymer electrolyte and ultrasound irradiation, *Journ. of Water Process Engin.* 33 (2020) 101074

## Fotoelettrocatalisi per la rimozione di inquinanti da acque reflue

Gruppo DICCA:

M. Panizza, A. Barbucci, D. Clematis

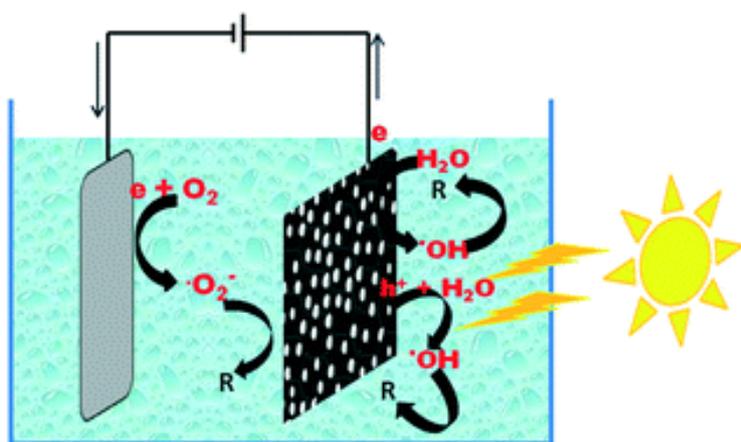
Collaborazione con:

J.J. Suñol (Girona, Spagna), M-Huitle (Rio Grande, Brasile), Rodrigo (Ciudad Real, Spagna)

Ricerca finanziata da:

Progetto UNIGE- Univ. Girona, FRA

Lo sviluppo di materiali elettrodici la cui attività elettrocatalitica è incrementata dall'esposizione ad una sorgente luminosa rappresenta un campo di ricerca fortemente in evoluzione per la depurazione di acque reflue. I fotoelettrodi, se irradiati con un'appropriata radiazione, promuovono un elettrone dalla banda di valenza alla banda di conduzione, generando coppie elettrone-buca ( $e^-h^+$ ). La formazione di tali buche elettroniche ( $h^+$ ) supporta l'ossidazione di composti organici presenti in soluzione, sia mediante ossidazione diretta, sia attraverso la produzione di agenti ossidanti come i radicali ossidrili ( $\cdot OH$ ).



Un'evidente prova dell'efficacia della fotoelettrocatalisi è rappresentata dal processo di photoelectro-Fenton, in cui la radiazione UVA permette la rigenerazione in situ del  $Fe^{2+}$  necessario al sostentamento della reazione di Fenton.

In molti casi la sorgente luminosa impiegata è artificiale. Questo approccio, nonostante permetta

un'operatività in continuo, ha un forte impatto sui consumi energetici del processo, penalizzandone la sostenibilità. In quest'ottica è quindi necessario sviluppare sistemi in grado di sfruttare maggiormente la radiazione solare come fonte per l'attivazione delle proprietà fotoelettrocatalitiche dei materiali elettrodici impiegati. Questo consente la parziale riduzione della richiesta energetica esterna legata all'utilizzo di sorgenti UV artificiali. Per raggiungere questo obiettivo, la ricerca è focalizzata sullo studio di elettrodi fotoattivi, basandosi su materiali a base carboniosa per contenere i costi dell'elettrodo stesso. Infine, a causa delle fluttuazioni dell'energia solare e con l'obiettivo di rendere il sistema fruibile in continuo, viene valutata l'integrazione del sistema sviluppato con: i) fonti energetiche alternative per potenza elettrica ii) fonte di irraggiamento per attività fotoelettrocatalitica degli elettrodi.

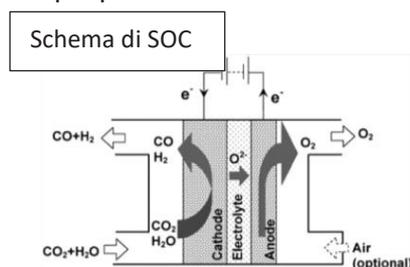
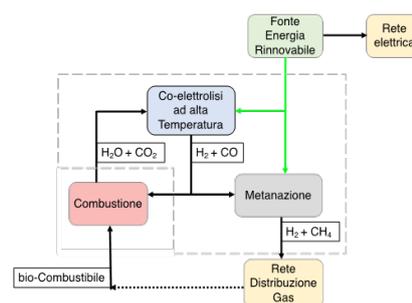
1. Clematis D., Panizza M., Electro-Fenton, solar photoelectro-Fenton and UVA photoelectro-Fenton: degradation of Erythrosine B dye solution, *Chemosphere*, 270 (2021) 129480
2. Kacem, S.B., Elaoud, S.C., Asensio, A.M., Panizza, M., Clematis, D., Electrochemical and sonoelectrochemical degradation of Allura Red and Erythrosine B dyes with Ti-PbO<sub>2</sub> anode. *J. Electroanal. Chem.*, 889 (2021) 115212.
3. Cotillas, S., Clematis, D., Cañizares, P., Carpanese, Rodrigo, M.A., Panizza, M. Degradation of dye Procion Red MX-5B by electrolytic and electro-irradiated technologies using diamond electrodes. *Chemosphere*, 199 (2018) 445.

## Materiali elettrodi ed elettrolitici per processi elettrochimici di conversione energetica ad alta temperatura

Gruppo DICCA: A. Barbucci, M.P. Carpanese, R. Botter, D. Clematis  
 Collaborazione con: M. Viviani, S. Presto (CNR-ICMATE), Juan F. Basbus (CNEA)

Ricerca finanziata da: COELUS 2019-2023, ECOSPRAY 2021 (progetti Europei, Prin e di ricerca industriale 2005-2019)

Questo tema è al centro della strategia energetica Europea e globale che vede tra le diverse soluzioni le celle ad alta temperatura (Solid Oxide Cells, Molten Carbonate Cells) come i più promettenti sistemi per la conversione energetica “power to gas”, “gas to power” e per il sequestro della CO<sub>2</sub>. I materiali elettrodi ed elettrolitici costituiscono il cuore di qualsiasi studio o progetto basato su questa tecnologia. In particolar modo i materiali ceramici a conduzione mista ionica ed elettronica (MIEC) e ad elevata conduzione ionica sono una importante famiglia di composti che opportunamente ingegnerizzati consentono di ottenere le proprietà ricercate. Tali materiali possono essere



modificati nella loro composizione a partire da strutture promettenti, che non posseggono ancora le caratteristiche adatte al loro utilizzo in un contesto complicato come quello di una cella elettrochimica ad alta temperatura. La loro ingegnerizzazione è volta a: i) massimizzare l'efficienza elettrocatalitica intrinseca, ii) identificare soluzioni architettoniche che permettano di esaltarne le proprietà. La sintesi del materiale, il drogaggio, il

modelling, l'architettura e il testing funzionale sono tutti aspetti cui si articola questo filone di ricerca. Si tratta di un argomento interdisciplinare che richiede forti competenze in molti ambiti, disponibilità di strumentazione sofisticata e una sviluppata rete di collaborazioni.

			Esempi di: -elettrocatalizzatore -patterning della cella -modelling del poro
--	--	--	---

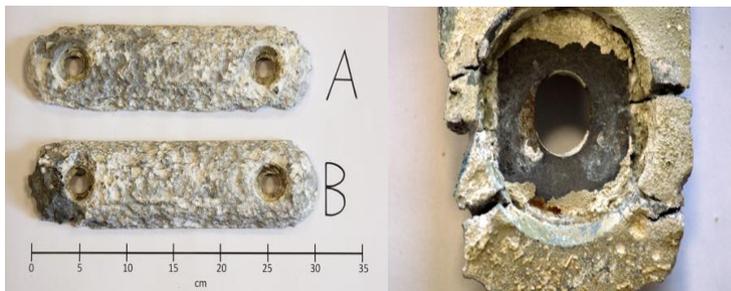
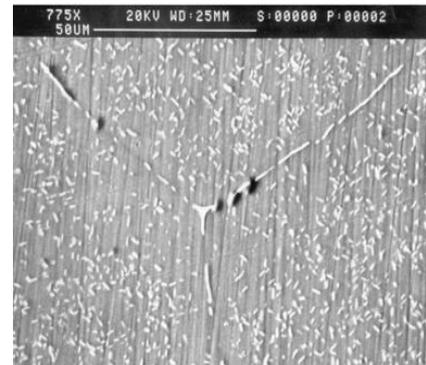
1. Asensio, A.M., Clematis, D., Viviani, M., Carpanese, M.P., Presto S., Cademartori D., Cabot, P.L., Barbucci, A. Impregnation of microporous SDC scaffold as stable solid oxide cell BSCF-based air electrode. *Energy* 237 (2021) 121514.
2. Clematis, D., Ferrari, T., Bertei, A. Asensio A.M., Carpanese M.P., Nicoletta, C., Barbucci, A. On the stabilization and extension of the distribution of relaxation times analysis. *Electrochimica Acta* 391 (2021) 138916.
3. Giuliano, A., Carpanese, M.P., Panizza, M., Cerisola, G., Clematis, D., Barbucci, A. Characterisation of LSCF – BSCF composite electrode as cathode for solid oxide fuel cells. *Journal of the Electrochemical Society*, 240 (2017) 258.

## Protezione catodica: studio di leghe anodiche e design di sistema

Gruppo DICCA:

A. Barbucci, D. Clematis

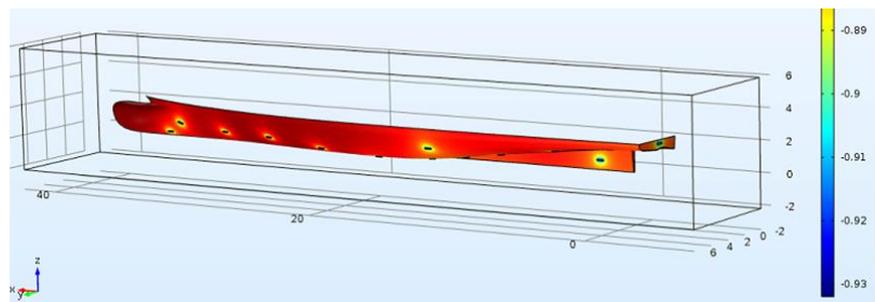
La protezione catodica è un sistema efficace nella prevenzione di fenomeni corrosivi in ambiente marino o comunque in presenza di elettroliti aggressivi. Nonostante l'applicazione di questa tecnologia sia da tempo ben consolidata esistono diversi problemi non risolti, che sono oggetto di questa linea di ricerca recentemente riattivata. Un primo aspetto rilevante riguarda lo studio della lega anodica sacrificale. I materiali più impiegati sono costituiti da leghe a base di zinco e alluminio che sono tuttavia soggette ad autocorrosione a seguito di modifiche strutturali, come la formazione di composti intermetallici, volte ad inibire fenomeni di passivazione. Sulla base di studi passati e del rinnovato interesse scientifico e tecnologico mostrato da cantieri navali (Azimut-Benetti e Rossi Navi) e dal RINA, si è ripresa questa tematica seguendo



un approccio più moderno e comprensivo di un'analisi del sistema di protezione catodica inteso anche come design del piano di protezione.

Infatti, il piano di protezione è fortemente influenzato da: i) proprietà elettrochimiche dei materiali anodici impiegati, ii) geometria del sistema da proteggere, iii) condizioni fluidodinamiche. Di conseguenza è fondamentale sviluppare una caratterizzazione completa a partire dal materiale fino alla modellazione di sistema.

Le collaborazioni già avviate con realtà industriali del settore consentono di verificare se i risultati ottenuti in laboratorio sono trasferibili su scala reale. In questa fase la



simulazione numerica apporta un valore aggiunto permettendo di eseguire una prima valutazione dell'efficacia del sistema di protezione catodica. L'approccio sviluppato in questa linea di ricerca è inoltre applicabile in altri settori dell'ingegneria che soffrono di fenomeni di corrosione.

1. Barbucci, A., Bruzzone, G., Delucchi, M., Panizza, M., Cerisola, G. Breakdown of passivity of aluminum alloys by intermetallic phases in neutral chloride solution, *Intermetallics* 8(3) (2000) 305–312
2. Clematis D., Marroccu A., Fabiano B., Panizza M., Barbucci A. A critical analysis on the cathodic protection current design criteria for ships and superyachts, (2021) *Marine Structure* (2021) under review

## Materiali e processi per lo stoccaggio energetico di fonti rinnovabili

Gruppo DICCA: A. Barbucci, M.P. Carpanese, D. Clematis, M. Panizza  
Collaborazione con: L. Magistri, M. Rivarolo, D. Bellotti (DIME)

Ricerca finanziata da: Flex FLEXnCONFU - UE 884157 2020-2023 (precedenti progetti: Hydrostore, Idrorintransgenesi)

In questa attività di ricerca si vuole riprendere il tema dello stoccaggio di idrogeno verde attraverso vettori energetici. In particolare, lo studio di idruri chimici e di ammoniaca sono al centro delle attività da portare avanti attraverso il gruppo nell'ambito del progetto FLEXnCONFU in cui il DICCA è partner. L'attività in corso riprende ricerche svolte in tempi recenti sugli idruri chimici e le implementa con lo studio di materiali e processi per il rilascio di idrogeno dai vettori individuati. Per poter svolgere questa attività ci si avvale di due prototipi di impianti di laboratorio realizzati dal gruppo DICCA, ora installati presso i laboratori DIME nell'area savonese.



Per quanto concerne lo stoccaggio di idrogeno attraverso un vettore solido, i materiali presi in considerazione, quali il sodio boridruro ( $\text{NaBH}_4$ ), devono fornire: i) elevata capacità di stoccaggio dell'idrogeno ii) rilascio controllato e purezza dell'idrogeno iii) possibilità di rigenerazione dell'idruro. Queste proprietà oltre a dipendere dalla composizione chimica del materiale sono fortemente influenzate dalle condizioni operative (temperatura e pressione). L'ammoniaca è il secondo vettore energetico preso in considerazione in questa linea di ricerca. L'interesse è motivato da una elevata densità volumetrica di energia, basso costo, facilità di liquefazione e sistemi di trasporto e stoccaggio il cui sviluppo è consolidato. Tuttavia, il rilascio di idrogeno dal cracking termico dell'ammoniaca richiede di operare a temperature elevate, tra i 700 e 900 °C, a basse pressioni. L'impiego di catalizzatori permette di ridurre la temperatura operativa ( $T \sim 400 \div 500$  °C) aumentando la resa in idrogeno. I processi elettrochimici possono rappresentare una possibile alternativa alla via catalitica, considerando che il potenziale teorico di elettrolisi dell'ammoniaca è pari a 0.06 V contro i 1.23 V richiesti per l'elettrolisi dell'acqua. Gli elettrocatalizzatori più efficienti per questo tipo di processo utilizzano platino, con un evidente impatto sui costi. Questo giustifica l'interesse nella ricerca di elettrocatalizzatori composti da materiali meno nobili e in grado di supportare il rilascio di idrogeno dall'elettrolisi dell'ammoniaca.

1. Rivarolo, M., Improta, O., Magistri, L., Panizza, M., Barbucci, A. Thermo-economic analysis on hydrogen production system by sodium borohydride ( $\text{NaBH}_4$ ), *International Journal of Hydrogen Energy*, 43 (2018) 1606
2. Ou, T., Panizza, M., Barbucci, A. Thermochemical recycling of hydrolyzed  $\text{NaBH}_4$ . Part II: Systematical study of parameters dependencies, *International Journal of Hydrogen Energy*, 38 (2013) 15940
3. Ou, T., Barbucci, A., Carpanese, M.P., Congiu, S., Panizza, M. Thermodynamic and kinetic studies of  $\text{NaBH}_4$  regeneration by  $\text{NaBO}_2\text{-Mg-H}_2$  ternary system at isothermal condition, *International Journal of Hydrogen Energy*, 39 (2014) 11094

## Rivestimenti multistrato per interni di edifici

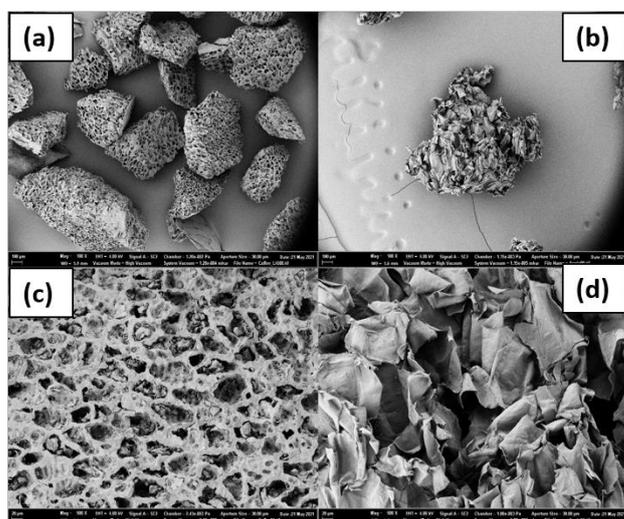
Gruppo DICCA:

R. Botter, M. Delucchi

Collaborazione con:

S. Vicini (DCCI), C. Mandolino (DIME)

Scopo della ricerca è individuare prodotti vernicianti innovativi per cicli di rivestimenti multistrato come strategia smart per aumentare l'efficienza energetica degli edifici e la sostenibilità ambientale dei rivestimenti. Dal punto di vista della sostenibilità del prodotto sono stati studiati addensanti sostituivi della cellulosa, in particolare alginati di sodio, ammonio e potassio e si verificata la compatibilità degli alginati con le formulazioni. Per quanto riguarda l'efficientamento energetico, invece, è stata studiata la resistenza termica di strati di spessore intermedio (3-5 mm) contenenti cariche porose minerali o derivate da scarti alimentari. Si sono prese in considerazione, quindi, zeoliti non di sintesi del tipo clinoptilolite e chabazite e sintetizzati bio-aerogel derivanti da scarti del caffè e della produzione del succo di mela. Le cariche sono state modificate per diminuirne l'idrofilicità, renderli compatibili con le formulazioni e incrementare l'inglobamento d'aria. Sono stati analizzati i risultati di conducibilità una volta inseriti in una formulazione base all'acqua per interni.



I dati iniziali di angolo di contatto mostrano che i trattamenti sono efficaci, ma con risultati di conducibilità termica non ancora sufficienti e maggiori di un ca. fattore 10 rispetto a formulazioni contenenti aerogel di silice. Sono in corso studi per migliorare il processo di idrofobizzazione e la sostituzione dei silani con acidi grassi di origine naturale.

In figura è rappresentata la struttura degli aerogel ottenuti da caffè, (a) e (c) e mela, (b) e (d).

1. G. Gaggero, M. Delucchi, G. Di Tanna, A. Lagazzo, S. Vicini, R. Botter. Effect of different alginate salts on the rheological and tensile properties of waterborne paints. *Progress In Organic Coatings*, in press (2022)
2. Gaggero, G.; Delucchi, M.; Allegretta, G.; Vicini, S.; Botter, R. Interaction of sodium alginate thickener with components of architectural water-based coatings. *Progress In Organic Coatings* 151 (2021) 106016
3. Gaggero, G.; Castellano, M.; Allegretta, G.; Delucchi, M.; Vicini, S.; Botter, R. Alginato di sodio come additivo addensante nella formulazione di prodotti vernicianti: studio delle sue proprietà reologiche. XVI Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Reologia-SIR (2019) 93-95.

## Soluzioni anticorrosive passive non impattanti in ambiente marino

Gruppo DICCA: M. Delucchi, F. Castelli  
Collaborazione con: A. Benedetti (CNR-ICMATE); R. Ricotti (Boero Bartolomeo S.p.A.); E. Rizzuto, M. Viviani, G. Tani (DITEN)  
Ricerca finanziata da: Conto terzi-Incarichi in convenzioni-FRA

La ricerca e la sperimentazione sono volte allo studio della corrosione dei materiali metallici in ambiente marino e alle soluzioni passive (rivestimenti biologici o sintetici) per prevenirla/contrastarla.

Sebbene le leghe di alluminio esibiscano generalmente buona resistenza alla corrosione, in acqua di mare, possono essere soggette a fenomeni di corrosione generalizzata e/o localizzata. Nel caso investigato una lega 5083 ed è stata valutata in una soluzione NaCl di riferimento e in acqua di mare naturale con esposizione a cicli notte-giorno (fotoperiodo). I dati di potenziale a circuito aperto e SEM hanno indicato che i fenomeni corrosivi in soluzione NaCl sono attenuati in acqua di mare naturale. L'effetto inibente probabilmente dipende da molecole organiche che si adsorbono sulla superficie formando dei film biologici protettivi. I metalli delle strutture immerse in acqua di mare, oltre che soggetti alla corrosione, sono sottoposti al fouling (sporciamento biologico). Per evitarlo, esistono rivestimenti organici che esplicano la loro funzione chimicamente, contenendo biocidi, o fisicamente, possedendo proprietà anti-stick. I casi che sono stati investigati hanno analizzato rivestimenti self-polishing tradizionali e siliconici innovativi, per verificarne le proprietà antivegetative e la resistenza chimica all'accoppiamento con sistemi di protezione catodica, sempre presenti nelle carene delle navi. Anche la struttura "elica" è stata oggetto di studio, per verificare la possibilità di analisi quantitativa dei processi cavitativi usando particolari rivestimenti organici con aderenza ottimizzata. Le domande a cui cerchiamo risposta riguardano, quindi, in generale, soluzioni anticorrosive che non siano impattanti per l'ambiente marino.



In figura, da sinistra a destra: il setup di laboratorio per prove in acqua di mare sintetica (NaCl); la stazione marina Ma.Re.Co. (Bonassola) per prove in acqua di mare naturale; un risultato di una prova di cavitazione su elica verniciata.

1. Delucchi, M.; Castelli, F.; Delsante, S.; Valenza, F.; Faimali, M.; Benedetti, A. Corrosion phenomena on aluminum alloys spontaneously mitigated in natural seawater, *La Metallurgia Italiana*, 111 (2019) 44-48.
2. M. Delucchi, G. Cerisola, E. Rizzuto, Surface treatments for ship hulls – present situation and trends, *NAV 2018* (2018) 976-985.
3. A. Benedetti, F. Castelli, R. Stifanese, P.L. Traverso, M. Faimali, A. Bergo, M. Delucchi. Cathodic disbonding tests: criteria for correct use of the method. Inviato a *Ocean Engineering* (2021).

## Preparazione e caratterizzazione di cementi ossei e idrogeli

Gruppo DICCA:

A. Lagazzo

Collaborazione con:

L. Pastorino (DIBRIS), G. Cama (CamBioceramic)

L'ingegneria tissutale è una scienza multidisciplinare che interessa la medicina, la biologia, la chimica e la scienza dei materiali e ha come scopo quello di creare organi e tessuti artificiali da impiegarsi come sostituti di quelli danneggiati, favorendone inoltre la rigenerazione. La ricerca è orientata alla preparazione e caratterizzazione di cementi ossei a base di fosfati di calcio (idrossiapatite, brushite, monetite), che costituiscono i principali componenti della parte minerale dell'osso. Mediante l'utilizzo di additivi è inoltre possibile di modificarne la microstruttura (porosità), allo scopo di favorire la osteointegrazione, così come inibire la proliferazione batterica (drogaggio con zinco) (Fig. 1). I cementi ossei possono essere anche utilizzati in polvere come rinforzanti di idrogeli impiegati come terreno di coltura 3D per la crescita cellulare e come mezzo per permettere il rilascio controllato di farmaci. Fra gli idrogeli studiati ci sono quelli a base di alginato e quelli termo-gelificanti a base di chitosano, che possono essere iniettati allo stato liquido in situ e con l'aumento della temperatura subiscono il processo di gelificazione (Fig.2). Tale processo è valutato mediante misure reologiche (Fig. 3), mentre le proprietà meccaniche del gel e del composito gel più fosfato di calcio sono misurate con test meccanici dinamici (DMA), in cui si determinano le componenti elastiche e viscosse del materiale. Considerando il fatto che la crescita cellulare e la conseguente formazione di un network di cellule causa un irrigidimento del materiale di supporto, la variazione delle proprietà meccaniche può essere anche utilizzata come metodo di misura del grado di proliferazione cellulare, accoppiandola quindi alle analisi citologiche che sono effettuate presso i laboratori del DIBRIS. In prospettiva la ricerca, finanziata da fondi FRA, è orientata al miglioramento delle conoscenze sui processi di gelificazione allo scopo di preparare idrogeli che possano essere impiegati come inchiostri per la stampa 3D.

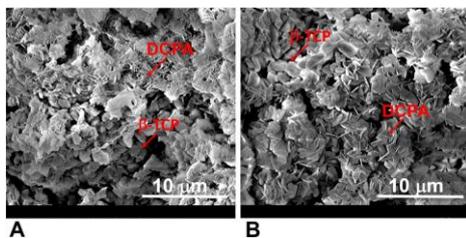


Fig. 1. SEM di Monetite, senza e con ZnO.

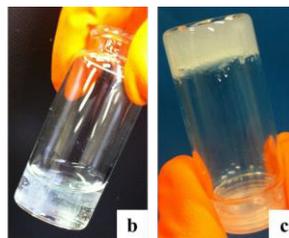


Fig. 2. Chitosano prima e dopo gelificazione-

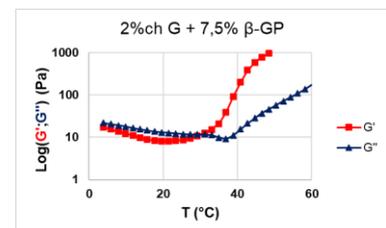


Fig. 3. Variazione di G' e G'' con T (°C) per un idrogel di chitosano.

1. Dabiri S.M.H, Lagazzo A., Aliakbarian B., Mehrjoo M., Finocchio E., Pastorino L., Fabrication of alginate modified brushite cement impregnated with antibiotic: Mechanical, thermal, and biological characterizations, *J. Biomed. Materials Res. Part A* 107 (9) (2019) 2063 – 2075.
2. Dabiri S.M.H., Lagazzo A., Barberis F., Shayganpour A., Finocchio E., Pastorino L. New in-situ synthesized hydrogel composite based on alginate and brushite as a potential pH sensitive drug delivery system, *Carbohydrate Polymers*, 177 (2017) 324 – 333.
3. G. Cama, S.Nkhwa, B. Gharibi, A. Lagazzo, R.Cabella, C. Carbone, P.Dubrue, H. Haugen, L. Di Silvio, S.Deb, The role of new zinc incorporated monetite cements on osteogenic differentiation of human mesenchymal stem cells, *Mat. Sci. Eng. C*, 78 (2017) 485 – 494.

## Sviluppo e caratterizzazione di bioplastiche

Gruppo DICCA: E. Arato, E. Finocchio, A. Lagazzo, C. Moliner, G. Ramis  
Collaborazione con: S. Caputo (TICASS), J.D. Badia (Università di Valencia)

Ricerca finanziata da: TICASS s.r.l., fondi FRA

Rispetto alle plastiche tradizionali di origine fossile, le bioplastiche bio-based derivano almeno parzialmente da biomassa o materiali organici di origine animale o vegetale (es. mais, cellulosa, canna da zucchero, gusci di gamberi). Vengono anche classificate come biodegradabili quando possono essere decomposte ad acqua, CO<sub>2</sub> e altri composti inorganici, in determinate condizioni ambientali. Si tratta quindi di materiali adatti a garantire una sostenibilità ambientale. La caratterizzazione morfologico-strutturale, chimico-fisica e meccanica di differenti tipologie di bioplastiche e biocompositi a matrice biodegradabile, come PLA (Acido-polilattico) e PHBV (poli-idrossi-butiril-valerato), con carica vegetale (es. fibra naturale) o minerale è essenziale per valutare le proprietà di questi materiali mettendoli a confronto con quelli di origine fossile. Le bioplastiche devono infatti garantire, nello specifico ambito in cui vengono impiegate (imballaggio, contenitori alimentari, etc.), le stesse proprietà dei prodotti tradizionali, senza rilasciare sostanze tossiche o che comunque possano contaminare i materiali con cui vengono a contatto. La ricerca è rivolta quindi allo studio dei meccanismi di degrado in condizioni controllate, come l'immersione in acqua e soluzioni saline a differenti pH (acido, neutro e basico) e a varie temperature che simulino differenti ambienti di utilizzo, valutando attraverso analisi chimiche (FT-IR, ATR-IR) (Fig.1), fisiche (calorimetria, assorbimento d'acqua e variazione di peso), morfologiche (microscopia ottica ed elettronica, SEM, delle superfici esposte) (Fig.2), le modificazioni subite dalle bioplastiche. L'analisi delle proprietà meccaniche sia attraverso misure statiche di trazione e flessione sia attraverso test dinamici, che discriminano la componente elastica e viscosa del polimero, sono essenziali per la valutazione del degrado del polimero e della sua perdita di proprietà strutturali.

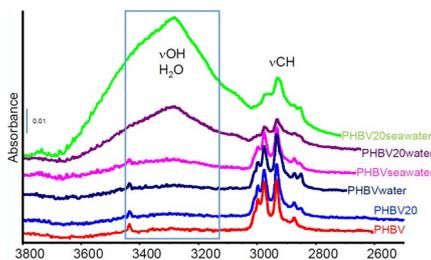


Fig. 1. Spettro ATR-IR di composito PHBV e fibra sisal 20% prima e dopo immersione.

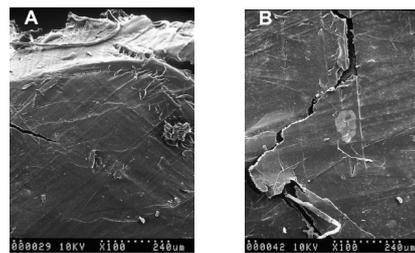


Fig. 2. Composito PHBV e fibra sisal 20% prima e dopo immersione in acqua.

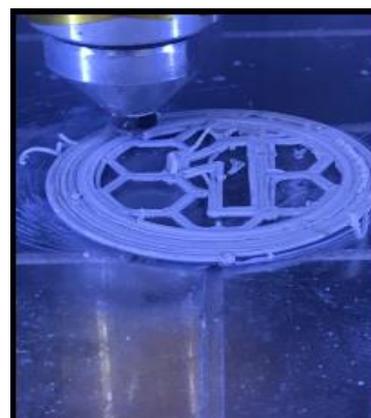
1. Moliner, C., Finocchio, E., Arato, E., Ramis, G., Lagazzo, A., Influence of the degradation medium on water uptake, morphology, and chemical structure of Poly(Lactic Acid)-Sisal bio-composites, *Materials* 13(18) (2020) 3974.
2. Lagazzo, A., Moliner, C., Bosio, B., Botter, R., Arato, E., Evaluation of the mechanical and thermal properties decay of PHBV/sisal and PLA/sisal biocomposites at different recycle steps, *Polymers* 11(9) (2019) 1477.
3. Moliner C., Badia J.D., Bosio B., Arato E., Lagazzo A., Capurro M., Ribes-Greus A., Mechanical and thermal performance of PLA and PHBV-based biopolymers as potential alternatives to PET, *Chemical Engineering Transactions*, 57 (2017) 1417.

## Materiali e tecnologie innovative per strutture protesiche dentali

Gruppo DICCA: F. Barberis, A. Lagazzo  
Collaborazione con: M. Zoppi (DIME), S. Benedicenti, M. Migliorati (DISC), C. Carbone (DISTAV), BTK-Biotec (Vicenza), Wasp3D (Ravenna), D&D (Alessandria), IDS Dental (Savona), Smiledge (Genova)

Ricerca finanziata da: BTK-Biotec, D&D, IDS Dental, Smiledge

Un obiettivo della ricerca in atto è quello di sondare un'innovativa tecnica di stampa in materiale ceramico onde permettere di realizzare una struttura più affine all'osso, di permettere all'odontoiatra una realizzazione specifica per ogni singolo paziente e di ridurre i rischi da inquinamento metallico. Il progetto in corso è strutturato in collaborazione con l'Azienda BTK-Biotec, (<https://www.btk.dental/>) primaria ditta italiana di produzione impianti dentali con numerosi mercati di appoggio europei ed extra europei e con la Wasp3D, (<https://www.3dwasp.com/>) azienda leader nel settore della progettazione e produzione di stampanti 3D che ha affidato al DICCA lo sviluppo del loro prototipo a pellet ceramico. La caratterizzazione nanometrica delle strutture cristalline ottenute viene eseguita in UniGE in collaborazione con i laboratori DISTAV e DCCI [1]. L'immagine mostra un prototipo di stampa 3D ceramica al microscopio ottico.



Un secondo obiettivo è la realizzazione di sottostrutture di supporto per la stabilizzazione di impianti dentali endossei laddove sia presente una lacuna ossea è attualmente effettuata mediante la realizzazione di gabbie di stabilizzazione in lega di titanio denominate "mesh". Il programma appoggiato al Dottorato di Ricerca finanziato dalla azienda D&D, verte a sondare la possibilità di stampare queste strutture di supporto in materiale differente dal metallico, come i polimeri ed i compositi ceramico-polimeri [2].



Un'ulteriore linea di ricerca, finanziata da IDS Dental, è dedicata a valutare gli effetti microstrutturali dei prodotti sbiancanti ed eventualmente a proporre tecniche e materiali innovativi e meno rischiosi sullo smalto dei denti naturali. Un'altra attività, appena iniziata con l'azienda Smiledge, è finalizzata alla riprogettazione ed ottimizzazione dei sistemi di espansione palatale attualmente in uso. Infine, abbiamo recentemente studiato e sviluppato un masticatore robotizzato atto allo studio dinamico di protesi dentali innovative [3].

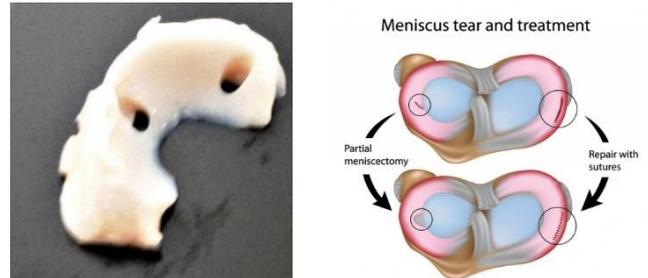
1. De Angelis, N.; Solimei, L.; Pasquale, C.; Alvito, L.; Lagazzo, A.; Barberis, F. Mechanical Properties and Corrosion Resistance of TiAl6V4 Alloy Produced with SLM Technique and Used for Customized Mesh in Bone Augmentations. *Appl. Sci.* 11 (2021) 5622.
2. De Angelis, N.; Signore, A.; Alsayed, A.; Hai Hock, W.; Solimei, L.; Barberis, F.; Amaroli, A. Immediate Implants in the Aesthetic Zone: Is Socket Shield Technique a Predictable Treatment Option? A Narrative Review. *J. Clin. Med.* 10 (2021) 4963.
3. A.M. Tahir; M. Jilich; D.C. Trinh; G. Cannata; F. Barberis; M. Zoppi. Architecture and design of a robotic mastication simulator for interactive load testing of dental implants and the mandible, *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 122(4) (2019) 389.e1-e8.

## Organi e protesi artificiali

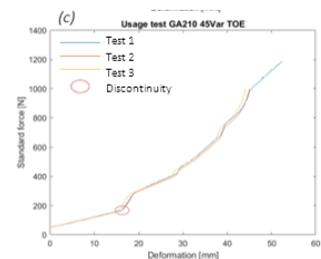
Gruppo DICCA: F. Barberis, A. Lagazzo  
Collaborazione con: IIT; Peter Dubrueel (Università di Gent, Belgio); Ospedale Universitario di Gent; Gruppo Biomeccanico della Università di Heidelberg (D)

È attualmente in corso di svolgimento un dottorato congiunto (programma IMEG CV MMM) con l'Università di Gent (Be) finalizzato alla realizzazione di una endoprotesi in grado di replicare la funzione del menisco della articolazione del ginocchio.

Il problema è estremamente diffuso e da tempo il Laboratorio Materiali del DICCA sta collaborando con gruppi europei per individuare una possibile soluzione. Il progetto si focalizza su una prima fase finalizzata alla creazione di un menisco artificiale basato su materiali polimerici sintetici sperimentali in studio presso il PBM Group di Gent. In figura sono mostrati campioni di menisco animale posti sotto test meccanico presso i laboratori DICCA.



Un'altra attività, condotta in collaborazione con IIT, nell'ambito della tesi di dottorato DICCA-IIT di Benedetta Franconi (2021), riguarda lo sviluppo di protesi ed ortesi di piede in fibra di carbonio /Kevlar per ausilio alla deambulazione di soggetti con varie tipologie di lesioni.



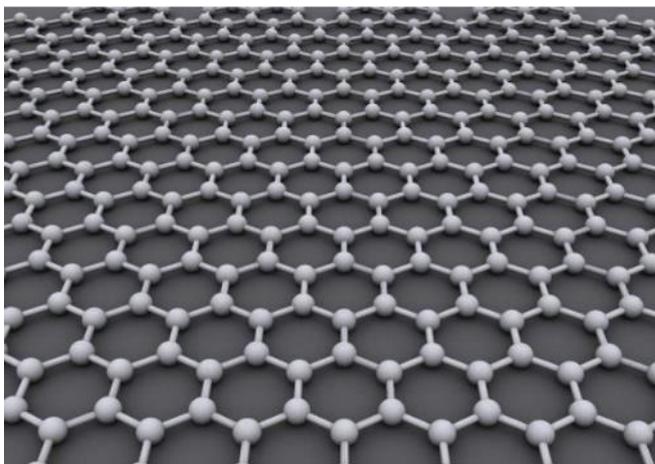
1. F. Barberis, A. Lagazzo, S. Van Vlierberghe, P. Dubrueel, C. Van der Straeten. Towards an Artificial Meniscus Biomechanical Properties as a Driver for Orthopaedic Innovation. *Termis Rhodes*, Grecia (2019)
2. M. Meazzo, F. Barberis, C. Van Der Straeten, P. Dubrueel. 3d printed hydrogel scaffolds for tissue engineering applications: an in-depth mechanical analysis as the key to success. 31<sup>st</sup> Conference of the European Society for Biomaterials, Porto (PT) September 5-9, 2021.

## Rivestimenti sottili in inchiostro a base grafene per applicazioni biomediche

Gruppo DICCA: F. Barberis, A. Lagazzo,  
Collaborazione con: Università di Gent, BeDimensional, DIBRIS

Ricerca finanziata da; BeDimensional: Borsa di Dottorato supportata da BeDimensional (GE)

Il progetto, iniziato a Novembre 2021 con un Dottorato Industriale (programma IMEG CV MMM), intende studiare la possibilità di utilizzare in campo biomedico inchiostri al grafene e altri materiali 2D in applicazioni a diretto contatto col tessuto cellulare del paziente. Il programma è supportato da BeDimensional, Start Up scaturita dai Graphene Labs di IIT collocata a Genova e leader nel panorama scientifico mondiale sugli inchiostri stampabili basati su materiali 2D. BeDimensional, membro del Graphene Flagship, oltre a finanziare il Programma di ricerca metterà in comune le sue attrezzature e laboratori per affrontare il campo biomedico e le sue specifiche esigenze.



## Biofluidodinamica numerica: nasale e oculare

Gruppo DICCA: J.O. Pralits, E. Segalerba, R. Repetto, S. Kheirandish  
Collaborazione con: M. Quadrio (PoliMI), G. Felisati (Ospedale S. Paolo), Giacomo Boracchi (PoliMI), P. Luchini (UniSA), M. Alberti (Rigspedale Copenhagen)

Ricerca finanziata da: borsa di dottorato, POR-FESR 2018

Progetti multidisciplinari con interazione tra ingegneria, matematica applicata e medicina, stanno diventando sempre più comuni. Con modelli matematici sofisticati e mezzi di calcolo numerico odierni si riescono a modellare sistemi sempre più complessi, con diverse applicazioni che riguardano la fluidodinamica nel corpo umano. In questo ambito nascono due filoni di ricerca che il gruppo del DICCA porta avanti. Da tempo con applicazioni che riguardano l'occhio umano (filone avviato da R. Repetto), più recentemente con una nuova tematica che riguarda il flusso d'aria nella cavità nasale. I modelli variano in funzione dell'applicazione da 1D a 3D, da geometrie idealizzate a *patient specific* con ricostruzioni partendo da TAC (Tomografia Assiale Computerizzata) di alta risoluzione. Si applicano tecniche di fluidodinamica numerica soprattutto nei casi in cui la geometria è particolarmente complessa, equazioni aggiunte per valutare la sensitività in modo efficace e Machine Learning per costruire legami basati su grandi quantità di dati. Una continua interazione con i medici è fondamentale per un'adeguata analisi: giusta priorità dei casi e parametri da studiare, corretta interpretazione dei risultati e conclusioni, sia dal punto di vista meccanico che fisiologico. In particolare, per la tematica nasale, si è instaurato una nuova collaborazione con il dipartimento di Scienze e Tecnologie Aerospaziali del Politecnico di Milano e con il reparto di Otorinolaringoiatria dell'A.O. San Paolo di Milano.

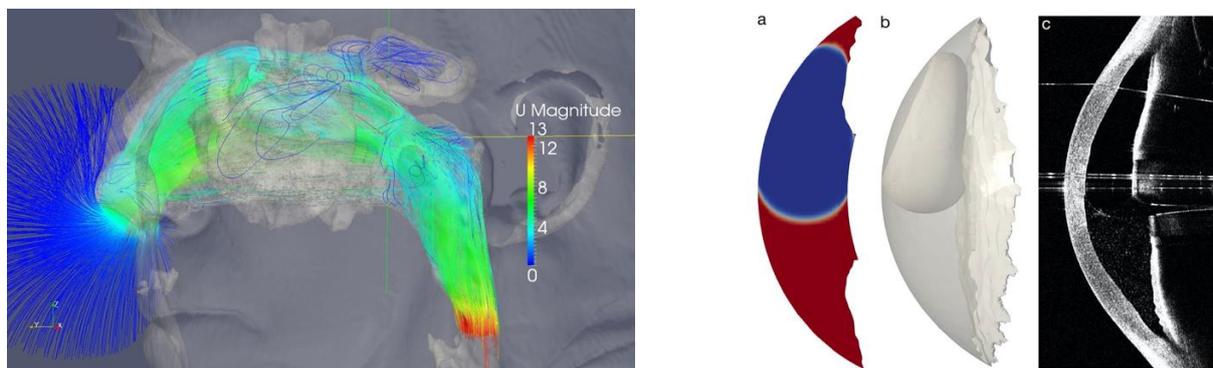


Figura di sinistra: linee di flusso e velocità nella cavità nasale durante l'ispirazione. A destra risultati numerici (a) 2D e (b) 3D dell'immagine (c) OCT di una bolla d'aria (blu) nella camera anteriore dell'occhio nel caso di *Descemet's Membrane Endothelial Keratoplasty*.

1. J.O. Pralits, M. Alberti, J. Cabrerizo, Gas-graft coverage after DMEK: a clinically validated numerical study, *Translational Vision Science & Technology*, 8(6) (2019) 1-14.
2. M. Dvoriashyna, J.O. Pralits, J.H. Tweedy, R. Repetto, Mathematical models of aqueous production, flow and drainage, in *Ocular Fluid Dynamics*, Springer-Birkhauser (2019).
3. D. Natali, R. Repetto, J.H. Tweedy, T.H. Williamson, J.O. Pralits, A simple mathematical model of rhegmatogenous retinal detachment, *J. of Fluids and Structures*, 82 (2018) 245-257.

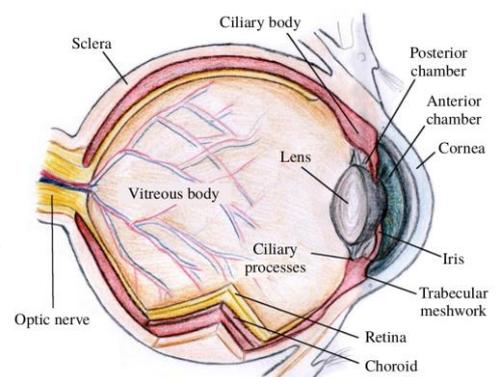
## Studio della fluidodinamica oculare in condizioni fisiologiche e patologiche

Gruppo DICCA: R. Repetto, J. O. Pralits, N. Tambroni, A. Ruffini, A. Casalucci  
Principali collaborazioni: E. A. Gaffney (University of Oxford, UK), M. Dvoryashyna (University of Cambridge, UK), A. J. E. Foss (University of Nottingham, UK), M. R. Romano (Università Humanitas), J. H. Tweedy (University of Bath, UK)

L'occhio è l'organo esterno dell'apparato visivo. Ha forma pressoché sferica e, dal punto di vista strutturale, è un guscio costituito da più strati: lo strato corneo-sclerale, più esterno, la coroide e la retina, muovendosi verso l'interno (si veda la figura sottostante). All'interno del bulbo oculare sono presenti tre camere; la camera anteriore e quella posteriore, che contengono un liquido chiamato umor acqueo, e la camera vitrea, che è riempita da un gel con proprietà viscoelastiche. Il funzionamento dell'occhio dipende in larga misura dal moto di fluidi al suo interno. In particolare, la pressione intraoculare è il risultato di un delicato bilancio tra produzione di umor acqueo resistenza al suo drenaggio. Il moto dell'umor acqueo è, inoltre, essenziale per trasportare nutrienti ai tessuti avascolari della lente e della cornea. L'adesione tra retina e l'epitelio pigmentato (lo strato ad essa più esterno) è facilitata da un flusso di acqua attraverso questi strati, dall'interno verso l'esterno del bulbo; questo flusso è anche essenziale per mantenere la corretta idratazione della retina.

Da molti anni il gruppo di ricerca al DICCA è un punto di riferimento internazionale per lo studio della fluidodinamica oculare e mantiene attive molte collaborazioni con prestigiose università. Il sottoscritto si è occupato di una quantità di problematiche in questo campo, sia relative al funzionamento dell'organo (produzione di umor acqueo, moto dell'umor acqueo e metabolismo della cornea, flusso di acqua attraverso l'epitelio pigmentato, moto dell'umor vitreo indotto da rotazioni oculari,...) che all'insorgenza di patologie associate al moto di fluidi (glaucoma, distacco di retina, distacco posteriore di vitreo, edema maculare, traumi,...). I risultati ottenuti sono stati pubblicati in numerosi articoli su rivista e in 5 capitoli di libro.

1. Dvoryashyna, M., Pralits, J. O., Tweedy, J. H. and Repetto, R. *Mathematical Models of Aqueous Production, Flow and Drainage*. In *Ocular Fluid Dynamics - Anatomy, Physiology, Imaging Techniques, and Mathematical Modeling*, edited by Guidoboni, G, Harris, A. and Sacco, R. Birkhäuser, Springer (2019).
2. Repetto, R. and Dvoryashyna, M. *Mathematical Models of Vitreous Humour Dynamics and Retinal Detachment*. In *Ocular Fluid Dynamics - Anatomy, Physiology, Imaging Techniques, and Mathematical Modeling*, edited by Guidoboni, G., Harris A., and Sacco, R. Birkhäuser, Springer Nature CH AG. (2019).
3. Repetto, R. and Tweedy, J. H. *Biomechanics of the Vitreous Humor*. In *Biomechanics of the Eye*, edited by: C.J. Roberts & W.J. Dupps Jr. & J.C. Downs. Kugler Publications, Amsterdam, The Netherlands (2018).



## Supporto allo sviluppo di tecnologie in ambito oftalmico

Gruppo DICCA: R. Repetto, A. Lagazzo, J. O. Pralits, A. Stocchino, A. Ruffini  
Principali collaborazioni: M. R. Romano (Università Humanitas), Libero Liggieri (CNR-ICMATE), Maila Castellano e Silvia Vicini (DCCI), Luigi Carassale (DIME), Laura Pastorino (DIBRIS)

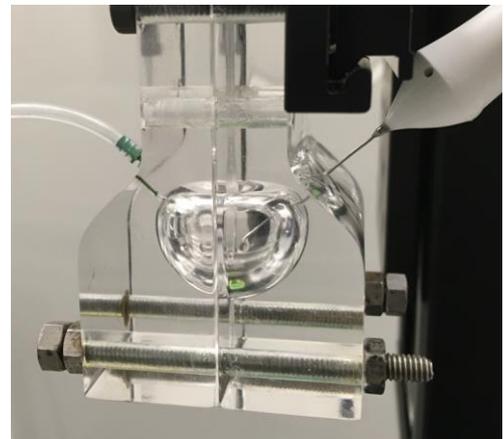
Ricerca finanziata da: Ophtec, Bauch+Lomb, DORC, Fluoron GmbH.

Il gruppo di ricerca al DICCA collabora da diversi anni con aziende nazionali e internazionali, attive in ambito oftalmologico. Queste collaborazioni di ricerca sono finalizzate all'ottimizzazione di tecnologie utilizzate in diverse chirurgie oculari. In particolare, le principali tematiche affrontate sono:

- Studio dell'effetto dell'impianto di lenti intraoculari sulla circolazione dell'umor acqueo e sul metabolismo della cornea.
- Studio dell'efficienza di vitrectomi, basati su diverse tecnologie, durante la chirurgia di vitrectomia.
- Studio della tendenza all'emulsione di oli siliconici utilizzati come fluidi tamponanti all'interno dell'occhio.

Questi studi sono affrontati sia per via numerica (tramite l'utilizzo di programmi di calcolo liberi come OpenFOAM) che per via sperimentale. Per quanto riguarda gli esperimenti si stanno utilizzando diversi modelli fisici dell'occhio (si veda la figura), con i quali è possibile riprodurre in ambiente controllato procedure chirurgiche e misurare gli effetti che queste hanno sulla generazione di sforzi meccanici sul contorno. I risultati ottenuti sono stati pubblicati in numerosi articoli su rivista; si riporta di seguito una lista dei lavori più recenti.

1. Romano, M. R., Caretti, L., Ferrara, M., La Gloria Valerio, A., Fallico, M., Repetto R. and Avitabile T. Twenty-three-gauge hypersonic vitrectomy: real-world surgical evidence. *Retina*, 41(2) (2021) 2523-2530.
2. Nepita, I., Repetto, R., Dodero, A., Vicini, S., Ferrara, M., Romano, M. R., Stocchino, A. Experimental assessment of the performance of vitreous cutters with fluids with different rheological properties. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology* 259 (2021) 1113-1121.
3. Stocchino, A., Nepita, I., Repetto, R., Dodero, A., Castellano, M., Ferrara, M. and Romano MR. Fluid dynamic assessment of hypersonic and guillotine vitrectomy probes. *Translational Vision Science and Technology*, 9(6) (2020).



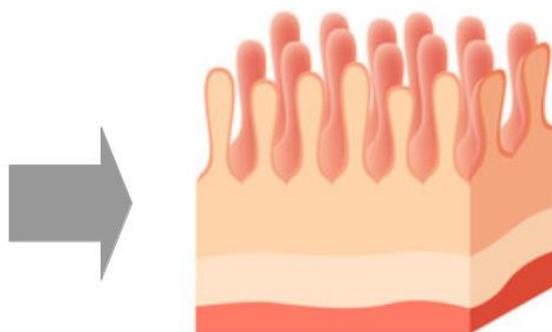
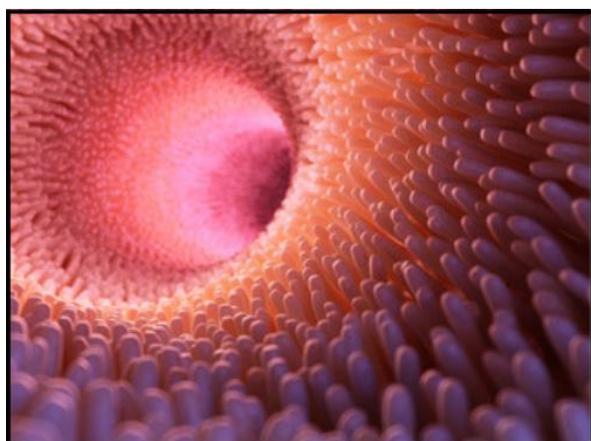
## Altre tematiche di ricerca relative a fluidodinamica in ambito biologico

Gruppo DICCA: R. Repetto, A. Mazzino  
Principali collaborazioni: L. Pastorino, A. Fedi e I. Parodi (DIBRIS)  
E. Rosti (Okinawa Institute of Science and Technology)

### Assorbimento di nutrienti a livello dell'intestino tenue

La parete interna del piccolo intestino è ricoperta da villi, piccole strutture di forma pressoché cilindrica (si veda la figura sottostante), la cui presenza aumenta in modo molto significativo la superficie a disposizione per scambi tra il fluido all'interno del lume e la parete.

- Semplici simulazioni stazionarie in un tubo a sezione costante dei processi di assorbimento alla parete mostrano come l'incremento di assorbimento indotto dalla presenza dei villi sia assai inferiore rispetto al corrispondente incremento della superficie di scambio. Questa osservazione è in contraddizione con l'attuale interpretazione della funzione dei villi. È chiaro quindi che l'incremento di area di scambio a disposizione non sia sufficiente per spiegare il ruolo di queste strutture. Stiamo quindi sviluppando il modello mettendo in conto effetti aggiuntivi (flusso di acqua attraverso la parete, flessibilità dei villi, non cilindricità del lume, non stazionarietà del moto, ...) che riescano a spiegare l'efficacia della presenza dei villi. Il problema è di grande importanza pratica ed è sorprendentemente poco studiato dal punto di vista modellistico.
- La simulazione dei processi di assorbimento alla parete sono resi molto onerosi dal punto di vista computazionale dalla ridotta dimensione dei villi rispetto al diametro del lume. Si sta utilizzando la teoria dell'omogeneizzazione per ottenere una condizione al contorno equivalente da utilizzare in simulazioni macroscopiche.



Healthy intestine

### Modellazione della crescita in vitro di cellule all'interno di strutture porose tridimensionali

Il gruppo di ricerca che fa capo alla prof. Pastorino al DIBRIS, sta lavorando su colture cellulari tridimensionali all'interno di strutture porose. Gli esperimenti sono al momento effettuati in condizioni statiche; si passerà a breve a colture in ambienti microfluidici. Al fine di facilitare l'interpretazione degli esperimenti si sta sviluppando un modello di metabolismo e crescita cellulare e trasporto di nutrienti in un mezzo poroso tridimensionale. Le proprietà macroscopiche di trasporto vengono valutate facendo uso della teoria dell'omogeneizzazione.

## Un modello analitico per lo studio delle vibrazioni del bulbo oculare

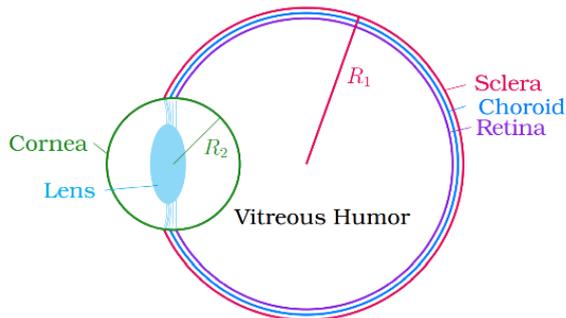
Gruppo DICCA:

R. Repetto, N. Tambroni

Collaborazione con:

G. Tomassetti (RomaTre), S. Lombardi (Gran Sasso Science Institute)

La struttura portante dell'occhio umano è il suo strato più esterno, la tonaca fibrosa, formata dalla cornea e dalla sclera (Figura). L'organo è in pressione e la pressione intraoculare (IOP) è



governata dall'equilibrio tra produzione di umor acqueo nell'occhio e resistenza al suo drenaggio. La più grande camera dell'occhio è la cavità vitrea, che occupa il 60% del volume dell'occhio. La cavità vitrea contiene il corpo vitreo, una sostanza che, in soggetti sani e giovani, ha proprietà viscoelastiche. Il vitreo essendo un mezzo trasparente, consente il passaggio della luce fino alla retina e

riveste un ruolo importante nello smorzare tensioni meccaniche e nella protezione dei tessuti circostanti durante movimenti oculari, traumi ed attività fisica. Il gel vitreale subisce, tipicamente, un processo di degrado con l'avanzamento dell'età caratterizzato dalla formazione di sacche di liquido (sinchisi vitreale). Ad uno stadio avanzato di tale processo, il gel vitreale si può ridurre ad uno stato quasi completamente liquefatto. Inoltre, svariate condizioni patologiche vitreo-retiniche sono trattate con una procedura chirurgica, chiamata vitrectomia, durante la quale il corpo vitreo viene rimosso dalla camera vitrea e sostituito da fluidi tamponanti, tipicamente oli di silicone altamente viscosi.

Lo studio delle oscillazioni libere dell'occhio ha duplice rilevanza pratica: aiuta a comprendere il comportamento dell'occhio umano soggetto ad un trauma ed inoltre si propone come tecnica di misura indiretta della pressione intraoculare, in alternativa alla tradizionale tonometria. Le vibrazioni proprie del bulbo oculare sono state considerate da diversi autori in passato, anche se il problema dell'accoppiamento fra tonaca fibrosa elastica (cornea-sclera) e proprietà reologiche del vitreo non è mai stato indagato a fondo.

Un primo approccio al problema è stato avanzato con la formulazione di un modello analitico di tipo bidimensionale: il bulbo oculare umano viene schematizzato come un anello circolare elastico riempito con un fluido viscoelastico pressurizzato, di cui vengono studiate le frequenze naturali d'oscillazione. Successivamente tale modello è stato esteso al caso tridimensionale, in cui lo strato corneo-sclerale viene trattato come un guscio sferico elastico.

I risultati mostrano che il parametro più importante che governa le frequenze di oscillazioni libere dell'occhio umano è la IOP. La rigidità del guscio corneo-sclerale e le proprietà dell'umor vitreo hanno un ruolo relativamente minore. Le frequenze di oscillazione possono variare in modo significativo, anche quando sono utilizzati oli di silicone ad alta viscosità.

1. Lombardi S., Tomassetti G., Tambroni N. and Repetto R., Fluid-Structure Interaction (FSI) problems in the eye. In preparazione (2022).

## Sistemi di monitoraggio wireless per le infrastrutture

Gruppo DICCA: L. Pagnini, I. Ferrando, A. Orlando, D. Sguerso  
Collaborazione con: I. Bisio, A. Sciarrone (DITEN)

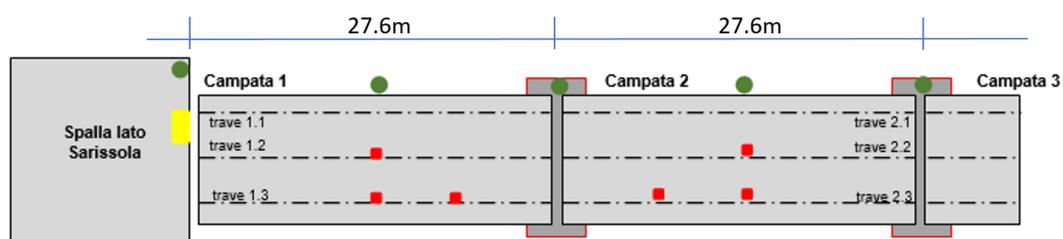
Ricerca finanziata da: 5GSMARTGe - tecnologie 5G per la sicurezza delle infrastrutture stradali (finanziato MISE); progetto Reluis- CSLPP; bando medie attrezzature, Università di Genova

La gestione e manutenzione di infrastrutture, opere strategiche e ponti in particolare, sta diventando sempre più complessa e centrale con il progredire dell'età del costruito. In questo contesto, le linee guida emesse dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici costituiscono un documento in evoluzione in cui lo *Structural Health Monitoring*, la gestione delle informazioni e la loro corretta interpretazione assumono un ruolo centrale per mantenere alta la qualità del servizio, garantire la sicurezza e programmare gli interventi.

I sistemi di monitoraggio tradizionali sono solitamente realizzati mediante una rete di sensori cablati, connessi a una unità centrale di acquisizione e trasmissione. Nei ponti e viadotti questo sistema pone, in particolare, la necessità di utilizzare un importante dispiegamento di cavi e di trovare una locazione idonea a ospitare la centralina. Il mercato offre sistemi di acquisizione wireless che tuttavia offrono ancora prestazioni di qualità minore rispetto ai sistemi tradizionali, a fronte di costi ugualmente elevati. Sistemi wireless 5G o Narrow Band IoT non sono ancora disponibili sul mercato.

Questa nuova attività di ricerca, che trae spunto da recenti finanziamenti, ha un carattere interdisciplinare coniugando l'esperienza nel campo del monitoraggio strutturale della risposta vibratoria e gli aspetti legati alla sensoristica IoT e alle problematiche della trasmissione. Il caso studio (Ponte Paleggiati, Busalla) sarà oggetto sia di monitoraggio tradizionale che innovativo con sensori IoT a basso costo. Il nodo IoT in corso di ingegnerizzazione è composto da un accelerometro il cui segnale di uscita analogico è digitalizzato con un convertitore AD, processato tramite micro-controllore SBC (Raspberry PI 4) e inviato a un server remoto con trasmissione 5G/Narrow-Band-IoT.

L'immagine mostra il caso studio che sarà anche strumentato con accelerometri (simbolo rosso), centralina meteo e GNSS (simbolo verde).



## Costo e gestione dell'energia in comunità energetiche sostenibili

Gruppo DICCA:

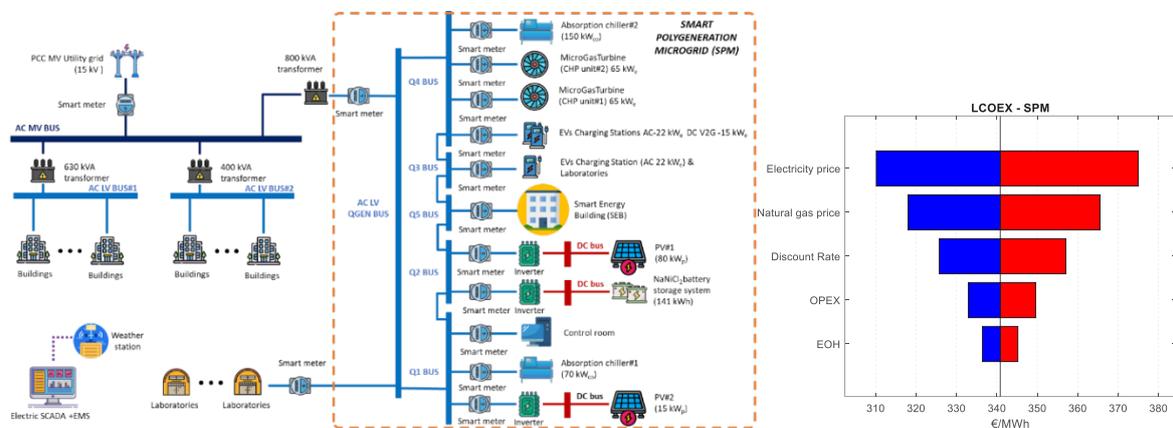
L. Pagnini

Collaborazione con:

S. Bracco, F. Delfino, G. Piazza (DITEN), M. de Simón Martín (Universidad de León, Spain)

Una comunità energetica sostenibile deve fornire una soluzione competitiva, o altrettanto conveniente rispetto ad altre soluzioni tradizionali di approvvigionamento energetico. L'indicatore LCOE (Levelized Cost of Energy) è una delle misure più diffuse per la stima del costo dell'energia da fonti convenzionali e rinnovabili. Tuttavia, i modelli di stima sono ancora carenti per le applicazioni alle micro-reti, per lo studio della co- e tri-generazione, per la stima dei costi di integrazione e degli effetti collaterali positivi e negativi.

Questa attività di ricerca nasce da una collaborazione tra due progetti pilota costituiti dalla Smart Polygeneration Microgrid di UniGe (Campus di Savona) e dalla ERESMAGrid dell'Università di Leon (Spagna). L'unità DICCA si è inizialmente inserita occupandosi di turbine eoliche di piccola taglia in ambito di smart grid, e successivamente del tema più generale della produzione di energia sostenibile, della pianificazione delle unità di produzione [1], del costo dell'energia e delle comunità energetiche [2]. Gli aspetti più originali su cui si sta portando avanti lo studio sono la pianificazione delle risorse tenendo conto del carattere aleatorio delle fonti rinnovabili, la definizione di modelli di costo per sistemi poligenerativi, la caratterizzazione di esternalità non solo in termini di costo ma anche di profitto, la definizione di modelli di previsione di LCOE dotati di distribuzione delle incertezze [3].



La figura mostra lo schema elettrico della SPM e dispersione dell'LCOE con parametri incerti.

1. Bracco S., Delfino F., Ferro G., Pagnini L., Robba M., Rossi M. Energy planning of sustainable districts: Towards the exploitation of small size intermittent renewables in urban areas, *Appl Energy*, 228 (2018) 2288-2297.
2. Bracco F., Delfino F., Pagnini L.C., Piazza G. Evaluating LCOE in sustainable microgrids for smart city applications, *Sustainable Polyenergy Generation and Harvesting (SUPEHR19, Volume 1)* 113 (2019) 03006.
3. Bracco S., de Simón-Martín M., Pagnini L., Piazza G., González-Martínez A., Delfino F. Levelized Cost of Energy in Sustainable Energy Communities. A systematic approach for multi-vector energy systems. Inviato per pubblicazione (2021).

# Sviluppo di strumenti decisionali basati su ottimizzazione multi-variabile dei processi di recupero dei materiali da RAEE con approccio life-cycle

Gruppo DICCA: A. Del Borghi, M. Gallo, L. Moreschi  
 Collaborazione con: F. Pirozzi (Università di Napoli – Federico II), F. Pagnanelli (Università di Roma- La Sapienza)

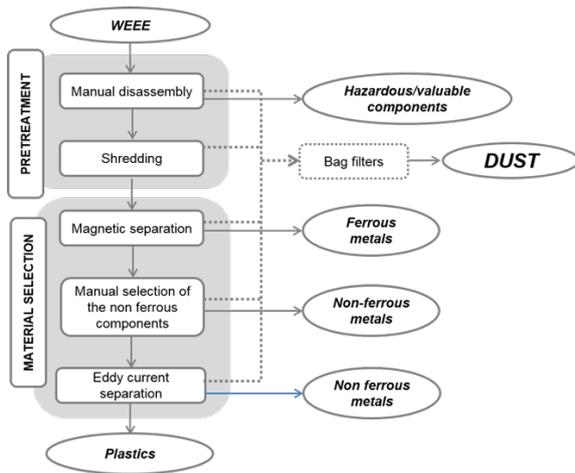
Ricerca finanziata da: ENEL SpA, MUR CUPE65D18000820006, HYDROWEEE DEMO - Innovative Hydrometallurgical Processes to recover Metals from WEEE

Il processo di decarbonizzazione dei processi industriali e la conseguente elettrificazione dei consumi necessitano di un cambio di paradigma nei modelli di business aziendali, che si orientano verso una transizione energetica rinnovabile con approccio circolare basato sull'uso efficiente e sostenibile dell'energia e dei materiali. In questo contesto è stato sviluppato uno studio sulla valutazione degli impatti ambientali generati nei processi connessi al ciclo di vita di un insieme di materiali rari, leghe e aggregati, di particolare rilevanza per i settori: rinnovabili (aerogeneratori e pannelli fotovoltaici), energy storage, elettrolizzatori, reti di distribuzione elettrica, infrastrutture di ricarica veicoli elettrici.

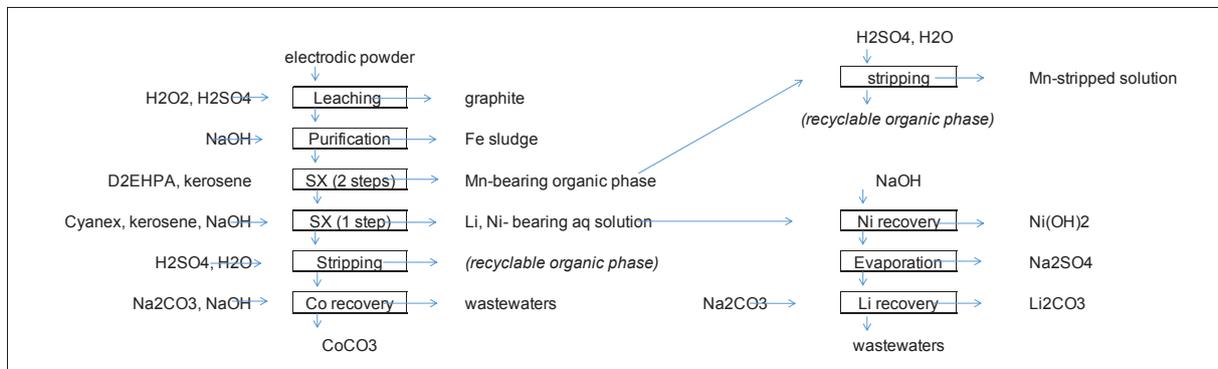
RAW MATERIALS	Icons	Supply Risk	Annual extraction	Reserves	Availability	Material extracted from the quarry		Release of hazardous waste materials		Quantity of waste generated		Number of hazardous chemicals		Life cycle impact assessment						Recycling rate		Recycled material		Environmental impacts			
						kg		kg		kg		kg		kg		Climate Change		Energy		Water		%		%			
						Primary	Recycled	Primary	Recycled	Primary	Recycled	Primary	Recycled	Primary	Recycled	Primary	Recycled	Primary	Recycled	Primary	Recycled	Primary	Recycled	Primary	Recycled	Primary	Recycled
Copper		X X X X X X	20 190 000	871 000 000	43 14	291,85	1,40	0,00	292,83	0,00	2	1	4,70	0,57	69,22	7,54	0,08	0,01	70%	33%	MEDIUM	LOW					
Lead		X X X X X X	4 422 000	87 660 000	19 61	7,36	0,35	0,00	6,96	0,00	6	4	1,90	0,49	59,85	7,18	0,03	0,01	95%	80%	MEDIUM	LOW					
Aluminium		X X X X	371 000 000	30 000 000 000	80 86	3,83	1,66	0,03	1,88	0,04	1	5	16,72	0,77	186,22	9,37	0,08	0,03	90%	37%	MEDIUM	LOW					
Niobium****		X	349 300	115 820 000	476 04	38,73	0,26	N/A	49,79	N/A	4	N/A	23,88	N/A	579,94	N/A	0,39	N/A	3%	0%	MEDIUM	N/A					
Iron		X X X X X	1 480 800 000	83 540 000 000	56 42	1,99	0,11	N/A	0,13	N/A	2	N/A	1,88	N/A	21,40	0,03	N/A	N/A	79%	42%	LOW	N/A					
Steel		X X X X X	1 480 800 000	83 540 000 000	56 42	2,53	0,04	0,19	0,06	0,11	2	1	2,23	0,65	36,44	33,69	0,01	0,01	79%	42%	LOW	LOW					
Cobalt		X X	195 000	7 128 000	53 80	301,22	0,00	N/A	99,90	N/A	2	N/A	9,02	N/A	117,53	N/A	0,15	N/A	88%	22%	MEDIUM	N/A					
Concrete		X X X X	4 000 000 000	N/A	N/A	0,99	0,00	N/A	0,00	N/A	1	N/A	0,00	N/A	9,48	N/A	0,01	N/A	30%	8%	LOW	N/A					
Indium		X X	950	N/A	N/A	388,01	0,14	N/A	334,46	N/A	1	N/A	207,14	N/A	2 528,98	N/A	1,99	N/A	1%	0%	HIGH	N/A					
Lithium		X X X	82 200	21 095 000	256 14	25,53	0,00	0,00	30,06	0,00	3	2	42,90	10,93	581,94	433,63	0,60	0,41	0%	1%	MEDIUM	MEDIUM					
Nickel		X X X X	2 475 000	94 900 000	37 94	56,23	0,00	0,00	16,08	0,00	3	2	10,00	0,78	140,19	1,54	0,13	0,00	68%	34%	MEDIUM	LOW					
Silicon		X X X X	7 956 000	N/A	N/A	2,63	0,00	N/A	0,00	N/A	1	N/A	10,61	N/A	132,63	N/A	0,13	N/A	0%	0%	MEDIUM	N/A					
Graphite		X	1 100 000	323 800 000	294 36	1,05	0,00	N/A	0,00	N/A	0	N/A	1,80	N/A	51,26	N/A	0,01	N/A	0%	0%	LOW	N/A					
Dysprosium****		X	243 300	115 820 000	476 04	3 990,50	1,75	N/A	1,75	N/A	5	N/A	138,60	N/A	1 941,80	N/A	N/A	N/A	1%	0%	HIGH	N/A					
Praseodymium****		X	243 300	115 820 000	476 04	36,35	5,88	N/A	42,98	N/A	4	N/A	35,54	N/A	138,69	N/A	0,31	N/A	1%	0%	MEDIUM	N/A					
Phosphorus		X X X	229 000 000	70 653 000 000	316 74	8,50	0,00	N/A	0,00	N/A	2	N/A	11,50	N/A	215,20	N/A	0,12	N/A	0%	0%	MEDIUM	N/A					
Manganese		X	18 490 000	1 332 000 000	72 04	16,43	1,88	0,00	15,86	0,00	1	1	3,13	0,01	95,22	0,12	0,03	0,00	37%	9%	MEDIUM	LOW					
Vanadium		X	85 970	22 105 000	257 62	16,85	1,63	N/A	2,22	N/A	4	N/A	18,78	N/A	139,84	N/A	0,10	N/A	1%	1%	MEDIUM	N/A					
Titanium		X	8 190 000	741 590 000	90 45	4,66	0,00	N/A	3,66	N/A	4	N/A	28,31	N/A	412,16	N/A	0,26	N/A	90%	19%	MEDIUM	N/A					
Platinum***		X	371	89 310	400 37	26 000,00	1,34	0,00	25 650,00	0,00	2	2	67 000,00	10 000,00	131 000,00	13 000,00	10 000,00	0,00	0%	25%	HIGH	HIGH					
Iridium***		X	371	89 310	400 37	26 000,00	1,34	N/A	25 650,00	N/A	2	N/A	67 000,00	N/A	131 000,00	N/A	0,00	N/A	25%	14%	HIGH	N/A					

Sulla base dei risultati dello studio effettuato ed in riferimento alle statistiche riportate nel *The Global E-waste Monitor*, saranno identificati i materiali con la maggiore potenzialità di sviluppo di processi circolari relativi alla filiera dei RAEE (Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche).

Successivamente, sarà sviluppato un modello di valutazione del recupero di metalli preziosi e materie prime critiche con un processo idrometallurgico in due fasi, in cui viene trattata la polvere proveniente dalla lavorazione meccanica di RAEE derivanti dall'impianto industrial Dismeco, situato a Marzabotto (Bologna). Il processo sperimentale sarà condotto con il laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università degli Studi di Napoli Federico II.



Successivamente, in collaborazione con il Dipartimento Chimica della Sapienza, saranno identificati diversi flowsheet alternativi di processo (*Hydrowee process updated with wastewater treatment, cake washing and water recycle; Hydrowee process + solvent extraction + Crystallization updated with wastewater treatment, cake washing and water recycle; use of green organic solvents and bio-metallurgical processes*) allo scopo di sviluppare strumenti decisionali basati su ottimizzazione multi-variabile dei processi di recupero analizzati con approccio life-cycle.



Le fasi della ricerca saranno le seguenti:

- a. Analisi di processo e confronto dei diversi scenari EoL dei RAEE
  - b. Quantificazione dell’impatto ambientale dei diversi processi studiati (in accordo alla Battery Directive Proposal concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) No 2019/1020)
  - c. Ottimizzazione multivariabile delle fasi del processo idrometallurgico, uso di solventi organici ed agenti di biolisciviazione sostenibile in ottica di economia circolare
  - d. Proposta di revisione della PEFCR Product Environmental Footprint Category Rules for High Specific Energy Rechargeable Batteries for Mobile Applications ([https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR\\_Batteries.pdf](https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_Batteries.pdf))
1. Moreschi, L., Del Borghi, A., Taramasso, A.C., Gallo, M. Waste management under emergency conditions: Life-cycle multicriteria analysis as decision support system. *Resources* 9(7) (2020) 82.
  2. Magrassi, F., Rocco, E., Barberis, S., Gallo, M., Del Borghi, A.. Hybrid solar power system versus photovoltaic plant: A comparative analysis through a life cycle approach. *Renewable Energy* 130 (2019) 290-304.
  3. Cesaro, A., Pirozzi, F., Moreschi, L., Gallo, M., Del Borghi, A.. The recovery of critical and valuable elements from weee: process effectiveness in a life cycle perspective. *Resources, Conservation and Recycling*. Inviato per pubblicazione (2021)

## Valutazione della sostenibilità lungo il ciclo di vita dei processi agroalimentari per un riposizionamento competitivo delle Green Technologies valutato con approccio Water Energy Food Nexus

Gruppo DICCA: Erica Gagliano, Adriana Del Borghi, Michela Gallo  
Collaborazione con: Conserve Italia Soc. Coop. Agricola

Ricerca finanziata da: PON Ricerca e Innovazione 2014-2020

La presente ricerca ha come obiettivo la valutazione della sostenibilità dei processi agroalimentari con particolare focus ai processi innovativi per la valorizzazione di scarti/rifiuti e per la gestione sostenibile delle risorse idriche, incluso il riuso delle acque.

La tematica di ricerca si inquadra nel paradigma esistente tra acqua, energia e cibo noto come “*Water-Energy-Food Nexus*” approccio interdisciplinare che consente di studiare le sinergie esistenti e le correlazioni intrinseche nella gestione di queste risorse e che rappresenta il nesso fondamentale per lo sviluppo sostenibile (Proctor et al., *Science of the Total Environment*, 764 (2020) 142852). In questo contesto, la valutazione del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment, LCA*), metodologia standardizzata usata per valutare l’impatto ambientale di un prodotto e/o processo (norme ISO della serie 14040), rappresenta un valido strumento scientifico per analizzare il *Water-Energy-Food Nexus* e per studiare le “*best practices*” ossia le soluzioni più appropriate per l’uso sostenibile delle risorse e la valorizzazione dei rifiuti nell’ottica dell’economia circolare<sup>2</sup>. Inoltre, LCA è attualmente considerato un valido strumento di supporto agli obiettivi di sviluppo sostenibile (*Sustainable Development Goals, SDGs*) previsti dall’ Agenda 2030 delle Nazioni Unite.

La collaborazione con Conserve Italia Soc. Coop. Agricola, consorzio cooperativo italiano e uno dei maggiori gruppi conservieri in Europa, consentirà l’immediato trasferimento tecnologico dell’approccio sistemico sviluppato e l’utilizzo dei risultati ambientali derivanti dallo studio di LCA ad integrazione del sistema di supporto decisionale (*Decision Support System, DSS*). La presente ricerca permetterà di acquisire conoscenze avanzate sulla metodologia LCA e sui trattamenti avanzati per la valorizzazione dei rifiuti, come il compostaggio e la digestione anaerobica, e per la gestione sostenibile delle acque di processo (e.g. riuso delle acque, vedasi Hosseinzadeh et al., *Science of the Total Environment*, 687 (2019) 479-487).

Mediante il confronto con il partner aziendale (Conserve Italia Soc. Coop. Agricola) e la collaborazione con gruppi di ricerca nazionali e internazionali (Università degli Studi di Catania, Università degli Studi di Napoli Federico II, Ghent University, Clemson University), sarà possibile individuare vantaggi e limitazioni dell’approccio sistemico sviluppato, nonché identificare eventuali integrazioni necessarie per massimizzare i risultati attesi. Sarà possibile, inoltre, validare i risultati ottenuti su scala nazionale ed internazionale al fine di individuare le strategie per rendere i processi produttivi più sostenibili e più “*Green*”.

1. Del Borghi A., Moreschi L., Gallo M., *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 13 (2020) 23–28

## Valorizzazione di materia nell'ambito dell'economia circolare

Gruppo DICCA: E. Arato, C. Moliner  
Collaborazione con: A. Martinez (Univ. Aberdeen), A. Ribes Greus e I. Iborra (Univ. Politecnica Valencia), P. Campins (Univ. Valencia), G. Rovero (ex POLITO), gruppo di M. Baratieri (UNIBZ)  
Ricerca finanziata da: Ministero Infrastrutture e Trasporti, LIBERNITRATE, ADIUVA

In conseguenza di problemi ambientali e connessi ai consumi energetici, le materie prime rinnovabili stanno diventando materie prime industriali sempre più importanti e ricorrendo a processi fisici, chimici, termici e biologici, tali materiali possono essere convertiti in combustibile o avere nuovo impiego passando da una economia lineare a una circolare. Inoltre, la direttiva quadro europea sui rifiuti impone che entro fine 2023 i rifiuti organici debbano essere separati e riciclati alla fonte portando a un aumento di rifiuti organici disponibili. I principali obiettivi della linea di ricerca sono gestire i rifiuti e le risorse naturali in maniera responsabile per contribuire a raggiungere gli Obiettivi dello Sviluppo Sostenibile. Più in dettaglio la linea di ricerca ha avuto inizio con lo studio della decarbossilazione di olii vegetali non combustibili e olii esausti e successivamente è proseguita con lo studio di fattibilità della valorizzazione delle morchie navali in entrambi i casi con la trasformazione dei rifiuti tramite pirolisi in combustibile. Più recentemente abbiamo studiato la conversione di rifiuti agricoli e di lana in fertilizzanti, la valorizzazione di rifiuti tessili tramite gassificazione e sempre tramite gassificazione di biomassa agricola la valorizzazione del rifiuto solido ottenuto. Ci siamo inoltre occupati della valorizzazione della paglia di riso per ottenere tramite combustione ceneri ricche di silice da utilizzarsi, dopo attivazione, per confezionare filtri per depurare l'acqua contaminata dai nitrati.



Fig.1 Prototipo progettato per ottenere le ceneri dalla paglia di riso.



Fig.2 A sinistra acqua contaminata da nitrati; destra acqua depurata.

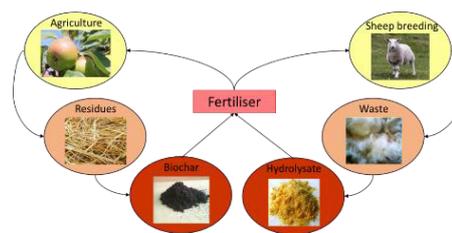


Fig.3 Approccio integrato di valorizzazione di biomassa e lana.

1. Marchelli F., Rovero G., Curti M., Arato E., Bosio B., Moliner C.: An Integrated Approach to Convert Lignocellulosic and Wool Residues into Balanced Fertilisers, *Energies* 14 (2), (2021) 497.
2. Moliner C., Bove D., Arato E.: Co-incineration of rice straw-wood pellets: a sustainable strategy for the valorisation of rice waste, *Energies* 13 (2020) 5750.
3. Marchelli, F., Cordioli E., Patuzzi F., Sisani E., Barelli L., Baratieri M., Arato E., Bosio B.: Experimental study on H<sub>2</sub>S adsorption on gasification char under different operative conditions, *Biomass & Bioenergy*, 126 (2019) 106-116.

## Divulgazione e didattica innovativa

Gruppo DICCA: D. Sguerso, B. Federici, I. Ferrando, S. Gagliolo  
Collaborazione con: M. Botto (TIDA, DISFOR), IIM - Istituto Idrografico della Marina, Museo Nazionale dell'Antartide, Genova, Direzione Beni e Attività Culturali del Comune di Genova, Castello D'Albertis Museo delle culture del mondo, Ufficio Segnalazioni Centro Storico del Comando Polizia Locale, Direzione Tecnologie Digitalizzazione e Smart City - Ufficio SIT

Da diversi anni il Laboratorio di Geomatica è impegnato in molteplici collaborazioni per la ricerca e la sperimentazione di nuove tecniche e modalità per migliorare il processo di apprendimento degli studenti, incrementandone il livello di conoscenza e consapevolezza secondo il criterio della cosiddetta piramide dell'apprendimento di Bloom. A ciò si aggiungono in modo costruttivo e stimolante le diverse occasioni di attività divulgative, dedicate prevalentemente alla cittadinanza e ad un pubblico non specialistico, volte ad incuriosire fornendo elementi semplici ma rigorosi circa le molteplici tematiche di interesse per la nostra vita quotidiana, dalla navigazione tramite cellulare alla visione stereoscopica, dalla lettura della cartografia alla conoscenza del riferimento altimetrico. La ricerca volta a migliorare la divulgazione e stimolare la formazione con un maggiore coinvolgimento anche laboratoriale in ambito scientifico è pertanto da considerarsi un aspetto primario e inscindibile dalle attività di ricerca. Numerose attività laboratoriali sono state proposte in diverse iniziative connesse alla divulgazione scientifica: esperienze di PCTO (Percorsi per le Competenze Trasversali e per l'Orientamento, già Alternanza Scuola Lavoro), Festival della Scienza, Festival del Mare, Notti Bianche a Savona in diverse edizioni (in figura un momento di coinvolgimento attivo del giovane pubblico). Grazie alla collaborazione con TIDA (Team di Innovazione Didattica di Ateneo), diversi strumenti e tecniche di didattica innovativa sono stati oggetto di studio e sperimentazione nel corso dell'a.a. 2019/2020 favorendo il coinvolgimento degli studenti. Ulteriori esperienze di divulgative sono state quest'anno sviluppate per la Notte Europea del Ricercatore, il Festival dello Spazio, per il webinar interdisciplinare "La legislazione per i centri storici" in collaborazione con la Polizia Locale e con Ufficio SIT del Comune di Genova oltre che mediante seminari rivolti agli studenti delle ultime classi delle Scuole secondarie di secondo grado.

1. Botto M., Federici B., Ferrando I., Gagliolo S., Sguerso D., Innovations in geomatics teaching during the Covid-19 emergency. In stampa su *Applied Geomatics* (2022).
2. Sguerso D., Ausonio E., Federici B., Ferrando I., Gagliolo S., Viaggio S. Educational Experiences for Geomatics Scientific Dissemination. *Communications in Computer and Information Science* 1246 (2020).
3. Ciolli M., Federici B., Ferrando I., Marzocchi R., Sguerso D., Tattoni C., Vitti A., Zatelli P. FOSS tools and applications for education in geospatial sciences. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 6(7) (2017) 1–16.



## Università inclusiva

Gruppo DICCA: A.C.Taramasso  
Collaborazione con: Area direzionale UNIGE: Cinzia Leone, Rita Bencivenga  
Politecnico di Milano: Fiammetta Costa  
Università degli Studi di Padova: Lorenza Perini

Il progetto si propone come obiettivo la realizzazione di una rete tra gli atenei italiani che riprenda lo spirito dell'alleanza delle Università Europee coinvolgendo i diversi atenei italiani oggi attivi in progetti europei sul tema dell'inclusione. A partire dal progetto Ulysseus, di cui UniGe è partner, e dal progetto ARQUS dell'Università degli Studi di Padova si sta realizzando una struttura che diffonda i metodi atti a sostenere la partecipazione di tutte le persone alle attività di ricerca a livello accademico e in ambito europeo senza alcuna discriminazione.

Il principale obiettivo è rendere i nostri atenei più inclusivi, introducendo cambiamenti istituzionali e la diffusione a livello accademico e di public engagement della cultura dell'inclusione, in chiave antidiscriminatoria.

I progetti europei oggi richiedono innovazione, partecipazione ed inclusione, ed è richiesta la pubblicazione ed approvazione del Gender Equality Plan. Le alleanze universitarie europee aiutano a superare le spinte conservative tendendo sempre più verso l'inclusione, inoltre, aiutano ad evitare la perdita di studenti, la perdita di finanziamenti e la decrescita a livello reputazionale. A scala di Dipartimento, all'interno della Alleanza, si propone di implementare azioni per coinvolgere tutto il personale nel comprendere gli aspetti pratici del GEP con lo scopo anche di ottimizzare la sua implementazione. Si propone a tutti coloro che sottopongono una proposta progettuale in ambito Horizon Europe, ma non solo, a prevedere - magari nel work package dedicato al management e al coordinamento - azioni specifiche per quanto riguarda l'inclusione e le tematiche di genere. Nella fattispecie, si propone di inserire dei mini piani di azione per l'eguaglianza, che possano operare in sede di singolo progetto anche nei settori dell'ingegneria e delle STEM in cui il nostro dipartimento opera.

1. Bencivenga, R., Leone, C., Siri, A., e A.C. Taramasso. Gender Equality Plans under Horizon Europe: from difficulties of interpretation to prospects *AG AboutGender*, 10(19) (2021) 387-400.
2. Bencivenga, R., Leone, C., Siri, A., e A.C. Taramasso. Piani di uguaglianza di genere all'incrocio fra gender mainstreaming e piani di azione positive: criticità e prospettive, Atti del Convegno Annuale della Conferenza Nazionale degli Organismi di Parità delle Università italiane. Università del Salento, 11-12 Novembre 2021
3. Bagnoli, F., Bencivenga, R., Leone, C. e A.C. Taramasso. Azioni e risultati degli strumenti PAP, GEP e BdG per contrastare le disuguaglianze nelle aree STEM nello studio e nel mondo del lavoro. Atti del Convegno Annuale della Conferenza Nazionale degli Organismi di Parità delle Università italiane. Università del Salento, 11-12 Novembre 2021





## 6. Il futuro del dipartimento: alcune linee programmatiche per il prossimo triennio

La filosofia di sviluppo dell'organico docente e dell'attività scientifica del DICCA si fonda sulle seguenti semplici osservazioni:

- per quanto riguarda gli ingressi di nuovi ricercatori (RTDA e RTDB) verranno valorizzate le esperienze fuori sede, nazionali e internazionali, dei candidati; questo perché è importante nel mondo della ricerca confrontarsi fin da subito con le migliori pratiche scientifiche che possono essere in voga altrove, con tematiche e metodi di indagine complementari a quelli già esistenti in dipartimento. Anche in quest'ottica, i migliori dottori di ricerca formati al DICCA verranno fortemente incoraggiati a fare esperienze di post-dottorato fuori Genova e/o fuori dall'Italia;
- tutti i docenti del DICCA (anche i più giovani) sono incoraggiati ad assumere autonomia, anche finanziaria, e possono scegliere in libertà le persone o i gruppi di ricerca già attivi in dipartimento con i quali collaborare, se lo desiderano;
- le procedure valutative per i passaggi da RTDB a PA vengono svolte secondo criteri di valutazione internazionali, basandosi non solo sull'attività di ricerca e sui dati bibliometrici dei candidati, ma anche sulla qualità e quantità di attività didattica svolta, sulle valutazioni degli studenti, sulla capacità di supervisionare tesisti, dottorandi e post-dottorandi, sulla capacità di attirare finanziamenti, e sui servizi resi all'istituzione, nella partecipazione a commissioni e organi di dipartimento e/o di Ateneo, etc.
- per le procedure di prima fascia si applicano gli stessi criteri enunciati al punto precedente, usando regole più selettive. Ci si aspetta, infatti, che un docente di prima fascia sia capace di guidare con successo le attività di un gruppo di ricerca, anche formato da più persone, e che l'insieme delle sue attività abbia un riconoscimento internazionale.

Fatte queste premesse, la descrizione dei possibili sviluppi del Dipartimento è riportata operando una suddivisione in due aree, quella di Ingegneria Chimica e di Processo e quella di Ingegneria Civile. Per quest'ultima area è stata operata un'ulteriore suddivisione in settore "fluidi e ambiente" e settore "strutture e territorio". Il fatto di effettuare queste suddivisioni non deriva in alcun modo dal desiderio di scindere il DICCA in "sezioni" distinte; rappresenta semplicemente uno dei modi possibili di descrivere le attività del Dipartimento, procedendo per raggruppamenti più o meno omogenei.

Al momento il DICCA consta di 80 docenti, di cui 23 PO, 35 PA, e 22 ricercatori (di cui 3 a tempo indeterminato). Fanno inoltre parte del DICCA anche due Professori Emeriti. L'area chimica è composta da 27 docenti; il settore fluidi dell'area civile è formato da 24 docenti e quello di strutture vede al suo interno 29 docenti. È chiaro che un riequilibrio si impone tramite l'ingresso nel DICCA di giovani docenti, anche per sopperire ai molti pensionamenti che si avranno negli anni a venire. Si desidera anche porre attenzione sul fatto che le strategie di sviluppo del DICCA, descritte succintamente nel seguito, saranno soggette a "condizioni al contorno" che avranno certamente influenza su un qualunque piano si possa delineare. Questo è il caso in quanto sono in corso programmi nazionali ed internazionali (i cosiddetti "piani straordinari di reclutamento",

il Programma Nazionale di Ripresa e Resilienza, i bandi del Fondo Italiano per la Scienza, i bandi dello *European Research Council*, etc.) che potranno avere un effetto di ordine uno sulle scelte di sviluppo del DICCA nel medio-lungo termine.

Il settore “fluidi e ambiente” dell’area di **Ingegneria Civile** del DICCA è costituito dai docenti afferenti ai seguenti settori: ICAR/01 (“Idraulica”), ICAR/02 (“Costruzioni Idrauliche e Marittime e Idrologia”), ICAR/06 (“Topografia e Cartografia”), ING-IND/06 (“Fluidodinamica”). Recentemente il dipartimento ha richiesto l’attribuzione del settore FIS/06 (“Fisica per il Sistema Terra e il Mezzo Circumterrestre”); le procedure relative all’attribuzione sono in corso. Complessivamente sono in ruolo 10 PO, 9 PA e 5 ricercatori (quattro dei quali con posizione a tempo determinato). Dei docenti PA, 6 sono in possesso dell’abilitazione nazionale da PO. Due ricercatori sono in possesso dell’abilitazione nazionale da PA.

### **Linee di sviluppo del settore “fluidi e ambiente”**

La proposta di sviluppo del settore per il prossimo triennio è principalmente fondata sulla opportunità di reclutare nuovi ricercatori. L’area su cui si ritiene di dover prioritariamente investire risorse nell’immediato futuro è quella delle costruzioni marittime. L’organico del settore si è infatti impoverito nel corso degli anni e, d’altro canto, le tematiche di ricerca relative al mare sono tra quelle su cui l’Ateneo di Genova sta esplicitamente puntando.

Un’altra area su cui si ritiene opportuno investire risorse è quella dell’eco-idraulica degli ambienti fluviali e lagunari. Si tratta di una tematica di grande interesse, con cui la ricerca dovrà misurarsi nei prossimi decenni e su cui la UE sta investendo molte risorse.

Vari membri del Dipartimento stanno da tempo lavorando su temi di ricerca relativi ai cambiamenti climatici ed ai temi della “transizione verde”. Il DICCA reputa strategico investire una risorsa nel prossimo triennio per una persona che lavori su modellistica meteorologica, anche in chiave cambiamenti climatici.

Una chiara richiesta venuta da più docenti del Dipartimento riguarda l’opportunità di investire nell’ambito della meccanica dei fluidi biologici. È questo un tema scientifico di grande interesse e in continua espansione, e rappresenta una delle frontiere della meccanica dei fluidi.

Storicamente la ricerca nel campo dell’idrologia e delle costruzioni idrauliche ha avuto un ruolo rilevante sia in dipartimento che a scala nazionale. La ricerca in questo campo relativa alla comprensione dei meccanismi fisici legati al rischio idrogeologico ha, inoltre, un forte legame con le necessità del territorio Ligure. Al fine di assicurare continuità e rinnovamento alle attività e consolidare l’ampliamento delle tematiche di ricerca si ritiene opportuno investire una risorsa di personale nel prossimo triennio.

Oltre alle nuove posizioni da ricercatore si prevede inoltre di bandire un numero limitato di posizioni da professore di prima fascia nel prossimo triennio, per rafforzare alcuni settori del Dipartimento.

Il settore “**strutture e territorio**” dell’area di **Ingegneria Civile** del Dipartimento è identificato in questo contesto con i settori ICAR/07 (“Geotecnica”), ICAR/08 (“Scienza delle Costruzioni”), ICAR/09 (“Tecnica delle Costruzioni”), ICAR/17 (“Disegno”), ICAR/20 (“Tecnica e Pianificazione Urbanistica”) e GEO/12 (“Oceanografia e Fisica dell’Atmosfera”). Complessivamente sono in ruolo 6 PO, 17 professori PA e 6 ricercatori a tempo determinato. Dei docenti PA, 7 sono in possesso dell’abilitazione nazionale da PO. Dei ricercatori, 3 sono in possesso dell’abilitazione nazionale da PA. È in corso un concorso PO nel settore ICAR/08.

#### **Linee di sviluppo del settore “strutture e territorio”**

Le ricerche in atto presentano significative possibilità di crescita, sia mediante l’approfondimento delle linee di ricerca attive, alcune delle quali eccellenze a livello nazionale e internazionale, sia mediante l’apertura di nuove tematiche o lo sviluppo di tematiche al momento embrionali, anche in relazione alla loro attinenza con le tematiche individuate dalle principali fonti di finanziamento, tra cui i programmi nazionali di ricerca (PRIN, FIS), il PNRR e il programma europeo Horizon Europe. In questo contesto, le prospettive di sviluppo prevedono investimenti rivolti prevalentemente all’ingresso di giovani ricercatori, mediante quattro nuove posizioni e il consolidamento di una posizione esistente, nei settori che riguardano la meccanica dei materiali e delle strutture, la risposta e sicurezza delle strutture alle azioni antropiche e naturali, con particolare interesse verso l’azione sismica ed eolica, e il monitoraggio di strutture e infrastrutture. Nell’auspicabile eventualità di attingere a risorse aggiuntive a quelle anticipate, si prevede anche la possibilità di inserimento di giovani ricercatori con competenze nell’ambito delle tecniche e metodologie avanzate di rilievo e nella pianificazione urbanistica per la gestione sostenibile della città. Sono previsti inoltre investimenti volti alle progressioni di carriera dei ricercatori eccellenti dell’area, e in particolare una progressione alla seconda fascia e quattro alla prima fascia, in ragione dei significativi risultati ottenuti in termini di prodotti scientifici di elevata qualità, capacità di attirare finanziamenti e impegno in attività istituzionali o di terza missione, e di varie dismissioni nell’area.

Con questi investimenti si intende soddisfare alcuni obiettivi, trasversali a tutte le linee di ricerca, che riguardano: 1) il rafforzamento delle competenze e delle attrezzature di tipo sperimentale, valore aggiunto per la ricerca e per le ricadute sulla didattica; 2) l’incremento delle relazioni scientifiche multidisciplinari sia con le altre aree del dipartimento, sia con altre discipline a livello locale, nazionale e internazionale, per lo sviluppo di tematiche legate in particolare alla innovazione, sostenibilità, durabilità e resilienza dei materiali, delle costruzioni e delle infrastrutture; 3) la valorizzazione dei numerosi rapporti con eminenti istituti di ricerca nazionali e internazionali, per costituire partenariati e collaborazioni di eccellenza; 4) la valorizzazione dei numerosi rapporti già in atto con enti pubblici e privati, per attuare in maniera fattiva il trasferimento tecnologico che da tali ricerche può e deve derivare; 5) il proseguimento dell’azione cominciata nel precedente triennio di supporto e incentivo allo sviluppo di attività di ricerca di qualità di tutti i ricercatori del dipartimento.

L’area di **Ingegneria Chimica e di Processo** del DICCA è costituita dai docenti afferenti ai seguenti settori disciplinari: CHIM/07 (“Fondamenti Chimici delle Tecnologie”), CHIM/11 (“Chimica e Biotecnologia delle Fermentazioni”), ING-IND/22 (“Scienza e Tecnologia dei Materiali”), ING-IND/23 (“Chimica Fisica Applicata”), ING-IND/24 (“Principi di Ingegneria Chimica”), ING-IND/25 (“Impianti Chimici”), ING-IND/26 (“Teoria dello Sviluppo dei Processi Chimici”), ING-IND/27

("Chimica Industriale e Tecnologica") e ING-IND/34 ("Bioingegneria Industriale"). Viene attribuito inoltre all'area 'chimica' il settore trasversale ICAR/03 ("Ingegneria Sanitaria-Ambientale") che contribuisce alla didattica di diversi corsi di studio del DICCA e con cui molti ricercatori 'chimici' collaborano su temi comuni di ricerca. Alla data attuale sono in ruolo 7 PO, 9 PA e 11 ricercatori (due dei quali a tempo indeterminato). Dei docenti PA, cinque sono in possesso dell'abilitazione nazionale da PO e sei ricercatori sono in possesso dell'abilitazione nazionale da PA.

### **Linee di sviluppo dell'area 'chimica'**

La proposta di sviluppo dell'area per il prossimo triennio prevede sia avanzamenti di carriera, rispettando le legittime aspirazioni dei professori associati e dei ricercatori abilitati, sia il reclutamento di nuovi ricercatori per tener conto anche della necessità di ricambi generazionali dovuti ai previsti pensionamenti e per sostenere la intensa attività didattica svolta anche a servizio di corsi di studio non afferenti al dipartimento. Nel reclutamento verrà dato impulso anche al consolidamento dello sviluppo delle tematiche facenti capo a frontiere di ricerca innovative e ai processi di sviluppo della transizione energetica. Si sottolinea altresì che molti dei docenti in possesso dell'abilitazione nazionale sono estremamente attivi dal punto di vista della ricerca, impegnati ed efficaci dal punto di vista didattico e dediti all'istituzione avendo ricoperto o attualmente ricoprendo incarichi istituzionali.

Alcune tematiche su cui si ritiene opportuno investire risorse per il consolidamento della ricerca già in essere riguardano l'elettrochimica e le celle a combustibile di diverse tipologie, anche reversibili, la sostenibilità ambientale e i cambiamenti climatici, i materiali fotoelettrocatalitici per la produzione di *bio-fuel* e per il trattamento delle acque e infine la caratterizzazione dei materiali per diverse applicazioni (meccaniche, mediche, energetiche, biomateriali...).

In particolare, si prevede di dare adeguato sviluppo alle linee di ricerca relative allo studio di materiali a conduzione mista caratterizzati da processi di exsolution in ambienti riducenti e alla caratterizzazione anche microstrutturale di materiali e biomateriali per l'ingegneria tissutale.

Sembra necessario anche sviluppare tematiche sia tradizionali sia innovative dell'ingegneria di processo quali la scalabilità a livello industriale di tecnologie estrattive ottimizzate e la valorizzazione dei residui dell'industria agro-alimentare senza trascurare l'applicazione di approcci di simulazione a diverse scale di dettaglio comprendendo anche strumenti di dinamica molecolare per la migliore comprensione dei processi stessi. Verrà inoltre data particolare attenzione alle nuove frontiere di ricerca quali la produzione di idrogeno verde e la produzione di biocarburanti a partire da materie prime rinnovabili e non commestibili anche con l'impiego di microalghe.



