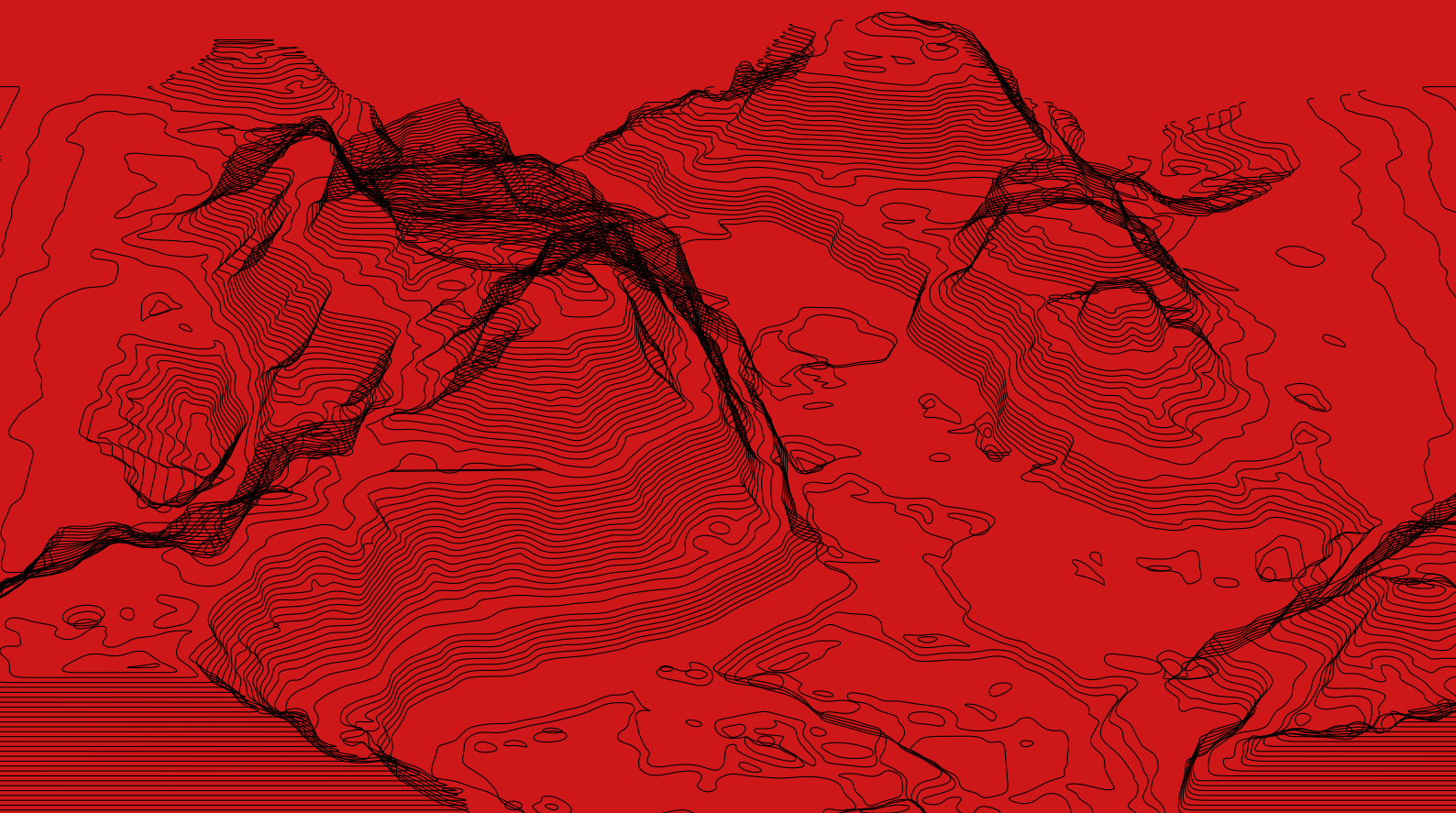


I
l'Ingegnere Italiano

389

Terra



usBIM.geotwin

openBIM® e GIS finalmente integrati
per creare straordinari Digital Twins Geospaziali
e Smart City intelligenti



Dalla connessione dinamica tra la piattaforma **usBIM** di **ACCA** e la tecnologia **ArcGIS®** di **Esri Italia®** nasce usBIM.geotwin, la nuova applicazione per la digitalizzazione e la gestione geospaziale di edifici e infrastrutture.

CHIEDI UNA DEMO

www.acca.it/gis-digital-twin



L'Ingegnere Italiano è la rivista
dedicata alla ricerca, alla tecnologia
e ai progetti di ingegneria.
Un magazine che si propone
di raccontare l'eccellenza italiana
nel contesto internazionale,
coniugando il rigore scientifico
con i nuovi linguaggi e l'innovazione.

Direttore responsabile

Angelo Domenico Perrini

Direttore editoriale

Alberto Romagnoli

Curatore del numero

Giuseppe Scarpelli

Ideazione grafica

Stefano Asili

Coordinamento editoriale

Antonio Felici

Consulenza editoriale, testi e progetto grafico

PPAN – Paola Pierotti e Andrea Nonni | ppan.it

Stampa

Arti Grafiche Boccia | artigraficheboccia.it

Pubblicità

Agicom srl – Castelnuovo P. (Roma) | agicom.it

Editore

Consiglio Nazionale degli Ingegneri:

Angelo Domenico Perrini, Remo Vaudano, Elio Masciovecchio,
Giuseppe Maria Margiotta, Irene Sassetti, Carla Cappiello, Sandro Catta,
Ippolita Chiarolini, Domenico Condelli, Edoardo Cosenza, Felice Antonio Monaco,
Tiziana Petrillo, Alberto Romagnoli, Deborah Savio, Luca Scappini
www.cni.it

Hanno collaborato a questo numero

Maria Alfieri, Stefano Aversa, Marco Barla, Chiara Brivio (PPAN), Manuela Cecconi,
Simonetta Cola, Luca De Sanctis, Marta Di Sante, Settimio Ferlisi,
Alessandro Flora, Francesca Fradelloni (PPAN), Evelina Fratalocchi, Viviene Fruzzetti,
Giulia Fuselli (PPAN), Chiara Iodice, Alessandro Mandolini, Salvatore Miliziano, Gianfranco
Nicodemo, Alessandro Pagliaroli, Vincenzo Pane, Francesco Petrella, Paola Pierotti (PPAN),
Luigi Rucco (PPAN), Paolo Ruggeri, Giacomo Russo

L'Ingegnere Italiano

Vuoi essere un professionista BIM ma non sai da dove partire?

Vuoi acquisire i concetti essenziali
alla metodologia openBIM?

Blumatica, organismo di formazione
accreditato buildingSMART, ti offre
un percorso pensato proprio per te!

FONDAMENTI BIM

14h E-LEARNING in modalità asincrona

Possibile esame per
Qualifica Internazionale buildingSMART



SCOPRI DI PIÙ ONLINE

Puoi continuare
il percorso con

➤ *BIM Manager*
➤ *BIM Coordinator*

➤ *CDE Manager*
➤ *BIM Specialist Architettonico*

Possibile esame per **Qualifica Italy buildingSMART**



Video lezioni



Materiale didattico
per approfondimenti



Test intermedi e finale

ACCREDITATO ➤



Blumatica Srl, Via Carlo Mattiello 1, 84098 Pontecagnano Faiano (SA)
Tel.: 089.848601 - Fax: 089.848741 - E-mail: info@blumatica.it



Scopri di più
www.blumatica.it/fbimit



L'ingegneria al lavoro per mitigare i rischi

Il rapporto tra terra ed ingegneria è molto ampio e tocca ambiti talmente vari da risultare per noi tutti fondamentale. Ad essere coinvolte sono, in particolare, l'ingegneria civile, l'ingegneria ambientale e la geotecnica, le cui basi scientifiche consentono di **progettare opere sicure e rispettose dell'ambiente e del territorio**. La relazione tra terra ed ingegneria solleva anche alcune questioni politiche di grande importanza, come quelle del rischio idrogeologico e del rischio sismico, che da anni sono al centro dell'attività istituzionale del Consiglio Nazionale degli Ingegneri.

Il territorio dell'Italia, per le sue caratteristiche morfologiche, litologiche e idrografiche è naturalmente predisposto a fenomeni franosi e alluvionali. L'Italia, oltre tutto, è anche un paese fortemente antropizzato con quasi 8.000 comuni, 59.459 nuclei urbani, una rete autostradale di 6.487 km, una ferroviaria di circa 16.000 km, una rete stradale principale di circa 360.000 km e una densità di popolazione di circa 200 abitanti/km². Negli ultimi 25 anni, per affrontare il **problema del dissesto idrogeologico** sono stati spesi quasi 20 miliardi di euro, per un totale di 25.539 interventi. Non basta. Si stima un fabbisogno minimo di altri 9,3 miliardi di euro per opere di prevenzione e mitigazione già in fase istruttoria. In tutto questo resta molto alto il rischio alluvioni. Secondo i dati Ispra sono 6,8 milioni gli abitanti che risiedono in aree a rischio alluvionale medio e 2,4 milioni vivono in zone alluvionali ad alto rischio, complessivamente il 15% della popolazione. Gli edifici in zone alluvionali ad alto e medio rischio sono 2,1 milioni, il 15% del totale. Per contrastare efficacemente il dissesto idrogeologico è necessario porre in essere una serie di azioni concrete, dalla manutenzione e monitoraggio costante del territorio, **definendo dei piani di manutenzione delle opere esistenti**, alla rimodulazione dei meccanismi di gestione dei Piani di prevenzione e contrasto esistenti. Certamente servono risorse finanziarie più consistenti, ma soprattutto un sistema unitario e più snello di gestione degli interventi di prevenzione. È poi fondamentale migliorare la capacità di progettazione degli interventi ed è qui che l'ingegneria assume un ruolo a dir poco determinante. Il sistema accademico e le istituzioni devono individuare le nuove tecnologie per il monitoraggio del territorio, in modo da agire in maniera preventiva sugli eventi distruttivi.

Altra questione centrale che coinvolge il rapporto tra terra ed ingegneria è quello del rischio sismico. Le spese sostenute dallo Stato, dal 1968 ad oggi, per gli interventi in emergenza e per la ricostruzione dopo eventi sismici particolarmente gravi sono davvero consistenti. In quasi 60 anni sono stati stanziati poco più di 135 miliardi di euro, dei quali 20 miliardi dovrebbero essere spesi ancora fino al 2047. Nel corso del tempo lo Stato, di fronte ad eventi distruttivi, ha dunque adottato un approccio che potremmo definire "inclusivo e mutualistico". Si è sempre previsto che i costi di ricostruzione sarebbero stati a carico delle finanze pubbliche e che la ricostruzione ed il sostegno alle popolazioni colpite da sisma non sarebbero durati per periodi brevi ma per decenni, coscienti che la ricostruzione e la ripresa di un territorio richiedano tempi lunghi. Tuttavia, anche in considerazione delle ingenti risorse impiegate in tutti questi anni, ci si chiede se non sia utile intervenire in modo capillare e ben calibrato a seconda delle caratteristiche e livelli di rischio dei singoli territori del Paese, con opere per la mitigazione del rischio sismico e la messa in sicurezza degli edifici. E' facile intuire come, sul piano strettamente economico, convenga puntare piuttosto sulla **mitigazione del rischio sismico e sulla prevenzione**. Ciò vale a maggior ragione se consideriamo l'enorme numero di vite umane che potrebbero essere salvate e l'inestimabile patrimonio storico e culturale che si potrebbe preservare. Questa è esattamente la posizione che il CNI sostiene da tempo e, come sempre, gli ingegneri sono pronti a fare la loro parte. Tra gli elementi che ostacolano maggiormente la messa in pratica di tale approccio c'è la sostanziale carenza di dati di dettaglio, quali ad esempio la conoscenza del reale stato di conservazione di ogni edificio oppure dove sono state realizzate le opere di prevenzione sismica finanziate con i sismabonus per un totale di spesa di oltre 40 miliardi di euro. Si tratta di informazioni che consentirebbero di **rendere concreto un piano di azione** che preveda in successione di: a) quantificare per ciascuna microzona geografica di rischio la spesa media di intervento; b) stabilire il quadro delle priorità di intervento; c) calendarizzare gli interventi in modo da procedere per gradi; d) disporre di un sistema di incentivi certi e fissi nel tempo, per un arco temporale lungo. Una linea di azione chiara ed efficace ma che senza le necessarie informazioni rischia di rimanere sulla carta.

5

La grande importanza di questi e di altri temi quali la sicurezza e l'impatto energetico, ci ha spinto a dedicare questa monografia de "L'Ingegnere Italiano" proprio al **rapporto esistente tra terra ed ingegneria**. Come di consueto, l'abbiamo fatto coinvolgendo numerosi esperti in materia che hanno dato vita ad una sezione scientifica particolarmente ricca e di altissimo profilo. A me non resta che augurare al lettore buona lettura!

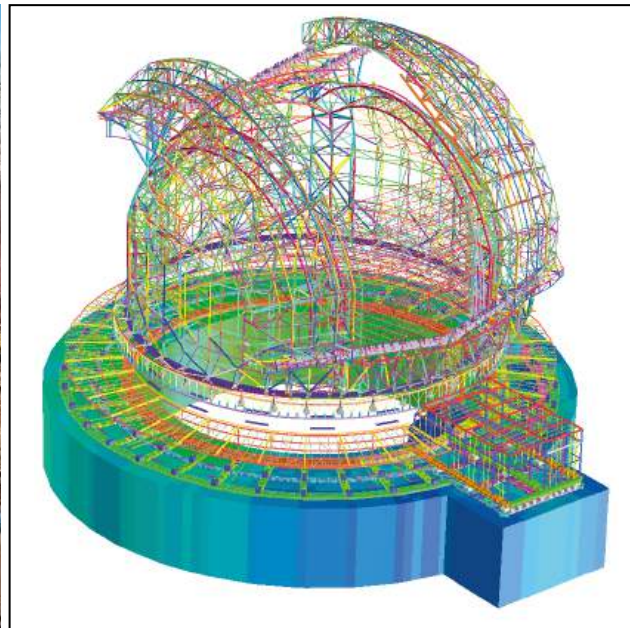
Angelo Domenico Perrini
Presidente del Consiglio Nazionale degli Ingegneri

 **Straus7**[®] L'eccellenza
FEM
accessibile.

**Nativo Non-Lineare
ANCHE IN LICENZA PERPETUA**

www.hsh.info
www.straus7.it

Calcolo strutturale ad elementi finiti al vero secondo NTC 2018, EC2 e EC3
Nessun limite pratico al calcolo strutturale



Extremely Large Telescope (ELT) - Agenzia European Southern Observatory

Il progetto Extremely Large Telescope (ELT) dell'agenzia European Southern Observatory, rappresenta una delle imprese scientifiche e ingegneristiche più ambiziose mai realizzate. Situato sulla cima del Cerro Armazones, a circa 3.000 metri di altitudine nel deserto di Atacama, in Cile, ELT sarà il più grande telescopio ottico e nel vicino infrarosso al mondo, con uno specchio principale (M1) di 39 metri di diametro, composto da 798 segmenti esagonali. L'ELT impiegherà sofisticate tecnologie di "ottica adattiva" per compensare la turbolenza dell'atmosfera terrestre e per garantire che le sue immagini siano più nitide di quelle di qualsiasi altro telescopio. ELT è costituito da una cupola "Dome" di altezza pari a circa 80 metri e diametro 93 metri, garantendo la protezione necessaria alla struttura interna del telescopio "Main Structure" dall'ambiente estremo del deserto. Cimolai, oltre ad essere general contractor e fornitore delle strutture metalliche, ha sviluppato il progetto PDR (Preliminary design phase), FDR (Final Design Phase) e MRR (Progetto costruttivo) della struttura principale in carpenteria metallica e delle strutture secondarie quali accessi (passerelle, piattaforme, scale, vani ascensore). Il codice di calcolo Straus7 è stato utilizzato per la realizzazione del modello FEM globale ad elementi finiti tipo beam e plate&shell della carpenteria metallica del Dome e della Main Structure, sia in fase di esercizio che in fase di montaggio sfruttando la "construction stage analysis". Straus7 è stato inoltre utilizzato per analisi lineari e non lineari per materiale e geometria di modelli locali a elementi finiti plate&shell e brick per le verifiche di resistenza, fatica e rigidezza di nodi, connessioni bullonate e saldate.

COMMITTENTE: ESO (European Southern Observatory)

PROGETTO STRUTTURALE: Cimolai S.p.A.

GENERAL CONTRACTOR: ATI Cimolai Astaldi

PROGETTO STRUTTURALE ESECUTIVO: Cimolai S.p.A. e RS Ingegneria

PROGETTO STRUTTURALE COSTRUTTIVO: Cimolai S.p.A.

FORNITURA STRUTTURE METALLICHE: Cimolai S.p.A.

PROGETTO DI MONTAGGIO: Cimolai S.p.A.

COSTRUZIONE: Cimolai S.p.A.

Testo, foto e immagine del modello di calcolo per gentile concessione di Cimolai S.p.A.

Distributore esclusivo
per l'Italia del codice
di calcolo **Straus7**



HSH srl - Tel. 049 663888
E-mail straus7@hsh.info
www.hsh.info - E-mail hshsrl@iperv.it



Prevenzione e affidabilità: due direttrici per il futuro dell'ingegneria

Il rapporto tra ingegneria e territorio è oggi più che mai cruciale. L'Italia vive una condizione strutturale di fragilità: frane, alluvioni e terremoti continuano a segnare ciclicamente il Paese, con ricadute economiche e sociali pesantissime. A ciò si aggiunge la complessità di un tessuto urbano e infrastrutturale densissimo, che espone milioni di cittadini a rischi concreti. La sfida non può più essere affrontata con logiche emergenziali, ma richiede una **strategia di lungo periodo, basata su prevenzione, manutenzione programmata e innovazione normativa**.

Non basta intervenire dopo l'emergenza: occorre costruire una cultura della prevenzione che sappia valorizzare le competenze degli ingegneri, puntare su un monitoraggio costante del territorio, definire priorità chiare e rendere stabile il quadro degli incentivi. Solo così sarà possibile passare da una logica riparativa, troppo costosa e lenta, a un modello realmente orientato alla sicurezza delle comunità e alla tutela del patrimonio. In questo senso, l'ingegneria non è solo capacità tecnica, ma diventa uno strumento essenziale di governo del territorio. Parallelamente, lo scenario normativo vive un passaggio epocale. La seconda generazione di Eurocodici e la revisione delle Norme Tecniche per le Costruzioni introducono con sempre maggiore chiarezza il **concetto di "affidabilità"**: la sicurezza delle opere non è più valutata solo attraverso coefficienti parziali, ma in termini di probabilità di insuccesso accettabile. In altri termini, la progettazione deve misurarsi con la consapevolezza che il rischio zero non esiste, e che ogni opera va pensata in funzione delle conseguenze di un eventuale fallimento.

Si tratta di un cambiamento culturale profondo. L'adozione di metodologie probabilistiche richiede aggiornamento professionale, nuove competenze e una revisione dei percorsi universitari. Il progettista sarà chiamato a calibrare le verifiche in base alla complessità del contesto geotecnico e alla classe di conseguenza dell'opera, **integrando valutazioni tecniche, sociali ed economiche**. Non è un tecnicismo, ma una vera rivoluzione concettuale, che allinea il lavoro degli ingegneri italiani alle migliori pratiche internazionali. È significativo che proprio l'ingegneria italiana abbia contribuito in modo determinante alla definizione dei nuovi Eurocodici. Questo riconoscimento testimonia la qualità della nostra scuola e rafforza il ruolo dell'Italia come punto di riferimento in Europa. Ma comporta anche una responsabilità: tradurre le innovazioni normative in prassi quotidiane, capaci di innalzare la qualità della progettazione e la resilienza del territorio.

Prevenzione e affidabilità sono dunque le due direttrici lungo le quali l'ingegneria è chiamata a muoversi nei prossimi anni. Due concetti che si completano a vicenda: prevenire significa ridurre le vulnerabilità prima che si trasformino in emergenze; garantire affidabilità significa **progettare opere consapevoli dei propri limiti e della variabilità dei contesti**. Il rischio zero non esiste, ma attraverso un uso sapiente delle conoscenze, delle tecnologie e delle norme possiamo ridurre drasticamente le esposizioni e salvare vite umane. L'ingegneria, in questa prospettiva, non è solo calcolo o tecnica: è responsabilità verso la società, presidio di sicurezza e strumento di progresso. È da qui che dobbiamo ripartire, perché il futuro del Paese passa anche dalla capacità di rendere il nostro territorio più sicuro e resiliente.

CRM System - Mapenet EMR

L'UNICO SISTEMA CRM CERTIFICATO CVT E EPD,
A EMISSIONI RESIDUE DI CO₂ INTERAMENTE COMPENSATE



CRM System - Mapenet EMR di Mapei è l'unico sistema di rinforzo con **intonaco armato**, progettato con formule ottimizzate per ridurre l'impatto sull'ambiente, che comprende:

- ✓ le reti preformate **Mapenet EMR** con maglie e dimensioni variabili (33/66/99)
- ✓ i connettori di varia lunghezza e gli angolari preformati
- ✓ le malte **MapeWall INTONACA & RINFORZA** e **Mape-Antique NHL ECO STRUTTURALE**

Tutti i prodotti sono **certificati EPD** e a **emissioni di CO₂ interamente compensate**.

CVT



Le emissioni di CO₂ misurate lungo il ciclo di vita dei prodotti della **linea ZERO** per l'anno 2025 tramite la metodologia LCA, verificate e certificate con le EPD, sono compensate con l'acquisto di crediti di carbonio certificati per supportare progetti di protezione delle foreste. Un impegno per il pianeta, le persone e la biodiversità.



SCOPRI IL SOFTWARE DI CALCOLO
PER I PROGETTI
DI RINFORZO STRUTTURALE
structuraldesign.mapei.com



I L'Eurocodice di seconda generazione e la revisione della normativa tecnica

La progettazione geotecnica in Italia è regolata dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, normativa che riprendendo l'impostazione degli Eurocodici, basa le verifiche delle opere geotecniche sul metodo semi-probabilistico, con l'impiego dei fattori parziali di sicurezza. L'attuale documento normativo è il risultato di modifiche che si sono succedute nel tempo a partire dalla prima versione risalente al 2005, e delle due importanti revisioni della Norma del 2008 e del 2018.

Al contempo, il panorama nazionale e internazionale in ambito normativo è stato particolarmente attivo negli ultimi anni; da una parte, è attualmente in uno avanzato stadio di revisione e approvazione la seconda generazione di Eurocodici, sulle quale i diversi paesi della comunità europea sono chiamati a esprimersi nei prossimi mesi attraverso i rispettivi enti nazionali di normazione (in Italia, l'UNI). Dall'altra, il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha recentemente insediato una commissione interdisciplinare con l'incarico di redigere la nuova versione delle Norme Tecniche affidandole il compito di riscrivere la Norma con un taglio decisamente "affidabilistico" in modo da includere, in un unico contesto, la verifica del livello di affidabilità per le nuove opere e la valutazione del livello di affidabilità per quelle esistenti. **L'obiettivo che si vuole ottenere nelle "nuove NTC"** è quello di condurre sia la verifica sia la valutazione con la stessa metodologia, sebbene sia logico che il livello di affidabilità di una costruzione futura possa essere solo stimato, mentre nella valutazione, il livello di affidabilità di un manufatto esistente può essere determinato perché funzione della conoscenza dell'opera "as built" sulla base di indagini e osservazioni sperimentali.

Con l'approccio affidabilistico, il livello di affidabilità di un'opera deve essere stabilito rispetto a tutti i possibili stati limite che rappresentano o una condizione di collasso o di perdita di funzionalità, per cui risulta che, ad un prefissato livello di affidabilità, corrisponda un valore di probabilità di occorrenza di un meccanismo di collasso rovinoso, oppure che l'opera vada fuori servizio prima di raggiungere una condizione di collasso. Il metodo implica la rappresentazione esplicita della variabilità di tutte le grandezze che entrano nell'analisi di uno stato limite; tra queste, grandezze geometriche, azioni, proprietà dei materiali, modelli, contesto fisico ed ambientale, nonché le incertezze costruttive. Con l'approccio affidabilistico, tutte le precedenti grandezze sono considerate variabili aleatorie; il progettista, quindi, deve adottare una descrizione statistica di ogni singolo parametro del problema

CLASSE DI CONSEGUENZA	RISCHIO DI PERDITA DI VITE UMANE	DANNI ECONOMICI PER LE ATTIVITÀ UMANE E PER L'AMBIENTE	VALORI SU 50 ANNI		ESEMPI DI OPERE GEOTECNICHE RICADENTI NELLE DIVERSE CLASSI
			PROBABILITÀ DI INSUCCESSO	INDICE DI AFFIDABILITÀ	
CC4 – Molto alta	Estremo	Grandissimi	P_f	β	Infrastrutture critiche per la protezione civile. Aree ad elevata suscettibilità da frana Le disposizioni dell'Eurocodice potrebbero non essere sufficienti
CC3 - Alta	Alto	Molto grandi	10^{-5}	4,3	Opere di sostegno e fondazioni Pareti di scavo in contesti ad alta esposizione Opere stradali e fondazioni di ponti per strade primarie Argini e opere geotecniche per canali di navigazione Opere sotterranee ad alta frequentazione
CC2 – Normale	Medio	Significativi	10^{-4}	3,8	Tutte le opere che non ricadono in CC1, CC3 e CC4
CC1 - Bassa	Basso	Piccoli	10^{-3}	3,3	Opere di sostegno e fondazioni di edifici a bassa frequentazione Pareti di scavo in contesti a bassa esposizione Opere geotecniche stradali per strade secondarie Opere sotterranee con occupazione occasionale
CC0 - Molto bassa	Molto basso	Trascurabili			NON APPLICABILE ALLE OPERE GEOTECNICHE

Tabella 1 - Classi di conseguenza - affidabilità- esempi di opere geotecniche che ricadono nelle diverse classi

e valutare attraverso un modello statistico la probabilità complessiva che l'opera raggiunga uno specifico stato limite. A quel valore di **probabilità P_f** – cosiddetta probabilità di fallimento o di insuccesso - si fa corrispondere un indice di affidabilità β che deve essere confrontato con prefissati valori obiettivo dettati dalla Norma. D'altro canto, e più sinteticamente, per le nuove costruzioni gli Eurocodici propongono valori di affidabilità obiettivo variabili in funzione della gravità delle conseguenze di un insuccesso, sintetizzate dalla Classe di Conseguenza CC, secondo lo schema riportato nella Tabella 1.

È importante osservare che l'attuale norma nazionale, in linea con le norme europee e con la prassi normativa adottata universalmente, già si basa sul **concetto di affidabilità mediante l'applicazione del metodo semi-probabilistico** che, applicato attraverso i fattori parziali di sicurezza, costituisce di fatto la forma più semplice per rappresentare l'incertezza delle variabili che condizionano la sicurezza di un'opera. La dipendenza dei fattori parziali di sicurezza nell'approccio semi-probabilistico è resa esplicita nel cosiddetto “*design value method*”, nel quale il valore di progetto (fattorizzato) di un parametro (X_d), ottenuto dal rapporto tra valore caratteristico (X_k) e fattore parziale di sicurezza (γ), è espresso con l'equazione:

$$X_d = \frac{X_k}{\gamma} = \mu(1 \pm \alpha \beta_T V_x)$$

μ = valore medio del parametro (in una distribuzione normale)

V_x = coefficiente di variazione della distribuzione associata al parametro

α = coefficiente che rappresenta il peso della variabile nello stato limite considerato

β_T = indice di affidabilità obiettivo nello stato limite considerato.

Più precisamente, i valori dei fattori parziali prescritti dalle NTC sono stati tipicamente scelti in modo congruente con un valore intermedio dell'indice di affidabilità ($\beta = 3.8$ corrispondente a una probabilità di fallimento $P_f = 10^{-4}$ per lo stato limite di collasso (SLU) su un periodo di riferimento di 50 anni, ovvero sia un caso di insuccesso su 10.000 in 50 anni. Su questo valore si basa l'intero schema dei fattori parziali prescritti dalle NTC 2018 per verificare che la capacità del sistema, ovvero sia la sua resistenza (R) nei confronti di un meccanismo di collasso, sia maggiore della domanda, ovvero sia delle azioni o del loro effetto (E): $R_d > E_d$. Rispetto a questo schema dunque, la proposta della nuova versione delle Norme Tecniche prevede di verificare l'accadimento di uno stato limite ultimo non più utilizzando i fattori parziali su azioni e resistenze, ma di **esprimere la verifica direttamente in termini di affidabilità, calcolando la probabilità di collasso e verificando che il suo valore sia inferiore alla probabilità accettabile**. Necessariamente il metodo implica da parte dei professionisti la familiarità con le “analisi probabilistiche”, ed è evidente che anche solo per questo motivo, l'adozione di una norma affidabilistica esplicita comporti un generale ripensamento della pratica e dell'aggiornamento professionale, nonché della didattica universitaria a tutti i livelli della formazione degli ingegneri, che - quantomeno per la progettazione geotecnica - non sono preparati per l'uso sistematico dell'approccio statistico. Ciò non solo è vero nell'ambito nazionale, ma vale in generale per la classe professionale degli ingegneri geotecnici in tutti i paesi del mondo, ed è il motivo per cui i citati Eurocodici di seconda generazione, pur ritenendo opportuno un rafforzamento dei concetti affidabilistici nel nuovo codice, per rendere possibile una progettazione delle opere maggiormente aderente alle reali esigenze di sicurezza ed economicità ha scelto, da un lato, di confermare la logica del metodo semiprobabilistico e dall'altro, di consentire l'impiego di altri metodi di analisi – affidabilistiche o di rischio – quando la specificità dell'opera lo richiede. In ambito geotecnico, ad esempio, ciò accade per le opere che ricadono nelle classi di conseguenza CC0 e CC4 della Tabella 1 per le quali, nel primo caso, una progettazione in accordo agli Eurocodici potrebbe portare a costi ingiustificati e, nel secondo caso, alla mancanza dei margini di sicurezza per alcuni stati limite che potrebbero verificarsi.

10

Classe di conseguenza (CC)	Classe di Complessità Geotecnica (GCC)		
	BASSA (GCC1)	NORMALE (GCC2)	ALTA (GCC3)
ALTA	2	3	3
NORMALE	2	2	3
BASSA	1	2	2

Tabella 2 - Assegnazione della Categoria geotecnica ad un'opera

Salvo quindi situazioni di progetto particolari, gli Eurocodici di seconda generazione consentono di sviluppare la progettazione geotecnica con l'attuale metodologia dei fattori parziali ma, diversamente dalla prima versione, consentono di calibrare il progetto e le verifiche in funzione della complessità del contesto geotecnico e delle conseguenze del raggiungimento di una condizione limite. Compatibilmente con l'esigenza di brevità di questo articolo, si illustrano di seguito gli aspetti principali della metodologia proposta dalla nuova versione degli Eurocodici.

La gestione della affidabilità nel progetto geotecnico secondo l'Eurocodice 7 di seconda generazione

Secondo la nuova versione dell'Eurocodice 7, già avviata al voto formale dei paesi membri della Comunità Europea, il processo di gestione dell'affidabilità del progetto geotecnico inizia con l'assegnazione della Categoria geotecnica all'opera, funzione della classe di conseguenza (CC) e della classe di complessità (GCC) come indicato dalla Tabella 2. Come già accennato, la classe di conseguenza definisce il valore accettabile della probabilità di insuccesso (Tabella 1) mentre, la classe di complessità geotecnica qualifica la pericolosità intrinseca del sito, la variabilità del contesto geotecnico in cui ricade l'opera e le incertezze di modellazione del sistema terreno-struttura (Tabella 3).

Complessità geotecnica	Classe	Proprietà della classe
GCC3	ALTA	Almeno una fra le seguenti possibilità: - elevata incertezza del modello geotecnico; - elevata variabilità del sottosuolo e presenza di condizioni geologiche e geomorfologiche difficili; - complessità dell'idraulica del sottosuolo; - complessità dell'interazione terreno-struttura.
GCC2	NORMALE	Comprende tutto ciò che non ricade in GCC1 e GCC3
GCC1	BASSA	Valgono tutte le seguenti condizioni: - le incertezze sul modello geotecnico sono trascurabili; - sottosuolo omogeneo; - condizioni idrauliche semplici; - semplicità dell'interazione terreno-struttura.

Tabella 3 - *Classi di complessità geotecnica*

Al fine di garantire un prefissato livello di affidabilità, l'Eurocodice 7 prevede che, al crescere della categoria geotecnica da CG1 a CG3, debbano aumentare sia il *livello di protezione* dell'opera che le misure di prevenzione rispetto a errori progettuali e costruttivi. **Per quanto riguarda il livello di protezione**, il livello base è definito dai valori dei fattori parziali che si applicano alle azioni (F), alle resistenze (R) o ai parametri geotecnici (M) nelle verifiche per i diversi stati limite. Tale livello base può però variare in funzione della classe di conseguenza (CC) attraverso l'applicazione di coefficienti correttivi che agiscono in aumento o in diminuzione dei valori base dei fattori parziali (coefficienti K_F , K_R , K_M , tipicamente variabili fra 0.9 e 1.1). Si evidenzia che, sebbene la variazione del 10% di un fattore parziale possa sembrare poca cosa, in realtà tale variazione corrisponde ad un salto di circa un ordine di grandezza in termini di probabilità di insuccesso. Se ad esempio si fa riferimento al fattore parziale sul coefficiente di attrito del terreno ($\tan \phi'$), Tabella 4, l'effetto del coefficiente K_M comporta una variazione della probabilità di insuccesso P_f fra 10^{-3} e 10^{-5} circa.

Differentemente dalla Norma vigente che prescrive il fattore parziale fisso $\gamma_M = 1,25$, con il nuovo Eurocodice 7 le verifiche potranno dunque essere eseguite con un fattore parziale variabile del $\pm 10\%$ in relazione alle conseguenze di un fallimento della situazione di progetto, sintetizzate dalla classe di conseguenza (CC).

11

CC	K_M	V_x	α	β	P_f	γ_M
			≤ 1			
ALTA	1,1	0,15	0,7	4,31	8,29E-06	1,38
NORMALE	1	0,15	0,7	3,78	7,69E-05	1,25
BASSA	0,9	0,15	0,7	3,15	8,25E-04	1,13

Tabella 4 - *Effetto del coefficiente correttivo K_M sul fattore parziale . In tabella V_x è la varianza ipotizzata per il coefficiente di attrito e α è un coefficiente che rappresenta il peso della variabile nello stato limite considerato*

Grande peso per l'affidabilità assumono le misure di prevenzione indicate dalla nuova versione dell'Eurocodice 7. Per questo aspetto è necessario fare riferimento a due modelli concettuali, il modello di sottosuolo ed il modello geotecnico. Il modello di sottosuolo è qualcosa di più di un modello geologico: è una descrizione dettagliata del contesto geologico-fisico-ambientale e dei terreni potenzialmente interagenti con le opere in progetto; si ottiene ricostruendo il quadro conoscitivo attraverso informazioni di letteratura disponibili per il sito e attraverso indagini di carattere preliminare che consentano di individuare le problematiche geotecniche associate alla realizzazione dell'opera. Ai fini della **definizione del modello di sottosuolo**, le caratteristiche dimensionali e tipologiche dell'opera in progetto non hanno peso, ma rientrano solo in termini molto generali per delimitare la zona di influenza dell'opera (cosiddetto volume significativo del sottosuolo) al fine di pianificare le indagini. Rientrano nel modello di sottosuolo anche i report delle indagini e delle prove sperimentali, ma non essendo definite le caratteristiche delle opere in progetto, non può includere i valori di progetto delle proprietà geotecniche che invece fanno parte del modello geotecnico. Il modello geotecnico, successivo al primo, è una schematizzazione del sottosuolo finalizzata alle analisi ed al dimensionamento dell'opera geotecnica. Diversamente dal modello di sottosuolo, il modello geotecnico deve includere i valori di progetto delle proprietà geotecniche necessarie per le analisi. In funzione del livello di complessità individuato con le indagini preliminari, viene definito il piano delle indagini geotecniche che deve consentire al progettista di analizzare gli stati limite delle opere. Il riconoscimento di un determinato livello di complessità implica, quindi, un **atteggiamento progettuale coerente nella programmazione delle indagini, nella definizione dei possibili stati limite e dei relativi modelli geotecnici di sottosuolo**, nelle scelte sui parametri geotecnici rappresentativi, nella localizzazione e dimensionamento delle opere, nei controlli in fase di realizzazione e in esercizio. In termini pratici, al crescere della complessità geotecnica il nuovo Eurocodice 7 fa esplicito affidamento - in specifici e dedicati capitoli del testo normativo - ad una serie di possibili misure per accrescere l'affidabilità dell'opera, quali:

- l'incremento della numerosità e della estensione delle indagini geotecniche;
- l'incremento dell'affidabilità dei modelli geotecnici e della robustezza dei modelli di calcolo;
- l'impiego sistematico del monitoraggio;
- la qualificazione e la certificazione dell'esperienza dei progettisti;
- la certificazione del progetto da parte di esperti qualificati, indipendenti.

Inoltre, particolarmente rilevante è l'attenzione riservata dall'Eurocodice 7 alle misure per verificare che l'opera realizzata sia congruente con le ipotesi e le previsioni progettuali. Rientrano fra gli strumenti specifici a questo fine:

- la supervisione dei lavori;
- le ispezioni;
- i monitoraggi (sia in fase di costruzione che di esercizio);
- la manutenzione.

Progetto e costruzione fanno dunque parte di un'unica filiera, il cui obiettivo finale è la realizzazione di un'opera con la prevista affidabilità, funzione della categoria geotecnica con cui l'opera viene classificata.

METODO	DESCRIZIONE	QUANDO SI DEVE UTILIZZARE
Semi-probabilistico	Richiede di confrontare capacità e domanda, le incertezze sono incluse attraverso valori caratteristici delle grandezze, l'affidabilità è fissata a priori e imposta attraverso i fattori parziali	È il metodo di riferimento per le situazioni di progetto tipiche (Eurocodice 1 ^a generazione e NTC). L'Eurocodice 2 ^a generazione estende l'uso del metodo consentendo la calibrazione del livello di affidabilità attraverso fattori correttivi sui fattori parziali e regole applicative
Affidabilistico	Il metodo implica la stima dell'affidabilità del sistema «geotecnico» ed il confronto con valori obiettivo predefiniti. Le incertezze sono portate in conto direttamente attraverso opportune rappresentazioni delle variabili	Situazioni di progetto non comuni in relazione alle incertezze sulle variabili del problema (sono necessarie rappresentazioni ad hoc delle variabili)
Analisi di Rischio	Nei metodi precedenti si considerano solo rischi per la sicurezza, la funzionalità e la durabilità delle opere. In un'analisi di rischio si possono includere altri fattori come quelli economici considerati attraverso i costi dell'opera e le conseguenze (anche economiche) di un possibile insuccesso	Situazioni di progetto non comuni in relazione alle incertezze sulle variabili del problema. L'affidabilità del sistema è il risultato finale dell'analisi

Tabella 5 - Quadro d'insieme dei metodi per la verifica di una adeguata e affidabile performance di strutture, con tipiche aree di applicazione (tabella C.1 dell'Eurocodice - Basis of structural and geotechnical design, Annesso C)

Considerazioni sulla revisione della Norma nazionale

La nuova versione delle Norme tecniche nazionali conterrà verosimilmente metodi di verifica e di valutazione di tipo affidabilistico. Una tale metodologia presenta indubbiamente alcuni meriti; in particolare, consente di adottare un unico approccio per le opere nuove e per quelle esistenti, nonché per le condizioni statiche e quelle sismiche. Renderà inoltre ancor più evidente l'impossibilità di una progettazione a "rischio zero", con importanti influenze non solo in ambito tecnico ma anche in quello giurisprudenziale. La diffusione di un tale approccio, comportando un generale ripensamento della pratica corrente, dovrà essere preceduta da un **approfondito e mirato processo di aggiornamento professionale, e da una diversa didattica universitaria a tutti i livelli della formazione** degli ingegneri, generalmente non avvezzi a un uso sistematico dell'approccio statistico. Un richiamo specifico merita la progettazione geotecnica, ove le incertezze stratigrafiche e meccaniche del sottosuolo – sia epistemiche che aleatorie – sono certamente maggiori di quelle relative all'ambito strutturale e rendono particolarmente ostica l'adozione di un approccio affidabilistico. Sulla scorta delle precedenti considerazioni, si auspica che le nuove Norme mantengano come "default", sia per le verifiche che per le valutazioni, l'approccio semi-probabilistico basato sull'utilizzo dei **coefficienti parziali di sicurezza**, riservando l'approccio affidabilistico solo a situazioni particolari per le quali il metodo semi-probabilistico potrebbe essere poco efficace. Come indicato nella Tabella 5, un siffatto quadro normativo sarebbe congruente con quanto delineato dal nuovo Eurocodice EN 1990 "Basis of structural and geotechnical design", che sottolinea l'opportunità di ricorrere all'approccio affidabilistico in situazioni "inusuali" riguardo le incertezze, o per la calibrazione di standards e norme.

Nondimeno, a distanza di 25 anni dalla prima introduzione in Europa di una Norma europea, oggi condivisa ed adottata da oltre 27 paesi e in vigore anche in molti paesi non europei, potrebbe essere opportuno e conveniente considerare la possibilità di una piena adozione degli Eurocodici anche in Italia, tenendo conto che proprio a seguito del contributo dell'ingegneria italiana è stato possibile introdurre alcune fra le più importanti modifiche apportate all'Eurocodice di seconda generazione in materia di geotecnica.

Riferimenti bibliografici

EN 1990-1:2025 Eurocode - Basis of structural and geotechnical design - Part1: New structures. CEN/TC250/SC10 N 771

EN 1997-1:2024 Eurocode 7 — Geotechnical design — Part 1: General rules. CEN/TC 250/SC 7 N 1805

NTC 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni DM Min. Infrastrutture 17 Gennaio 2018

Giuseppe Scarpelli

Professore Ordinario di Geotecnica, Università Politecnica delle Marche

Vincenzo Pane

Professore ordinario, Università degli studi di Perugia

I

Le sfide dell'ingegneria geotecnica

Progettare bene, realizzare rispettando l'ambiente, imparare a conservare

Questo numero dell'Ingegnere Italiano dedicato al tema Terra offre l'occasione per illustrare ai professionisti che operano nel campo dell'Ingegneria delle costruzioni come l'Ingegneria geotecnica stia rispondendo alle moderne sfide della professione, a cui oggi è richiesto di affrontare temi tecnici sempre più arditi con **soluzioni sostenibili per l'ambiente e per la società**, con il minimo consumo di risorse e rispettose del patrimonio storico e culturale dell'umanità.

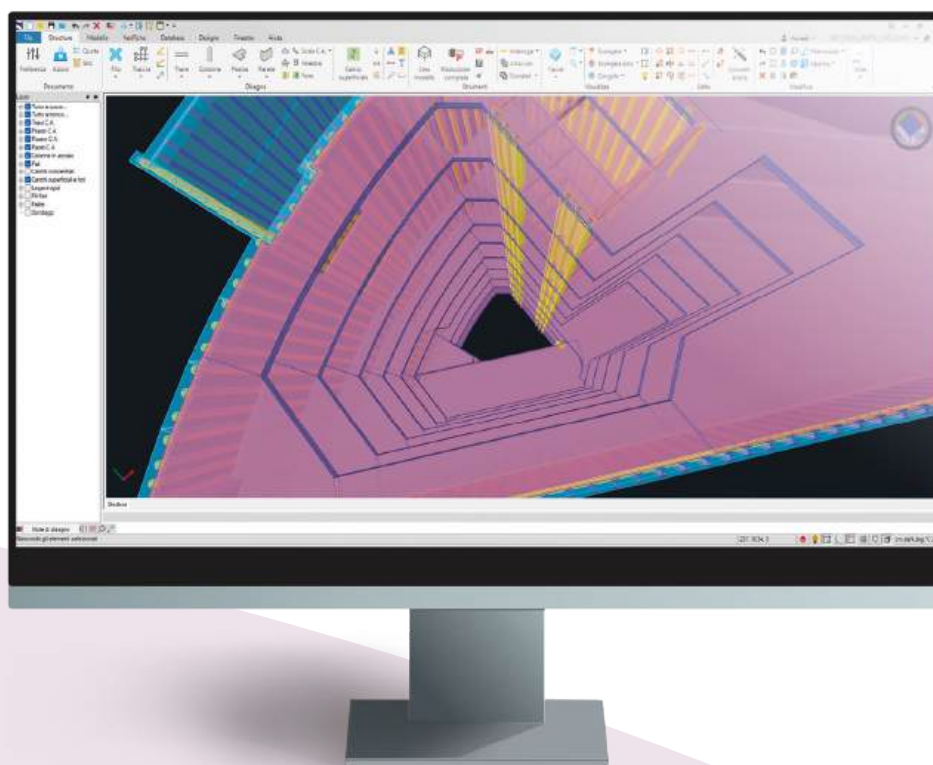
Nel vasto panorama delle possibili scelte, sono stati raccolti alcuni contributi ritenuti utili per offrire al lettore un rapido sguardo su aspetti significativi dell'Ingegneria geotecnica, non sempre considerata rilevante nel quadro della professione dell'Ingegneria civile e ambientale, perché troppo spesso confusa con la geologia, disciplina delle scienze naturali, che, al pari dell'idraulica e della scienza delle costruzioni è di riferimento per tutti i settori dell'ingegneria, ma decisamente diversa dalla geotecnica che è radicata nell'ingegneria. I contributi riguardano temi fondamentali della moderna ingegneria, dei quali è necessario tenere conto sia in senso assoluto, sia quando si progettano nuove infrastrutture e opere geotecniche: **la mitigazione del rischio idrogeologico e ambientale, la mitigazione del rischio sismico, la conservazione e la valorizzazione del costruito, la produzione di energie rinnovabili.**

Rischio idrogeologico e ambientale

È ormai opinione diffusa nel nostro paese che il **rischio frane debba essere affrontato con una logica di pianificazione urbanistica e territoriale** piuttosto che solo di emergenza. In questo tema si inquadra il contributo di **Settimio Ferlisi** che descrive l'esperienza condotta in Campania dopo gli eventi accaduti a Sarno nel 1998. Da quella esperienza scaturisce un modello operativo che permette di uscire dalla logica del finanziamento a pioggia per identificare, su base razionale, a quali aree destinare le risorse ed ottenere una mitigazione efficace del rischio senza dispendio delle risorse pubbliche.

La capacità dell'ingegneria geotecnica di **fornire soluzioni naturalistiche per la mitigazione del rischio** deriva dalla approfondita conoscenza dei processi che regolano la risposta fisico-meccanica dei territori esposti alle forzanti ambientali che possono determinarne l'instabilità. La nota di **Manuela Cecconi** illustra il ruolo della vegetazione nel controllo della erosione superficiale e nella protezione delle coltri superficiali di versanti potenzialmente instabili e indica possibili strumenti operativi per includere tale effetto nelle analisi dei pendii.

Con i cambiamenti climatici è innegabile che insediamenti urbanizzati e industriali esistenti possano ricadere oggi in **aree ad alto rischio di alluvioni**. La mitigazione del rischio alluvioni implica azioni per la manutenzione ed il monitoraggio del "sistema territorio" fra cui grande importanza rivestono quelle che riguardano gli argini fluviali. Il tema degli argini è trattato da **Simonetta Cola** che illustra i principali processi idraulici che possono mandare in crisi un argine e le tecniche per il controllo. Particolare



Guarda i tuoi progetti da una nuova prospettiva

Sismicad si evolve con un pacchetto innovativo importante ed un cambio di major release: **arriva Sismicad 13**. Nuova interfaccia 3D, sistema di gestione delle geometrie, accesso ai comandi e alle licenze. Si aggiungono anche miglioramenti su pareti, rinforzi agli edifici esistenti, BIM e molto altro ancora sta per arrivare.

Non riusciamo a scrivere tutto qui: provalo!

 **Sismicad 13**

attenzione è stata rivolta dalla comunità scientifica agli effetti delle tane di animali fossori negli argini, tema finora piuttosto sottovalutato, anche dalle amministrazioni. Fra i rischi ambientali più rilevanti conseguenti allo sviluppo industriale incontrollato che ha caratterizzato le epoche passate, vi è quello determinato dalla **contaminazione dei siti da sostanze tossiche**. L'ingegneria geotecnica ha contribuito in modo sostanziale allo sviluppo di tecnologia per la riconversione dei siti contaminati, a partire dallo sviluppo di metodi per l'analisi di rischio. In quest'ottica si inquadra il contributo di **Evelina Fratalocchi** che ripercorre tutti i passaggi logici e concettuali per la valutazione del rischio sanitario-ambientale di un sito, ed evidenzia come i risultati di tali analisi condizionino le scelte progettuali per gli interventi di risanamento.

Rischio sismico

Come per il rischio idrogeologico, la gestione del rischio sismico richiede oggi la **razionalizzazione degli interventi di mitigazione**, investendo sulla prevenzione, migliorando la qualità delle costruzioni e quella dei controlli sullo stato di conservazione del patrimonio edilizio. La prevenzione inizia dalla conoscenza del comportamento sismico del sito attraverso analisi di risposta sismica locale che può essere sviluppata secondo diversi livelli di approfondimento, fino agli studi di microzonazione sismica affidati ai Comuni. La nota di **Alessandro Pagliaroli** evidenzia come tali studi debbano essere affrontati sulla base di indagini adeguate al livello di approfondimento richiesto. L'ingegneria geotecnica italiana ha contribuito in modo determinante allo sviluppo di metodi per la **progettazione e la verifica delle costruzioni sotto azioni sismiche**. Un excursus sui progressi delle metodologie è presentato da **Stefano Aversa** che, a partire dallo storico "coefficiente di fondazione epsilon", ripercorre l'evoluzione dell'ingegneria geotecnica sismica con tutti i passaggi normativi da cui risulta testimoniata.

Il contrasto fra la geotecnica per il passato e la geotecnica per il futuro

È fuor di dubbio che l'ingegneria geotecnica possa offrire contributi essenziali ed importanti tanto nella conservazione del patrimonio monumentale e archeologico dell'umanità quanto nella ricerca di soluzioni tecnologiche ardite per l'ammodernamento o il rinnovo delle infrastrutture, per un progresso al passo con i tempi. Questo **contrasto fra passato e futuro** emerge dalla lettura dei due contributi, quello di **Alessandro Flora** sulla geotecnica per i monumenti e quello di **Paolo Ruggeri**, sulle sfide che si devono affrontare per l'adeguamento o la realizzazione di infrastrutture portuali. Due mondi distanti, ma, in entrambi i casi, è la conoscenza preliminare del modello geotecnico di sottosuolo sulla base di indagini spesso non intrusive, che consente da un lato di escludere danni rilevanti ai manufatti storici e da un altro, di stimare i costi degli interventi in fase di progettazione, minimizzando il rischio di sottovalutazioni. Fa riflettere il termine **"integrità funzionale"** introdotto da Flora che amplia il concetto di "conservazione" di un manufatto storico integrando nella valutazione anche la funzione che il bene assume nel proprio contesto fisico e sociale.

Il risparmio delle risorse e l'economia circolare

Conservare e riutilizzare sono parole chiave per un effettivo risparmio delle risorse del pianeta e rappresentano possibilità progettuali che l'ingegneria geotecnica ha tradizionalmente considerato come soluzioni prioritarie per la riduzione dei costi di costruzione e di gestione delle opere di ingegneria. Un primo esempio si ritrova nel contributo di **Francesco Petrella** che presenta casi di **riutilizzo di opere di fondazione** nel progetto di riqualificazione urbana della città di Londra dell'inizio di questo secolo. Il riutilizzo delle fondazioni implica d'altra parte significativi adeguamenti della normativa

tecnica di settore ma anche la sistematica disponibilità della documentazione tecnica sul costruito, ovvero sia un archivio digitalizzato delle opere realizzate. In analogia, la nota di **Salvatore Miliziano** rivolta alla manutenzione ed alla **ristrutturazione delle gallerie esistenti** rappresenta un esempio di come l'ingegneria geotecnica sia essenziale per sviluppare una progettazione razionale degli interventi. Anche in questo caso, la ricostruzione preventiva del modello geotecnico di sottosuolo è determinante per la qualità della progettazione. Nell'ottica dell'economia circolare e dello sviluppo sostenibile, **il riuso delle terre da scavo** è considerato da sempre una risorsa essenziale per garantire il bilanciamento economico nella realizzazione di una grande infrastruttura. A questo tema è dedicato il contributo di **Giacomo Russo**, che sottolinea l'importanza di considerare le terre da scavo come una risorsa sino dalla concezione stessa dell'opera, favorendo così l'adozione di metodologie costruttive che tendano a ridurre gli impatti ambientali ed a permettere il recupero di risorse preziose.

Produzione di energia rinnovabile

Infine, non poteva mancare un cenno all'importante contributo dell'ingegneria geotecnica alla produzione ed all'uso di energia rinnovabile. **Le risorse geotermiche sotterranee costituiscono una grande riserva di energia rinnovabile** che può essere sfruttata realizzando opere geotecniche termicamente attive. Riprendendo una frase conclusiva dell'intervento di **Marco Barla**, è assai piacevole che sia l'ingegneria geotecnica, una disciplina vista sempre come molto tradizionale, a promuovere innovazioni tecnologiche per l'impiego delle opere geotecniche come manufatti attivi per la produzione di energia termica. E questo il caso degli esempi di rivestimenti termicamente attivi di gallerie presentati da Barla come pure quello dei pali di fondazione utilizzati a fini energetici discussi nella nota di **Alessandro Mandolini**. Questi esempi illustrano bene come l'uso di manufatti geotecnici energeticamente attivi si vada sempre più diffondendo anche per la rapidità con cui si riesce a recuperare i costi dell'investimento iniziale.

PAG 3 EDITORIALI

L'ingegneria al lavoro per mitigare i rischi
di Angelo Domenico Perrini

Prevenzione e affidabilità: due direttrici
per il futuro dell'ingegneria
di Alberto Romagnoli

L'Eurocodice di seconda generazione
e la revisione della normativa tecnica
di Giuseppe Scarpelli e Vincenzo Pane

PAG 18 Sezione scientifica

*Ferlisi, Alfieri e Nicodemo
Cecconi
Cola
Fratallocchi e Di Sante
Pagliaroli
Aversa e De Sanctis
Flora
Ruggeri e Fruzzetti
Petrella
Miliziano
Russo
Barla
Mandolini e Iodice*

PAG 98 **Focusing**
A CURA DI PPAN

389 SOMMARIO

Sezione scientifica

Hydrovar x: performance, connettività e risparmio

Il sistema di controllo pompe intelligente composto da motore IE5 a riluttanza assistita e azionamento a velocità variabile.

Hydrovar x permette alle tue pompe di adattarsi **in tempo reale** alle condizioni operative assicurando prestazioni eccezionali e **risparmi** economici.

- Controllo remoto e gestione tramite App
- Nessun impiego di terre rare
- Gamma completa da 3 a 22 kW
- Menù di avvio automatico
- Display grafico a colori
- Funzionalità MULTI-PUMP di serie



Scopri di più sulle nostre soluzioni su
xylem.com/it-it/brands/lowara



Frane in Italia, la gestione del rischio

SETTIMIO FERLISI

Professore ordinario di Geotecnica, Università degli Studi di Salerno

hanno collaborato **MARIA ALFIERI** (Consorzio inter-Universitario per la Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi)
E **GIANFRANCO NICODEMO** (Università degli Studi di Salerno)

Sono ancora impressi nella memoria di tutti gli accadimenti che hanno tragicamente interessato l'Emilia-Romagna nel maggio del 2023, incluso il pianto delle persone colpite per la perdita, parziale o totale, delle proprie cose. Un pianto che fa sorgere delle domande: **è davvero inevitabile giungere a questo?** Siamo certi del fatto che non si può far nulla per garantire, oltre alla salvaguardia della vita umana, anche la salvaguardia delle cose? Questo contributo tenta di dare una risposta a tali domande.

Vi è una prima evidenza che scaturisce dagli esiti di **un'indagine storica che ha riguardato la Regione Campania** in un arco temporale di 366 anni che si estende dal 1640 al 2006 (Cascini et al., 2008). Da tale indagine è emerso l'accadimento di 293 eventi che hanno causato almeno una vittima, per un totale di 2360 vittime stimate. Di queste, circa un terzo si sono registrate in quattro eventi occorsi nello scorso secolo (ottobre 1910, marzo 1924, ottobre 1954, maggio 1998). Questo a riprova del fatto che gli eventi tragici si ripetono sistematicamente, sebbene con diverse cause d'innescio e diversi meccanismi. D'altra parte, sono innegabili le responsabilità dell'uomo sull'entità delle conseguenze occorse, per come evidenziato da Annan (2004):

"[...] Le comunità dovranno sempre affrontare i pericoli naturali, ma i disastri odierni sono spesso generati, o almeno esacerbati, dalle attività umane. [...] La scarsa pianificazione territoriale, la cattiva gestione dell'ambiente e la mancanza di principi regolatori aumentano il rischio e aggravano gli effetti dei disastri".

Prova ne sia che, in Italia, nel secolo scorso un ruolo crescente è stato giocato dalla intensa e poco controllata urbanizzazione del territorio,

soprattutto a partire dalla fine della Seconda guerra mondiale quando l'esigenza primaria era rappresentata dal costruire e non dal dove costruire (Cascini, 2014). Sulla base di queste evidenze, cosa si è fatto? Indubbiamente molto, a partire da quanto prodotto dalla Commissione presieduta dal prof. De Marchi, istituita dopo l'alluvione di Firenze del 1966, e che ha condotto alla promulgazione della Legge 183/89 la quale individua **nel bacino idrografico l'unità fisiografica** di riferimento per tutte le azioni di difesa, tutela e pianificazione delle risorse suolo e acque.

A valle dei citati eventi occorsi in Campania nel maggio del 1998 si è assistito a una ulteriore accelerazione dell'iter legislativo che ha condotto alla promulgazione del D.L. 180/98 (noto come "decreto Sarno") e del suo decreto attuativo (il D.P.C.M. del 29 settembre 1998); a questi, **dopo gli eventi di Soverato del settembre 2000**, ha fatto seguito la Legge 365/2000 grazie alla quale oggi l'Italia può dotarsi di una zonazione del rischio da frana e da alluvione su tutto il suo territorio, assurgendo – di fatto – a nazione guida in Europa in termini di previsione del rischio idrogeologico. Peraltro, tale zonazione assume un significato rilevante ai fini della pianificazione territoriale e della mitigazione del rischio per la vita umana con interventi non strutturali. Viceversa, non può essere utilizzata per la progettazione degli interventi strutturali di mitigazione del rischio, che mirano anche alla salvaguardia delle cose (in particolare, le case e le infrastrutture) sia per la scala dello studio e sia per la mancanza di strumenti con i quali definire le priorità tra tutte le aree classificate a rischio elevato (R3) e molto elevato (R4).

Con riferimento alla citata Regione Campania, interventi strutturali sono stati realizzati nei

quattro Comuni ai piedi del **versante del Pizzo d'Alvano** (Bracigliano, Quindici, Sarno e Siano) colpiti dagli eventi di frana del maggio 1998, in risposta alla grande eco mediatica che gli stessi ebbero per il verificarsi di 159 vittime (si ricorda, al riguardo, che la società è maggiormente disposta a tollerare un numero anche significativo di eventi che causano poche vittime piuttosto che un unico evento che causa molte vittime). In particolare, sono stati realizzati interventi essenzialmente di protezione – o di tipo “passivo” (nel senso che agiscono sulle frane dopo che sono avvenute, senza ridurne quindi la probabilità d’innescio) – il cui notevole costo (confrontabile con la perdita economica registrata a seguito degli eventi) è principalmente da attribuire a un sovradimensionamento degli stessi, anche condizionato dalle modeste conoscenze sul tema della mitigazione del rischio da frana all’epoca disponibili.

Questo “modello” di interventi (noto anche come “modello Sarno”) è oggi esportabile? La risposta è immediata se si considera che, nella sola Campania, sono 212 i Comuni nei quali – immediatamente a valle dell’evento del maggio 1998 – è stato riconosciuto (su base qualitativa) un rischio da frana molto elevato (Cascini, 2014). Inoltre, che la **cifra da impegnare sia spropositata** lo si comprende osservando che gli elementi conoscitivi oggi disponibili consentono di stabilire una graduatoria di priorità di intervento tra i citati Comuni.

A tal riguardo, grazie alla disponibilità del catalogo di dati storici a cui si è fatto cenno, è stato possibile evidenziare come gli eventi che nel passato hanno causato vittime si concentrino in una porzione ($\approx 1400 \text{ km}^2$) della Campania nella quale coltri di materiale piroclastico derivanti dall’attività esplosiva del complesso vulcanico Somma-Vesuvio poggiano su substrato carbonatico e che comprende 121 Comuni (Cascini et al., 2008). Operando, infine, una distinzione dei fenomeni che possono interessare le coltri piroclastiche tra flussi iperconcentrati e colate/valanghe di detrito (che differiscono in maniera sostanziale per modalità di innescio, materiali coinvolti, velocità raggiunte, volumi mobilitati, reologia e, quindi, conseguenze attese), Ferlisi e De Chiara (2016) hanno messo in luce come i flussi iperconcentrati coinvolgono 25 Comuni dei 121 in precedenza citati, mentre le colate/valanghe di detrito ne coinvolgono 59. In definitiva, gli studi a carattere regionale consentono di individuare i Comuni che

prioritariamente necessitano di **studi sul rischio da frana** da condurre a scale di maggior dettaglio e per i quali potrà essere richiesta la messa in opera di interventi strutturali di mitigazione, ottimizzando l’uso delle risorse economiche disponibili.

Nel frattempo, occorre promuovere una serie di azioni che implicano una relazione di reciprocità responsabile tra uomo e natura. Con tutto ciò che è creato, anche dalle mani dell’uomo. Nel campo del rischio da frana ciò può esplicarsi mediante la manutenzione dei versanti e del costruito esistente.

Nel primo caso, le attività a farsi possono includere la rimozione di alberi caduti/abbattuti, di materiali edili di risulta e/o di rifiuti solidi, e la manutenzione delle opere di mitigazione del rischio (se esistenti). Molto spesso capita che gli alberi caduti lo siano perché il bosco è malato e necessita di essere curato. Gli alberi caduti, se non rimossi, possono determinare un incremento della portata solida, se non anche favorire la formazione di piccole dighe temporanee o l’occlusione di opere, se presenti, volte a canalizzare i deflussi.

La questione materiali edili di risulta e/o di rifiuti solidi che, se non rimossi, possono determinare effetti simili a quelli citati per gli alberi, invoca il problema educativo. È emblematico il caso di Hong Kong dove ai bambini vengono donate delle gomme per cancellare in cui è disegnata la sagoma di una frana. I bambini non sanno cos’è una frana ma sanno che è qualcosa che c’è, ovvero che potrà verificarsi. C’è da credere che quanto detto possa facilitare moltissimo il formarsi, con il trascorrere degli anni, di una chiara percezione del rischio e, quindi, della possibilità reale di non farsi trovare impreparati. Che, poi, le opere di mitigazione debbano essere mantenute discende dall’esigenza non solo di garantirne la durabilità ma anche l’efficacia nel tempo. È ovvio che più le opere sono grandi, maggiori sono i costi di manutenzione. Da qui la necessità di procedere a un corretto dimensionamento che può giovare di dati conoscitivi, quali sono quelli acquisibili con indagini e prove geotecniche in sito. Ad esempio, la possibilità di poter ricostruire la distribuzione spaziale degli spessori delle coltri piroclastiche abilita a una stima adeguata dei volumi mobilitabili a seguito di piogge critiche, con ovvie conseguenze sul dimensionamento di opere di protezione (quali si configurano le vasche

di dissipazione). D'altra parte, **manutenzione ordinaria e straordinaria** del costruito esistente vuol dire anche recupero e conservazione, talché la vulnerabilità del costruito stesso non si riduca nel tempo. Un ulteriore aspetto da non sottovalutare è quello che riguarda il dialogo tra cittadini, imprese, istituzioni e ricercatori per giungere a soluzioni tecniche per la **mitigazione del rischio da frana** che siano sostenibili, ovvero ritenute più appropriate da un punto di vista ambientale, economico e sociale. Un esempio al riguardo è fornito dal territorio di Nocera Inferiore (SA) che nel 2005 è stato sede di una valanga di detrito che ha causato la perdita di tre vite umane e che nel 2010 è stato scelto come unico caso studio di un progetto di ricerca europeo per progettare e testare un processo deliberativo, di tipo partecipato (Linnerooth-Bayer et al., 2016).

Infine, il rischio da frana a cui siamo esposti può diventare davvero un'opportunità di sviluppo del Paese, anche in grado di dare risposta compiuta alle domande poste all'inizio del presente contributo, se si decide di capirlo fino in fondo attraverso un incremento delle conoscenze (ad esempio, basato sulla valorizzazione di dati di monitoraggio con tecniche tradizionali e innovative) che conduca progressivamente da analisi di tipo qualitativo (quali quelle attualmente adottate per la redazione della cartografia ufficiale di zonazione del rischio) ad analisi di tipo quantitativo, anche mediante l'armonizzazione tra la normativa di settore e quella tecnica (Ferlisi et al. 2024). Solo così sarà possibile pervenire a strumenti di tipo previsionale che **distinguendo compiutamente le conseguenze prioritariamente attese** sulle persone esposte da quelle sulle cose, abilitino alla messa in atto di azioni mirate di tipo preventivo che coniugano sapientemente interventi strutturali e non strutturali, anche in un'ottica più ampia di sostenibilità di sistema (AGI, 2021).

Riferimenti bibliografici

- AGI (2021). *La Gestione Sostenibile del Rischio da Frana in Italia*. A cura di: Cascini L., Ciurleo M., Ferlisi S., Soccodato C., Edizioni AGI, Roma
- Annan K. (2004). Foreword. In: *Living with Risk A global review of disaster reduction initiatives. Volume I, United Nations Inter-Agency Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction (UN/ISDR)*
- Cascini L. (2014). *Criteri di analisi e gestione del rischio da frana: dal Governo centrale alle comunità locali. Relazione Generale*. In: *La geotecnica nella difesa del territorio e delle infrastrutture dalle calamità naturali. Atti del XXV Convegno Nazionale di Geotecnica, Baveno, 4-6 giugno 2014*. Edizioni AGI, Roma, Vol. 1, pp. 103-150
- Cascini L., Ferlisi S., Vitolo E. (2008). *Individual and societal risk owing to landslides in the Campania region (southern Italy). Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards, 2(3):125-140*
- Ferlisi S., De Chiara G. (2016). *Risk analysis for rainfall-induced slope instabilities in coarse-grained soils: Practice and perspectives in Italy*. In: Aversa S., Cascini L., Picarelli L., Scavia C. (Eds.), *Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice. Atti del XII International Symposium on Landslides – Napoli, 12-19 giugno 2016*. CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, Leiden, The Netherlands, Vol. 1, pp. 137-154
- Ferlisi S., Nicodemo G., Alfieri M. (2024). *Valutazione dell'efficacia degli interventi strutturali di mitigazione del rischio da frana*. *Ingenio*, <https://www.ingenio-web.it/articoli/valutazione-dell-efficacia-degli-interventi-strutturali-di-mitigazione-del-rischio-da-frana/>
- Linnerooth-Bayer J., Scolobig A., Ferlisi S., Cascini L., Thompson M. (2016). *Expert engagement in participatory processes: translating stakeholder discourses into policy options. Natural Hazards, 81 (Supplement 1):S69-S88*

4U MASTERSAP *for you*

 **USER ORIENTED**
for you

 **UNIVERSALE**
for you

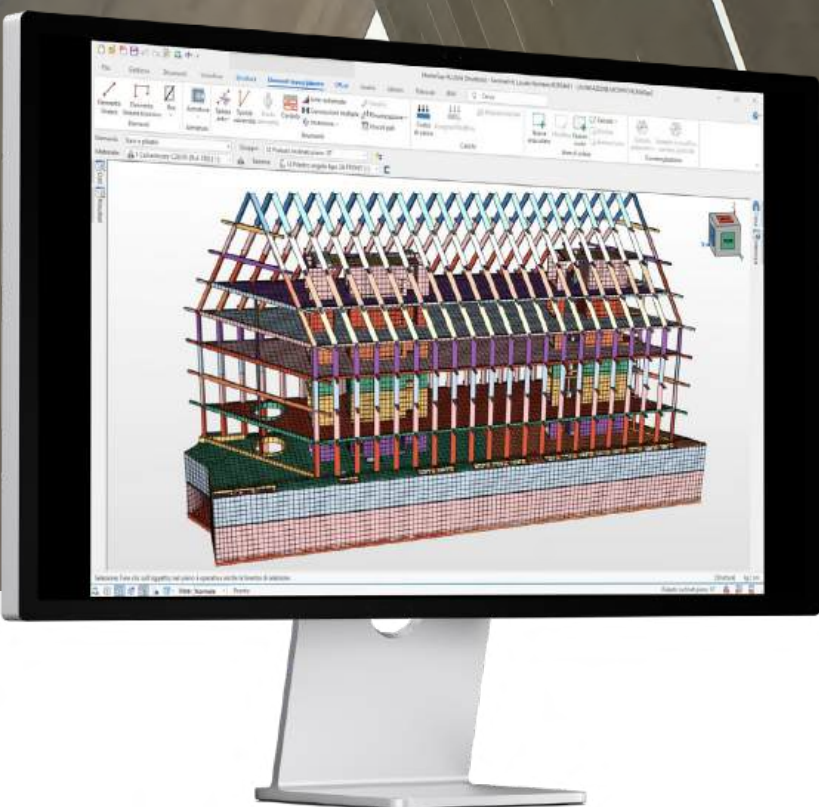
 **UNICO**
for you

 **UP-TO-DATE**
for you

Opzioni flessibili di acquisto. Puoi scegliere la soluzione più adatta alle tue esigenze, anche in **ABBONAMENTO ANNUO**.

Immagina un mondo dove la progettazione incontra l'intuizione. Un luogo unico dove le tue esigenze di progettazione trovano facilmente risposta, in un modo che non hai mai sperimentato prima.

Noi di AMV abbiamo immaginato questo futuro e abbiamo lavorato per te #4U



Il ruolo della vegetazione nei sistemi geotecnici

MANUELA CECCONI

Dipartimento di Ingegneria, Università di Perugia

L'interesse della comunità scientifica geotecnica allo studio e analisi dei meccanismi e processi di interazione termo-idro-meccanici tra la vegetazione, il terreno e l'atmosfera (*Soil Vegetation Atmosphere - Sva interaction*) sta significativamente crescendo nel panorama nazionale e internazionale. **L'interazione Sva rappresenta l'insieme dei processi legati alla presenza di vegetazione** nel terreno che influenzano direttamente il comportamento dei sistemi geotecnici. Se da un lato, è ormai ampiamente riconosciuto nella letteratura che la vegetazione¹ riveste un ruolo fondamentale e sostenibile per il controllo dell'erosione e la protezione di fronti di scavo e coltri superficiali di versanti potenzialmente instabili, la comprensione chiara di tutti i processi coinvolti, alle diverse scale di interesse, per l'intrinseca variabilità di tutte le grandezze bio-fisico-chimico-idro-meccaniche alla base dei processi stessi di interazione, richiede ulteriori approfondimenti, sviluppi e studi sistematici (Tagarelli & Cotecchia, 2025; Cecconi et al., 2025).

Tradizionalmente, l'effetto primario della vegetazione con apparato radicale più o meno profondo deriva dal considerare le radici alla **stregua di fibre naturali elastiche** di elevata resistenza a trazione, con diverse configurazioni geometriche e distribuzioni spaziali tali da costituire un vero e proprio rinforzo del terreno. La presenza delle radici determina un incremento della resistenza a taglio dei terreni radicati per interazione meccanica. Nell'originario e ben noto modello semplificato di rinforzo sviluppato per la singola radice, poi successivamente esteso all'intero apparato radicale (es.: Wu, 2013), lo stato di deformazione di taglio nel terreno indotto dallo scorrimento lungo una superficie potenziale di scivolamento che delimita una

massa instabile di coltre superficiale di versante, determina l'insorgere di tensioni di trazione nella radice stessa. Tale stato tensionale esercita un'azione sulla porzione di terreno instabile, generando forze esterne stabilizzanti che si traducono in un incremento della resistenza al taglio del terreno lungo la superficie di scorrimento.

Nelle valutazioni del contributo della vegetazione alla stabilità di versante, gli approcci più diffusi, associati a schemi semplici adottati per il pendio, si basano sul quantificare il rinforzo radicale in termini di un aumento dell'aliquota di **resistenza "coesiva"**, che si aggiunge alla resistenza a taglio del terreno non radicato, favorendo così complessivamente un incremento del coefficiente sicurezza ($FS = \tau_f/\tau_r$). Una recente e approfondita sintesi dei modelli di rinforzo radicale proposti in letteratura è presentata in Mao (2022).

In questo meccanismo di interazione, la tipologia del sistema radicale (ad esempio: sistema a fittone, fascicolato) assume un ruolo centrale e le specifiche **proprietà bio-meccaniche delle radici**, tra cui i diametri medi, la distribuzione e densità radicale, la resistenza a trazione e sfilamento delle radici controllano il comportamento idro-meccanico complessivo del sistema composito terreno-radici (resistenza a taglio, rigidità, proprietà di ritenzione). Tuttavia, è altrettanto riconosciuto che il terreno stesso può influenzare le caratteristiche e lo sviluppo delle radici; la Figura 1 mostra schematicamente i meccanismi coinvolti nell'interazione terreno-radici, le proprietà fisico chimiche del terreno influenzano lo sviluppo della vegetazione, così come quest'ultima controlla la risposta del terreno. Le radici possono modificare la conducibilità idraulica del terreno nel

¹ Con il termine "vegetazione" qui si intende l'insieme di piante (erbacee, arbustive o arboree), a prescindere dalla loro specie botanica, che comprende sia la parte epigea sia lo sviluppo radicale nel terreno.

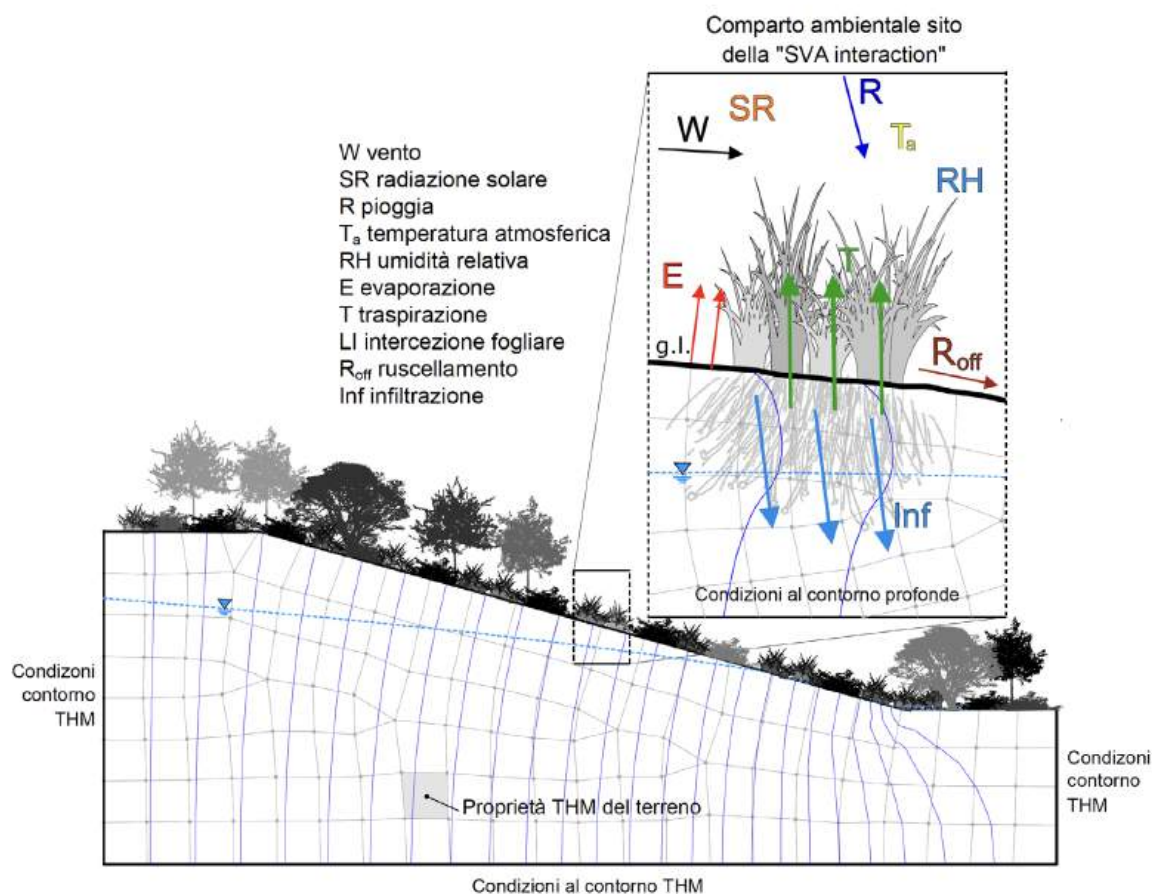
corso dell'accrescimento e del successivo decadimento, generando percorsi preferenziali per il flusso dell'acqua. Lo sviluppo radicale può determinare un incremento della porosità del terreno, in particolare in presenza di radici dense e sottili Fraccica et al. 2024).

L'interazione tra i molteplici meccanismi è quindi mutua, e da questa discende l'efficacia di tipo idro-meccanica degli apparati radicali nelle applicazioni ingegneristiche.

Di uguale importanza è il contributo indiretto alla variazione della resistenza a taglio del terreno dovuto alla capacità dell'apparato epigeo di intercettare parte della precipitazione, e dell'intero apparato radicale di assorbire acqua dal terreno trasferendola all'atmosfera per traspirazione; la riduzione del grado di saturazione comporta una variazione di suzione a cui compete **un incremento della resistenza a taglio del terreno** in condizioni di parziale saturazione; l'effetto delle radici sulle proprietà ritentive del terreno è oggetto di studi in corso (ad es.: Tagarelli et al., 2024). Un'ulteriore complessità è rappresentata dal fattore tempo: lo stato di salute della vegetazione, i caratteri bio-fisico-meccanici dell'apparato radicale mutano nel tempo, con

effetti sui meccanismi di interazione terreno-radici. Ed infine, un altro aspetto importante da non trascurare nelle valutazioni quantitative del contributo della vegetazione rimane nella **difficoltà oggettiva di disporre di prove e misure in sito**, soprattutto in luoghi di difficile accesso e interessati da movimenti franosi, caratterizzati da una notevole eterogeneità dei terreni e della vegetazione.

Una sperimentazione a scale di osservazione crescente, dalla scala di laboratorio a quella dei modelli fisici, fino alla scala di sito, se percorribile, è senza dubbio raccomandabile. Tutto ciò premesso, a tutt'oggi, il contributo della vegetazione non viene generalmente implementato nei modelli di comportamento del terreno e nei codici di calcolo di utilizzo comune nella prassi professionale; nelle normative tecniche vigenti gli effetti della vegetazione nei fenomeni di instabilità dei pendii sono brevemente richiamati. Sussiste pertanto un divario tra ricerca scientifica e pratica professionale. Tuttavia, notevoli passi avanti sono stati compiuti, come testimoniato dalle Nature-based Solutions (NbS), **caratterizzate dall'uso di materiali bio-naturali combinati con materiali inerti**, che trovano



applicazioni sempre più ampie, affermandosi come strategie innovative e sostenibili per il controllo dei fenomeni erosivi e la prevenzione dei movimenti di versante. Sono anche comuni le tecnologie che impiegano piante erbacee perenni a radicazione profonda mediante idrosemina, con indiscussi vantaggi di carattere tecnico-economico ed ambientale, oltre a non richiedere particolare manutenzione. Queste soluzioni non costituiscono soltanto un'alternativa agli interventi di ingegneria più tradizionali, ma rappresentano approcci più efficaci, adattivi, duraturi nel tempo e in generale meno costosi.

In questo quadro di riferimento, ne discende l'imprescindibile necessità, non ancora del tutto riconosciuta, di sviluppare gli studi sul tema in sinergia con altre discipline, quali le scienze ecologiche, agro-forestali e ambientali. La naturale eterogeneità dei terreni e della vegetazione, la variabilità spazio-temporale dei processi idrologici e biologici legati alla forzante climatica, l'effetto di condizioni estreme (incendi, terremoti, siccità) rende **l'interazione Sva molto complessa.**

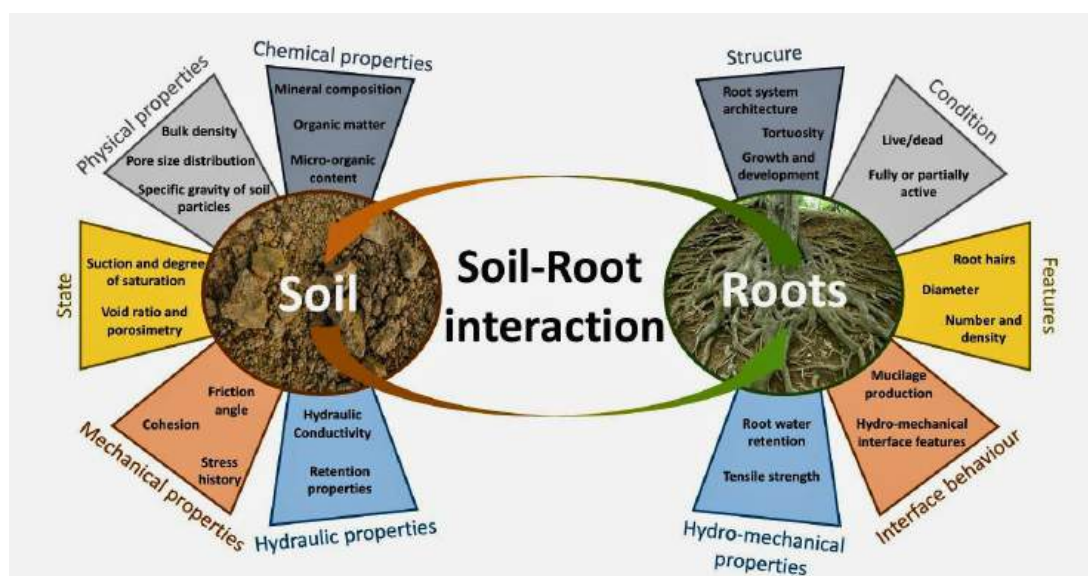
Il comparto ambientale in cui si sviluppa, rappresentato in figura 2 (Tagarelli e Cotecchia, 2025), definisce le condizioni al contorno per qualsiasi sistema geotecnico. Nel campo della modellazione, appare pertanto necessario sviluppare modelli termo-idro-meccanici completamente accoppiati, in grado di descrivere realisticamente l'effetto della vegetazione e dei flussi evapo-traspirativi sullo stato fisico del terreno, sulle sue proprietà fisico-meccaniche e idrauliche. Infine, se negli ultimi decenni sono stati condotti numerosi studi per la valutazione

del contributo meccanico alla stabilità degli strati superficiali di versante, questi sono stati affrontati prevalentemente in condizioni statiche. **L'analisi delle prestazioni sismiche dei pendii inerbiti/radicati** è oggetto di studi in corso mediante analisi pseudo-dinamiche che valutano l'effetto della vegetazione in termini di riduzione degli spostamenti permanenti indotti dal sisma.

L'indirizzo della ricerca risulta in linea con le strategie di riduzione del rischio da eventi estremi e di adattamento ai cambiamenti climatici delineate nei recenti quadri internazionali che riconoscono e promuovono una gestione sostenibile delle risorse naturali (UNISDR, 2015).

Nel settore dell'ingegneria geotecnica, a livello nazionale e internazionale, molti ricercatori sono attualmente e attivamente impegnati nello sviluppo di ricerche sia sperimentali, in sito e in laboratorio, sia teoriche-analitiche, di **modellazione costitutiva e implementazione in codici di calcolo numerici.** Un impulso significativo deriva dal gruppo di ricerca internazionale *RootS (Rooted Soils)*, lanciato nel 2023 in occasione del Workshop *RootS23* presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Perugia, e consolidatosi negli ultimi due anni con l'apporto significativo di una rete di ricercatori che affrontano in modo sistemico, metodologico, rigoroso e multidisciplinare i temi dell'interazione SVA.

Il gruppo di ricerca, si riunirà prossimamente al Politecnico di Bari, in occasione del Workshop *RootS25 SVA Interaction – Mechanisms, Processes and Geotechnical Engineering Implications.*



Riferimenti bibliografici

- Cecconi M., Tagarelli V., Cotecchia F., Pane V., Anselmucci F., Bertolini I., Biondi G., Boldrin D., Capobianco V., Cardile G., Cuomo S., De Vita P., Fraccica A., Mejer G., Pagano L., Pirone M., Schwarz M., Tarantino A., Vaunat J., Yildiz A. (2025). "Soil-vegetation-atmosphere interaction for engineering applications: recent multi-scale and multi-disciplinary insights", *Geomechanics for the Energy and the Environment 2025*, sottomesso per la pubblicazione.
- Fraccica A, Romero E, Fourcaud T. "Effects of vegetation growth on soil microstructure and hydro-mechanical behaviour", *Géotechnique* 2025, 75(3): 293-307.
- Loades KW, Bengough AG, Bransby MF, Hallett PD. "Planting density influence on fibrous root reinforcement of soils", *Ecological Engineering* 2010, 36(3): 276-84.
- Mao, Z. "Root reinforcement models: classification, criticism and perspectives", *Plant Soil* 2022, 472, 17–28.
- Tagarelli, V., Stasi, N., Cotecchia, F. and Cafaro, F. "Root-induced changes in the hydraulic properties of a fine slope cover", in *E3S web of conferences 2024*, Vol. 544, p. 16002. EDP Sciences.
- Tagarelli, V. and Cotecchia, F., "Weather-Induced Landslide Activity in Clayey Slopes: Modeling for the Design of Site-Scale Early Warning Systems", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 2025, 151 (9).
- UNISDR-United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030, 2015- Geneva: UNISDR.
- Wu TH. "Root reinforcement of soil: review of analytical models, test results, and applications to design", *Canadian Geotechnical Journal* 2013, 50(3): 259-74.



Crepe nei Muri? Difech difende la tua Casa!

Utilizziamo le più moderne tecnologie per garantire interventi rapidi, poco invasivi e definitivi. I nostri tecnici qualificati ti sapranno consigliare la soluzione migliore per risolvere i cedimenti delle fondazioni.

Contattaci subito per un Sopralluogo Gratuito.

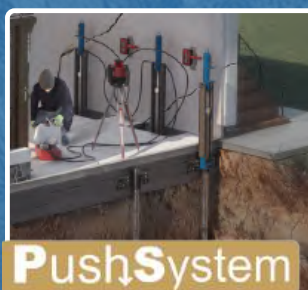
DETRAZIONE
FISCALE FINO AL

50%



ValveSystem

Consolidamento
Terreni



PushSystem

Micropali



difech.com

SOPRALLUOGO GRATUITO

Contatti: info@difech.com - 0521.14.12.895



A CURA DI PPAN

In Giappone nasce la prima casa stampata in 3D con terra cruda

A Yamaga, nella prefettura di Kumamoto, Lib Work Ltd. ha presentato **Lib Earth House Model B**: una casa stampata in 3D quasi interamente con terra cruda. Il progetto, sviluppato con ingegneri robotici e l'italiana Wasp, azienda leader per la produzione delle stampanti 3D, segna un passo avanti nell'edilizia sostenibile. Realizzata con suolo locale e materiali naturali, la struttura riduce drasticamente le emissioni di anidride carbonica e gli scarti industriali. Le pareti, dotate di **sensori intelligenti**, monitorano temperatura e umidità. L'abitazione è completamente **off-grid**, alimentata da un impianto solare con batteria Tesla, un sistema d'accumulo fotovoltaico (Powerwall). Un ibrido tra innovazione tecnologica e materiali antichi, che punta a ridefinire il concetto di casa sostenibile.



Inondazioni e fiumi, il contributo degli argini

SIMONETTA COLA

Professoressa ordinaria di Geotecnica, Università di Padova

Gli argini fluviali sono strutture antiche ideate dall'uomo per proteggere le comunità dalle inondazioni. Molti degli argini esistenti sono stati realizzati in passato, utilizzando i materiali locali, scelti tra quelli che potevano offrire una maggior impermeabilità. Nel corso dei secoli poi, all'aumentare del valore dei beni esposti alle alluvioni, **gli argini sono stati progressivamente alzati** raggiungendo a volte altezze molto importanti rispetto alla quota dei terreni laterali. Inoltre, in alcuni casi, la dinamica del fiume ha portato a sollevare rispetto alla campagna laterale anche il fondo del fiume che è diventato così alveo "pensile". Di conseguenza, come osservato in Germania nel 2021 o in Italia nel 2023 (EEA, 2024), le rotte arginali possono avere effetti catastrofici: ingenti volumi d'acqua vengono rilasciati in breve tempo, con conseguenti forti correnti in uscita, notevoli rischi per le persone, estese inondazioni e danni alle cose.

Dal punto di vista strutturale un argine è costituito da più elementi (Figura 1), ognuno con una specifica funzione utile a mantenere l'integrità dell'insieme. Il corpo principale, costruito in elevazione, deve essere **sufficientemente impermeabile** da impedire all'acqua di filtrare al suo interno raggiungendo

il paramento esterno. Deve, inoltre, essere allo stesso tempo abbastanza resistente ma sufficientemente deformabile da adattarsi ad eventuali cedimenti dei terreni di fondazione senza crollare.

Se l'impermeabilità del corpo principale non è adeguata, in fase di costruzione si può incorporare un nucleo a bassa permeabilità creando un cosiddetto "argine zonato"; se il problema si evidenzia successivamente, si possono invece realizzare diaframmi verticali all'interno del corpo arginale e degli strati di fondazione. Agendo invece sulla geometria, è possibile realizzare berme laterali su uno o entrambi i lati con molteplici obiettivi: ridurre la pendenza media dei paramenti stabilizzando così la struttura, mitigare l'azione erosiva dell'acqua che potrebbe tracimare oltre la cresta arginale, **contenere la linea di saturazione** evitando la formazione di affioramenti d'acqua sul paramento esterno (fonte sospesa), e, infine, estendere i percorsi di filtrazione nel terreno di fondazione. Un'altra alternativa è quella di adottare sistemi drenanti per intercettare e allontanare l'acqua che filtra attraverso il corpo arginale e/o la fondazione: si possono realizzare materassi di terreno granulare al piede dell'argine o trincee e pozzetti disposti longitudinalmente.

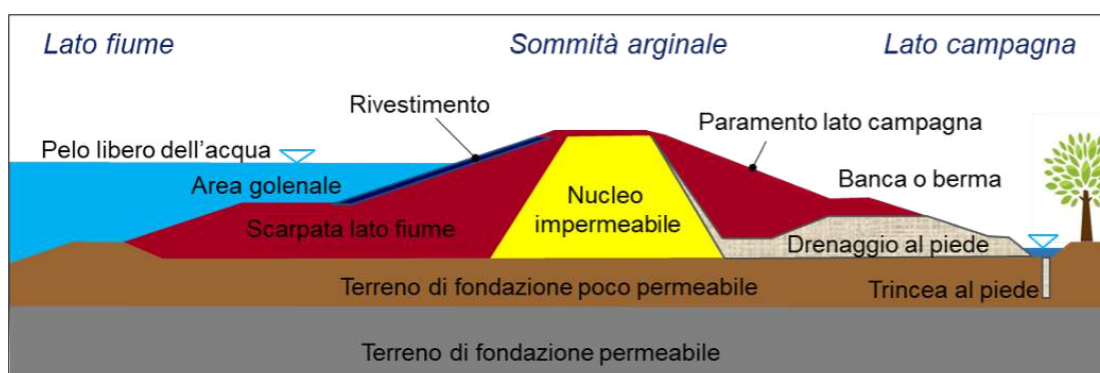


Figura 1 - Elementi di un sistema arginale (CIRIA et al., 2013).

Gli stati limite ultimi di un argine sono legati alla perdita di funzionalità per tracimazione o per collasso di una parte dell'arginale.

La tracimazione avviene se l'elevazione dell'argine è inferiore al livello di piena, se l'argine è sottodimensionato o si è abbassato nel tempo. Il collasso, invece, si verifica in tre possibili condizioni: erosione esterna, erosione interna, instabilità di un paramento (CIRIA et al., 2013). L'**erosione esterna** è dovuta all'azione longitudinale della corrente del fiume o all'azione trasversale dell'acqua che ruscella sul paramento esterno a seguito di tracimazione o formazione di una fonte sospesa.

L'**erosione interna** è, invece, l'asportazione del materiale costituente il corpo arginale per effetto dell'acqua che filtra all'interno del corpo stesso o negli strati di fondazione. Questo secondo tipo di erosione è molto più difficile da individuare in quanto può evolvere lentamente nel tempo, interessando in modo diffuso la struttura (suffusion) o, più spesso, concentrandosi lungo percorsi localizzati al contatto tra terreno e strutture interrato o tra diversi terreni (erosione per contatto, piping, ecc.). L'erosione interna produce un indebolimento progressivo senza apparenti segnali esterni, ma, una volta indebolito, l'argine, in occasione di piene più o meno eccezionali. L'instabilità di un paramento avviene con un crollo rotazionale di una parte del corpo arginale, coinvolgendo spesso anche lo strato di fondazione. Pure questo stato limite è causato dalla filtrazione dell'acqua all'interno o sotto il corpo arginale.

Infatti, **con la filtrazione si generano forze idrodinamiche** interne all'argine oppure sottopressioni in fondazione che riducono la resistenza dei terreni stessi. Il crollo può essere parziale o totale, con conseguente perdita parziale o completa della funzione di protezione: il collasso totale è particolarmente pericoloso se si verifica durante la fase di crescita di una piena. Come già detto, tutte le forme di erosione interna sono difficili da riconoscere e spesso non facili da prevedere. Esse sono fortemente influenzate dalla **presenza di eterogeneità strutturali o geotecniche**. In particolare, l'erosione di contatto si può verificare al contatto con un elemento strutturale rigido, quali un muro o una condotta, inserito nel terreno: al contatto inevitabilmente si forma un'intercapedine di minor resistenza idraulica ove si concentra il flusso e di conseguenza l'acqua erode più facilmente. In modo analogo si comporta

anche il contatto tra terreni di granulometria diversa: quando l'acqua filtra nel mezzo più permeabile può mobilitare le piccole particelle dell'adiacente terreno meno permeabile, producendo veri e propri vuoti che si allargano progressivamente.

Il contatto spesso è un piano deposizionale orizzontale, ma può anche essere un contatto laterale, ad esempio tra un paleoalveo e i sedimenti laterali (Wodajo et al., 2019), o tra il terreno originale e un altro terreno messo in loco durante la riparazione di una breccia. Esistono poi altri processi più o meno naturali che facilitano l'erosione interna: il congelamento o l'essiccazione del terreno, l'apertura di cavità da parte di animali o uomini, il degrado degli apparati radicale di piante morte o tagliate o lo sradicamento delle stesse per effetto del vento, gli impatti di imbarcazioni, fratture generatesi a seguito di cedimenti differenziali indotti da costruzioni o abbassamenti di falde. Tutti questi fenomeni creano fessure e discontinuità che facilitano il passaggio dell'acqua e provocano una concentrazione del flusso di filtrazione.

Infine, un altro frequente fenomeno è il cosiddetto "piping", cioè la **formazione progressiva di condotti interni al terreno**. Il piping si può creare quando è presente uno strato superficiale impermeabile con sotto un altro strato relativamente più permeabile: in tale caso, alla base dello strato impermeabile possono instaurarsi importanti pressioni neutrali che, sollevandolo, lo rompono e creano delle fratture di sfogo per le pressioni (fontanazzo). Di seguito, l'acqua filtra rapida verso l'esterno trascinando particelle dello strato inferiore e creando cavità e condotti che progressivamente si estendono verso il fiume fino a far collassare l'argine. Questo fenomeno si può riconoscere all'esterno per la presenza di fuoriuscite di acqua dal terreno, in genere accompagnate da trasporto di sabbia che poi si deposita attorno al punto di fuoriuscita formando un tipico vulcanello. I processi di erosione interna o esterna sono studiati approfonditamente da parecchio tempo (i.e., Fell et al., 2009; ICOLD, 2017; Hunter e Bowman, 2018; Nakashima et al., 2020) ed esistono procedure empiriche per valutare la suscettibilità all'erosione. Invece, lo studio degli effetti delle cavità create da animali è relativamente molto recente. Gli argini sono ambienti attraenti per molti animali perché ricchi di vegetazione, vicini all'acqua e, in alcuni casi, poco frequentati dall'uomo. Esistono diverse specie acquatiche e terrestri (FEMA,

2005) che scavano cavità, sul lato fiume o sul lato campagna, creando tane formate da una sola camera, ma, più spesso, da più camere collegate da condotti. **Il diametro dei condotti può variare** da pochi centimetri a quasi un metro mentre le lunghezze raggiungono anche le decine di metri (Fisher & Dunand, 2016; Borgatti et al., 2017).

Le tane sono responsabili di smottamenti e cedimenti locali dei paramenti (Figura 2), ma anche permettono una più facile penetrazione dell'acqua, con effetti sulla distribuzione delle pressioni interstiziali nell'argine o l'attivazione di processi erosivi intorno alle cavità (Ceccato et al., 2022). Per capire quanto il problema sia stato sottovalutato, basti notare che se anche la presenza di animali fossori lungo gli argini fosse nota in Italia fin dagli anni '80, solo recentemente la comunità scientifica si è interessata del problema e solo negli ultimi 15 anni le amministrazioni hanno avviato serie campagne di controllo per limitarne la presenza e riparare i danni.

Il rilevamento delle tane necessita di ispezioni molto attente, perché gli ingressi possono essere nascosti dalla vegetazione e l'estensione in profondità delle tane non è facilmente determinabile. Una volta individuate, la loro riparazione deve essere molto meticolosa perché se rimangono delle cavità interne, anche se non comunicanti con l'esterno, possono essere facilmente raggiunte e messe in pressione dall'acqua di filtrazione: poi, se la cavità è prossima al paramento esterno, facilmente la pressione solleva la copertura e permette l'apertura di una breccia.

Con l'aumento della frequenza e della gravità degli eventi alluvionali che colpiscono le Comunità Europee (CE), questa ha istituito un programma in cicli semestrali (direttiva 2007/60/CE sulle alluvioni, 2007) finalizzato alla valutazione preliminare del rischio di alluvione (PFRA), alla realizzazione di mappe di pericolosità e rischio (FHRM) e il miglioramento della resilienza delle protezioni esistenti. Con i primi due cicli già conclusi è emerso che nel 2012-2018, nella comunità CE, si sono verificati circa 1500 eventi alluvionali e che il numero di persone e beni esposti a questo rischio cresce esponenzialmente. Chiaramente il problema è mondiale e sia la comunità scientifica che le agenzie per la protezione del territorio di molti paesi stanno operando allo sviluppo di nuove metodologie per migliorare le indagini e la sorveglianza.

Si sono istituiti gruppi di lavoro per sviluppare **linee guida per la progettazione e la gestione degli argini**: ad esempio, grazie alla collaborazione tra paesi Europei e Stati Uniti è stata possibile la pubblicazione dell'International Levee Handbook – ILH (CIRIA et al. 2013), ma esistono altri manuali internazionali, quali l'“European and US levees and flood defence” (EUCOLD, 2018) o le linee guida australiana (ANCOLD, 2015). Si sono inoltre attivati numerosi progetti per la messa a punto di procedure relativamente economiche per indagare e sorvegliare lunghi tratti di infrastruttura arginale. Dato che un sistema arginale può svilupparsi per migliaia di chilometri ed essendo difficile investigare le eterogeneità strutturali che possono essere molto puntuali, la strategia adottabile è

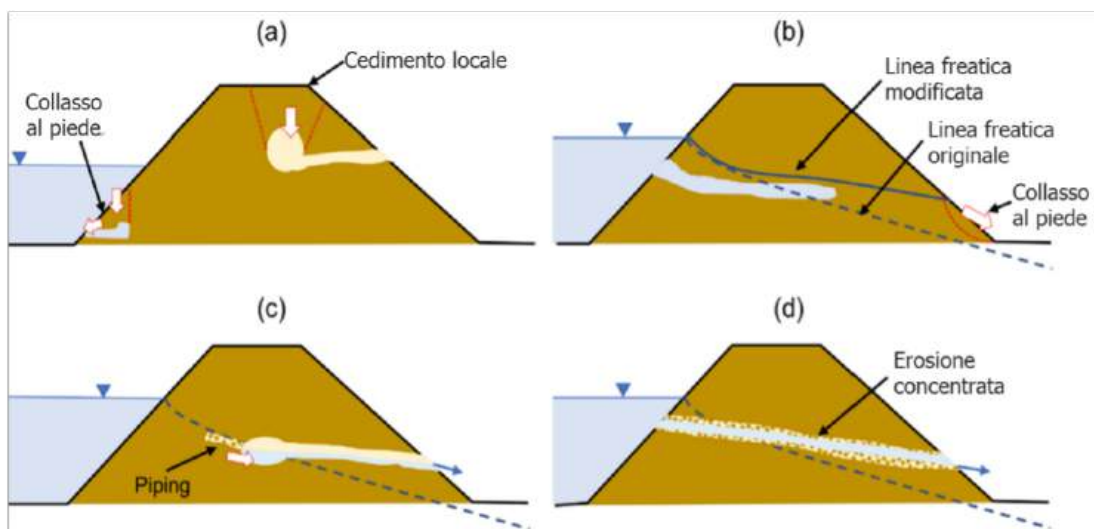


Figura 2 - Effetto delle tane degli animali: (a) cedimenti locali, (b) alterazione della distribuzione della pressione, (c) facilitazione formazione del piping interno, (d) erosione concentrata (Ceccato et al., 2022).

quella di individuare i segnali fisici collegati alla presenza di fenomeni erosivi interni (affioramento di acqua sul paramento esterno o ai piedi dell'argine, distribuzione non regolare di temperatura e umidità esterna o interna, pressioni interstiziali anomale, cedimenti localizzati) e che possano essere monitorati con metodologie di media e larga scala (Cola, 2024). Al momento non esiste ancora una tecnica che da sola permetta un'indagine o un monitoraggio affidabile e si stanno valutando diverse tecnologie, alcune molto innovative, da utilizzare anche in modo complementare sfruttando i vantaggi offerti da una o dell'altra.

Al fine di dare un quadro dell'ampio campo di possibilità che si sta valutando, è giusto ricordare le indagini geoelettriche (Electrical Resistivity Tomography, ERT, Electro-Magnetic Induction, EMI, Ground-Penetrating Radar, GPR, Multichannel Analysis of Surface Waves, MASW) e geotecniche (sondaggi e prove in sito, misure di cedimenti e pressioni positive e negative), alcune **tecniche di remote sensing** (telecamere iperspettrali nello spettro del visibile e del vicino infrarosso, VNIR, o dell'infrarosso a onde corte, SWIR, telecamere termiche a infrarossi, TIR, rilevamento lidar, interferometria da satellite) e, infine, i sensori distribuiti in fibra ottica.

Riferimenti bibliografici

Borgatti L. et alii, 2017, *Detection and characterization of animal burrows within river embankments by means of coupled remote sensing and geophysical techniques: Lessons from River Panaro (northern Italy)*. Eng. Geol., 226, 277–289.

Ceccato F. et alii, 2022, *Effect of animal burrows on the vulnerability of levees to concentrated erosion*. Water, 14(18), 2777.

CIRIA et alii, 2013, *The International Levee Handbook*. CIRIA, London 2013.

Cola S., 2024, *Towards a better understanding and monitoring of levees behaviour to mitigate flooding risks, 18th ECSMGE, Lisbon, State-of-the-art Report*.

European Union, 2007, *2007/60/EC Directive of the European Parliament and of the Council on the assessment and management of flood risk*. (<https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>).

EEA, 2024, *Responding to climate change impacts on human health in Europe: focus on floods, droughts and water quality*. <https://www.eea.europa.eu/publications/responding-to-climate-change-impacts/>

FEMA, 2005, *Dam Owner's Guide to Animal Impacts on Earthen Dams (FEMA*

L-264). https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/femal264_dam_owners_guide_animal_impacts_earthen_dams.pdf.

Fell R. et alii, 2009, *A unified method for estimating probabilities of failure of embankment dams by internal erosion and piping*. UNICIV Rep. N. R446, Univ. of New South Wales.

Fischer C., Dunand F., 2016, *3D Topography and Structure Analysis of Three European Badger (Meles Meles) Setts from Western Switzerland*. Wildl. Biol. Pract., 12, 26–35.

Hunter R.P., Bowman E.T., 2018, *Visualisation of seepage-induced suffusion and suffosion within internally erodible granular media*. Géotechnique, 68(10), 918–930.

ICOLD, 2017, *Internal erosion of existing dams, levees, and dikes, and their foundations*. Bulletin No. 164. Paris: ICOLD.

Nakashima K. et alii, 2020, *Effects of internal erosion on levee instability*. In *Geotechnics for Sustainable Infrastr. Devel.*, pp. 951–956, Springer Singapore

Wodajo L.T. et alii, 2019, *Application of Seismic Refraction and Electrical Resistivity Cross-Plot Analysis: A Case Study at Francis Levee Site*. *Levees and Dams: Advances in Geophysical Mon. and Charact.*, 23–40.



Software per l'edilizia: innovazione, precisione e sicurezza per ogni fase del tuo progetto.



Namirial è il partner tecnologico di riferimento per i professionisti dell'edilizia con una suite completa di software progettati per rispondere alle esigenze di ingegneri, architetti e tecnici: dalla progettazione strutturale alla sicurezza nei cantieri, dalla certificazione energetica alla contabilità lavori, fino alla gestione BIM in cloud. Con soluzioni intuitive, aggiornate alle normative e integrate tra loro, Namirial ti aiuta a superare gli standard tradizionali, migliorando efficienza, precisione e rapidità.

Trasforma il tuo modo di progettare, unisciti a migliaia di professionisti che hanno già scelto l'innovazione.



BIM



ANTINCENDIO



TERMOTECNICA
E ACUSTICA



STRUTTURALE



SICUREZZA



AMBIENTE



CONTABILITÀ



MANUTENZIONE



UTILITÀ PER
LO STUDIO

Provali gratis



Namirial S.p.a.

www.edilizianamirial.it - E-mail: commerciale@edilizianamirial.it - Telefono: +39 071 20 53 80

Come avviene la riconversione dei siti contaminati

EVELINA FRATALOCCHI

Dipartimento SIMAU, Università Politecnica delle Marche

MARTA DI SANTE

Dipartimento SIMAU, Università Politecnica delle Marche

L'ingegneria geotecnica svolge un ruolo fondamentale nella risoluzione di diversi problemi ambientali al punto tale che si è sviluppata la disciplina della "Geotecnica ambientale" (Johnston e O'Kelly, 2014). Simpson e Tatsuoka (2008) includono **la riconversione dei siti contaminati** tra i principali futuri campi di applicazione della geotecnica e puntualizzano che, in campo ambientale, il miglioramento dei metodi per l'analisi di rischio è uno degli obiettivi.

Il testo unico ambientale (D.Lgs.152/06) rende l'analisi di rischio sanitario-ambientale indispensabile per definire se un sito è contaminato e conseguentemente per la progettazione degli interventi di recupero.

Negli anni sono stati sviluppati diversi software per l'esecuzione dell'analisi di rischio (Di Sante et al., 2013), alcuni citati dall'ISPRA nelle linee guida: Rome (ANPA in collaborazione con Environ), Giuditta (Provincia di Milano), RBCA Tool Kit e RISC4 sviluppati negli USA. Recentemente è stato messo a punto dall'Università di Roma Tor Vergata il **software Risk-NET**, che nel 2019 è stato validato dal Gruppo di Lavoro costituito da membri della Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati (RECONnet) che lo hanno classificato come software di alta attinenza alle sopracitate linee guida, poiché ne ricalca esattamente l'approccio. In ogni caso, la scelta dello strumento che utilizza i modelli di calcolo più appropriati è importante al fine di ottenere obiettivi di bonifica (concentrazioni soglia di rischio, CSR) quanto più possibile realistici, poiché sui loro valori viene scelta la tecnologia di bonifica da applicare (Di Sante et al., 2021). La valutazione del rischio è definita come la

stima delle conseguenze sulla salute umana di un evento potenzialmente dannoso, in termini di probabilità che le stesse conseguenze si verifichino. **L'Analisi di Rischio (AdR)** si basa sul **Modello Concettuale del Sito (Mcs)**, una ricostruzione completa delle caratteristiche del sito volta a definire la distribuzione della contaminazione (Sorgente), i meccanismi di rilascio e migrazione delle sostanze inquinanti (Trasporto) ed il tipo e la modalità di esposizione dei recettori (Bersaglio). La costruzione del MCS deve basarsi su un'accurata campagna di indagine svolta in fase di caratterizzazione del sito, che comprende:

- **sondaggi geognostici con campionamento delle matrici ambientali**, per la definizione del modello di sottosuolo e della distribuzione della potenziale contaminazione;
- **installazione di piezometri**, per il campionamento delle acque di falda e per la determinazione delle condizioni idrogeologiche (deflusso, gradiente idraulico);
- **prove di permeabilità** in sito per la misura diretta della conducibilità idraulica degli strati di terreno;
- **prelievo di campioni** di terreno per determinare le caratteristiche fisiche e chimiche del terreno.

È pertanto evidente il coinvolgimento delle competenze geotecniche e l'importanza del loro ruolo nella definizione del modello concettuale del sito che rappresenta il cuore dell'AdR. La migrazione dei contaminanti viene simulata in accordo con il Mcs costruito, consentendo la stima dei probabili effetti della potenziale contaminazione in termini di pericolo

per l'uomo e per l'ambiente. Relativamente al livello di analisi rischio richiesto dalla normativa italiana (Tier 2), il trasporto è descritto da modelli di migrazione di tipo analitico e da parametri misurati in maniera sito-specifica. La scelta dei modelli disponibili va eseguita sulla base di **competenze geotecniche ed i fattori di trasporto** che ne derivano contengono, all'interno delle loro formulazioni, parametri geotecnici che rivestono un ruolo fondamentale poiché i loro valori influenzano significativamente il risultato finale dell'analisi (Di Sante et al., 2021).

Importanza del modello di sottosuolo

Il modello di sottosuolo tipico dell'AdR prevede la suddivisione della porzione sopra falda in suolo superficiale (SS; 0-1 m dal p.c.) e suolo profondo (SP; 1 m - superficie di falda). La zona satura è convenzionalmente rappresentata dalla **falda** (GW) e caratterizzata dal solo **prelievo di campioni di acque sotterranee**.

Questi tre comparti sono al loro interno considerati omogenei in termini di caratteristiche fisiche, chimiche ed idrauliche. Si tratta pertanto di una suddivisione ideale che frequentemente non riproduce la realtà, ad esempio in presenza di lenti di terreno di spessore significativo, di strati impermeabili continui a suddividere due o più acquiferi, oppure nel caso di condizioni geomorfologiche particolari. In tali casi è fondamentale ricostruire nel dettaglio **la stratigrafia e l'idrogeologia** e conoscere le possibilità di modellazione offerte dai software disponibili. La Figura 1 riporta l'esempio di un caso di studio di AdR di un ampio sito industriale dismesso (25 ha) ubicato in prossimità di un terrazzo fluviale (Di Sante et al., 2009) in cui la ricostruzione del sottosuolo ha delineato la

necessità di suddividere il sito in 3 subaree, ognuna con il Mcs di pertinenza. L'accurata definizione del modello di sottosuolo è risultata fondamentale per il progetto degli interventi di bonifica e di monitoraggio.

Un ulteriore esempio sull'importanza del modello di sottosuolo è quello di un sito ricadente nel SIN di Porto Marghera (Figura 2). In questo caso, attraverso la datazione dei depositi mediante il Cesio137 e un'estesa campagna di indagine geognostica (70 verticali su 18 ha) è stato possibile delineare un modello di sottosuolo diverso da quello suggerito per i siti del SIN nel Master Plan per la bonifica della Regione Veneto e Comune di Venezia. Gli studi di tipo radiochimico hanno attestato che i terreni costituenti il riporto non erano stati movimentati o ricollocati nell'ultimo cinquantennio e le indagini geognostiche hanno concordemente escluso **la presenza di scarti industriali nello strato di riporto**; inoltre, grazie alla ricostruzione dei profili di sottosuolo, è stata accertata la continuità del primo strato impermeabile (Caranto-Pleistocene), che ha consentito di escludere dai percorsi di migrazione considerati la percolazione tra livelli idrici differenti, influenzando in maniera significativa lo sviluppo delle analisi di rischio.

Per determinare e validare i parametri sito-specifici per l'AdR ai sensi del D.Lgs. 152/06, APAT (2007) precisa che, in fase di caratterizzazione del sito, il proponente, dopo aver individuato, secondo criteri di ragionevole conservatività, gli strati di terreno omogenei rappresentativi del sito, deve eseguire almeno 3 determinazioni granulometriche per ciascuna tipologia di suolo identificata. Di conseguenza, la scelta di idonee tecniche di campionamento e la rappresentatività di tutte le frazioni granulometriche nei campioni

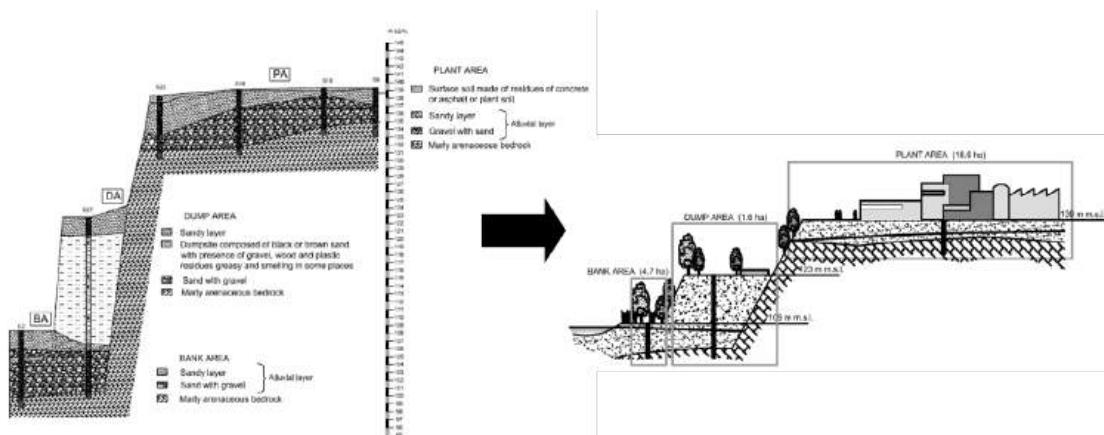


Figura 1 - MCS: dalla sezione geologica (in scala) alla definizione delle subaree (Di Sante et al., 2009)



ILLUMINAZIONE ZENITALE



SMALTIMENTO FUMO E CALORE

CAODURO

ILLUMINAZIONE ZENITALE, VENTILAZIONE NATURALE,
CONTROLLO DEL FUMO E DEL CALORE

Realizziamo cupole, lucernari, strutture centinate, basamenti, dispositivi per la ventilazione naturale, box di controllo, sistemi per il controllo del fumo e del calore, barriere per il controllo del fumo e del fuoco e sistemi di ventilazione naturale e forzata.



EVACUAZIONE FUMO E CALORE



BARRIERE AL FUMO E AL FUOCO



CUPOLE



LUCERNARI



CENTINATI



BASAMENTI



SENF



BOX DI
CONTROLLO



EFFC



BARRIERE
AL FUMO



BARRIERE
AL FUOCO



VENTILAZIONE
GIORNALIERA



®



0444 94 59 59



info@caoduro.it

Via Chiappese, 15 36010 - Monticello Conte Otto Vicenza, Italia



prelevati risultano importanti per l'AdR. Dalla tessitura del suolo, infatti, dipendono 15 dei 68 parametri coinvolti nell'analisi di rischio, la maggior parte dei quali si valuta direttamente in **funzione della distribuzione granulometrica**; i restanti derivano indirettamente e/o parzialmente dalla classe granulometrica. Per quanto riguarda la conducibilità idraulica, sebbene sia derivabile da correlazioni con la tessitura per terreni a grana grossa, è di gran lunga preferibile la misura diretta mediante prove in sito.

I modelli di volatilizzazione dei contaminanti dal suolo in ambienti chiusi o aperti coinvolgono **numerosi parametri derivanti dalla granulometria del terreno**. I loro effetti sui fattori di volatilizzazione sono molto significativi, come dimostra uno studio eseguito mediante il software RISC4 sulla variazione del fattore di volatilizzazione (outdoor, VF_{out} , indoor, VF_{in}) del benzene e dell'indenopirene per 4 diverse classi di suolo: ghiaia, sabbia, limo e argilla (Figure 3 e 4). Per entrambi i contaminanti (Figura 3) il fattore di volatilizzazione indoor decresce significativamente passando da depositi grossolani a depositi fini. Nel caso dell'indenopirene (Figura 3b) VF_{in} decresce da ghiaie ad argilla mentre VF_{out} non presenta un andamento monotono al variare della granulometria.

L'analisi di sensibilità condotta singolarmente su alcuni parametri (per le 4 classi di suolo – Figura 4) mostra che il **modello di volatilizzazione di vapori outdoor**, nel caso del benzene, presenta una elevata sensibilità (Sensitivity Score > 10) al grado di saturazione, S_r , funzione della granulometria in quanto funzione della porosità e correlato anche al valore del contenuto volumetrico d'acqua, θ_w . In ogni caso, gli ultimi orientamenti della

disciplina in termini di volatilizzazione dei contaminanti prevedono l'applicazione di misure dirette di emissione di vapori contaminante quali le **tecniche di soil gas survey**, le camere di flusso e le misure dirette in aria ambiente. Tali metodi permettono di by-passare parzialmente o totalmente i modelli analitici di migrazione, superando l'eccessiva restrittività di alcune ipotesi. Il recente orientamento degli organi di controllo è di considerarne i risultati, purché forniti in doppia linea di evidenza (i.e. con misure contemporanee di almeno due delle tre tecniche elencate in precedenza) (ISPRA-SNPA, 2018; Di Sante et al., 2021).

Anche il **processo di lisciviazione** è descritto da modelli nei quali intervengono parametri derivanti dalla granulometria. Ad esempio, la Figura 5a riporta la variazione del fattore di lisciviazione (LF) della frazione più mobile degli idrocarburi pesanti, con l'infiltrazione efficace, I_{eff} , derivato con diversi strumenti di calcolo (Di Sante et al., 2013). In Figura 5b, il fattore LF del benzene è riportato in funzione dello spessore **della zona di miscelazione in falda**, δ_{gw} (Chen et al., 2004). I_{eff} è influenzata sia dalla granulometria che dalla piovosità media annua, mentre δ_{gw} è un parametro derivato dall'infiltrazione efficace, e quindi anche dalla granulometria.

Per la norma italiana le acque sotterranee sono un bersaglio dell'AdR. Se la sorgente è localizzata sopra falda, l'AdR deve includere modelli di lisciviazione dei contaminanti e di miscelazione con le acque sotterranee. I software di simulazione più diffusi, eccetto RISC₄, applicano modelli analitici di trasporto dei contaminanti di tipo stazionario (partizione suolo-acqua all'equilibrio, K_{ws} ; generica attenuazione nel percorso, SAM; diluizione con le acque sotterranee, Ldf). Con riferimento

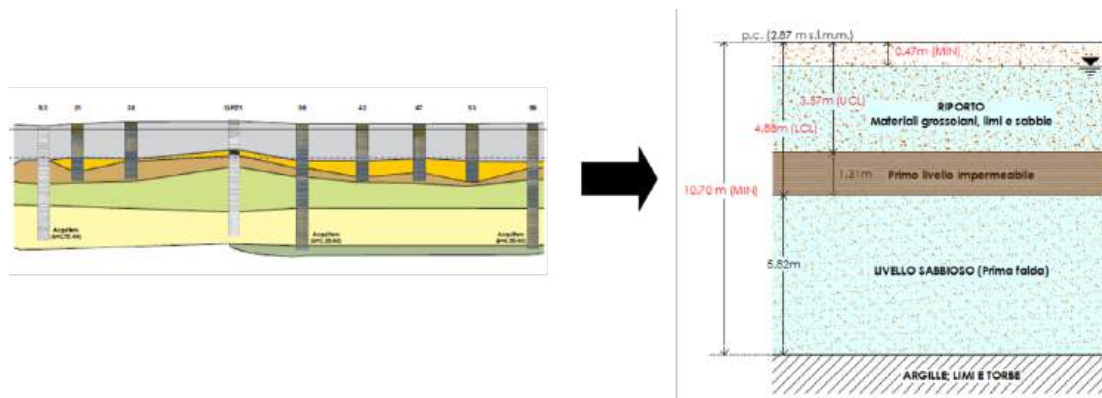


Figura 2 - Esempio dell'influenza della stratigrafia sul MCS

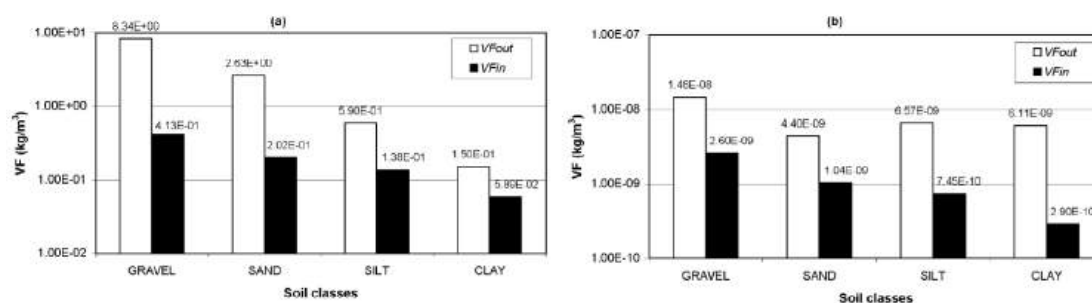


Figura 3 - Fattori di volatilizzazione - benzene (a) indenopirene (b) (Di Sante et al., 2011)

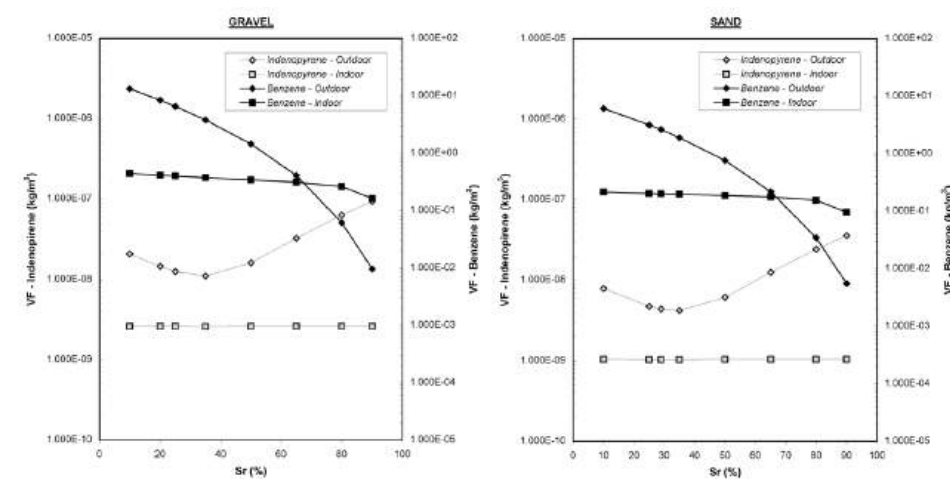


Figura 4 - Andamento di VF_{out} e VF_{in} in funzione del grado di saturazione – depositi ghiaiosi e sabbiosi (Di Sante et al., 2011)

alla stessa stratigrafia, la Figura 6 confronta il risultato in termini di concentrazione di benzene tra il modello stazionario consigliato nelle linee guida Apat ed un modello transitorio più complesso (PTC, Needham, MA), che considera: (1) il decadimento della sorgente nel tempo, dovuto alla possibile volatilizzazione e/o alla progressiva lisciviazione, (2) un **flusso monodimensionale convettivo e dispersivo** di soluto nella zona insatura con adsorbimento lineare e possibile biodegradazione nel

percorso e (3) la diluizione in transitorio del fronte inquinato ad opera delle acque di falda. Entrambi i modelli predicono il superamento della concentrazione di intervento prevista per il benzene dalla normativa italiana (CSC=1 µg/l) ma, mentre il modello stazionario prevede un “immediato” trasferimento di inquinante in falda in concentrazione pari a 0.606 mg/l, il modello transitorio predice un picco di concentrazione di 0.350 mg/l a 55 anni ed è in grado di stimare che la CSC viene

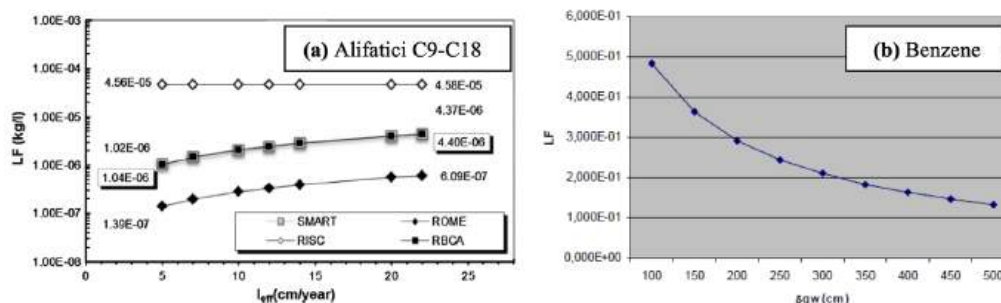
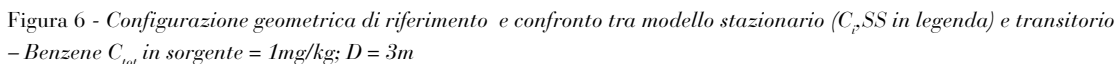
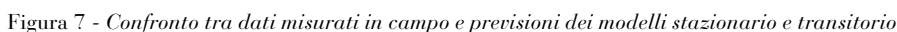


Figura 5 - Andamento di LF: a - in funzione dell'infiltrazione efficace (Di Sante et al., 2013) e dello spessore della zona di miscelazione in falda (APAT, 2008)



accordo con i dati reali mentre il modello

stazionario sovrastima i dati di concentrazione in falda a partire dalla concentrazione nota nel terreno insaturo. Pertanto, sebbene i modelli stazionari siano di più semplice applicazione, il parametro tempo è della massima importanza in quanto fornisce indicazioni essenziali per una simulazione razionale del trasporto di contaminante e soprattutto risultati utili riguardo il margine temporale di cui si dispone per gli interventi di bonifica.



Conclusioni

L'analisi di rischio sanitario-ambientale è indispensabile per definire l'effettiva contaminazione di un sito ed ha pertanto ripercussioni determinanti nella progettazione degli **interventi di bonifica o di messa in sicurezza e di monitoraggio del sito**.

Sono stati illustrati alcuni esempi per evidenziare l'importanza delle competenze geotecniche nell'Analisi di Rischio, che vanno dalla fase iniziale di caratterizzazione alla fase di modellazione della migrazione degli inquinanti.

È stata evidenziata, in particolare, l'importanza della corretta definizione del modello di sottosuolo, la dipendenza dei parametri sito-specifici dalle caratteristiche granulometriche dei terreni e l'importanza della modellazione della migrazione dei contaminanti in condizioni transitorie, ai fini della scelta e della gestione degli interventi di risanamento e del monitoraggio del sito.

Riferimenti bibliografici

APAT (2007) *Documento di riferimento per la determinazione e la validazione dei parametri sito-specifici utilizzati nell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del DLgs 152/06*, Roma

Chen K.F., Wu L.C., Kao C.M. and Gordon Yang C.C. (2004) *Application of Health risk assessment to derive Cleanup levels at a fuel oil spill site*, *Pract. Period. of Hazard., Toxic and Radioactive Waste Management*, 8, 99-104.

Di Sante M., Mazziere F. and Pasqualini E. (2009) *Assessment of the sanitary and environmental risks posed by a contaminated industrial site* *Journal of Hazardous Materials* 171, 524-534.

Di Sante M., Mazziere F., Pasqualini E. (2011) *Tier 2 Risk Assessment: Sensitivity Of Volatilization Factors To Site-Specific Parameters* In: *Advances in Environmental Research – Vol 9*, Hauppauge, NY: NOVA Publisher edition, 341-362.

Di Sante M., Mazziere F., Fratalocchi E., Brianzoni V., Pasqualini E. (2013). *A possible approach for Tier 2 risk assessments of polluted sites: Framework, computer spreadsheet and application* *Computers and Geotechnics*, 56, 16-27.

Di Sante M., Mazziere F., Fratalocchi E. (2021) *Recent developments in site specific risk assessment for polluted sites*. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management* 8(3) 629-638.

ISPRA/SNPA Linee Guida n. 16/2018

Metodiche analitiche per le misure di aeriformi nei siti contaminati– ISBN: 978-88-448-0923-2

ISPRA/SNPA (2019) *Nota Tecnica di indirizzo per il Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente - Utilizzo dei software per l'Analisi di Rischio sito-specifica dei siti contaminati* Settembre 2019

Johnston P.M. and O'Kelly B.C. (2014) *'Importance of environmental geotechnics', Env. Geotech, paper 13.00123, 1-3.*

Simpson B. and Tatsuoka S. (2008)

'Geotechnics: the next 60 years', Géotechnique, 58, 357-368.



A CURA DI PPAN

La rivoluzione ipogea della Val di Non

Nelle Dolomiti, in Val di Non, un nuovo gioiello tecnologico diventa **esempio di sostenibilità**: le celle ipogee del Consorzio Melinda, ricavate all'interno della miniera di Rio Maggiore. Un perfetto connubio tra ingegneria e valorizzazione del territorio: a 900 metri dall'ingresso della cava, le mele vengono conservate in modo naturale, sfruttando la temperatura costante e l'umidità ottimale del sottosuolo. Questo permette un **risparmio energetico del 30%** rispetto ai magazzini tradizionali. Inoltre, grazie alla nuova funivia, le mele raggiungono queste cavità senza passare per le strade, abbattendo così le emissioni di anidride carbonica e il traffico di mezzi pesanti.





Geo Network®
SOFTWARE PER L'EDILIZIA E LO STUDIO PROFESSIONALE

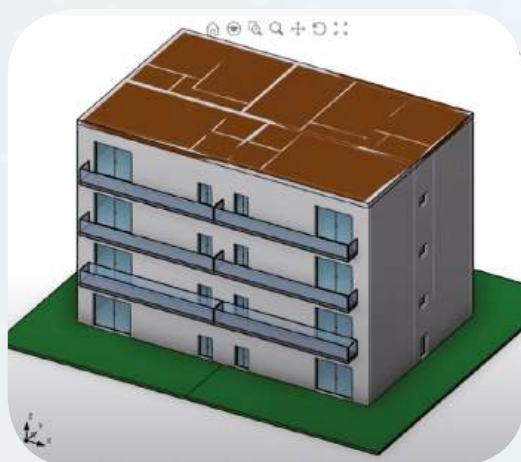


OUT-2025-08978

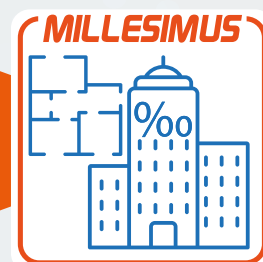
MILLESIMUS 7

Il software più intuitivo e completo per

***Tabelle Millesimali, Regolamenti Condominiali,
Contabilizzazione del Calore e Ripartizione Spese.***



- Superfici
- Volumi
- Fattori di luminosità
- Coefficienti di piano, di orientamento, di destinazione e di utilizzo



**Nuovo input grafico 3D avanzato (compatibile con IFC)
Disegna o importa il modello 3D e ottieni automaticamente
i dati per il calcolo delle tabelle millesimali!**

ALTRE NOVITÀ 2025

- **Nuovo comando "Importazione XML APE2015 esteso": compila automaticamente i fabbisogni energetici del condominio a partire da un file xml prodotto da qualsiasi software certificato CTI.**
- **Interfaccia d'uso riorganizzata.**

GARANZIE

- assistenza tecnica gratuita ed esperta inclusa nel canone
- soddisfatto o rimborsato entro 30 gg dalla data del tuo acquisto

Approfitta subito delle offerte promozionali in corso su:

www.geonetwork.it



Geo Network®
SOFTWARE PER L'EDILIZIA E LO STUDIO PROFESSIONALE
DIVISIONE FORMAZIONE

Via Del Corso, 2 - 19038 Sarzana (SP) - Tel. 0187 622198 - Fax 0187 627172
info@geonetwork.it - www.geonetwork.it

AZIENDA CERTIFICATA



“Effetti di sito” e sismi: l’analisi dei fenomeni

ALESSANDRO PAGLIAROLI

Professore associato, Università degli Studi ‘G. d’Annunzio’ Chieti

Gli effetti del moto sismico in superficie, sia sull’ambiente naturale che sul costruito, dipendono dalla **quantità di energia liberata dalla sorgente sismica** e dai molteplici fenomeni fisici che avvengono durante la propagazione delle onde sismiche dalla sorgente al sito e a seguito dell’interazione tra le onde e le condizioni geologiche, morfologiche e geotecniche locali (condizioni locali). Questi ultimi fenomeni, globalmente indicati come “effetti di sito”, possono alterare in maniera fondamentale lo scuotimento sismico e produrre importanti fenomeni di instabilità. Con il termine di Risposta Sismica Locale (Rsl) si indica l’insieme delle modifiche che il moto sismico in ingresso al sito subisce, in termini di ampiezza, contenuto in frequenza e durata, per effetto delle condizioni locali. Gli effetti locali di instabilità indicano, invece, **i fenomeni che comportano lo sviluppo di significative deformazioni permanenti** (ad esempio, frane,

densificazione o liquefazione di depositi sabbiosi, collassi di cavità, fagliazione superficiale). I principali effetti di sito che possono manifestarsi a seguito di un evento sismico sono mostrati in Figura 1. La Rsl è dovuta essenzialmente a:

1. **effetti stratigrafici**, che si verificano quando depositi di terreno deformabili poggiano su un basamento rigido;
2. **effetti di valle** (o di bordo) che hanno luogo allorché la morfologia del contatto tra basamento e terreni di copertura assume andamenti complessi caratterizzati da geometrie irregolari;
3. **effetti topografici** in prossimità di strutture morfologiche superficiali (es. amplificazione del moto sismico alla cresta di un rilievo roccioso).

L’analisi quantitativa degli effetti di sito, eseguita alla scala delle opere di ingegneria, consente una stima più accurata delle

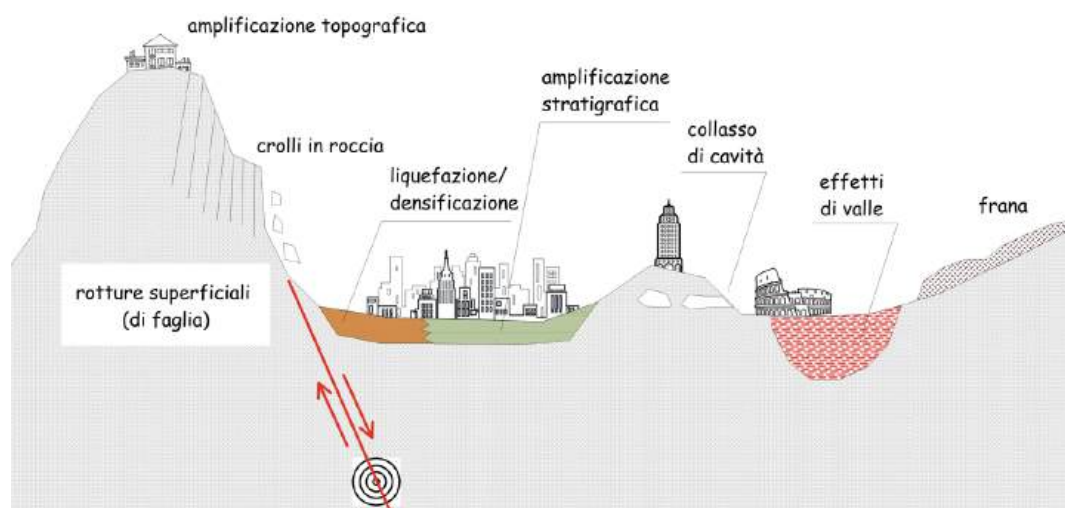


Figura 1 - Scenari di pericolosità sismica locale (Pagliaroli, 2018).

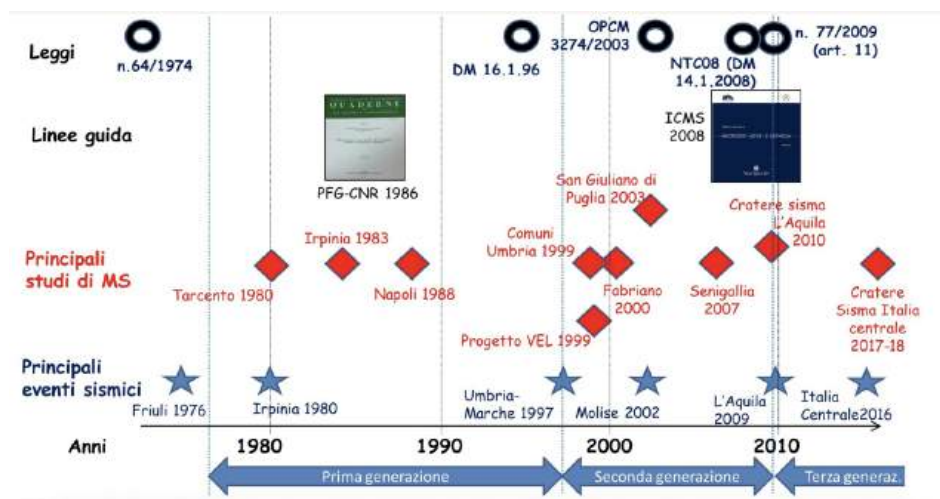


Figura 2 - Storia della MS in Italia (Pagliaroli, 2018).

sollecitazioni sismiche sulle strutture e la valutazione delle condizioni di stabilità in condizioni sismiche. L'analisi degli effetti di sito a scala urbana, ovvero la perimetrazione di aree a comportamento sismico omogeneo (in termini di risposta sismica locale e di instabilità permanenti), costituisce invece l'oggetto degli studi di Microzonazione Sismica (MS), che trovano applicazione nella pianificazione territoriale e dell'emergenza, nella ricostruzione post-sisma e nel supporto alla progettazione antisismica (Pagliaroli, 2018).

La Microzonazione Sismica in Italia

Già due secoli fa, sulla base di osservazioni a seguito di eventi sismici, era stato intuito il ruolo fondamentale degli effetti di sito nella distribuzione del danneggiamento. Negli ultimi 50 anni, anche in seguito allo sviluppo di nuove discipline come l'**ingegneria geotecnica sismica**, si è tentato di introdurre la valutazione degli effetti locali anche in fase previsionale, giungendo così alla messa a punto di procedure di MS.

Secondo Crespellani (2014), possiamo individuare tre generazioni di studi di MS in Italia (Figura 2). La prima generazione inizia con gli studi di MS eseguiti dopo terremoti importanti come quelli del Friuli (1976) e dell'Irpinia (1980), accompagnati in questi anni da alcuni progetti pilota. Questa esperienza è sfociata nella produzione di prime linee guida per la MS nel 1986 a cura del gruppo di lavoro "Microzonazione Sismica" del progetto finalizzato geodinamica del Cnr. La Seconda generazione di studi di MS inizia dopo il terremoto Umbria-Marche del 1997: insieme

a studi post evento, si assiste ad un notevole impulso dato dalle Regioni agli studi di MS con molteplici progetti pilota (ad es. il progetto VEL in Regione Toscana). Il punto di arrivo di queste esperienze sono gli indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica (Icms) del 2008 a cura del Dipartimento della Protezione Civile e della Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome (gruppo di lavoro, 2008).

In accordo agli Icms, gli studi di MS sono eseguiti secondo tre livelli di approfondimento crescente: livello 1, qualitativo e basato essenzialmente sulle **condizioni geologiche e morfologiche**, raccolta di dati pregressi ed esecuzione di indagini geofisiche speditive; livello 2, semiquantitativo, basato su **indagini di approfondimento e sull'applicazione di abachi** per la valutazione dell'amplificazione del moto sismico e metodi empirici/analitici per verifiche di liquefazione/stabilità dei pendii; livello 3, quantitativo e di dettaglio, basato su **indagini geologiche, geotecniche e geofisiche** e su modellazioni numeriche della risposta sismica. Gli Icms sono subito stati applicati negli studi di MS per la ricostruzione della conca aquilana a seguito del sisma del 2009; questa esperienza ha portato ad un aggiornamento degli stessi (gruppo di lavoro, 2011).

La terza generazione inizia a seguito della legge 77/2009 che con l'art. 11 (Piano nazionale per la prevenzione del rischio sismico) stanziava fondi per la prevenzione del rischio sismico destinati, tra l'altro, all'esecuzione di studi di MS nei comuni italiani. Si tratta di un passaggio importante, perché gli studi di MS diventano uno strumento ordinario di riduzione del rischio sismico

sull'intero territorio nazionale da eseguire “in tempo di pace” cioè non più “riconcorrendo” gli eventi sismici. Un'altra tappa importante della storia della MS in Italia è la **costituzione del Centro per la Microzonazione Sismica** e le sue applicazioni avvenuta nel 2015 su iniziativa del dipartimento Terra e Ambiente del Cnr. L'eterogeneità della composizione del centro, formato da molteplici dipartimenti universitari ed enti di ricerca, riflette **l'aspetto multidisciplinare degli studi di MS** che coinvolgono discipline quali la geologia, la geofisica applicata, la sismologia applicata, l'ingegneria geotecnica e strutturale, l'urbanistica.

Il CentroMS è stato coinvolto nelle attività di MS successive alla sequenza sismica dell'Italia centrale del 2016-2017, coordinando i professionisti incaricati degli studi di MS nei comuni delle quattro regioni colpite dal sisma: Lazio, Marche, Umbria e Abruzzo. Questi studi di MS sono consultabili e scaricabili sul sito gestito dalla Struttura del Commissario. Sul sito del CentroMS sono altresì disponibili gli lcms e le linee guida di approfondimento su aspetti specifici degli studi.

Stato di attuazione degli studi

La legge 77/2009 prevede che possono essere finanziati per la MS quei comuni caratterizzati da una pericolosità sismica maggiore di una certa soglia espressa in termini di accelerazione di picco su suolo rigido (classe A delle Norme Tecniche) con tempo di ritorno 475 anni ($ag \geq 0.125g$). I comuni aventi diritto sono 3881, di cui il 77% è dotato di studi di MS validati almeno di livello 1, per un totale di 2092 studi di livello 1 e 888 di livello 2/3 (aggiornamento alla data del 30.06.2025). In Figura 3 è riportato il dettaglio degli studi disponibili per le Regioni Italiane, campite con un colore di fondo che indica la percentuale di comuni che hanno studi di MS. Le statistiche sono tratte dal portale Web MS-CLE che riporta altresì i principali prodotti cartografici e informatici degli studi sull'intero territorio nazionale consultabili su WebGis.

Gli studi di MS, oltre ad un imprescindibile strumento per politiche di riduzione del rischio sismico, rappresentano un prezioso archivio di dati geologici, geofisici e geotecnici, acquisiti ed archiviati con procedure standardizzate, che possono essere usati per molteplici finalità scientifiche, tra cui progetti di ricerca.

La MS è riconosciuta come uno strumento di riduzione del rischio sismico attraverso l'implementazione dei suoi prodotti nelle azioni di pianificazione territoriale e gestione del territorio (Aversa e Crespellani, 2016). In fase di pianificazione, la MS consente di collocare le aree verdi nelle zone più critiche, ubicare gli edifici strategici nelle zone più sicure, definire **priorità per gli interventi di miglioramento sismico nelle zone abitate**, identificare i punti più critici per le infrastrutture e le reti di servizio a sviluppo lineare.

Gli studi di MS sono inoltre fondamentali nella pianificazione dell'emergenza consentendo ad esempio l'individuazione delle aree dove collocare le zone di raccolta, le aree di accoglienza/ricovero, le strade di collegamento in fase di emergenza.

Riguardo il possibile uso della MS nella progettazione, occorre prima di tutto precisare che MS e Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) operano con finalità e a scale diverse (Crespellani e Martelli, 2008). Tuttavia, gli studi di MS di livello più approfondito (Livelli 2 e 3) sono un importante riferimento per orientare il progettista sulla natura dei rischi sismici del sito in cui ricade il manufatto.

Gli studi di MS possono sicuramente supportare la progettazione in quanto (Pagliaroli, 2018): forniscono generalmente un importante database di indagini, aiutando il progettista in una programmazione più mirata e consapevole delle indagini alla scala del manufatto; indicano se il manufatto ricade in un'area caratterizzata da **comportamento instabile del terreno in occasione di sisma** (es. liquefazione) mostrando al progettista l'opportunità di svolgere indagini e analisi mirate alla verifica delle condizioni di stabilità; le carte di livello 3, fornendo fattori di amplificazione e spettri di risposta dell'accelerazione, danno una stima quantitativa dell'entità dell'amplificazione locale e aiutano il progettista nella scelta tra l'approccio semplificato di norma (basato sulle categorie di sottosuolo) e l'esecuzione di analisi di Rsl ad hoc per il calcolo delle azioni sismiche. Si veda a tal proposito quanto proposto nell'ordinanza n. 55 del 24 Aprile 2018 che nell'Allegato 1 definisce i “Criteri generali per l'utilizzo dei risultati degli studi di Microzonazione Sismica di livello 3 per la ricostruzione dei territori colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016”.

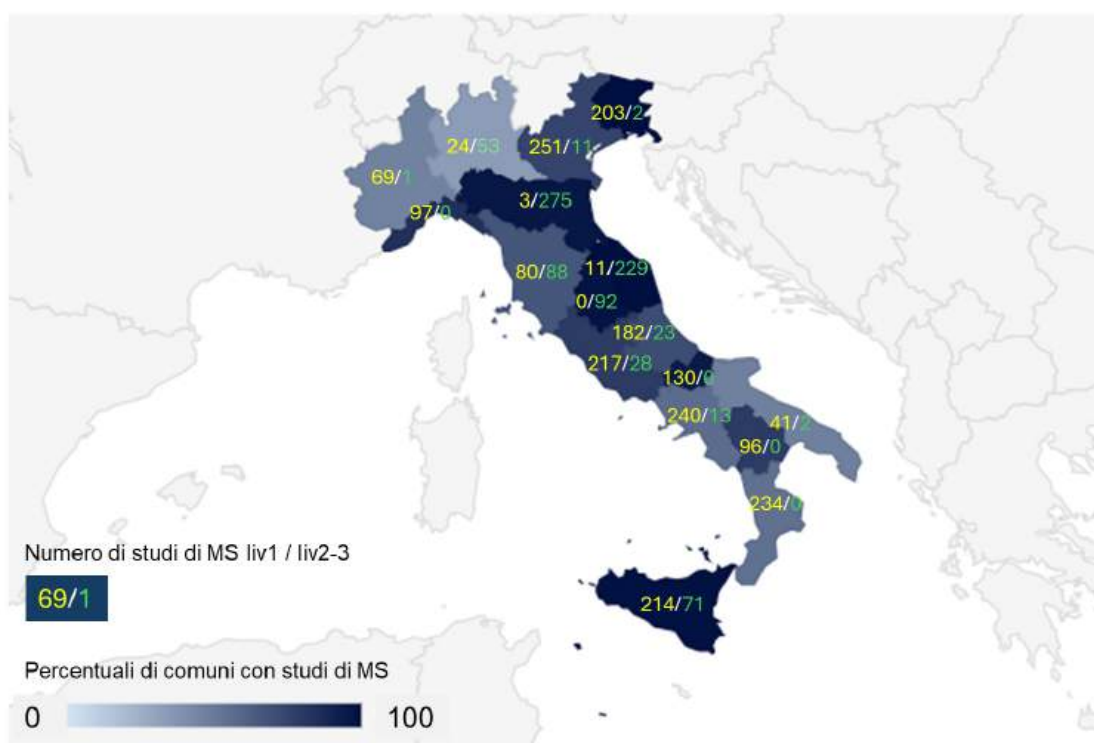


Figura 3 - Scenari di pericolosità sismica locale (Pagliaroli, 2018).

Riferimenti bibliografici

Aversa S., Crespellani T. (2016). *Seismic Microzonation: an essential tool for urban planning in seismic areas*. *UPLanD – Journal of Urban Planning, Landscape & environmental Design*, 1(1), 121-152.

Crespellani T., Martelli L. (2008). *Microzonazione sismica e Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008)*. *Ingegneria sismica*, n. 2, pp. 51-54

Crespellani T. (2014). *Seismic Microzonation in Italy: a brief history and recent experiences*. *Ingegneria Sismica*, anno XXXI, n.2, pp. 3-31.

Gruppo di Lavoro ICMS (2008). *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*.

Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome-Dipartimento della Protezione Civile, <https://www.centromicrozonazioneisismica.it/strumenti/linee-guida-ms/>

Gruppo di Lavoro ICMS (2011). *Contributi per l'aggiornamento degli Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. *Ingegneria Sismica*, anno XXVIII, n.2, 2001, 68 pp.

Pagliaroli A. (2018). *Key issues in Seismic Microzonation studies: lessons from recent experiences in Italy*. *Rivista Italiana di Geotecnica - Italian Geotechnical Journal*, n. 1/2018, pp. 5-48.

8 ragioni per scegliere MIDAS FEA NX

1

Analisi di tunnel e scavi in ambito urbano

2

Analisi di interazione terreno-struttura
mediante l'uso del elemento interfaccia

3

Risposta sismica locale ed analisi
dinamiche in generale

4

Analisi idrauliche per valutazione dei
moti di filtrazione e consolidazione

5

Effetti reologici per materiali strutturali
e viscosità nei terreni

6

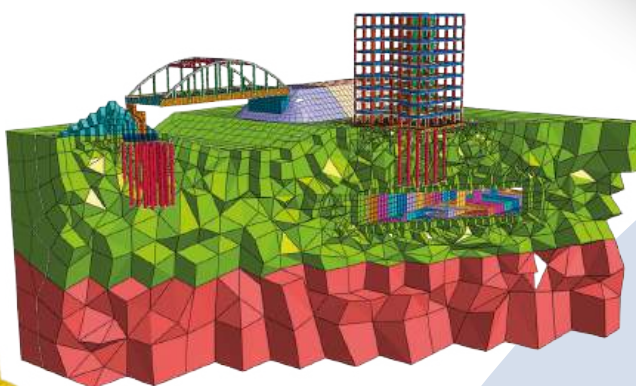
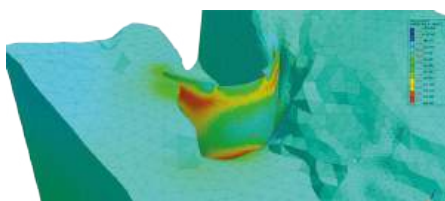
Analisi della trasmissione del calore e
del calore di idratazione

7

Stabilità dei versanti

8

Valutazione dello stato fessurativo per cemento
armato e muratura e modelli non lineari per l'acciaio



CSPFEA
ENGINEERING SOLUTIONS

Via Zuccherificio, 5/d
35042 Este (Pd) - Italy
tel. +39 0429 602404
info@cspfea.net
www.cspfea.net

C'era una volta il coefficiente ϵ

STEFANO AVERSA

Dipartimento di Ingegneria, Università degli studi di Napoli Parthenope

LUCA DE SANCTIS

Dipartimento di Ingegneria, Università degli studi di Napoli Parthenope



era una volta ...

Così iniziavano quasi tutte le favole che ascoltavamo da bambini

e, dopo questo incipit comune,

eravamo abituati a sentire lo snocciolarsi di storie di protagonisti, ovviamente “buoni”, che si confrontavano con il “male” esterno, sul quale, alla fine, immancabilmente prevalevano.

All'inizio della storia dell'ingegneria

antisismica in Italia, le azioni sismiche erano un male esterno con cui, in alcune zone della nostra Penisola, le strutture dovevano confrontarsi. Si trattava di azioni pseudostatiche, proporzionali alle masse delle strutture, attraverso delle accelerazioni equivalenti, che erano fissate per legge e che erano indipendenti dal comportamento della struttura e, a maggior ragione, del sottosuolo con cui esse interagivano. Con queste azioni si conducevano le verifiche tradizionali: alle tensioni ammissibili per le strutture e, ad esempio, di capacità portante per le fondazioni.

Con le Norme Tecniche per le Costruzioni in Zone Sismiche del 1986 (DM 24/01/1986),

la nostra storia inizia ad abbandonare il carattere ideale e favolistico di separazione netta tra bene e male. Si riconosce che le azioni sismiche (il “male”) possano essere modificate tenendo conto del comportamento dinamico della struttura, attraverso una sorta di spettro di risposta. Inoltre, si introduce in nuce il concetto di amplificazione stratigrafica attraverso un coefficiente amplificativo dell'accelerazione di progetto, indicato con “ ϵ ” e variabile tra 1.0 e 1.3, sulla base di indicazioni di tipo qualitativo sul sottosuolo. Le verifiche in fondazione si continuavano a condurre con gli usuali approcci per le verifiche

statiche. La revisione delle Norme del 1996 (DM 16/01/1996) limita la scelta di ϵ tra due valori secchi (1.0, per sottosuolo “buono” e 1.3 per sottosuolo “cattivo”).

Così ha inizio la nostra storia, ed è questa la ragione del titolo del presente contributo.

Nel seguito, senza ripercorrere tutta

l'evoluzione della ricerca nel campo

dell'ingegneria geotecnica sismica (per le fondazioni), si traccia una breve sintesi del livello attuale delle conoscenze, che già trovano applicazione in ambito professionale.

Requisiti prestazionali delle fondazioni

Attualmente, si riconosce che le fondazioni sono parte di un organismo strutturale unitario con la parte fuori terra e che esse devono essere verificate congiuntamente con tale parte, con approcci coerenti tra loro (Aversa, 2025).

Il principio di carattere generale a cui si ispirano sia le Ntc (2018) sia l'Eurocodice 8-5, nella sua versione più recente (FprEN1998-5), è che le fondazioni debbano resistere agli effetti della risposta del terreno e degli elementi soprastanti senza subire spostamenti incompatibili con lo stato limite di riferimento. Il testo delle Ntc prevede che le **verifiche delle fondazioni siano condotte con riferimento ai soli SLV e SLD**. Nelle prime, il confronto fra domanda e capacità può essere effettuato in termini di forze o di spostamento, in funzione del metodo di analisi della struttura.

Nelle verifiche SLD tale confronto dovrebbe essere condotto in termini di spostamento, anche se l'attuale versione delle Ntc (2018) ammette anche confronti in termini di forze,

per una presunta scarsa capacità dei tecnici a operare in termini di spostamenti. Il progresso e la diffusione delle conoscenze sono tali da evitare questo escamotage, tanto che, sulla base dei risultati di varie annualità di ricerca ReLUIS, Aversa (2025) suggerisce di modificare la prossima versione delle Ntc in tal senso.

La definizione dei requisiti prestazionali, i metodi di verifica e i criteri di accettabilità della prestazione delle fondazioni sono certamente aspetti cruciali della progettazione in zona sismica. È parimenti rilevante definire correttamente il **modello d'interazione fondazione-terreno-struttura**, in quanto da ciò dipende la risposta della costruzione nel suo complesso. In tal senso, la modellazione dell'interazione dinamica terreno-fondazione-struttura è fra gli aspetti più rilevanti della progettazione in zona sismica.

Interazione dinamica terreno-fondazione-struttura

Questo problema può essere studiato con diversi livelli di complessità. Il più semplice è quello in cui si assume che il sistema fondazione-terreno sia infinitamente rigido rispetto alla struttura, rendendo così la soluzione indipendente dall'interazione. La valutazione dello stato di sforzo nelle parti strutturali della fondazione richiede, però, che sia comunque definito un modello di interazione della sola fondazione con il terreno, su cui vanno applicate le azioni trasmesse dalla struttura derivate dall'analisi a base fissa. Anche questo metodo semplificato rappresenta un grande passo avanti rispetto

a quanto previsto dalle norme del '86 e '96, in quanto prevede **uno studio di risposta sismica locale alla quota del piano di posa delle fondazioni** (effettuato anche in maniera semplificata, con le categorie di sottosuolo), condotto tenendo conto della stratigrafia della parte più superficiale del sottosuolo e delle rigidità a taglio dei terreni ivi presenti.

In molti casi, tuttavia, la previsione della domanda sismica nella struttura non può prescindere dalla modellazione dell'interazione dinamica terreno-fondazione-struttura (Gazetas 1984, Makris et al. 1996, Silvestri et al. 2024). In questo ambito è conveniente fare una prima distinzione fra sistemi accoppiati, in cui **l'azione sismica dipende anche dall'interazione, e modelli disaccoppiati**, in cui l'interazione è modellata in modo esplicito ma l'azione sismica è indipendente da questa. Il primo approccio consiste nell'analisi completa del sistema a tre componenti (struttura in elevazione-fondazione-sottosuolo), svolta solitamente nel dominio del tempo mediante l'impiego di modelli costitutivi ad hoc per la struttura e per il terreno, che tengano conto di non-linearità e irreversibilità di comportamento. Si tratta tuttavia di un approccio per lo più limitato a scopi di ricerca.

L'alternativa più frequentemente utilizzata, con innegabili vantaggi computazionali, è il sistema disaccoppiato, nel quale l'interazione è modellata mediante modelli a parametri concentrati visco-elasto-plastici. In tale ambito, l'opzione più avanzata è il **modello elasto-plastico a parametri concentrati o macro-elemento**, in cui il sistema fondazione terreno è rappresentato da un modello concentrato

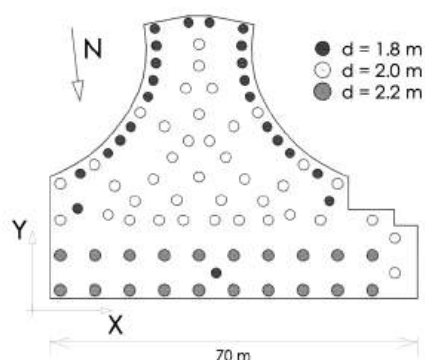
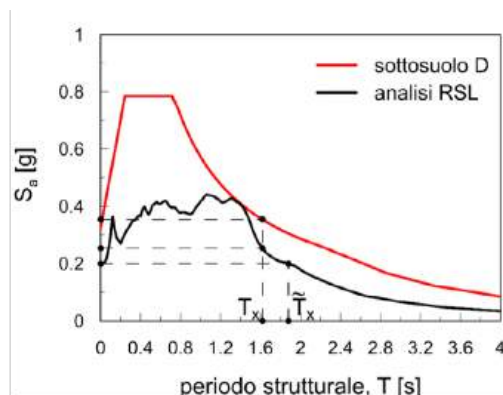


Figura 1 - Torre A del Palazzo di Giustizia di Napoli: modifica della domanda sismica in direzione X (da Bilotta et al., 2015)

in un nodo in grado di descrivere l'evoluzione in campo non lineare di forze generalizzate e spostamenti coniugati per qualunque percorso di carico. Per approfondimenti sul macro-elemento si può fare riferimento all'ampia letteratura scientifica, anche sviluppata da ricercatori italiani: ad esempio, per le fondazioni superficiali, Nova e Montrasio (1991), Gottardi et al. (1999), Grange et al. (2008), Marchi et al. (2011), Pisanò et al. (2014); per le fondazioni a cassone, Cassidy et al. (2006), Foglia et al. (2015); per le fondazioni su pali, Gorini e Callisto (2023), Iodice et al. (2024).

A seguire, in una scala con grado di complessità decrescente, la seconda opzione è il modello visco-elastico a parametri concentrati, spesso indicato come Lpm (Lumped Parameter Model, Wolf, 1991), un assemblaggio di molle, smorzatori e masse fittizie in grado di riprodurre la risposta multi-modale del sistema fondazione-terreno (Pinto e Franchin, 2010; Carbonari et al., 2012, Noto et al., 2022).

Indipendentemente dal modo con cui si possa considerare l'interazione terreno-fondazione-struttura nella valutazione dell'azione sismica, vale la pena evidenziare che essa è spesso vantaggiosa in termini di riduzione della domanda, come si vede in Figura 1, dove è riportato il caso della Torre A del Palazzo di Giustizia di Napoli (Bilotta et al. 2015). La considerazione esplicita dell'interazione terreno-fondazione- struttura, in questo caso, allungando il periodo proprio (da 1.6 s a 1.9 s) e incrementando la capacità dissipativa, comporta la riduzione della pseudoaccelerazione da 0.25g a 0.2g.

Al contempo, questo vantaggio in termini di azioni si accompagna spesso a un incremento degli spostamenti assoluti della struttura. La Figura 2, relativa al caso di una struttura molto rigida, quali le torri delle Mura di Costantinopoli, mostra invece che la considerazione dell'interazione incrementa la domanda di progetto (Somma et al. 2023).

A tal proposito, l'Eurocodice 8 parte 1 (prEN_1998-1-1) richiede che si debba considerare la **deformabilità del complesso fondazione-terreno** nei casi in cui questa possa comportare un peggioramento della domanda sismica nella struttura. Laddove invece la deformabilità del sistema fondazione-terreno abbia un effetto favorevole, è lecito tenerne conto, ma con criteri cautelativi. Sull'applicabilità di queste indicazioni normative si rinvia a Aversa (2025).

Ai fini della modellazione dell'interazione dinamica è utile fare una distinzione fra due grandi tipologie di fondazione, quella a platea unica, eventualmente su pali, e quella con plinti o cassoni isolati. Per la prima tipologia, è possibile idealizzare l'interazione con un unico macro-elemento multi-assiale, assumendo che la deformata della struttura di fondazione sia un atto di moto rigido. In questo caso, si devono considerare le deformabilità traslazionali e rotazionali (eventualmente torsionale) del **sistema fondazione-terreno**, mentre si può trascurare l'effetto delle vibrazioni verticali. Nel caso della seconda tipologia, la trasmissione delle azioni orizzontali alla struttura può comportare significative oscillazioni verticali dei singoli elementi di fondazione. Si deve perciò tenere conto anche della deformabilità verticale delle fondazioni.

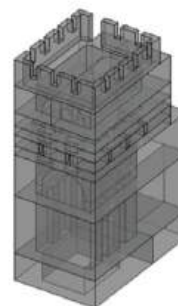
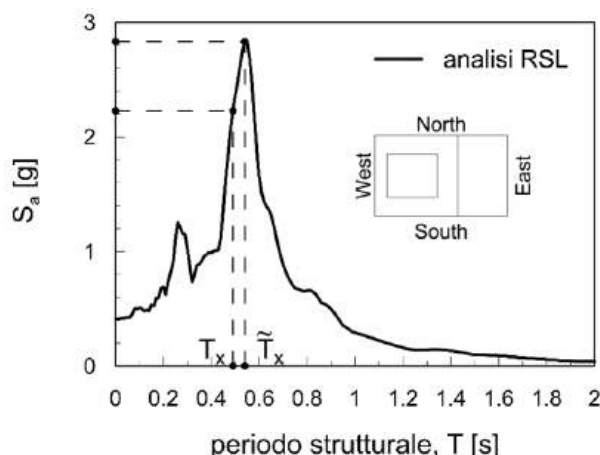


Figura 2 - Torre N. 19 delle Mura di Costantinopoli: spettro di risposta e modifica della domanda in direzione NS (da Somma et al., 2023)

La modellazione dell'interazione dinamica terreno-fondazione-struttura deve seguire quella della struttura in elevazione. **La strategia di modellazione dell'interazione** deriva dal metodo di analisi della struttura e dalla modalità di rappresentazione dell'azione sismica. Nell'analisi lineare della struttura la verifica di sicurezza della fondazione è svolta in una fase successiva, in cui si confronta la capacità portante della fondazione con la domanda desunta dal modello di interazione. Nel caso delle analisi non lineari, la verifica in termini di capacità portante non ha significato, in quanto, con questo tipo di modellazione, la verifica è in termini di spostamenti.

Verifiche geotecniche e strutturali delle fondazioni

Quando si utilizza l'analisi lineare per la struttura in elevazione, anche per le verifiche SLV, è necessario verificare la fondazione nei confronti del collasso per carico limite sotto azioni multi-componente e, limitatamente al caso delle fondazioni superficiali, dello scorrimento sul piano di posa. La verifica nei confronti di meccanismi di collasso per carico limite dovrebbe essere effettuata preferibilmente con **l'impiego dei diagrammi di interazione** (ad esempio, Nova e Montrasio 1991; Butterfield e Gottardi, 1994, per le fondazioni superficiali e di Laora et al. 2019, 2022, per quelle su pali), tenendo conto del percorso di carico atteso per le azioni del terremoto. In Figura 3, si riporta, a titolo di esempio, il diagramma di interazione nel piano Q-M per la fondazione su pali di un viadotto autostradale con la rappresentazione degli stati di sollecitazione per le combinazioni SLU ed SLV (Aversa et al. 2025).

Gli spostamenti della fondazione dell'analisi modale valutati con le ordinate dello spettro SLD devono essere tali da consentire la immediata utilizzabilità della costruzione. Gli spostamenti della fondazione possono essere ricavati direttamente dal modello di analisi strutturale combinando gli effetti dei modi di vibrare prevalenti. Appare subito evidente **l'illogicità dell'approccio convenzionale**, in cui si applicano sulla fondazione le azioni del sistema a base fissa; qualora si tema che gli spostamenti della fondazione siano incompatibili con lo stato limite di riferimento, questa dovrebbe essere inclusa nel modello di analisi strutturale. Quando si fa invece

riferimento all'analisi non lineare, statica o dinamica, per lo studio della struttura in elevazione, la valutazione della prestazione è basata sul confronto fra domanda e capacità in spostamento della struttura. **Eventuali spostamenti permanenti delle fondazioni si possono considerare accettabili**, purché questi non comportino l'attingimento della capacità della struttura per lo stato limite considerato. In modo del tutto analogo la verifica di capacità delle fondazioni deve essere effettuata in termini di spostamento, controllando che non siano superate le soglie di capacità della fondazione stessa.

In tutte le analisi di interazione vale il principio generale per cui i parametri del modello interattivo devono essere calibrati tenendo conto della rigidità del terreno mobilitata dal livello di terremoto dello stato limite considerato, ricavata attraverso un'adeguata campagna di indagini, definita dal progettista, come da prescrizioni di Ntc.

Infine, con le Ntc (2008) e, ancor prima, con l'Opcm 3274, è piombata sulla testa dei progettisti la questione dell'interazione cinematica, soprattutto per la valutazione di sollecitazioni aggiuntive (rispetto a quelle inerziali) all'interno degli elementi di fondazione (tipicamente, nei pali) per effetto della differente rigidità rispetto al terreno con cui interagiscono. Tale prescrizione normativa (con le sue limitazioni) ha dato luogo a un fiorire di metodologie di analisi, anche da parte di ricercatori italiani (ad esempio, Maiorano et al., 2009; de Sanctis et al., 2010; Di Laora et al. 2012, 2013, Sica et al., 2013), che

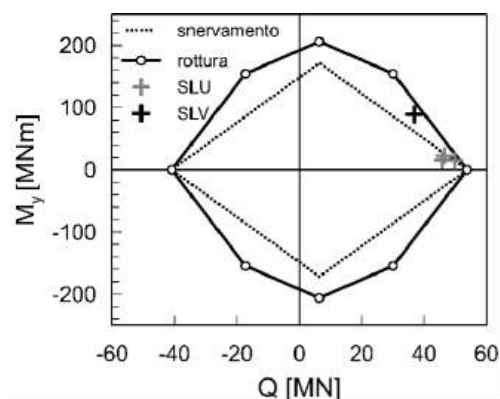


Figura 3 - Dominio di collasso e dominio di snervamento per un gruppo di pali 3x4 (da Aversa et al., 2025).

permettono di valutare i momenti flettenti cinematici in corrispondenza di significative variazioni stratigrafiche o in testa ai pali, all'attacco con gli elementi di collegamento. A causa dello sfasamento temporale, infatti, le sollecitazioni massime da interazione cinematica e inerziale, non si verificano contemporaneamente. L'opzione più cautelativa è quella di sommare gli effetti massimi. Tuttavia, nei casi in cui c'è un significativo scostamento fra la frequenza naturale del sottosuolo e quella del sistema a base deformabile, si possono applicare criteri meno restrittivi.

Conclusioni

C'era una volta il coefficiente ϵ per simulare tutto quanto c'era sotto il piano di posa delle fondazioni. **Ora c'è molto di più.** Un breve accenno sui progressi è stato dato in questo testo, che ha essenzialmente lo scopo di mostrare i progressi che si sono avuti nella ricerca applicata.

Riferimenti bibliografici

Aversa S. (2025). *Geotecnica. Contributi ReLUIS per una revisione della normativa tecnica italiana. Esiti delle attività svolte nell'ambito dei progetti DPC-ReLUIS*. (Eds. Raffaele Landolfo Maria Antonietta Aiello Mauro Dolce). Doppia Voce, Napoli: 129-168

Aversa S., de Sanctis L., Iovino M., Maiorano R.M.S. (2025). *Indagini, verifiche e interventi su fondazioni di ponti esistenti. Atti del XXVIII Convegno Nazionale di geotecnica, Venezia 2025*: 3-44

Bilotta E., de Sanctis L., Di Laora R., D'Onofrio A., Silvestri F. (2015). *Importance of seismic site response and soil-structure interaction in dynamic behaviour of a tall building. Géotechnique*, 2015, 65(5): 391-400

Butterfield R., Gottardi G. (1994). *A complete three-dimensional failure envelope for shallow footings on sand. Géotechnique*, 1994, 44(1): 181-184

Carbonari S., Dezi F., Leoni G. (2012). *Nonlinear seismic behaviour of wall-frame dual systems accounting for soil-structure interaction. Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2012, 41(12): 1651-1672

Cassidy M.J., Randolph M.F., Byrne B.W. (2006). *A plasticity model describing caisson behaviour in clay. Applied Ocean Research*,

2006, 28(5): 345-358

Di Laora R., Mandolini A., Mylonakis G. (2012). *Insight on kinematic bending of flexible piles in layered soil. Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2012, 43: 309-322

Di Laora R., Mylonakis G., Mandolini A. (2013). *Pile-head kinematic bending in layered soil. Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2013, 42(3): 319-337

Di Laora, R., de Sanctis, L., Aversa, S. 2019. *Bearing capacity of pile groups under vertical eccentric load. Acta Geotechnica*, 14(1): 193-205. DM 16/01/1996

DM 16/01/1996 *Norme Tecniche per le Costruzioni in Zone Sismiche. Ministero dei Lavori Pubblici.*

DM 24/01/1986 *Norme Tecniche per le Costruzioni in Zone Sismiche. Ministero dei Lavori Pubblici.*

Foglia A., Gottardi G., Goroni L., Ibsen L.B. (2015). *Modelling the drained response of bucket foundations for offshore wind turbines under general monotonic and cyclic loading. Applied Ocean Research*, 52: 80-91.

FprEN 1998-5. *Eurocode 8 – Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance – Part 5: Geotechnical aspects, foundations, retaining and underground structures.*

European Standards. CEN, 2024

Gazetas G. (1984). *Seismic response of end-bearing single piles. International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 1984, 3(2): 82-93

Gorini, D.N., Callisto, L. 2023. *A multiaxial inertial macroelement for deep foundations. Computers and Geotechnics*, 155, 105222.

Gottardi et al. (1999).

Grange S., Kotronis P., Mazars J. (2008). *A macro-element for a circular foundation to simulate 3D soil-structure interaction. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 2008, 32(10): 1205-1227

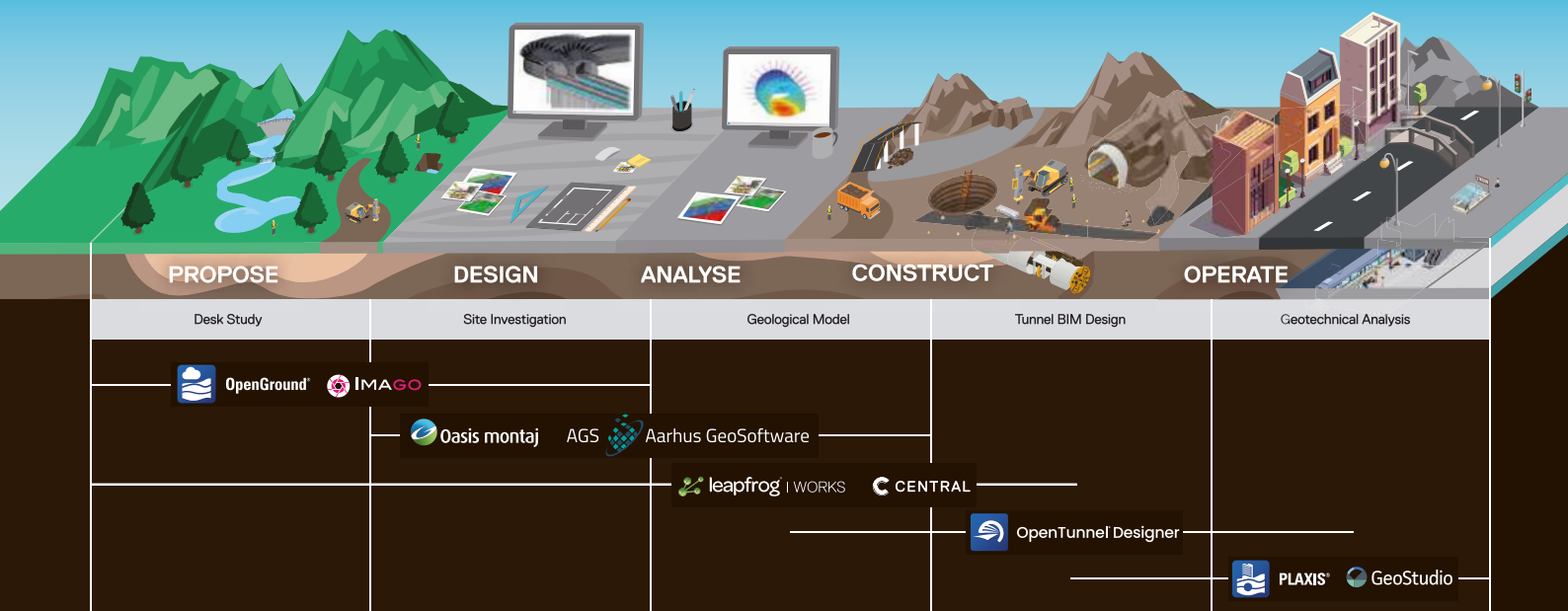
Iodice, C., Iovino, M., Di Laora, R., de Sanctis, L., Mandolini, A. 2024. *A strain-hardening macro-element model for pile groups under vertical-horizontal-moment loading. Acta Geotechnica*: 1-15

Maiorano R.M.S., de Sanctis, L., Aversa, S., Mandolini, A. (2009). *Kinematic response analysis of piled foundations under seismic excitation. Canadian Geotechnical Journal*, 2009, 46(5): 571-584

de Sanctis, L., Maiorano, R.M.S., Aversa, S. (2010). *A method for assessing kinematic bending moments at*

- the pile head. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2010, 39(10):1133–1154
- Makris N., Gazetas G., Delis E. (1996). *Dynamic soil-pile-foundation-structure interaction: Records and predictions*. *Géotechnique*, 1996, 46(1): 33–50
- Marchi M., Butterfield R., Gottardi G., Lancellotta R. (2011). *Stability and strength analysis of leaning towers*. *Géotechnique*, 2011, 61(12): 1069–1079
- Noto F., Iovino M., Di Laora R., de Sanctis L., Franchin P. (2022). *Non-linear dynamic analysis of buildings founded on piles: Simplified modelling strategies for soil-foundation-structure interaction*. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2022, 51(4):744–763
- Noto et al. (2022)
- Nora R., Montrasio L. (1991) *Settlements of shallow foundations on sand*. *Géotechnique*, 41(2): 243–256.
- NTC 2008. *Norme Tecniche per le Costruzioni, approvate con Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008*. *Gazzetta Ufficiale* n° 29 del 04/02/2008.
- NTC 2018. *Norme Tecniche per le Costruzioni, approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018*. *Gazzetta Ufficiale* n. 42 del 20/02/2018. OPCM 3274
- Pinto P.E., Franchin P. (2010). *Issues in the upgrade of Italian highway structures*. *Journal of Earthquake Engineering*, 2010, 14(8): 1221–1252
- Pisanò F., Di Prisco C., Lancellotta R. (2014). *Soil-foundation modelling in laterally loaded historical towers*. *Géotechnique*, 64(1): 1–15.
- prEN_1998-1-1 urocode 8 - *Design of structures for earthquake resistance - Part 1-1: General rules and seismic action*. European Standards. CEN, 2022.
- Sica S., Mylonakis G., Simonelli A.L. (2013). *Strain effects on kinematic pile bending in layered soil*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2013, 49: 231–242
- Silvestri F., de Silva F., Piro A., Parisi F. (2024). *Soil-structure interaction effects on out-of-plane seismic response and damage of masonry buildings with shallow foundations*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2024, 177, 108403
- Somma F., Lignola G., Ramaglia G., de Sanctis L., Iovino M., Oztoprak S., Flora A. (2023). *An interdisciplinary investigation of the seismic performance of a historic tower in Istanbul during the 1999 Kocaeli earthquake*. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2023, 21(5): 2921–2945
- Wolf J.P. (1991). *Consistent lumped-parameter models for unbounded soil: physical representation*. *Earthq. Eng Struct Dyn.* 1991;20(1):11–32

Affronta i progetti geotecnici con competenza utilizzando le soluzioni software Bentley|Seequent



Quando collabori per una comprensione condivisa delle condizioni del terreno, puoi consegnare progetti più precisi e più velocemente e puoi ottenere così risultati migliori.

Ingegneri, Geotecnici, Geologi e Geofisici utilizzano i software Bentley e Seequent nei progetti di infrastrutture per pianificare, creare e costruire strade, ferrovie, ponti, tunnel, edifici, dighe e argini.



OpenGround®

Piattaforma software cloud base che offre una gestione e una reportistica sicura e affidabile dei dati geotecnici.



leapfrog®

Esplora le condizioni del sottosuolo con la modellazione geologica dinamica 3D.



GeoStudio

Riduci i rischi e sviluppa sofisticate analisi di stabilità all'equilibrio limite 2D e 3D di terreni e pendii rocciosi.



Oasis montaj

Potente suite software per la modellazione e l'analisi dati che permette una comprensione avanzata della superficie sotterranea della terra e dell'ambiente marino.



OpenTunnel Designer

Potente software per la progettazione di tunnel. È l'unico tool con queste funzionalità specifiche di analisi che lavora all'interno di un ambiente di lavoro condiviso.



PLAXIS®

Potente software ad elementi finiti che sviluppa analisi 2D o 3D di deformazione e di stabilità nell'ingegneria geotecnica e nella meccanica delle rocce.

► www.adalta.it/adalta-soluzioni-problemi-geotecnici

ADALTA

SOFTWARE PER L'INNOVAZIONE

Bentley Systems e Seequent
Channel Partner autorizzato per l'Italia

Bentley®

SEEQUENT

Per saperne di più



Geotecnica per i monumenti, un ingrediente essenziale

ALESSANDRO FLORA

DICEA, Università di Napoli Federico II

Il rapporto tra ingegneri e monumenti è stato spesso controverso, perché la soluzione di problemi legati a stabilità, sicurezza o dissesti di edifici o siti di importanza storica e archeologica non può essere guidata solo dalla convenienza tecnica ed economica, ma anche dall'esigenza di tutelare il valore aggiunto e intangibile del bene in analisi attraverso il rispetto della sua integrità.

Qualsiasi decisione non deve quindi essere presa solo nel **rispetto dei sacri principi di equilibrio e congruenza**, ma deve discendere da un confronto multidisciplinare con esperti di altri settori, come chiaramente indicato dall'Articolo 2 della Carta di Venezia e più volte richiamato nella letteratura del settore (D'Agostino, 2022). Ovviamente, il concetto stesso di integrità può apparire sfuggente (Viggiani, 2017). Al fine di chiarirne per quanto possibile il significato, in Figura 1 è schematicamente riportata la visione personale dello scrivente sulla **relazione**

convenzionale tra i diversi tipi di integrità e alcune possibili azioni ingegneristiche

da intraprendere ai fini della tutela dei monumenti. Per un approfondimento sulle definizioni riportate in figura, non possibile in questo breve testo, si rimanda a Petzet (2004) e Flora (2022).

Evidentemente, l'obiettivo di qualsiasi ingegnere che debba interessarsi della tutela di siti storici è quello di trovarsi con il proprio intervento nella parte alta dello schema concettuale della figura, cioè non apportare modifiche al bene in analisi tali da intaccarne l'integrità. Purtroppo, molto spesso questo non è possibile, e nasce quindi il problema di come regolarsi, **nella ricerca di un giusto equilibrio tra le esigenze di sicurezza e del rispetto dell'integrità**.

È forse banale osservare che molto spesso i dissesti e le criticità osservati in elevazione per siti storici e costruzioni monumentali dipendono da meccanismi che si sviluppano in fondazione e nei terreni (cedimenti differenziali,

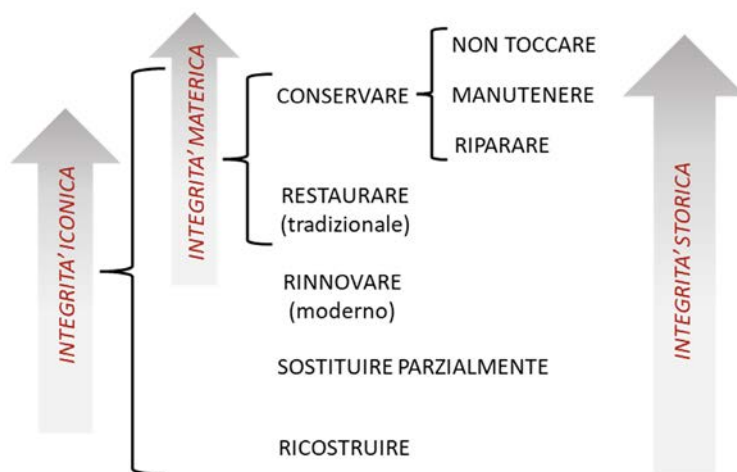


Figura 1 - Relazione convenzionale tra integrità iconica, materiale e storica di siti o edifici storici con diversi tipi di interventi ingegneristici.

subsidenza, instabilità di pendii e costoni, terremoti, ecc.), in quello che correttamente Jappelli (1991) ha definito il complesso monumento-terreno.

È bene perciò chiarire immediatamente che lo schema di Figura 1 rappresenta un quadro concettuale che impone vincoli da non trascurare anche quando si deve intervenire in fondazione o sul sottosuolo che interagisce direttamente con essa. Ciò non è scontato, perché per velocità o per economia può essere forte la tentazione di effettuare interventi molto invasivi lì dove non si vedono, sulla parte meno visibile del patrimonio costruito, cioè quella sotterranea, anche senza una reale comprensione della meccanica dei dissesti osservati. Trascurando il caso di interventi di questo tipo mal progettati, e quindi figli dell'ignoranza, si pone il problema di come confrontarsi con i vincoli di Fig. 1, visto che molto spesso l'ingegnere geotecnico è coinvolto in lavori di tutela dei monumenti quando questi sono in condizioni limite o addirittura prossimi al collasso. **Come orientarsi allora nella scelta dell'intervento?**

Ferma restando la necessità del massimo rispetto possibile delle diverse forme "classiche" di integrità rappresentate in figura 1, una possibile risposta a questo quesito può essere data **introducendo il concetto di "integrità funzionale"** (Flora, 2022), con riferimento al ruolo che la struttura in esame occupa nel proprio contesto sociale e fisico (figura 2). La tutela di tale ruolo conduce infatti alla necessità di considerare la conservazione in un senso più ampio.

Un esempio evidente è quello della basilica di San Pietro a Roma, che ha la massima integrità funzionale possibile perché continua a svolgere esattamente la funzione per cui è stata concepita secoli fa (e cioè essere il centro della cristianità cattolica). Viceversa,

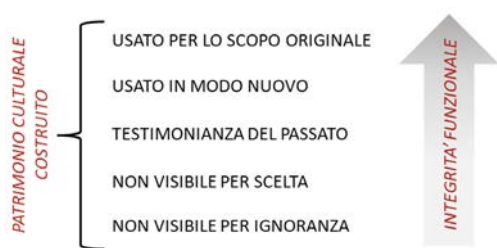


Figura 2 - Rappresentazione schematica dell'integrità funzionale del patrimonio culturale costruito, come uno degli elementi che ne qualificano l'esistenza e ne individuano il valore

il sito archeologico di Pompei è una (nobile, straordinaria) testimonianza del passato, vissuta come tale e non per le sue funzioni originali. A modo di vedere dello scrivente, quindi, un possibile dissesto del colonnato di San Pietro potrebbe giustificare interventi in fondazione anche invasivi, se utili a preservare l'integrità funzionale del colonnato, cosa evidentemente meno giustificabile per un dissesto nel foro di Pompei, la cui funzione (testimonianza del passato) non sarebbe alterata da tale dissesto.

Lungi dall'incoraggiare ricostruzioni arbitrarie o un approccio interventista, si può affermare con linguaggio medico che il concetto di integrità funzionale è un modo per verificare in fase di anamnesi se il monumento o il sito di interesse sia "vivo" e in buone condizioni, oppure "vivo" ma con qualche acciaccio, oppure semplicemente morto, cioè **contenga elementi culturali importantissimi ma non svolga alcuna funzione** prossima a quella per cui era stato originariamente concepito, e quindi orientare la diagnosi e la terapia di conseguenza.

Come accennato in precedenza, una delle tipiche difficoltà con cui si scontra l'ingegnere geotecnico è che il suo contributo è tipicamente richiesto per risolvere problemi statici critici, o per affrontare un elevato rischio sismico, spesso senza il tempo sufficiente per esplorare a fondo tutte le alternative tecniche possibili, con ovvie conseguenze sulla qualità delle scelte di progetto effettuate. Le decisioni da prendere sono invece più facili quando l'intervento geotecnico può essere concentrato nel sottosuolo, ovvero quando l'intervento dell'ingegnere mira a rimuovere la causa del dissesto e non semplicemente a mitigare gli effetti sulla struttura.

Soluzioni rispettose dell'integrità possono in questi casi superare in efficacia quelle più invasive, agendo per esempio sulle condizioni geotecniche al contorno, come ben descritto da Calabresi (2011) con riferimento alla tutela del ponte Milvio a Roma. In altri casi, buone competenze geotecniche possono consentire analisi più sofisticate, con il risultato di evitare interventi inutili o inutilmente ridondanti, se non addirittura dannosi.

Si tratta, ad esempio, dei casi in cui, tenendo conto **dell'interazione dinamica terreno-struttura**, si comprende meglio il comportamento della struttura, scongiurando non necessari interventi di sottofondazione,

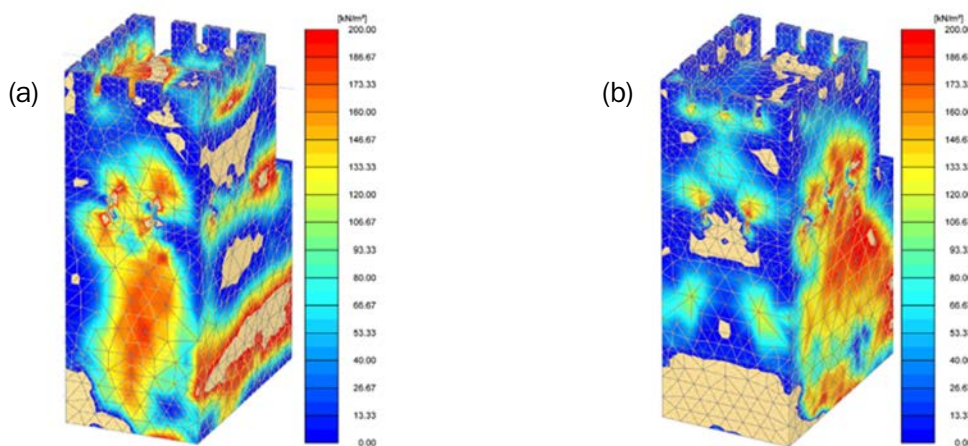


Figura 3 - Contours della tensione principale massima di trazione per la Torre 19 delle mura di Costantinopoli, a seguito dell'azione sismica del terremoto di Kocaeli (1999) nelle due direzioni x e y , considerando l'interazione dinamica terreno-struttura (Flora, 2022).

come nel caso del campanile della Ghirlandina di Modena (Lancellotta, 2013). Come ulteriore esempio, la Fig. 3 riporta il risultato di un'analisi dinamica complessa con un modello completo (considerando cioè la struttura non a vincoli fissi ma modellando il comportamento del terreno) eseguita per interpretare gli effetti del terremoto del 1999 di Kocaeli su una delle torri delle mura di Costantinopoli, ad Istanbul, in Turchia (Flora, 2022), che era stata solo da poco oggetto di importanti interventi di conservazione.

Il colore rosso in figura segnala l'attingimento di condizioni di rottura per trazione, e indica in questo caso un meccanismo di dissesto del tutto compatibile con quanto effettivamente osservato in sito (Fig. 4). Tenendo conto della deformabilità del terreno, **le analisi numeriche segnalano danni molto più rilevanti che sulla struttura a vincoli fissi** (tipicamente considerata nelle analisi strutturali), perché il

periodo proprio della torre si avvicina in questo modo di molto a quello naturale del sito, con evidenti effetti di risonanza che altrimenti non si sarebbero potuti osservare. Se tali considerazioni fossero state fatte in sede di progetto dell'intervento di tutela, con ogni probabilità si sarebbero potuti meglio mitigare gli effetti osservati.

La celebre torre pendente di Pisa è un altro esempio paradigmatico di buona pratica geotecnica, poiché l'eliminazione del rischio di crollo è stata ottenuta con successo tramite un'attenta sottoescavazione (Burland et al., 2013), ovvero semplicemente rimuovendo con attenzione piccole quantità di terreno in zone specifiche al di sotto della torre, senza nemmeno toccarla, mantenendo così la soluzione nella parte più alta dello schema convenzionale di integrità della figura 1. Tuttavia, sembra opportuno segnalare che la Torre di Pisa può essere vista anche come un



Figura 4 - Viste della torre 19 delle mura di Costantinopoli con visibili i danni causati dal terremoto del 1999, avvenuto poco dopo l'ultimazione dei lavori di restauro del monumento (Flora, 2022).

esempio fuorviante, nel senso che la soluzione rispettosa e di successo è stata ottenuta dopo quasi un secolo di studi, indagini e monitoraggi accurati, senza vincoli economici, con il supporto della politica e dell'opinione pubblica, coinvolgendo esperti di fama mondiale in uno studio multidisciplinare. Una circostanza così eccezionale è difficilmente riproducibile e non può essere considerata una situazione di routine, nemmeno per edifici o siti storici di grande valore.

Nella quotidianità degli ingegneri geotecnici, dunque, sappiamo che un compromesso è spesso inevitabile. Se il consolidamento delle fondazioni con nuove tecnologie (da considerare come intervento moderno solo dopo aver esplorato la possibilità del restauro, figura 1) fosse l'unica soluzione praticabile e potesse risolvere il problema, non dovrebbe perciò essere escluso a priori, soprattutto se contribuisse a **mantenere vivo il patrimonio costruito** (cioè con la massima integrità funzionale, figura 2). A conferma di ciò, si osserva che spesso strutture di valore storico che conservano ancora un buon grado di integrità funzionale sono il risultato di continue trasformazioni avvenute lungo un ampio arco temporale, effettuate proprio con lo scopo di preservarne la vitalità funzionale (figura 5). Tipicamente, tali trasformazioni non urtano la suscettibilità dell'opinione pubblica e degli esperti per una sorta di istintivo schiacciamento cronologico effettuato dall'osservatore, che porta a considerare coeve operazioni succedutesi in realtà nell'arco dei secoli, ma spesso non distinguibili perché avvenute in epoche di lentissime modifiche tecnologiche ed iconiche.

Modifiche basate su solide basi culturali

e meccaniche (e quindi da considerarsi necessarie) non dovrebbero perciò spaventare gli ingegneri geotecnici a priori, potendo essere considerate parte del ciclo di vita del complesso monumento-terreno, che non deve necessariamente essere congelato al presente (Settis, 2018), assunto arbitrariamente come riferimento al di fuori di un processo storico che, per opere "vive", è certamente ancora in evoluzione.

L'assenza di una teoria generale, e quindi di un'indicazione univoca sulla migliore soluzione ingegneristica per tutelare il patrimonio costruito, impone la necessità di essere estremamente più cauti che nel caso di nuove costruzioni. **Gli ingegneri devono confrontarsi con valori solitamente al di fuori delle loro competenze**, e devono concordare le soluzioni tecniche con archeologi, architetti, storici dell'arte e funzionari preposti alla tutela dei monumenti. Infatti, un equilibrio soddisfacente tra sicurezza e conservazione, tra ingegneri e restauratori, può essere trovato solo nello sviluppo di una cultura condivisa (Viggiani, 2013). Purtroppo, questo equilibrio è ancora lontano dall'essere raggiunto nella pratica geotecnica comune: molto spesso interventi estremamente invasivi sulle fondazioni sono considerati accettabili solo perché non visibili, senza un'analisi più approfondita né dell'integrità tradizionale (Fig. 1) né di quella funzionale (Fig. 2). Occorre dunque uno sforzo per andare oltre la pura discussione accademica, se si vuole evitare di essere come quelli che «danno buoni consigli quando non possono dare il cattivo esempio» (De André, 1967).

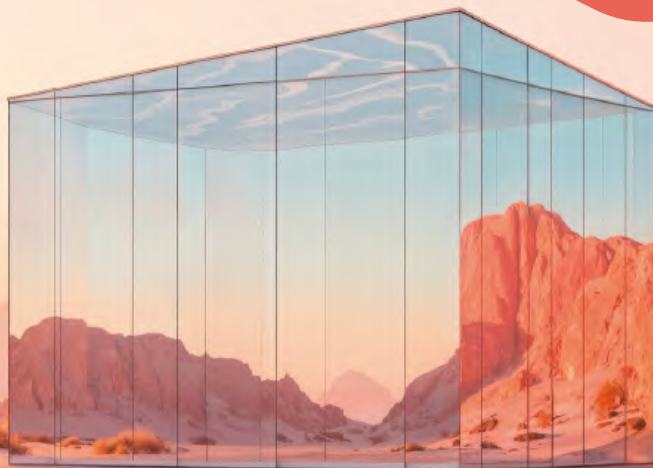


Figura 5 - Palazzo Reale di Napoli: costruito a partire dall'inizio del 17° secolo su progetto di Domenico Fontana, aveva inizialmente il portico con tutti gli archi aperti. Per il manifestarsi di dissesti alle fondazioni dei piedritti di questi archi, più di un secolo dopo Luigi Vanvitelli progettò un intervento di consolidamento consistente nella chiusura di molti archi e con l'inserimento di nicchie e statue.

Riferimenti bibliografici

- Burland J., Jamiolkowski M., Squeglia N., Viggiani C. 2013. *The Leaning Tower of Pisa. In Geotechnics and Heritage*, Bilotta, Flora, Lirer & Viggiani Ed. London: Taylor & Francis Group.
- Calabresi G. 2011. *The soft approach to saving Monuments and Historic Sites. Atti del quindicesimo convegno europeo della ISSMGE*. Atene.
- D'Agostino S. 2022. *Conservation and Restoration of Built Heritage. A history of conservation culture and its more recent developments. Built Heritage and Geotechnics Series*, Lancellotta R. Ed., CRC Press.
- De Andrè F. 1967. *Bocca di rosa. Bluebell Records*.
- de Silva F., Ceroni F., Sica S., Silvestri F. 2018. *Non-linear analysis of the Carmine bell tower under seismic actions accounting for soil–foundation–structure interaction. Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(7): 2775-2808.
- Flora A. 2022. *3rd Kerisel Lecture: Taking care of heritage, a challenge for geotechnical engineers. Atti del terzo convegno internazionale su Geotechnical Engineering for the preservation of Monuments and Historic Sites*, CRC Press.
- Jappelli R. 1991. *Contribution to a systematic approach. in The Contribution of Geotechnical Engineering to the preservation of Italian historic sites. AGI, Associazione Geotecnica Italiana Ed.*
- Lancellotta R. 2013. *11th Croce Lecture: La Torre Ghirlandina: una storia di interazione struttura-terreno. Rivista Italiana di Geotecnica*, 47(2). Bologna: Patròn.
- Petzet M. 2004. *Principles of preservation. ICOMOS Open Archive*.
- Settis S. 2018. *About the future: the Besieged City. Interview by Antonio Guerriero. Electra Vol. 2*, 2018.
- Viggiani C. 2013. *Cultural Heritage and Geotechnical Engineering: an introduction. In Geotechnics and Heritage*, Bilotta, Flora, Lirer & Viggiani Ed. London: Taylor & Francis Group.
- Viggiani C. 2017. *2nd Kerisel Lecture: Geotechnics and Heritage. Atti del diciannovesimo convegno internazionale della ISSMGE, Seoul, CRC Press*.

Il futuro della progettazione è adesso.



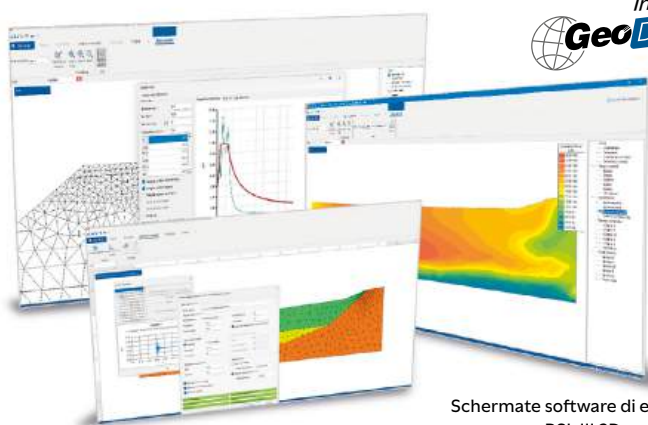
POTENZA E AFFIDABILITÀ DI CALCOLO E RISULTATI, EVOLUZIONE CONTINUA.

I nostri software, apprezzati a livello mondiale, sono caratterizzati da un costo molto competitivo e da una qualità garantita da **oltre 48.000 installazioni in più di 145 paesi nel mondo**. Caratterizzati da un'estrema facilità d'uso: ogni software risolve uno specifico problema, riducendo i dati di input a quelli strettamente necessari.

Tutti i software sono integrati fra loro con la possibilità di esportare dati da/e per ogni applicazione della suite anche in formato AGS.

Tutti i prodotti sono pienamente compatibili con Normativa Italiana (NTC) ed Eurocodici.

Guadagna con Geostru, ora puoi avere dei crediti nel tuo account che ti consentono di risparmiare sui tuoi prossimi acquisti.



Schermate software di esempio:
RSL III 2D



SOFTWARE Ingegneria - Geologia e Geotecnica
Meccanica delle rocce - Prove in situ - Idrologia
e Idraulica Topografia - Energia - Geofisica - Ufficio

SERVIZI GRATUITI PER I NOSTRI CLIENTI

alla pagina: geoapp.geostru.eu

Corsi certificati in collaborazione con **GoMeeting**.

Visita il sito www.gomeeting.eu

NUOVI SOFTWARE E SERVIZI

- **Novità Risposta Sismica Locale 2D – RSL III 2D!** Nuova veste grafica, più potenza, velocità e creazione guidata del modello di calcolo!
- **Nuove versioni software GeoStru 2025** riscritti in un nuovo linguaggio di programmazione: ora compatibili con i più recenti sistemi operativi.
- **Nuovo GFAS 2025** (Geotechnical and F.E.M. Analysis System) più potente e veloce, creazione semplificata della stratigrafia;
- **GeoDropBox 2025**, con visualizzatore di modelli BIM IFC, file DXF, interpretazione di prove in situ e di laboratorio direttamente online (www.geodropbox.com);
- **Geoapp 2025**, Nuove applicazioni web, versioni più potenti e nuova veste grafica per quelle presenti (www.geoapp.geostru.eu);
- **GILA**: il software GeoStru dotato di intelligenza artificiale per la stima dei parametri geotecnici;
- **Nuove versioni per i software delle prove penetrometriche** dinamiche (DYNAMIC PROBING 2025) e statiche (STATIC PROBING 2025);
- **Importazione di sondaggi da file BIM** di estensione AGS nella nuova versione di Modellazione Geologica e Geotecnica 3D - GM3D
- **Stabilità dei pendii – Slope integrato con l'intelligenza artificiale** e con nuova modalità per la creazione di superfici di scorrimento logaritmiche.



Software, risorse, info,
servizi e offerte
sul nostro sito.

Geotecnica delle opere portuali: una sfida aperta

PAOLO RUGGERI

Professore associato di Geotecnica, Università Politecnica delle Marche

VIVIENE FRUZZETTI

Professoressa associata di Geotecnica, Università Politecnica delle Marche

Il sistema portuale italiano rappresenta una componente strategica della logistica nazionale dei trasporti, spesso non adeguatamente valorizzata, nonostante la centralità che riveste il Paese nell'area mediterranea e la sua marcata vocazione all'interscambio commerciale su scala globale. La Conferenza delle Nazioni Unite per il Commercio e lo Sviluppo (UNCTAD) stima che il **commercio marittimo mondiale movimenti circa l'80% in volume delle merci**, per un valore di oltre 14 mila miliardi di dollari. L'incremento dei volumi trasportati ed uno spostamento verso la containerizzazione dei trasporti ha determinato una progressiva crescita dimensionale dei vettori marittimi,

fenomeno noto come "gigantismo navale", che richiede quindi anche all'Italia un adeguamento delle proprie infrastrutture portuali per **intercettare i traffici delle principali rotte marittime**. Nel passato la dimensione massima delle navi mercantili trovava una limitazione nella dimensione del Canale di Panama attraverso le cui chiuse potevano transitare navi di classe massima – appunto – "Panamax" con dimensioni pari a 294 m di lunghezza, 32 m di larghezza e 12 m di pescaggio. Navi di dimensioni superiori erano definite Post-Panamax (o Over Panamax). Il completamento nel 2016 dei lavori di allargamento del Canale consente oggi il passaggio delle cosiddette "Neo-Panamax" con dimensioni pari a 370 m di lunghezza, 51 m di larghezza e 15 m di pescaggio.

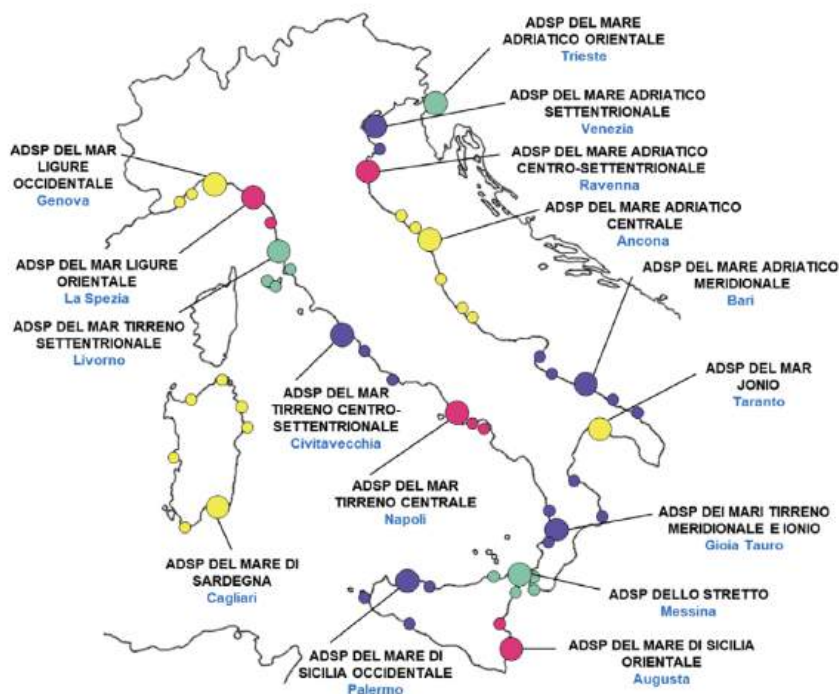


Figura 1 - Mappa delle Autorità di Sistema Portuale

Governance e pianificazione

I significativi investimenti pubblici nel settore, da pianificare in un quadro nazionale, ha portato nel 2015 il legislatore ad adottare il “Piano Strategico Nazionale della Portualità e della Logistica” (PSNPL). Dal documento emerge la peculiarità della situazione italiana che vede la presenza di molti porti distribuiti su una costa estesa e geomorfologicamente complessa. Inoltre, la vicinanza dei porti alle città storiche condiziona lo **sviluppo e la connessione alle reti distributive di terra**. Con l'obiettivo di ottimizzare la programmazione, il coordinamento e la gestione dei porti, il D.Lgs. n.169/2016 ha istituito 16 Autorità di Sistema Portuale (AdSP, Figura 1), enti pubblici non economici, a ordinamento speciale, dotati di autonomia amministrativa e di bilancio.

Le **opere portuali** si distinguono in esterne (o foranee) – di difesa dal mare – ed interne – per l'attracco e la movimentazione delle merci. In Figura 2 sono presentati alcuni esempi di opere tipiche. Le **opere foranee** hanno lo scopo di difendere il porto dal moto ondoso e per questo sono anche denominate dighe marittime o dighe frangiflutti. Le dighe marittime possono essere flessibili (“a gettata” o “a scogliera”), rigide (o “a parete”) ed elastiche (o “a giorno”). La scelta progettuale dipende dalle caratteristiche ambientali del paraggio – termine generale che include il regime meteomarinico, le condizioni di marea e la geotecnica dei terreni di fondazione e ovviamente anche da fattori economici.

Essendo il moto ondoso l'azione di gran lunga più importante, l'**ingegneria idraulica per le costruzioni marittime è certamente centrale** nel progetto di queste opere.

Tuttavia, specialmente per opere impostate su sottosuoli difficili (quali ad esempio i terreni teneri), il ruolo dell'ingegneria geotecnica è cruciale.

Le **opere di attracco** possono essere suddivise in banchine operative (o calate d'accosto), pontili e briccole. Le banchine possono essere ulteriormente classificate in “opere a parete” - essenzialmente opere di sostegno delle terre – e “opere a giorno” – strutture intelaiate in calcestruzzo armato e/o acciaio. La progettazione di queste opere impegna pertanto a pieno titolo sia l'ingegneria geotecnica che l'ingegneria strutturale.

Piazzali di notevole ampiezza sono necessari per la movimentazione delle merci. Spesso, per i vincoli all'espansione verso terra, vengono realizzati nuovi piazzali a mare tramite colmate di specchi acquei.

Le attività di consolidamento di tali aree richiedono una attenta progettazione geotecnica. Nel contesto così delineato, la **geotecnica riveste un ruolo significativo e trasversale**, sia per la progettazione di nuove infrastrutture che per l'adeguamento funzionale di quelle esistenti, dove l'elevato investimento richiesto impone soluzioni affidabili e sostenibili. Si possono individuare almeno sei ambiti nei quali si rendono necessarie valutazioni specialistiche di natura geotecnica:

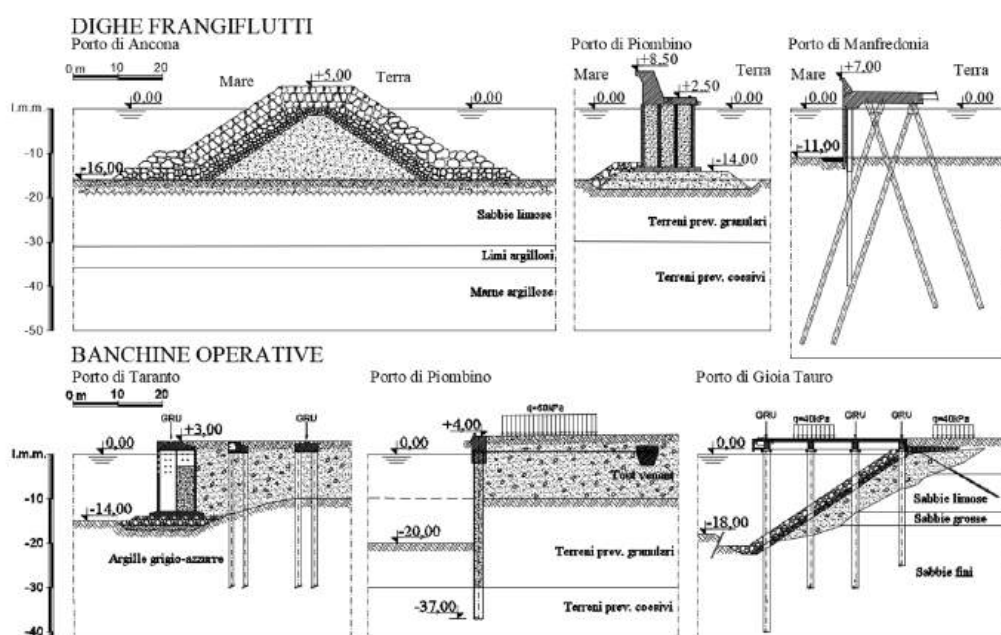


Figura 2 - Dighe frangiflutti e Banchine operative: alcuni esempi

Per le dighe frangiflutti:

- indagini a mare;
- interventi di miglioramento dei terreni di fondazione;
- verifica della sicurezza geotecnica delle opere.

Per le banchine operative:

- valutazione della sicurezza e delle prestazioni delle opere esistenti;
- interventi di adeguamento delle opere per mutato quadro esigenziale.

Per le aree di espansione a mare:

- consolidamento di colmate per la realizzazione di nuovi piazzali.

L'esecuzione di indagini in ambiente marino rappresenta un settore di nicchia, altamente specializzato e tecnologicamente avanzato, che ha conosciuto un suo primo sviluppo con l'industria estrattiva offshore e ha registrato una nuova significativa accelerazione con la crescente diffusione dei progetti per la **produzione di energia rinnovabile in mare**.

Va tuttavia osservato che le disponibilità economiche per un progetto di sviluppo petrolifero o per un parco eolico offshore sono generalmente di gran lunga superiori a quelle dedicate ad un'opera marittima in ambito portuale, anche quando si tratta di grandi infrastrutture quali le dighe frangiflutti. Di conseguenza, non sempre le tecnologie di indagine a mare più avanzate sono fruibili. In linea generale è possibile ottenere informazioni sul sottosuolo al disotto del fondale marino tramite tecniche geofisiche e indagini geotecniche.

Le **tecniche geofisiche** in ambiente marino sono comunemente impiegate per la possibilità di indagare ampi volumi di

terreno, il costo relativamente contenuto e la buona rappresentatività dei risultati, favorita dall'assunzione, in fase interpretativa, della condizioni di saturazione dei terreni. Tra le tecniche disponibili (vedi Figura 3) si annoverano:

- **Ecoscandaglio idrografico multi-beam (MBES) o single-beam (SBES)**, utilizzato per rilievi batimetrici ad alta precisione e per l'individuazione di relitti, reperti archeologici o anomalie del fondale marino
- **Side Scan Sonar (SSS)**, un sonar a scansione laterale che restituisce immagini morfologiche dettagliate del fondale, assimilabili a "pseudo-fotografie", particolarmente utili per l'analisi qualitativa della superficie.
- **Sub-Bottom Profiler (SBP)**, uno strumento per rilievi sismo-acustici ad alta risoluzione, finalizzati alla ricostruzione degli orizzonti stratigrafici sotto il fondale; la tecnica, modulando potenza e frequenza del segnale (ad es. sistemi Boomer, Sparker), consente di investigare profondità variabili da alcune decine fino a diverse centinaia di metri, anche se nelle applicazioni più comuni alle infrastrutture marittime l'interesse si concentra tipicamente sui primi 30-50 m al disotto del fondale marino.

Tali prove vengono realizzate da imbarcazioni opportunamente strumentate che trainano sensori immersi in acqua, ma non a contatto con il fondale. Per questo motivo tutte le prospezioni indicate possono essere fatte solo con onde di compressione. Una classe intermedia di indagini a mare consiste nel prelievo di campioni del fondale marino o dei

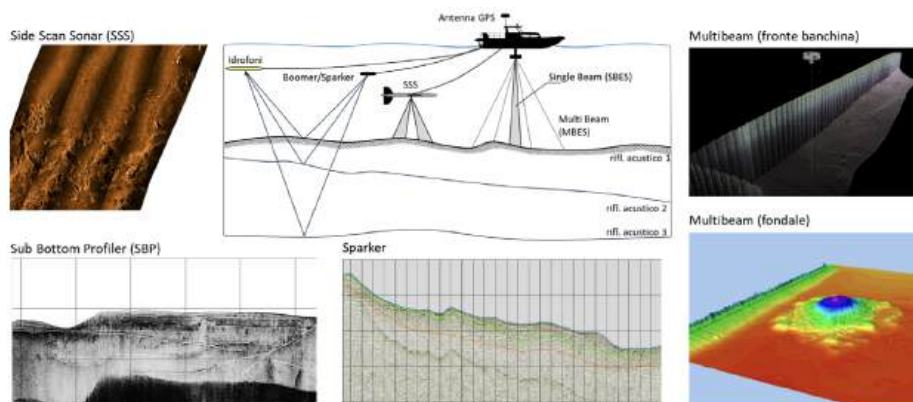


Figura 3 - Indagini geofisiche a mare

sedimenti superficiali tramite benna, box-corer, gravity corer e vibrocorer. Il **gravity corer** è un carotiere che viene lasciato avanzare nel fondale per caduta grazie a pesi collocati in testa e penetra nel fondale per qualche metro. Il vibrocorer è un carotiere collegato in testa ad un vibroinfissore che viene calato sul fondale ed infisso nel terreno tramite vibrazioni ad alta frequenza e bassa ampiezza fino a profondità di circa 6 m.

Le **indagini geotecniche** in ambiente marino (vedi Figura 4) non differiscono nella sostanza da quelle a terra. Si possono eseguire sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati, prove penetrometriche dinamiche Spt, prove penetrometriche statiche con penetrometro meccanico (Cpt), con penetrometro elettrico (Cpte) con piezocono (Cptu), prove scissometriche in foro (Vst), prove con dilatometro piatto (Dmt). La principale differenza tra prove a terra e a mare risiede nelle modalità di accesso alla verticale di interesse che può essere raggiunta secondo due approcci operativi:

- con attrezzature standard che operano da mezzo marittimo;
- con mezzi di indagine subacquei appoggiati sul fondale.

Relativamente ai mezzi marittimi sui quali sono utilizzate le attrezzature standard, c'è da fare una importante distinzione tra quelli che operano in galleggiamento (ad es. pontoni) e le piattaforme auto-sollevanti (jack-up): nel primo caso le prove risentono dell'oscillazione del natante, mentre nel secondo caso, grazie all'estensione sul fondale di apposite gambe di appoggio, la piattaforma si solleva dal pelo libero e non risente di alcun effetto del moto

ondoso. La selezione del mezzo ha un impatto economico significativo e non è semplice. Alcune considerazioni a supporto della scelta possono essere comunque fatte tenendo presente che:

1. non tutte le prove geotecniche hanno la stessa sensibilità al moto ondoso;
2. il moto ondoso varia da zona a zona e varia anche in relazione al periodo dell'anno in cui l'indagine viene eseguita;
3. la conoscenza delle caratteristiche dei terreni in aree limitrofe, o da precedenti indagini, può permettere una stima degli effetti del disturbo sui risultati;
4. la presenza di diverse tipologie di indagine facilita l'individuazione di errori sperimentali.

Per queste motivazioni appare comunque opportuno eseguire sempre prove di differente tipologia quali ad esempio sondaggi a carotaggio continuo, prove Cptu e prove Dmt. L'esperienza mostra che, operando da mezzo galleggiante, è possibile ottenere risultati di buona qualità solo in condizioni di paraggio riparato e in stagioni favorevoli.

L'inclusione nella campagna di indagine di prove Dmt, eseguibili svincolando le aste dal mezzo marittimo e quindi indipendenti dalle oscillazioni del natante, consente di acquisire elementi utili alla validazione delle altre prove. Va da sé che se l'importanza del lavoro, e quindi il budget dedicato alle indagini, lo permette l'utilizzo di una piattaforma autosollevante è sempre la soluzione da preferire.

Nel caso le profondità di indagine non superino i 10 m e non sia necessaria una elevata capacità di spinta, una valida alternativa da

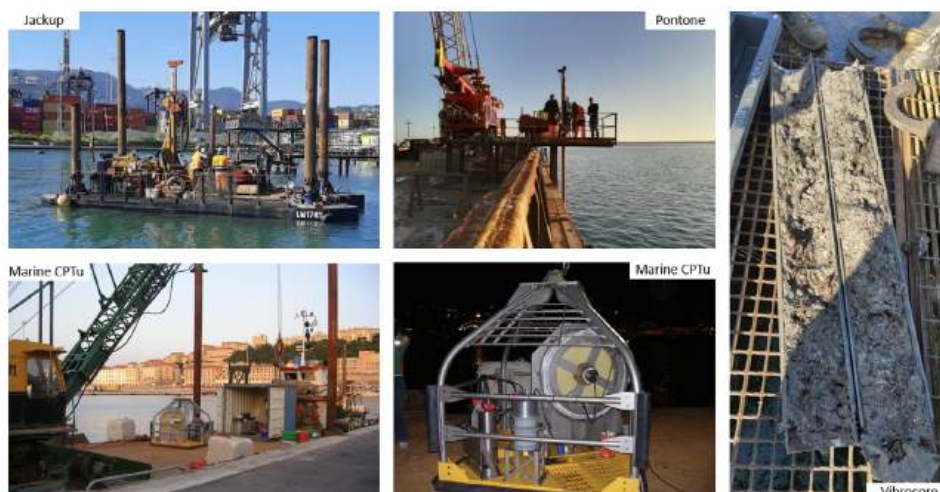


Figura 4 - Indagini geotecniche a mare

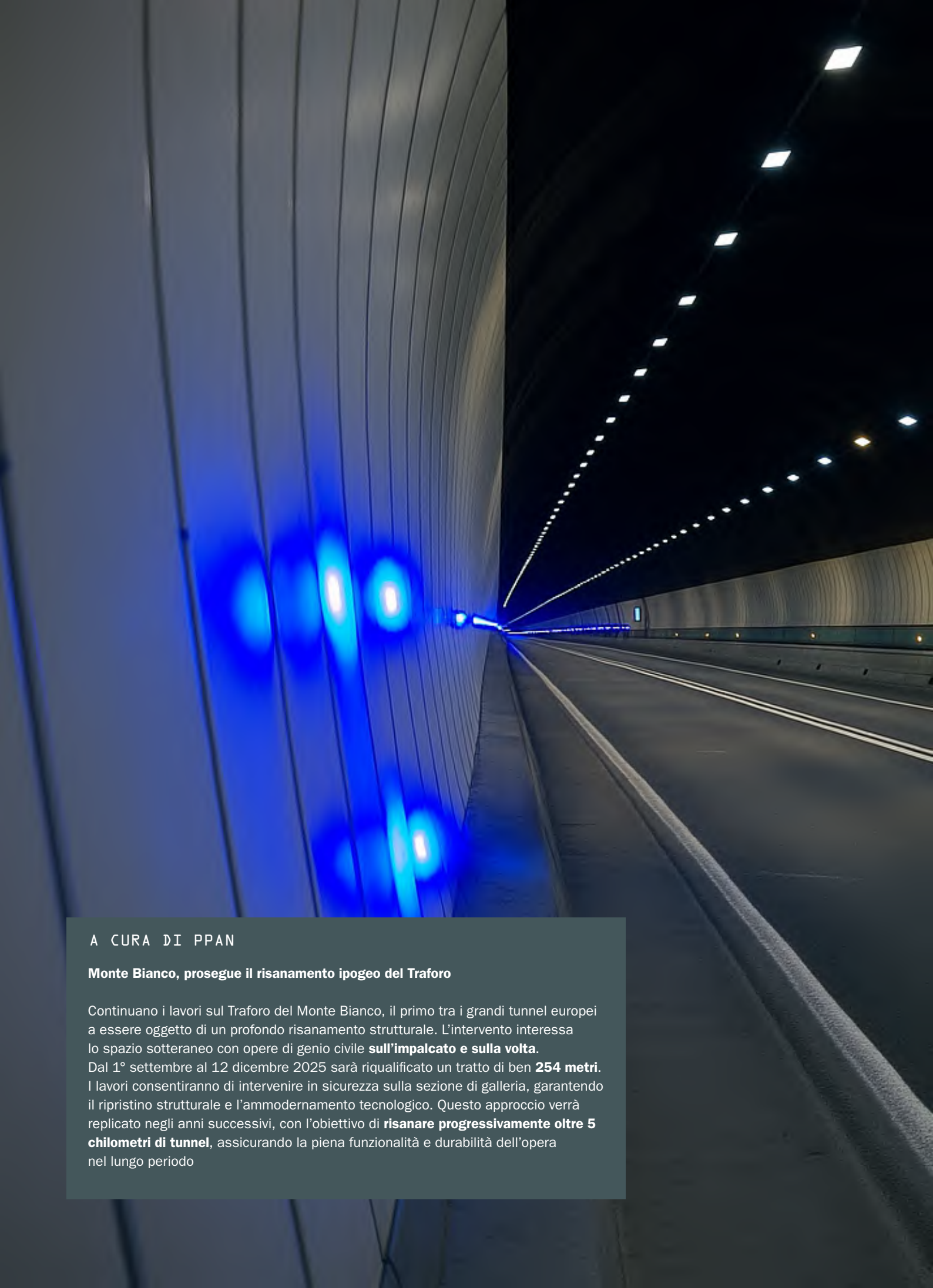
prendere in considerazione è l'uso di mezzi subacquei. Esistono infatti da tempo mezzi semiautomatici in grado di eseguire sondaggi e prove Cpt appoggiando l'attrezzatura sul fondale e controllando il funzionamento da remoto. Almeno per l'esecuzione di prove Cptu c'è una certa diffusione di queste attrezzature che permette di prenderne in considerazione l'utilizzo anche per opere di media dimensione.

Conclusioni

La geotecnica rappresenta un ambito disciplinare trasversale nella progettazione e realizzazione delle infrastrutture portuali moderne, data la crescente complessità delle opere, la tendenza a operare su fondali sempre maggiori e la necessità di garantire standard elevati di sicurezza, durabilità e sostenibilità delle opere in contesti geotecnici spesso difficili. In questo quadro, le indagini a mare costituiscono una fase particolarmente delicata e, al tempo stesso, determinante. La vera sfida consiste, come sempre, nel coniugare l'esigenza di qualità e affidabilità delle informazioni con i limiti economici, logistici e ambientali che caratterizzano i progetti infrastrutturali. Una pianificazione attenta delle campagne d'indagine, l'impiego consapevole delle tecnologie disponibili e una valutazione critica dei limiti operativi diventano quindi strumenti essenziali per garantire scelte progettuali sicure ed efficienti. È in un approccio integrato tra ingegneria idraulica marittima ed ingegneria geotecnica che **si gioca oggi non solo la qualità, ma anche la sostenibilità della pianificazione e della progettazione** degli interventi nei porti italiani.

Riferimenti bibliografici

- Fruzzetti V.M.E., Ruggeri P., Segato D., Vita A., Sakellariadi E., Scarpelli G. (2011). *Tecnologia di indagine e riflessi sulla progettazione geotecnica delle opere portuali*. XXIV CNG, Napoli, 22-24 Giugno 2011.
- Matteotti G. (1995). *Lineamenti di Costruzioni Marittime*. S.G.E. Servizi Grafici Editoriali, Padova
- Panama Canal Authority. (2025). *OP Notice to Shipping N-1-2025 (Rev. 2)*. <https://pancanal.com>
- Scarpelli G., Fruzzetti V.M.E., Ruggeri P. (2017). *Interventi di adeguamento delle banchine portuali alle crescenti esigenze dei traffici commerciali*. XXVI CNG, Roma, 20-22 Giugno 2017. Vol.1 pp. 335-357.
- Society for Underwater Technology (2014). *Guidance notes for the planning and execution of geophysical and geotechnical ground investigations for offshore renewable energy developments*. London.
- SRM (2024). *11° Rapporto Annuale Italian Maritime Economy. Studi e Ricerche per il Mezzogiorno*. <https://www.sr-m.it/it/cat/prod/322820/italian-maritime-economy-report-2024.htm>
- Tsinker, G. (2004). *Handbook of port and harbor engineering: Geotechnical and structural aspects*. Springer



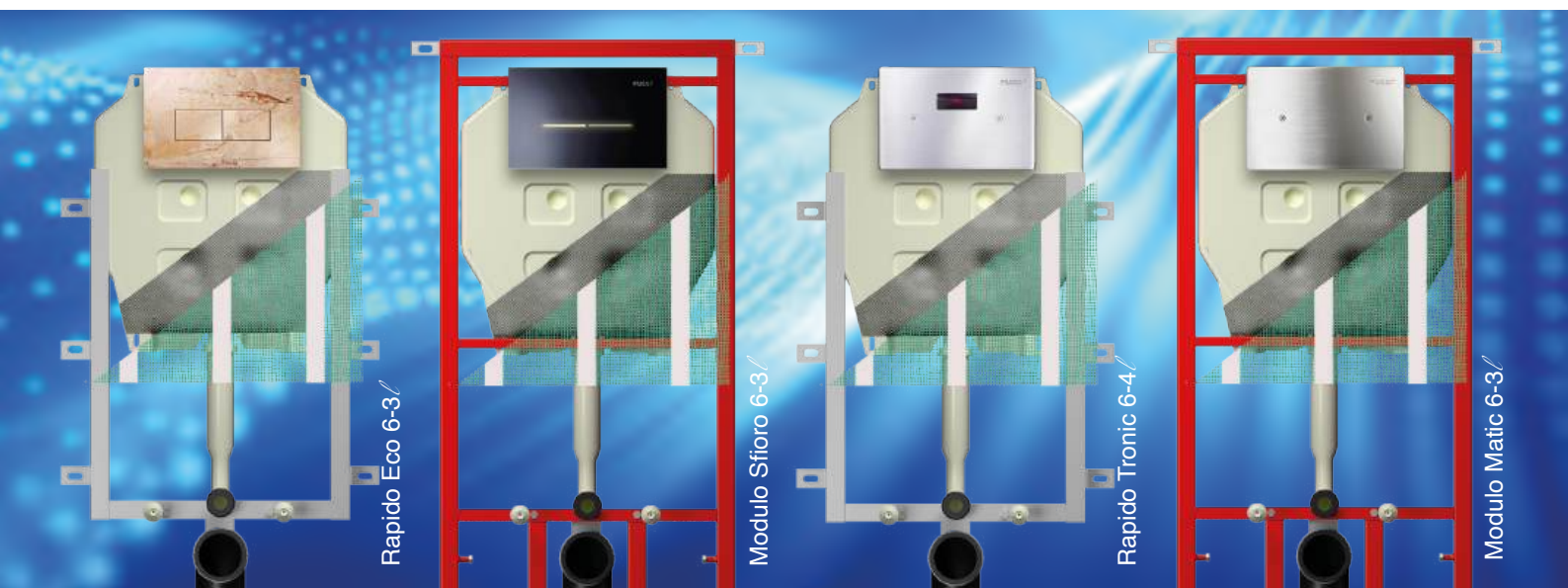
A CURA DI PPAN

Monte Bianco, prosegue il risanamento ipogeo del Traforo

Continuano i lavori sul Traforo del Monte Bianco, il primo tra i grandi tunnel europei a essere oggetto di un profondo risanamento strutturale. L'intervento interessa lo spazio sotterraneo con opere di genio civile **sull'impalcato e sulla volta**. Dal 1° settembre al 12 dicembre 2025 sarà riqualificato un tratto di ben **254 metri**. I lavori consentiranno di intervenire in sicurezza sulla sezione di galleria, garantendo il ripristino strutturale e l'ammodernamento tecnologico. Questo approccio verrà replicato negli anni successivi, con l'obiettivo di **risanare progressivamente oltre 5 chilometri di tunnel**, assicurando la piena funzionalità e durabilità dell'opera nel lungo periodo



Le cassette Pucci le conosciamo dal 1948 e non ci hanno mai deluso



Dicevano che le 6 litri hanno un mercato di nicchia e poi c'è stato il boom. Quanta acqua fanno risparmiare, giorno dopo giorno! E adesso c'è pure l'Europa che chiede di installarle. Pucci le produce dal 1995 e ha una gamma completa. L'installazione delle cassette Pucci non riserva sorprese: la loro funzionalità è nota, ma da quando esistono i sistemi Modulo e Rapido con cassetta pre-montata si sono aperte nuove possibilità in più per consigliarle. Si possono installare su pareti in muratura o cartongesso e risolvono sempre la situazione. Naturalmente c'è l'isolamento anticondensa e la rete portaintonaco è inclusa. Modulo e Rapido sono in tutte le 6 litri, così risparmi tempo e acqua. E per noi progettisti è tanta roba!



PRESENTI AL SAIE - FIERA DEL LEVANTE
BARI 23/25.10.2025 PAD.NUOVO-STAND H15

CASSETTE
PUCCI®
stile e tecnologia italiani



Riutilizzare le fondazioni per l'economia circolare

FRANCESCO PETRELLA

Director presso Arup in Danimarca

Nel contesto della transizione ecologica e della crescente attenzione alla sostenibilità nel settore delle costruzioni, il riutilizzo delle fondazioni esistenti — o foundation reuse — si sta affermando come una **strategia chiave per ridurre l'impatto ambientale, contenere i costi e accelerare i tempi di realizzazione**. Sebbene non si tratti di una pratica nuova, solo recentemente ha iniziato a ricevere l'attenzione sistematica che merita, grazie a linee guida consolidate, casi studio di successo e strumenti di valutazione del rischio sempre più sofisticati. I vantaggi del riutilizzo delle fondazioni sono molteplici. In primo luogo, consente una significativa riduzione delle emissioni di carbonio incorporate, evitando la demolizione e la ricostruzione di **elementi strutturali profondi**. Ad esempio, nel progetto di riqualificazione di Triton Square a Londra, il riutilizzo delle fondazioni ha contribuito a risparmiare circa 35mila tonnellate di calcestruzzo, 840 tonnellate di armatura e 340 tonnellate di acciaio, con un impatto positivo anche sulla classificazione Breeam dell'edificio [4]. Dal punto di vista economico, la possibilità di evitare nuove opere di fondazione può tradursi in risparmi significativi, soprattutto in contesti urbani congestionati dove l'accesso al sottosuolo è limitato. Inoltre, riduce i tempi di cantiere e le interferenze con le infrastrutture esistenti, migliorando la sostenibilità complessiva del progetto.

Riutilizzo delle fondazioni: quali sono le sfide

Nonostante i benefici, il riutilizzo delle fondazioni presenta sfide tecniche non trascurabili. La principale riguarda la conoscenza limitata delle condizioni esistenti: **spesso mancano disegni "as built" affidabili**, dati geotecnici aggiornati o informazioni sulla durabilità dei materiali. In questi casi, è fondamentale condurre indagini intrusive e non distruttive per valutare la capacità portante

residua e la compatibilità con i nuovi carichi. Un altro aspetto critico è la gestione del rischio. La guida Ciria C653 propone un approccio basato sul rischio, che considera fattori come la capacità geotecnica, la distribuzione dei carichi, la **durabilità delle fondazioni e la sequenza costruttiva** [1]. In presenza di incertezze, è possibile adottare strategie di mitigazione come il monitoraggio in tempo reale, l'installazione di fondazioni supplementari o l'adozione di limiti di cedimento predefiniti.

Strumenti e linee guida

Negli ultimi anni sono stati sviluppati diversi strumenti per supportare i professionisti nella valutazione del riutilizzo delle fondazioni. Il manuale Bre EP73 [2], ad esempio, fornisce un modello decisionale che integra aspetti tecnici, legali e finanziari, oltre a casi studio su progetti urbani complessi. **Un contributo importante arriva anche dalla ricerca accademica**. L'Institution of Civil Engineers ha recentemente proposto un metodo ibrido per la valutazione del riutilizzo, che combina analisi strutturale, prove in sito e modellazione numerica per stimare la capacità residua delle fondazioni [3].

Progettare per il Futuro

Un aspetto spesso trascurato ma cruciale è la **progettazione di nuove fondazioni con un'ottica di riutilizzo futuro**. Questo implica documentare accuratamente le caratteristiche costruttive, prevedere carichi futuri e adottare soluzioni flessibili che facilitino l'adattamento dell'infrastruttura nel tempo. In questo senso, il riutilizzo delle fondazioni si inserisce pienamente nella logica dell'economia circolare, dove ogni elemento è pensato per avere più cicli di vita. Oltre a Triton Square, numerosi progetti dimostrano la fattibilità del foundation reuse [4].

1. **Triton Square – Londra**

Il progetto di riqualificazione di Triton Square ha rappresentato un benchmark per il riutilizzo delle fondazioni in ambito commerciale. Originariamente progettato negli anni '90 con una visione di rigenerazione futura, l'edificio è stato ampliato verticalmente e orizzontalmente riutilizzando pali trivellati di grande diametro. L'intervento ha previsto **l'integrazione di una platea su pali e l'aggiunta di micropali di rinforzo**. Il risultato è stato un risparmio del 43% di carbonio incorporato rispetto a una nuova costruzione, con una riduzione dei tempi di completamento del 30%.

2. **Battersea Power Station – Londra**

La rigenerazione della storica Battersea Power Station è un esempio emblematico di riuso adattivo su scala urbana. Costruita negli anni '30 e dismessa negli anni '80, la centrale è stata trasformata in un complesso multifunzionale che ospita uffici, residenze, spazi culturali e commerciali. Il progetto ha previsto il riutilizzo parziale delle fondazioni esistenti, validate attraverso indagini geotecniche e strutturali approfondite. **L'approccio ha permesso di preservare l'identità architettonica dell'edificio**, riducendo al contempo l'impatto ambientale e promuovendo la coesione sociale attraverso spazi pubblici e iniziative comunitarie.

3. **Euston Tower – Londra**

Nel caso della Euston Tower, la sfida principale è stata l'assenza di disegni originali delle fondazioni, realizzate negli anni '60. Il team progettuale ha collaborato strettamente con lo studio 3xn per definire una nuova griglia strutturale compatibile con le fondazioni esistenti, mantenendo i carichi entro i limiti noti. L'intervento ha evitato la demolizione di una platea in calcestruzzo armato spessa 2,8 metri, **generando un risparmio significativo in termini di carbonio incorporato**. Inoltre, la nuova griglia è stata progettata per essere adattabile, garantendo flessibilità per futuri cambi d'uso senza necessità di demolizione

4. **Claridge's Hotel – Londra**

Il caso del Claridge's Hotel, uno degli alberghi più iconici di Londra, rappresenta un esempio straordinario di riutilizzo delle fondazioni in un contesto storico

e vincolato (vedi figura). Durante un **intervento di ampliamento sotterraneo**, è stato previsto lo scavo di cinque piani sotto l'edificio esistente senza interrompere le attività dell'hotel. Per farlo, è stato adottato un approccio ingegneristico innovativo: le fondazioni esistenti sono state temporaneamente sollevate tramite martinetti idraulici e sostenute da una struttura provvisoria, mentre veniva realizzata una nuova base di fondazione integrata con quella originale. Questo intervento ha permesso di preservare la struttura storica, ridurre drasticamente l'impatto ambientale e dimostrare come il foundation reuse possa essere applicato anche in contesti estremamente complessi e vincolati.

Contributi dalle Conferenze Internazionali sul Foundation Reuse (2023–2024)

Negli ultimi due anni, le conferenze internazionali dedicate al foundation reuse hanno offerto una panoramica ricca e multidisciplinare sulle sfide e le opportunità legate al riutilizzo delle fondazioni. I paper presentati nel 2023 e 2024 hanno evidenziato **progressi significativi in ambito tecnico, normativo e ambientale** [5].

Approcci tecnici e ispezione delle Fondazioni

Tra i contributi più rilevanti, spiccano gli studi di Marcel Bielefeld (Allnamics), che ha approfondito le tecniche di ispezione e testing per valutare l'idoneità delle fondazioni esistenti al riutilizzo. **L'uso di metodi non distruttivi e micro-perforazioni** è stato esplorato da Giorgio

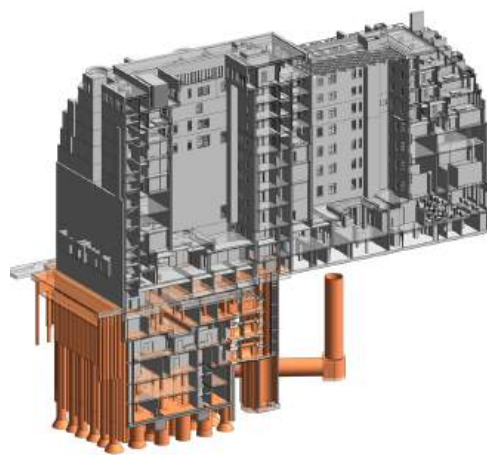


Figura 1 - Claridge's Hotel, London

Pagella e Jan-Willem van de Kuilen (TU Delft), con particolare attenzione alle fondazioni in legno sotto ponti e banchine.

Decarbonizzazione e economia circolare

Il tema della sostenibilità è stato centrale.

Patrick IJnsen (KIVI) ha illustrato strategie di decarbonizzazione basate su **riduzione, riciclo e sostituzione dei materiali**. Maya Sule e Peter Dijkhuizen (Rijkswaterstaat) hanno presentato la politica olandese per una fondazione infrastrutturale circolare, mentre Annemarij Kooistra ha mostrato come Amsterdam stia integrando il riuso delle fondazioni nei propri obiettivi ambientali.

Casi studio internazionali

Numerosi articoli hanno documentato applicazioni pratiche. Tony Sangiuliano ha analizzato il riutilizzo di pali esistenti in progetti infrastrutturali in Canada, mentre Adriaan van Seters ha presentato il caso del progetto Skyline a Shell Moerdijk. Jessica Oudhof ha discusso il riutilizzo delle fondazioni nel ponte Van Brienenoord a Rotterdam, evidenziando **l'importanza del monitoraggio per estendere la vita utile delle strutture**.

Innovazione e modellazione numerica

Sul fronte dell'innovazione, Ab van den Bos ha mostrato come le analisi agli elementi finiti non lineari possano **dimostrare la fattibilità del riuso**. Philipp Stein ha condotto test su modelli in scala per valutare il comportamento laterale di nuovi monopali installati sopra pali esistenti, mentre Karsten Beckhaus ha proposto diagrammi plastici sostenibili con materiali altamente deformabili.

Conclusioni

Il riutilizzo delle fondazioni rappresenta una frontiera promettente per l'ingegneria strutturale e geotecnica. Richiede un cambio di paradigma: da una logica di demolizione e ricostruzione a una di valorizzazione dell'esistente. Con il supporto di linee guida consolidate, strumenti di analisi avanzati e una crescente consapevolezza ambientale, il foundation reuse può diventare una pratica standard nei progetti di rigenerazione urbana e oltre.

Riferimenti bibliografici

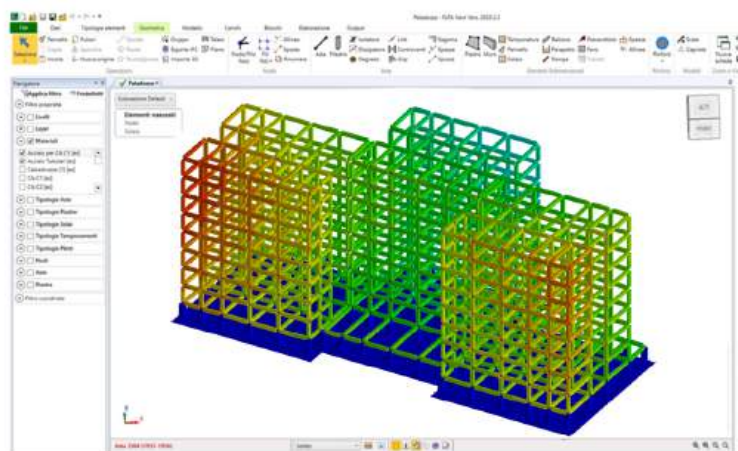
- CIRIA. (2007). *Reuse of foundations: Guidance on the assessment and management of risk* (CIRIA Report C653). Construction Industry Research and Information Association. [1]
- BRE. (2005). *Reusing foundations: Opportunities for reducing costs and environmental impact* (BRE Report EP73). Building Research Establishment. [2]
- ICE Publishing. (2023). *Hybrid assessment methods for foundation reuse: Integrating field testing and numerical modelling*. Institution of Civil Engineers. [3]
- Triton Square, Battersea Power Station, Euston Tower, Claridge's Hotel. (2021–2024). *Casi studio di riutilizzo delle fondazioni in progetti di rigenerazione urbana. Documentazione tecnica e report di progetto*. [4]
- Proceedings of the Annual Conference on Foundation Decarbonization and Re-use* (2023, 2024), Amsterdam. [5]

OGGI LO PUOI ACQUISTARE CON
PAGAMENTO RATEALE
FINO A 24 MESI

FaTA^{NEXT}

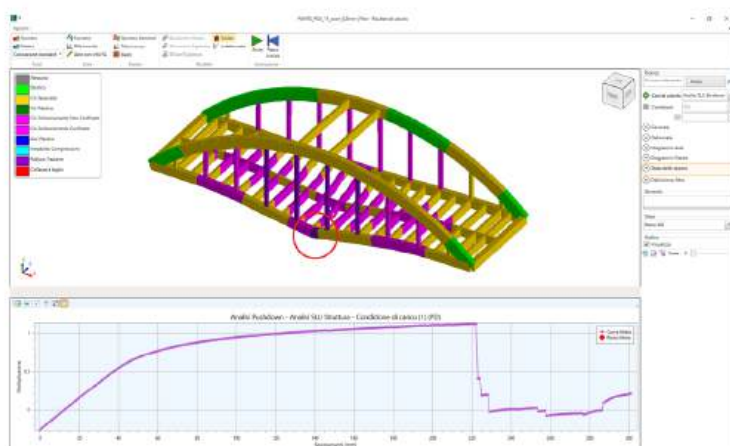
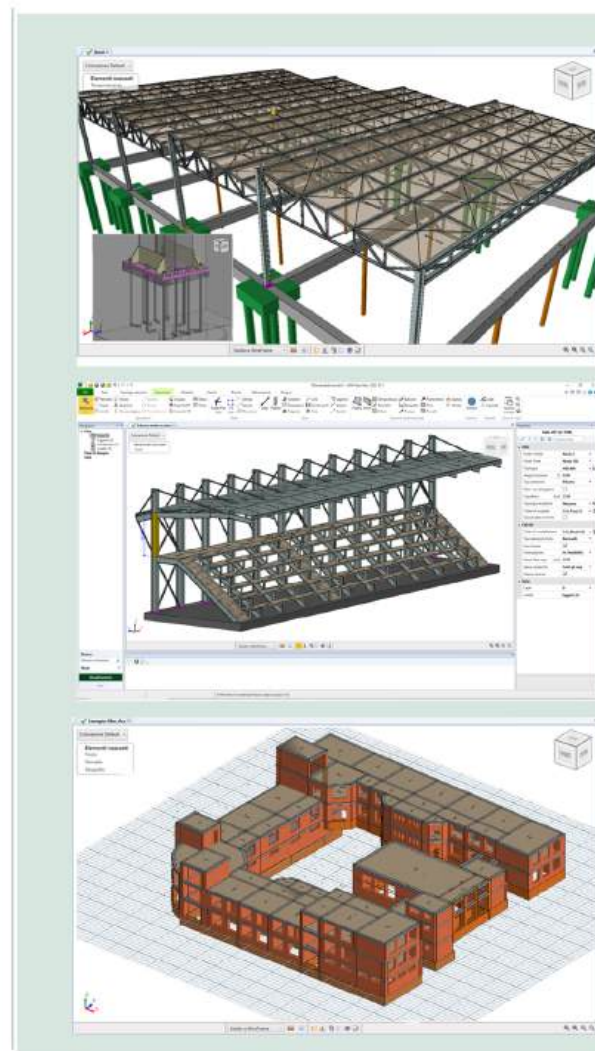
la soluzione per il calcolo strutturale

SOFTWARE PER LA MODELLAZIONE, L'ANALISI E LA VERIFICA DI STRUTTURE IN C.A., ACCIAIO, LEGNO, MURATURA



FaTA^{NEXT}

lo strumento ideale per le
diverse soluzioni progettuali



STACEC

Disponibile il Plugin di esportazione per

IDEA StatiCa®

novità

Gallerie esistenti, manutenzione e ristrutturazione

SALVATORE MILIZIANO

Professore associato di Geotecnica, Università di Roma La Sapienza

La manutenzione e il risanamento strutturale delle gallerie esistenti sono attività di crescente importanza, essenziali per garantire la sicurezza, l'efficienza operativa e la durabilità nel tempo di queste opere. Il rivestimento di una galleria è una struttura che, nel corso della sua vita utile, è soggetto a un progressivo e inesorabile degrado. Tale deterioramento è causato da una **combinazione di fattori ambientali** (come l'umidità e le variazioni di temperatura), operativi (l'intensità del traffico o l'azione corrosiva) e **strutturali** (i movimenti del terreno circostante).

Il boom della costruzione di gallerie, iniziato alla fine del XIX secolo per le reti ferroviarie e idroelettriche, e poi proseguito nel XX secolo per metropolitane e autostrade, ha lasciato un'eredità di opere realizzate con tecniche e materiali molto diversi. Si è passati dall'impiego della muratura in pietra e mattoni, al calcestruzzo gettato in opera, fino ai moderni conci prefabbricati in cemento armato. Questa eterogeneità costruttiva ha generato un ampio spettro di problematiche di degrado, che richiedono approcci diagnostici e di intervento specifici.

Un **piano di manutenzione efficace** deve essere concepito e implementato fin dalla messa in servizio della galleria e deve essere un processo dinamico, costantemente aggiornato. L'evoluzione dello stato del rivestimento è intrinsecamente imprevedibile in fase di progettazione; pertanto, un sistema di sorveglianza continuativo è una necessità.

Gli obiettivi primari di ogni intervento sono la sicurezza degli utenti, l'allungamento della vita operativa della struttura

e la protezione dell'ambiente circostante. Quando la manutenzione ordinaria non è più sufficiente, e i costi degli interventi diventano insostenibili, una valutazione tecnico-economica rigorosa può indicare che una ristrutturazione straordinaria sia la soluzione più vantaggiosa per ripristinare pienamente la funzionalità e la vita utile della galleria.

Classificazione dei fenomeni di degrado e delle cause di danneggiamento

Il deterioramento delle gallerie può essere classificato in tre macrocategorie: difetti costruttivi, degrado intrinseco dei materiali e danni indotti da eventi esterni.

Difetti Costruttivi. La reale resistenza strutturale di un rivestimento è frequentemente inferiore a quella teorica di progetto a causa delle inevitabili imperfezioni insite nel processo di costruzione. Nei rivestimenti in calcestruzzo gettato in opera, i difetti più comuni sono l'alveolatura e la formazione di cavità (i cosiddetti "nidi di ghiaia"), spesso causati da una vibrazione insufficiente del getto. Altri problemi includono lo spessore insufficiente del rivestimento o le fessurazioni dovute al ritiro o a stress termici.

Nei rivestimenti in cemento armato, un **difetto critico è il posizionamento errato delle barre d'armatura**, che può esporle agli agenti atmosferici e chimici. Per i conci prefabbricati, i difetti possono derivare da danni durante la produzione, il trasporto o la posa in opera.

L'inefficienza o l'insufficienza del sistema di impermeabilizzazione è un difetto costruttivo che agisce da catalizzatore per molti altri processi di degrado.

Degrado dei Materiali. Si tratta di un processo graduale che compromette le proprietà meccaniche del calcestruzzo e dell'acciaio. Il fenomeno più diffuso è la carbonatazione, una reazione chimica in cui l'anidride carbonica (CO₂) presente nell'aria reagisce con l'idrossido di calcio del cemento, riducendo il pH del calcestruzzo. Questo abbassamento del pH distrugge lo strato protettivo (detto "passivante") che naturalmente si forma intorno alle barre d'armatura, innescando la corrosione dell'acciaio. La **corrosione è accelerata anche dalla presenza di cloruri o da correnti vaganti**. L'aumento di volume dell'acciaio ossidato esercita una pressione interna sul calcestruzzo, che si manifesta con fessurazioni e con il distacco di porzioni di rivestimento (fenomeno del "spalling"). Oltre alla carbonatazione, l'erosione del calcestruzzo è un altro fenomeno di degrado comune nelle gallerie idrauliche.

Danni indotti da eventi esterni. Le gallerie possono subire danni significativi a seguito di eventi rari ma potenzialmente catastrofici. I terremoti sono particolarmente pericolosi, specialmente in prossimità degli imbocchi, dove si ha una brusca transizione tra un'area non confinata e un'area confinata. Le sollecitazioni sismiche possono causare fessurazioni, disallineamenti dei conci e danni al sistema di impermeabilizzazione. Le frane possono coinvolgere e danneggiare le gallerie a bassa copertura, mentre le variazioni significative dei carichi del terreno, spesso indotte da scavi o costruzioni nelle vicinanze, possono causare **deformazioni e fessurazioni del rivestimento**. L'analisi del rischio dell'occorrenza di questi eventi è una parte fondamentale della progettazione di queste opere.

Ispezioni e monitoraggio

Una sorveglianza proattiva è la chiave per una gestione efficace delle gallerie. Tutte le informazioni progressivamente raccolte devono confluire in un sistema informatico ben organizzato. Questo sistema non è una semplice banca dati, ma una piattaforma intelligente che centralizza i dati di progetto, i risultati di tutte le ispezioni e gli interventi eseguiti, supportando la programmazione e l'ottimizzazione delle attività future. Le **ispezioni** sono controlli periodici e dettagliati dello stato della galleria.

Ispezioni Visive. Sono condotte da personale specializzato, mirano a identificare e mappare difetti superficiali come fessure, infiltrazioni

d'acqua, aree umide e distacchi del calcestruzzo. Un'analisi visiva accurata è la prima e più importante forma di diagnostica.

Ispezioni Strumentali. Utilizzano tecnologie avanzate per acquisire dati oggettivi. La scansione laser crea modelli 3D ad alta precisione del rivestimento, permettendo di misurare con precisione deformazioni e fessurazioni. La **scansione termica e l'imaging ad alta risoluzione** possono individuare distacchi del calcestruzzo o aree con alta concentrazione di umidità. L'uso del georadar ha potenzialità di investigare il volume a tergo del rivestimento per individuare vuoti o anomalie. L'impiego di veicoli attrezzati con questi strumenti minimizza i disagi all'esercizio.

Il **monitoraggio**. Si differenzia dalle ispezioni per la sua natura continua e l'uso di sensori fissi che misurano grandezze fisiche nel tempo. Si possono monitorare parametri come l'apertura delle fessure, le pressioni interstiziali nel terreno, le tensioni nel rivestimento e gli spostamenti della struttura. Questo è cruciale per comprendere la dinamica dei danni e per prevedere il comportamento futuro della galleria. In contesti ad alto rischio, come le gallerie in zone franose, l'installazione di sistemi di monitoraggio in tempo reale con soglie di allerta è un requisito di sicurezza essenziale.

Metodi di intervento: dalla manutenzione ordinaria alla ristrutturazione completa

Gli interventi sulle gallerie possono essere classificati in base alla loro natura e alla loro estensione.

Manutenzione Ordinaria e Riparazioni Minori. La manutenzione ordinaria include lavori routinari come la pulizia dei sistemi di drenaggio, la sostituzione di componenti minori e la verniciatura delle parti metalliche. **Le riparazioni minori sono interventi locali**, come la rimozione di pezzi di calcestruzzo instabile e il trattamento delle armature corrose localizzate, o l'iniezione di resine e malte per sigillare piccole crepe.

In attesa di riparazioni definitive, possono essere implementate misure di protezione passiva temporanee, come l'installazione di reti metalliche per contenere il distacco di porzioni del materiale che costituisce il rivestimento.

Ristrutturazione. La ristrutturazione è un intervento profondo, costoso e di lunga durata, che può richiedere la sospensione del servizio/esercizio per lunghi periodi. È necessaria quando la sicurezza e la funzionalità non sono più garantite o i costi di manutenzione ordinaria diventano insostenibili. L'obiettivo è ripristinare la piena integrità strutturale e funzionale della galleria. I metodi si concentrano su due aspetti interconnessi.

a) Controllo delle acque. Le infiltrazioni sono la principale causa di degrado. Le soluzioni mirano a gestire l'acqua in modo permanente. **Le tecniche includono il drenaggio controllato/regimentazione,** che prevede l'installazione di tubazioni per raccogliere l'acqua e incanalarla lontano dal rivestimento, e l'impermeabilizzazione, realizzata tramite iniezioni di malte o resine lungo fessure e giunti. Spesso si installano anche nuove membrane impermeabili in PVC tra il vecchio e il nuovo rivestimento. In casi estremi, si può agire dall'esterno abbassando permanentemente il livello della falda freatica.

b) Miglioramento/adeguamento strutturale. La soluzione più efficace è la realizzazione di un nuovo rivestimento interno in cemento armato. Se la geometria della galleria lo permette, il nuovo rivestimento viene posato a diretto contatto con quello esistente. Se lo spazio è limitato, è necessario rimuovere una porzione del vecchio rivestimento, solitamente mediante l'impiego dell'idrodemolizione (getto d'acqua ad alta pressione) o la fresatura meccanica, per poi procedere alla posa in opera del nuovo rivestimento. In alcuni casi, si può optare per il rivestimento con piastre d'acciaio saldate, che offrono un'elevata resistenza, sebbene a costi molto elevati. Il nuovo rivestimento, oltre a fornire un rinforzo strutturale, agisce anche da barriera protettiva contro gli agenti esterni.

La progettazione degli interventi di ristrutturazione

La progettazione di un intervento di ristrutturazione è un'attività ingegneristica complessa che richiede una conoscenza approfondita non solo della geometria e delle proprietà dei materiali esistenti, ma anche del modello geotecnico dell'ammasso circostante. Per le gallerie storiche con documentazione lacunosa, è indispensabile condurre indagini dirette approfondite, come i test con martinetti piatti,

per misurare lo stato di sollecitazione del rivestimento e ottenere i parametri necessari per una modellazione accurata.

Nella pratica lo sviluppo della progettazione è frequentemente supportato da modelli numerici, spesso bidimensionali per semplicità ed efficienza, calibrati con i dati acquisiti con le indagini in situ. Questo processo di calibrazione è cruciale per superare le incertezze sui parametri geotecnici e sulla storia di carico della galleria, garantendo che il modello simuli in modo accurato il comportamento strutturale. È altresì fondamentale sviluppare nell'ambito della progettazione un piano di monitoraggio durante le fasi di costruzione per verificare in tempo reale le previsioni di progetto, ad esempio misurando le sollecitazioni o le convergenze durante la demolizione, o le pressioni interstiziali durante i lavori di impermeabilizzazione. Questo approccio ha l'obiettivo di garantire che i lavori procedano in sicurezza e che il risultato finale sia conforme agli obiettivi di progetto.

Considerazioni conclusive

La manutenzione delle gallerie è un'attività molto importante in quanto consente di garantire buone prestazioni operative nel tempo, di aumentare la vita utile della struttura mantenendo adeguati livelli di sicurezza. **La conoscenza dell'evoluzione dello stato di conservazione di una galleria** durante tutta la sua vita operativa consente di programmare correttamente le attività di manutenzione, eseguire lavori di riparazione e mettere in atto misure di protezione con l'obiettivo di ridurre al minimo i rischi per gli utenti, ma anche di guidare le decisioni relative a potenziali sospensioni dell'uso per motivi di sicurezza e, eventualmente, di eseguire lavori di ristrutturazione rilevanti.

Poiché l'evoluzione dello stato del rivestimento e, più in generale, delle proprietà dei materiali è piuttosto difficile da prevedere in quanto dipende da molti fattori naturali e antropici, la galleria dovrebbe essere tenuta sotto osservazione mediante ispezioni sistematiche e attività di monitoraggio. Sebbene le moderne tecnologie forniscano strumenti sempre più efficaci, come scanner laser e rilevatori termici o immagini ad alta risoluzione, che consentono anche di ridurre al minimo l'interferenza con l'uso della galleria, le ispezioni visive, effettuate da ingegneri esperti, non possono essere completamente sostituite dalle ispezioni strumentali.

La corretta identificazione delle cause dei danni dovrebbe sempre precedere gli interventi di riparazione, che dovrebbero eliminare le cause dei problemi, ove possibile, piuttosto che limitarsi a riparare i danni.

È inoltre fondamentale **selezionare i metodi di riparazione migliori e i materiali più adatti** tenendo conto delle specificità del sito.

I lavori possono essere distinti in attività di manutenzione ordinaria, comprese piccole riparazioni, e lavori di ristrutturazione straordinaria.

I primi, associati a lavori di modesto impegno, vengono eseguiti periodicamente, hanno carattere generalmente locale, sono economici e veloci. Il loro principale obiettivo è un utilizzo sicuro dell'opera, prolungare la durata della galleria e salvaguardare l'ambiente esterno. I lavori di ristrutturazione riguardano l'eliminazione dell'infiltrazione d'acqua e dei suoi effetti pericolosi (le perdite d'acqua sono una delle cause principali del degrado del calcestruzzo) e il miglioramento/adeguamento del rivestimento della galleria.

I **lavori di ristrutturazione** coinvolgono generalmente l'intera galleria e sono molto costosi e dispendiosi in termini di tempo. Lo sviluppo corretto della progettazione dei lavori di ristrutturazione richiede la conoscenza di tutti gli elementi geometrici e delle attuali proprietà meccaniche del rivestimento. È necessario anche un buon modello geotecnico. Pertanto, vengono generalmente effettuate indagini specifiche a fini di progettazione, soprattutto nel caso di gallerie vecchie, per le quali le informazioni sono solitamente più scarse.

La progettazione della ristrutturazione richiede modelli appositamente calibrati in base allo stato di sollecitazione misurato che agisce sul rivestimento; pertanto, tali misurazioni sono obbligatorie. La calibrazione è fondamentale perché consente di superare diverse incertezze relative ai parametri geotecnici, alla storia delle sollecitazioni, ad eventi verificatisi durante la costruzione e nella successiva fase di esercizio. Come per la costruzione di nuove gallerie, anche per i lavori di ristrutturazione, soprattutto quando è prevista la demolizione di una porzione rilevante del rivestimento esistente, un **sistema di monitoraggio svolge un ruolo importante ed è una parte fondamentale della progettazione.**

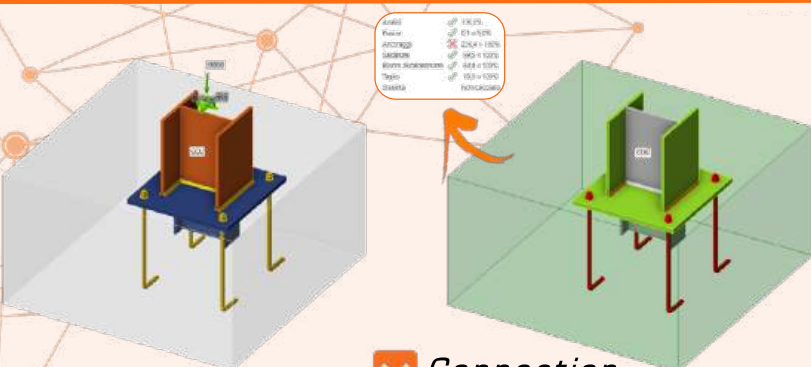
Il nuovo strumento rivoluzionario per la progettazione 3D

Metodo di calcolo validato: *Compatible stress field method (CSFM)*

Verifiche complete del blocco di fondazione con IDEA Detail

È possibile completare la **verifica della fondazione** grazie all'**esportazione del blocco di calcestruzzo** in **IDEA StatiCa Detail**, applicazione dedicata al progetto e alla verifica delle zone di discontinuità del calcestruzzo.

Gli ancoraggi che potrebbero non risultare verificati in **IDEA Connection** a causa della non considerazione dell'armatura del blocco di calcestruzzo non saranno più un problema.

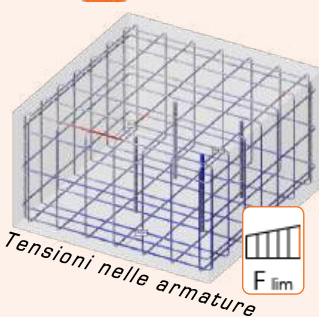


Link BIM diretto tra

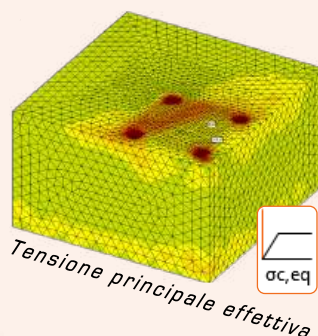
 **Connection**
&  **Detail**



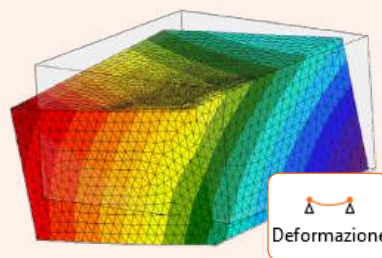
Importazione ancoraggi
e inserimento armatura



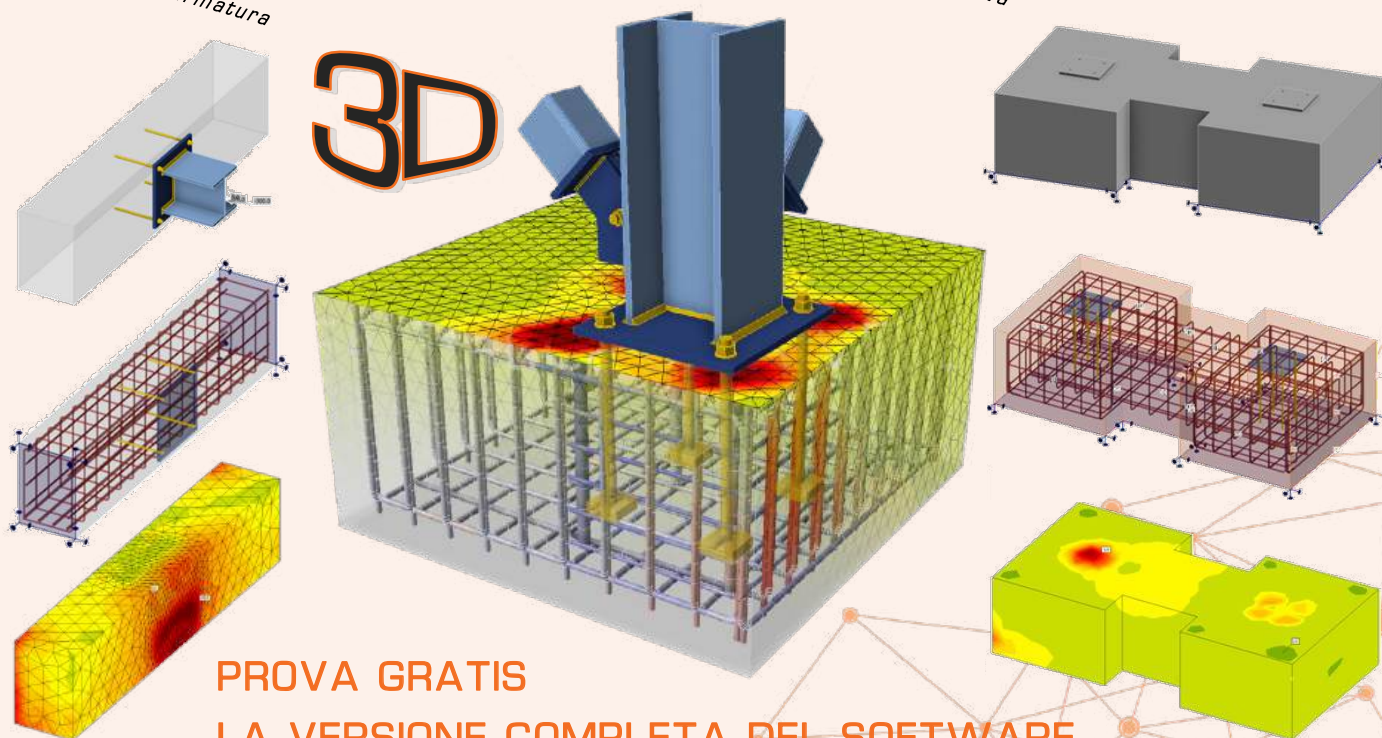
Tensioni nelle armature



Tensione principale effettiva



Deformazione



PROVA GRATIS

LA VERSIONE COMPLETA DEL SOFTWARE

EISEKO
Software for building
www.eiseko.it



**INQUADRA IL QR CODE E SCOPRI
L'OFFERTA RISERVATA AI LETTORI**

EISEKO COMPUTERS S.r.l.

Viale del Lavoro 22/D, 37036 San Martino B. A. (VR)

+39 045 80 31 894

idea@eiseko.it

Infrastrutture, il riuso delle terre da scavo

GIACOMO RUSSO

Professore associato in Ingegneria Geotecnica, Università degli Studi di Napoli Federico II

Il riuso delle terre da scavo rappresenta oggi una delle fondamentali **pratiche per la promozione della sostenibilità** nella costruzione delle grandi infrastrutture civili. Gli ingenti volumi di terre e rocce da scavo che derivano dalle attività costruttive, se opportunamente gestiti, possono essere valorizzati come risorsa piuttosto che trattati come rifiuto. In quest'ottica, il riutilizzo in loco o in altri cantieri di tali materiali consente di ridurre la necessità di approvvigionamento di nuove materie prime e, allo stesso tempo, di minimizzare i volumi di materiale da smaltire.

Questo approccio si inserisce pienamente nei principi dell'economia circolare e contribuisce in modo concreto alla sostenibilità ambientale delle opere civili, sia in termini di impatto ecologico che di efficienza economica. Promuovere una **corretta gestione delle terre da scavo** significa dunque contribuire alla realizzazione di infrastrutture più efficienti e rispettose dell'ambiente, favorendo approcci costruttivi orientati alla riduzione degli impatti ambientali e al recupero delle risorse.

La normativa sulle terre e rocce da scavo (D.P.R. 120/2017) definisce le condizioni e le modalità attraverso cui i materiali da scavo possono essere riutilizzati, a condizione che non siano contaminati e che soddisfino i **requisiti tecnici e ambientali previsti dalla legge**. Il decreto distingue tra terre da considerarsi sottoprodotti e terre da classificare come rifiuti, a seconda della destinazione d'uso e delle caratteristiche del materiale.

Quando le terre e rocce da scavo vengono qualificate come sottoprodotti e non come rifiuti, significa che risultano prive di contaminazioni, sono idonee all'uso previsto e destinate direttamente ad un impiego senza trattamenti diversi da quelli considerati

normale pratica industriale, secondo cui il riutilizzo dei materiali da scavo deve avvenire all'interno di processi produttivi consolidati e standardizzati, come previsto dalla normativa europea e nazionale.

Questo garantisce che l'impiego delle terre non comporti rischi per la salute pubblica o per l'ambiente, assicurando al contempo tracciabilità e trasparenza lungo tutta la filiera. I trattamenti che rientrano tra queste normali pratiche industriali sono la vagliatura, per separare frazioni indesiderate; la compattazione per adeguare la densità del materiale al riutilizzo previsto; la stabilizzazione a calce o cemento per migliorare le proprietà geotecniche del materiale tal quale.

Il miglioramento delle proprietà geotecniche si rende necessario qualora i terreni disponibili in sito non presentino, nel loro stato naturale, caratteristiche fisiche e meccaniche idonee per un loro riutilizzo in opere di rilevato, sottofondi stradali o riempimenti strutturali. In questi casi, la stabilizzazione con leganti idraulici (come calce o cemento) viene sempre più utilizzata nella pratica poiché è una soluzione tecnica vantaggiosa dal punto di vista economico ed esecutivo.

L'uso di leganti a base calcio per il trattamento di terreni favorisce la formazione di legami di cementazione fra grani o aggregati del terreno, modificando il **comportamento idro-meccanico** del materiale in modo da migliorarne le prestazioni, nella direzione di un possibile utilizzo come materiale da costruzione. Nonostante le quantità di legante utilizzate per il trattamento siano percentualmente ridotte rispetto alla massa del terreno trattato, la quantità di composti cementanti che si forma può essere sufficiente a garantire il raggiungimento di prestazioni del materiale compatibili con molte delle applicazioni nel settore delle opere civili. Il

trattamento con leganti può quindi essere progettato in modo modulare, calibrando tipo di legante, composizione della miscela e modalità operative in funzione della natura del terreno e delle prestazioni richieste. Questo consente un miglioramento mirato delle proprietà geotecniche, finalizzato al rispetto delle specifiche prestazionali previste dai capitolati per l'impiego in rilevati, sottofondi o altre infrastrutture.

I capitolati tecnici, in particolare quelli redatti da enti gestori delle infrastrutture pubbliche, stabiliscono standard rigorosi per garantire che le terre trattate con leganti come calce o cemento, raggiungano caratteristiche geotecniche e ambientali compatibili con gli impieghi previsti nelle opere civili. Tali documenti definiscono in modo puntuale le **modalità di campionamento e caratterizzazione del terreno** naturale destinato al trattamento, le procedure per la definizione del mix design (ovvero lo studio della miscela terra-legante), e la sperimentazione di laboratorio per la caratterizzazione fisica e meccanica del materiale stabilizzato.

I capitolati tecnici prescrivono anche le modalità di esecuzione in sito, che includono la realizzazione di un campo prova su scala reale. Questa sperimentazione ha lo scopo di verificare l'efficacia del trattamento direttamente sul terreno in opera, valutando il risultato complessivo ottenuto attraverso la corretta successione delle fasi operative (stesa, umidificazione, miscelazione, compattazione). Ogni fase del processo è finalizzata a **garantire l'efficienza del trattamento**, che viene validata attraverso

prove di controllo sulle prestazioni del materiale stabilizzato (densità, capacità portante, resistenza meccanica). Il campo prova costituisce quindi uno strumento essenziale per calibrare le tecniche esecutive e assicurare la rispondenza alle specifiche prestazionali definite dal progetto.

Nonostante la tecnica della stabilizzazione con leganti a base di calcio sia oggi ampiamente utilizzata per migliorare le proprietà meccaniche dei terreni di scavo, la durabilità a lungo termine del trattamento rappresenta ancora una questione aperta, oggetto di approfondimento sia a livello tecnico sia scientifico. La stabilità dei composti cementanti, nel tempo può infatti risentire dell'esposizione a condizioni ambientali avverse, come cicli di gelo/disgelo, di umidificazione/essiccamento, o dalla carbonatazione dovuta alla presenza di CO₂ atmosferica.

Studi recenti (e.g., Hass and Ritter 2018; Das et al. 2022; Chabrat et al., 2024; Bertola et al. 2024) riportano i risultati di prove di laboratorio condotte su terreni trattati a calce, prelevati da rilevati dopo anni di esercizio. Mediante varie tecniche sperimentali di analisi a differenti scale di osservazione, attraverso tali studi si cominciano ad evidenziare la **permanenza o l'evoluzione delle proprietà meccaniche e idrauliche** dei materiali trattati sia in direzione di un mantenimento delle prestazioni sia di progressivo degrado, a seconda delle condizioni ambientali e costruttive.

La **valutazione dell'effettivo impatto ambientale** derivante dall'impiego di leganti a base di calcio per il trattamento dei terreni di scavo rappresenta un tema di crescente



Figura 1 - Confronto fra le emissioni connesse alla realizzazione di un rilevato stabilizzato a calce e un rilevato tradizionale

interesse, soprattutto in un'ottica di riuso orientata alla sostenibilità delle opere civili. Sebbene la tecnica sia sempre più adottata nei grandi cantieri infrastrutturali, la quantificazione dei benefici e dei costi ambientali associati è ancora in fase di consolidamento. Il settore è oggetto di ricerca attiva, alimentata progressivamente dalla disponibilità di dati sperimentali e operativi provenienti da casi reali, che consentono di affinare le analisi e valutare l'efficacia complessiva del trattamento in chiave ambientale.

Un recente studio (Passaro et al., 2025) ha consentito di comparare i risultati dell'analisi di carbon footprint connessa alla realizzazione di un rilevato stabilizzato a calce rispetto a quelli relativi ad un rilevato tradizionale. L'analisi è stata condotta secondo i principi semplificati del *Life Cycle Assessment* (LCA), con un approccio Gate-to-Gate (ISO 14064-1:202), considerando le emissioni generate in relazione a tre fasi principali, la produzione delle materie prime, il trasporto dei materiali, la realizzazione del rilevato con mezzi d'opera (figura 1).

La stima delle emissioni è stata basata su fattori di emissione tratti da banche dati riconosciute ed accessibili. Sebbene la produzione della calce comporti un'elevata emissione di CO₂, così come il trattamento in sito un maggiore impiego di mezzi d'opera nella fase costruttiva, il bilancio complessivo del trattamento a calce risulta favorevole. Questo perché consente una drastica **riduzione dei trasporti verso siti di smaltimento esterni** e una minore fabbisogno di materiali da cava, con conseguente diminuzione delle emissioni legate alla logistica. Nel complesso, si ottiene un risparmio netto in termini di CO₂ equivalente, pari a una riduzione del 23% delle emissioni complessive rispetto a uno scenario tradizionale. Questo risultato corrisponde, in termini indicativi, alla quantità di CO₂ assorbita da circa 23mila alberi in un anno. La realizzazione di grandi infrastrutture civili rappresenta una sfida cruciale per la sostenibilità ambientale, soprattutto a causa dell'elevato volume di materiali impiegati e dei rifiuti generati durante le fasi di scavo e costruzione. Per questo motivo, è

fondamentale adottare strategie orientate al net zero waste, ovvero la minimizzazione totale degli scarti e il massimo riutilizzo dei terreni scavati che si rendano disponibili durante le lavorazioni, conformemente all'orientamento indicato dal rapporto "Excavated soil generation, treatment and reuse in the EU" (2024), recentemente pubblicato dalla Commissione Europea.

Raggiungere questo obiettivo significa non solo ridurre drasticamente l'impatto ambientale legato allo smaltimento dei materiali di scarto, ma anche **ottimizzare l'efficienza delle risorse**, abbattere i costi di gestione e **contribuire concretamente alla transizione** verso un'economia circolare nel settore delle opere civili. Solo attraverso una progettazione integrata e l'impiego di tecnologie innovative, come la stabilizzazione dei terreni da scavo mediante l'uso di leganti, sarà possibile costruire infrastrutture resilienti, sostenibili e compatibili con gli obiettivi climatici globali.

Riferimenti bibliografici

- Bertola F., Klotz F., Gerard P. François B., 2024. *Evaluation of the geomechanical properties of lime-treated silt samples extracted from an experimental levee 6 years after the construction. In: Proceedings of the XVIII ECSMGE 2024, Lisbon (P), 26-30 Aug. 2024.*
- Chabrat N., Russo G., Vitale E., Masrouri F., Cuisinier O., 2024. *Long-term characteristics of a stabilized expansive clay exposed to environmental-driven processes, Transportation Geotechnics, 46, 101257, ISSN 2214-3912, DOI: 10.1016/j.trgeo.2024.101257*
- Das G., Razakamanantsoa A., Saussaye L., Losma F., Deneele D., 2022. *Carbonation investigation on atmospherically exposed lime-treated silty soil. Case Studies in Construction Materials 17 (2022) e01222. DOI: 10.1016/j.cscm.2022.e01222*
- Haas S., Ritter H.-J., 2018. *Soil improvement with quicklime – long-term behaviour and carbonation. Road Materials and Pavement Design, DOI:10.1080/14680629.2018.1474793*
- Passaro G., Iannicelli D., Palamides S., Vitale E., Russo G. (2025). *Analisi della carbon footprint per la realizzazione di un rilevato ferroviario. Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica – Firenze settembre 2025.*

Make it reliable

Jotun delivers market-leading anticorrosive solutions for all types of infrastructure. Our high-performance coatings are rigorously tested to meet industry standards and provide excellent fire protection when it matters most.

Build for generations
without compromising on safety

SteelMaster

SteelMaster brings out the beauty of your steel design and enables you the freedom to design and let structure steel be an aesthetical part of your design vision, without compromising on safety. Combine with compatible topcoats with thousands of colours and metallic finishes in different gloss levels. The high-quality finish makes the SteelMaster products the preferred choice by architects.

Reliable, certified fire protection

- 30-180 minutes fire protection
- Globally certified
- Most efficient thin film products globally within its category

Sfruttare i rivestimenti delle gallerie per produrre energia termica

MARCO BARLA

Professore ordinario di ingegneria geotecnica, Politecnico di Torino

Trasformare le gallerie in scambiatori geotermici, per fornire riscaldamento e condizionamento agli edifici. È l'idea per **soddisfare la crescente richiesta di energia** utilizzando una fonte rinnovabile e localmente disponibile, ridurre le emissioni di anidride carbonica, in particolar modo nelle aree urbane, e raggiungere gli obiettivi richiesti in ambito Europeo (Directive 2009; European Commission 2016).

Scambiatori geotermici integrati nelle strutture geotecniche

Tra le risorse rinnovabili **gli impianti geotermici a bassa entalpia** (geotermia superficiale) possono fornire riscaldamento e condizionamento agli edifici utilizzando il sottosuolo come serbatoio termico in cui trasferire, per il tramite di una pompa di calore, il calore in eccesso dovuto al condizionamento degli ambienti durante il periodo estivo e da cui trarre quello necessario al riscaldamento durante l'inverno (Lund et al. 2011). Infatti, già alla profondità di una decina di metri la temperatura del suolo diventa sostanzialmente stabile, risentendo solo in minima parte delle fluttuazioni stagionali della temperatura dell'aria in superficie.

Oltre ai classici impianti a circuito chiuso, nei quali lo scambio di calore avviene tra il terreno e un liquido che scorre nel circuito installato all'interno di sonde geotermiche verticali o orizzontali, o a circuito aperto, nei quali lo scambio di calore si ha direttamente con l'acqua di falda presente nel sottosuolo attraverso pozzi di emungimento e immissione, oggi la geotermia superficiale trova

applicazione anche grazie alle cosiddette **geostrutture energetiche**. Queste ultime sono fondazioni, diaframmi e rivestimenti di gallerie che vengono strumentate per scambiare calore con il terreno (Brand 2006).

A livello costruttivo l'attivazione termica degli elementi strutturali avviene attraverso la **disposizione di un circuito di tubazioni in materiale polietilenico a elevata densità**, che costituisce un circuito chiuso entro cui fluisce il liquido termovettore. In questo modo si coniuga in un unico elemento la duplice finalità di stabilità strutturale e di scambio di calore con il terreno circostante conseguendo anche una riduzione dei costi di realizzazione dell'impianto geotermico poiché gli elementi in calcestruzzo sono già richiesti per ragioni strutturali e non si necessita di appositi scavi o perforazioni (Figura 1). **L'utilizzo di geostrutture energetiche è cominciato dagli anni '80**, con primi esempi di piastre di fondazione, e in seguito, si è esteso a pali e paratie (Brandl 2006; Adam e Markiewicz 2009; Preene & Powrie 2009; Di Donna et al. 2016; Bourne Webb & Costa Goncalvez 2016).

L'interesse verso l'applicazione nell'ambito dei rivestimenti di gallerie è giustificato dal fatto che le superfici a contatto con il terreno sono nettamente superiori rispetto al caso di pali e platee (Barla et al. 2016; Soga & Rui 2016). In più, oltre all'utilizzo per il condizionamento degli edifici, l'energia estratta dalle gallerie può anche essere utilizzata per mantenere ponti, binari e vie di transito liberi dal ghiaccio in inverno, incrementandone la sicurezza e la vita utile, oppure anche per raffreddare l'interno delle gallerie calde, in cui il movimento di treni e autoveicoli rappresentano una fonte

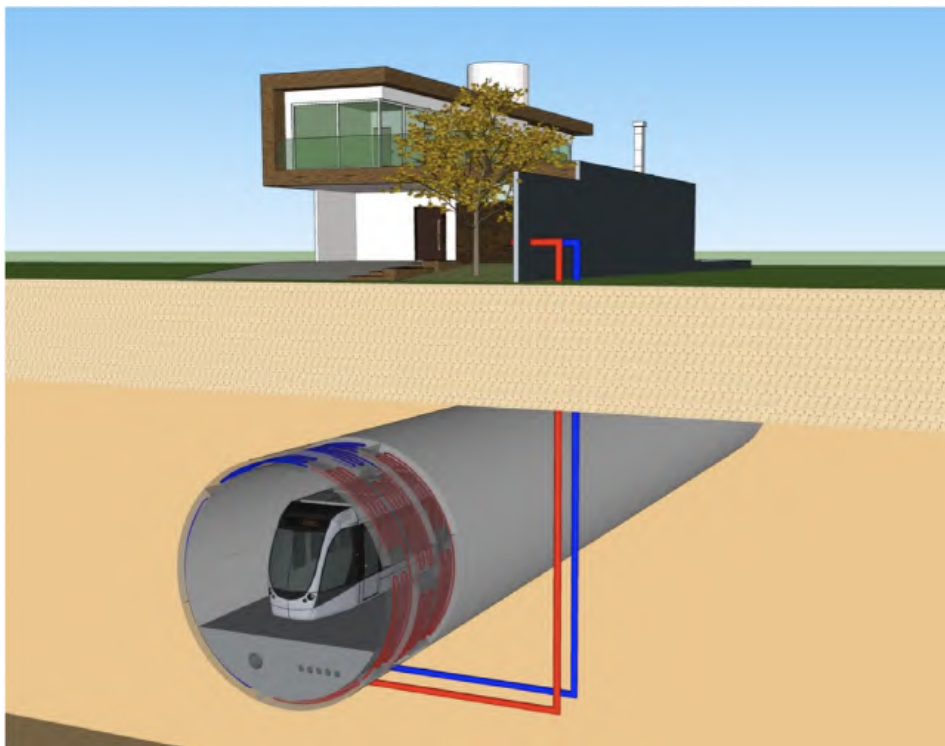


Figura 1 - Schema illustrativo del funzionamento di una galleria energetica per il riscaldamento e condizionamento degli edifici.

aggiuntiva di calore (Baralis et al. 2020). L'attivazione termica dei rivestimenti di gallerie è possibile sia nei casi di gallerie realizzate con metodo convenzionale, come ad esempio la galleria Lainzer in Austria (Adam & Markiewicz 2009) e la galleria Stuttgart-Fasanenhof (Schneider & Moormann 2010), o con scavo meccanizzato, come il Katzenbergtunnel in Germania (Franzius e Pralle 2011), Jenbach in Austria (Frodl et al. 2010) e la linea 1 della metropolitana di Torino (Barla et al. 2019). **L'applicazione alle strutture di nuova realizzazione** è l'opzione maggiormente conveniente, tuttavia studi recenti hanno messo in evidenza le potenzialità anche nell'ambito dei progetti di retrofitting (De Feudis et al. 2024).

Le esperienze in Italia

Le geostrutture energetiche nel nostro Paese stanno vivendo un periodo di particolare vivacità. **L'interesse per la tecnologia è cresciuto fortemente** soprattutto nell'ambito della ricerca universitaria mentre permane ancora un po' di diffidenza nell'applicazione reale. Il principale esempio italiano in ambito gallerie è lo sviluppo, nel 2016 presso il Politecnico di Torino, di un innovativo concio energetico denominato Enertun (Barla e Di Donna 2016) e la sperimentazione nella linea

1 della metropolitana di Torino (Barla et al. 2019). I dati raccolti a partire dal 2017 hanno consentito di valutare le performance del sistema nel sottosuolo della città in condizioni di funzionamento reale.

Lo scambio termico misurato è risultato compreso tra 40 e 66 W/m² a seconda della tipologia di applicazione (Barla et al. 2019 e Insana & Barla 2020), corrispondenti a 1MWt per km di galleria. Contestualmente, **l'effetto dei carichi termici sullo stato tenso-deformativo del rivestimento** è risultato modesto (Insana 2020) dimostrando che l'attivazione termica di una galleria urbana è un processo tecnologico gestibile in fase di progettazione, realizzazione ed esercizio, consente lo sfruttamento di importanti quantità di calore e non produce effetti termo meccanici sfavorevoli.

Il successo della sperimentazione torinese è stato trampolino per successive realizzazioni, tra cui quella della galleria di base del Brennero, ove un sistema di tubazioni inserite nella ricarica della galleria consente lo **scambio termico con l'acqua di drenaggio** (Tinti et al. 2023) e l'inserimento di tubi scambiatori durante la ristrutturazione della galleria Olimpia sulla A26 (De Feudis 2025) per consentire il de-icing della piattaforma autostradale.

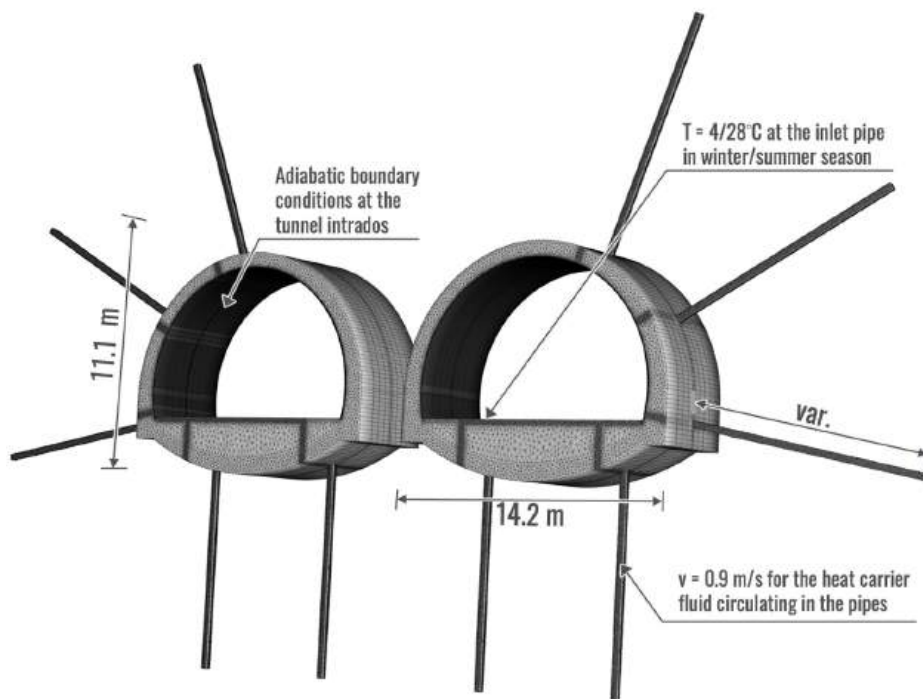


Figura 2 - Vista delle gallerie di Piedicastello (Trento) e schema della soluzione di retrofitting prevista (De Feudis et al. 2023).

Quest'ultimo caso è particolarmente intrigante per il nostro Paese attualmente alle prese con un massiccio processo di ristrutturazione delle infrastrutture. L'utilizzo di questa tecnologia nei tratti alpini e appenninici delle autostrade, caratterizzate da una successione di gallerie e viadotti, potrebbe consentire di ridurre sensibilmente gli impatti ambientali dovuti all'uso intensivo di soluti chimici per le attività di sghiacciamento.

A breve le gallerie di Piedicastello, ex tunnel stradali riconvertite a spazio espositivo, grazie ad un finanziamento Europeo (H2020 ARV), potrebbero essere integrate con scambiatori geotermici tramite sonde radiali realizzate dalla galleria per riscaldare le sale conferenze della Fondazione Museo Storico del Trentino.

Infine, la prospettiva di applicazione più promettente è quella della linea 2 della metropolitana di Torino: la prima tratta di circa 10 km è stata progettata per essere interamente attivata termicamente. Si tratta di oltre 5 km di linea realizzata con scavo meccanizzato e utilizzo di conci energetici e la rimanente parte in cut & cover ove **l'attivazione termica interesserà i diaframmi di supporto agli scavi**, così come per le stazioni di linea (Barla et al. 2020). Il calore scambiato con il terreno sarà in parte destinato alla climatizzazione delle stazioni e in parte distribuito a utilizzatori esterni (Figura 3).

Nell'ottica di uno sviluppo urbano sostenibile, è infatti particolarmente interessante la possibilità di integrazione con i sistemi di teleriscaldamento e l'eventuale realizzazione di reti di distribuzione locale di calore a differenti temperature, connesse direttamente all'infrastruttura sotterranea. Seppure il processo progettuale che conduce alla realizzazione di una galleria energetica esula da riferimenti normativi specifici, oggi esistono chiari riferimenti ed esperienze per completare le verifiche siano esse strutturali e/o geotecniche (Barla & Insana 2023). La progettazione richiede un approccio multidisciplinare integrando competenze geologiche, idrogeologiche, geotecniche, termotecniche e impiantistiche. In particolare, oltre alla necessità di **indagini specifiche sulle proprietà termiche dei terreni**, sono da tenere in conto l'esecuzione di due fasi aggiuntive, individuate come progetto termico e progetto strutturale.

La prima riguarda il dimensionamento energetico del sistema scambiatore di calore, in cui l'attenzione del progettista deve essere focalizzata sull'efficienza del sistema geotermico, sulla progettazione degli impianti e sulla sostenibilità ambientale. La seconda fase, invece, ha come obiettivo la quantificazione degli effetti che l'attivazione termica del sistema comporta, dal punto di vista tensionale, sul rivestimento.



Figura 3 - Schema concettuale dell'utilizzo del calore estratto tramite gli scambiatori geotermici integrati nei diaframmi e nei conci prefabbricati della galleria e delle stazioni della linea 2 della metropolitana di Torino.

Fondamentali sono le conoscenze geotecniche nel ruolo delle indagini e dei comportamenti costitutivi dei geomateriali nell'accoppiamento termo-idro-meccanico.

Conclusioni

Il vantaggio principale derivante dall'integrazione di scambiatori all'interno dei rivestimenti delle gallerie risiede nel fatto che essi vengono realizzati in ogni caso e questo comporta una notevole riduzione dei costi di installazione, rispetto alla realizzazione di un impianto geotermico tradizionale. **L'attivazione termica dei rivestimenti di gallerie** è quindi un'ottima opportunità per sfruttare il calore del sottosuolo con grandi vantaggi economici e ambientali. In termini energetici, le gallerie arrivano a scambiare circa 10-20 W/m² in assenza di flusso di falda e fino anche a 50-60 W/m² in caso di flusso di falda importante. Le gallerie energetiche rappresentano un potenziale elemento di innovazione tecnologica per il futuro, in linea con le politiche di maggior attenzione ai temi della sostenibilità ambientale ed è assai piacevole che questa novità nasca dalla geotecnica, una disciplina a volte vista come molto tradizionale. La vision proiettata dall'attivazione termica delle geostrutture rappresenta in questo scenario **un elemento nuovo e potenzialmente determinante** che la cultura geotecnica apporta alla comunità.

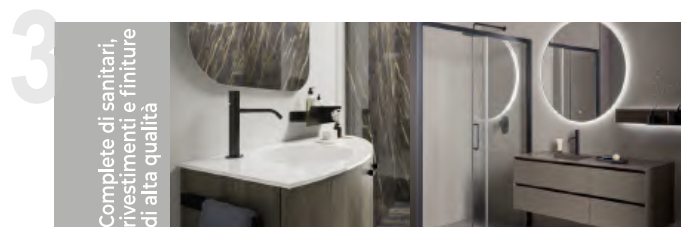
Riferimenti bibliografici

- Adam, D., Markiewicz, R. 2009. Energy from earth-coupled structures, foundations, tunnels and sewers, *Geotechnique* 59: 229-236, doi.org/10.1680/geot.2009.59.3.229.
- Baralis, M., Insana, A., Barla, M. 2020. Energy tunnels for deicing of a bridge deck in Alpine region. In M. Barla, A. Di Donna, D. Sterpi (eds.), *Challenges and innovation in Geomechanics, Proc. of the 16th International Conference of IACMAG 2020, Torino 1-4 Luglio 2020, Vol. 2*.
- Barla, M., Baralis, M., Insana, A., Aiassa, S., Antolini, F., Vigna, F., Azzarone, F., Marchetti, P. 2020. On the thermal activation of Turin metro Line 2 tunnels. In M. Barla, A. Di Donna, D. Sterpi (eds.), *Challenges and innovation in Geomechanics, Proc. of the 16th International Conference of IACMAG 2020, Torino 1-4 Luglio 2020, Vol. 2*.
- Barla, M., Di Donna A. 2016. Conci energetici per il rivestimento delle gallerie. *Strade e autostrade*: 2-5.
- Barla M., Di Donna, A., Insana, A. 2019. A novel real-scale experimental prototype of energy tunnel. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 87: 1-14.
- Barla M., Di Donna A., Perino A. 2016. Application of energy tunnels to an urban environment. *Geothermics* 61: 104-113, doi.org/10.1016/j.geothermics.2016.01.014.

- Barla M, Insana A (2023) *Energy tunnels as an opportunity for sustainable development of urban areas. Tunnelling and Underground Space Technology* 132, 104902.
- Bourne-Webb, P., da Costa Gonçalves, R. 2016. *On the exploitation of ground heat using transportation infrastructure. Procedia Engineering*: 1333-1340, doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.157.
- Brandl H. 2006. *Energy foundations and other thermo-active ground structures. Géotechnique* 56: 81-122.
- De Feudis S, Insana A, Barla M (2023) *An example of thermal retrofitting for the Piedicastello tunnel. Symposium on Energy Geotechnics Accelerating the energy transition 3-5 October 2023, Delft, the Netherlands.*
- De Feudis S, Insana A, Barla M (2024) *Seizing the opportunity of energy retrofitting of existing tunnels. Tunnelling and Underground Space Technology*, 154: 106109.
- De Feudis 2025. *Energy retrofitting of existing tunnels from conceptualization to full-scale implementation. PhD Thesis, Politecnico di Torino.*
- Di Donna, A., Cecinato, F., Loveridge, F., Barla, M. 2016. *Energy performance of diaphragm walls used as heat exchangers. Proc. Inst. Civ. Eng. Geotech. Eng.*: 1-14, doi.org/10.1680/jgeen.
- Directive 2009/28/EC. *Directive 2009/28/EC of the European parliament and of the council of 23/4/2009, Off. J. Eur. Union* 140: 16-62, doi.org/10.3000/17252555.L_2009.140.eng.
- European Commission 2016. *Overview of support activities and projects of the European Union on energy efficiency and renewable energy in the heating & cooling sector. Publications Office of the European Union, Luxembourg*, doi.org/10.2826/607102.
- Franzius J.N., Pralle N. 2011. *Turning segmental tunnels into sources of renewable energy. Proc. ICE - Civ. Eng.* 164: 35-40.
- Frodl S., Franzius J.N., Bartl T. 2010. *Design and construction of the tunnel geothermal system in Jenbach / Planung und Bau der Tunnel-Geothermieanlage in Jenbach. Geomech. Tunn.* 3: 658-668, doi.org/10.1002/geot.201000037.
- Insana, A. 2020. *Thermal and Structural Performance of Energy Tunnels. PhD Thesis, Politecnico di Torino.*
- Insana, A., Barla, M. 2020. *Experimental and numerical investigations on the energy performance of a thermo-active tunnel. Renewable Energy*. 10.1016/j.renene.2020.01.086
- Lund, J.W., Freeston, D.H., Boyd, T.L. 2011. *Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review. Geothermics* 40: 159-180, doi.org/10.1016/j.geothermics.2015.11.004.
- Preene M., W. Powrie, *Ground energy systems: from analysis to geotechnical design. Geotechnique* 59: 261-271, doi.org/10.1680/geot.2009.59.3.261.
- Schneider M., Moormann C. 2010. *GeoTU6 – a geothermal Research Project for Tunnels. Tunnel* 2: 14-21.
- Soga K., Rui, Y. 2016. *Energy geostructures. In: S.J. Rees (Ed.), Advances in Ground-Source Heat Pump Systems: 185-221, Woodhead Publishing*, doi.org/10.1016/B978-0-08-100311-4.00007-8.
- Tinti, F., Boldini, D., Ferrari, M., Lanconelli, M., Kasmaee, S., Bruno, R., Egger, H., Voza, A., Zurlo, R. 2017. *Exploitation of geothermal energy using tunnel lining technology in a mountain environment. A feasibility study for the Brenner Base tunnel – BBT. Tunnelling and Und. Space Tech.* 70: 182-203, doi.org/10.1016/j.tust.2017.07.011.

Cellule bagno prefabbricate per edilizia off-site

Prefabricated bathroom pods modular off-site construction



unimetal-pods

Torre San Giorgio (CN) - Via Circonvallazione Giolitti, 92
unimetal@unimetal.net - Numero Verde 800577385

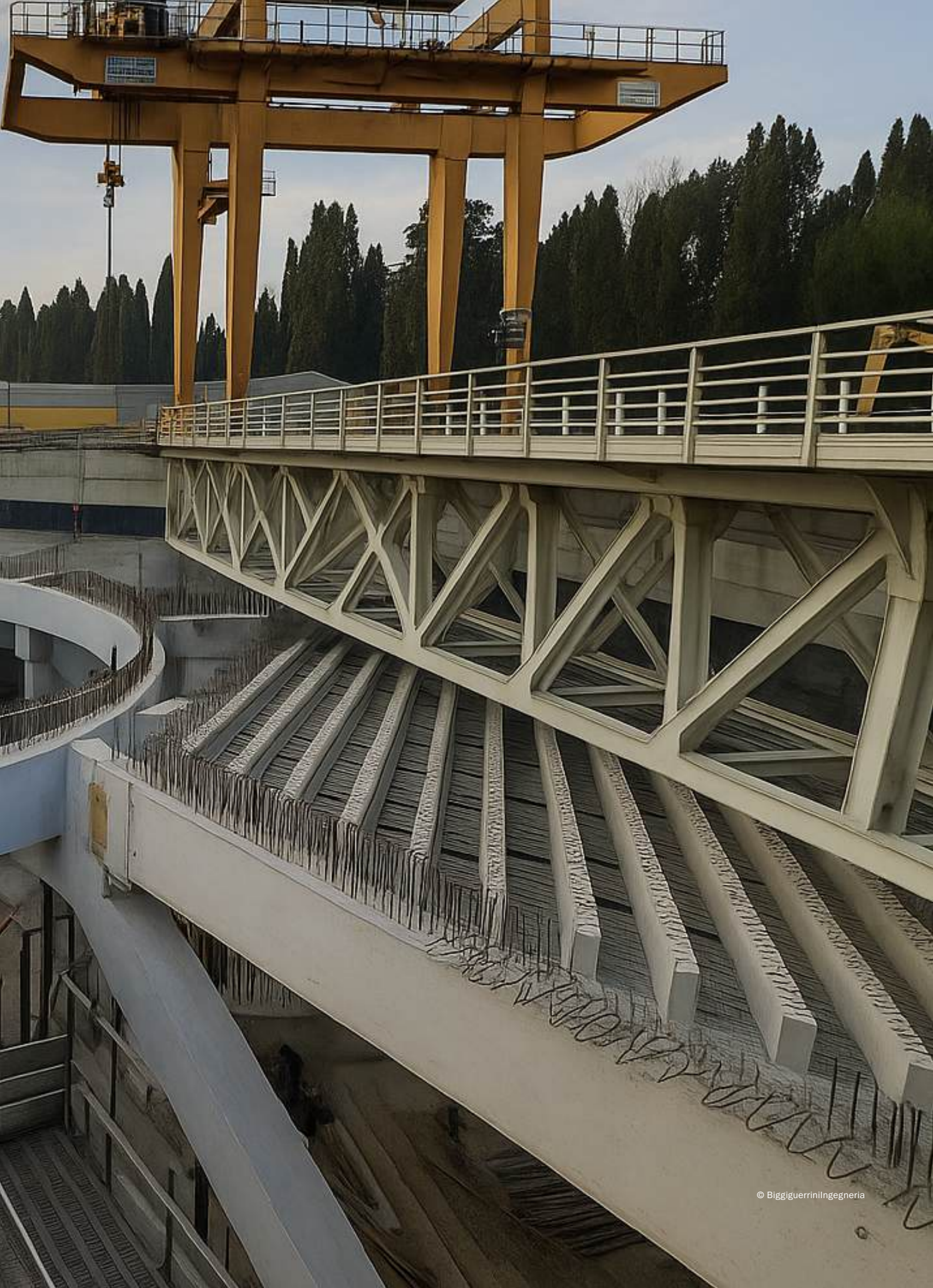
www.bathroompods.eu

A CURA DI PPAN

Pozzo del Celio, 60 metri di ingegneria avanzata per la metro C

Nel cuore di Roma, a piazza Celimontana, è stato realizzato un imponente pozzo di ventilazione per la metro C. Ben 60 metri di profondità e 35 di diametro, suddivisi in sei livelli separati da solai in cemento armato. Un'opera da record, che diventa **la più profonda infrastruttura metropolitana d'Italia**, superando la stazione Toledo di Napoli. Realizzato con tecniche d'ingegneria avanzata, il pozzo ospita **impianti di ventilazione forzata, percorsi tecnici e scale d'emergenza** per l'accesso diretto alle gallerie ferroviarie.





L'utilizzo dei pali di fondazione a fini energetici

ALESSANDRO MANDOLINI

Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli"

CHIARA IODICE

Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli"

Le risorse geotermiche sotterranee rappresentano una **grande riserva di energia rinnovabile** direttamente utilizzabile per soddisfare la sempre più crescente domanda energetica globale. L'attenzione nei riguardi di fonti alternative alle tradizionali non rinnovabili nasce, a livello globale, per dare risposta alle esigenze provenienti da vari settori (industria, trasporti, edilizia e così via) gravando quanto meno possibile sull'ambiente.

L'origine del termine 'geotermico' è di derivazione greca (geo, -thermós), significa 'calore della terra' e si riferisce all'energia proveniente dal sottosuolo terrestre.

Le fonti geotermiche vengono classificate in base all'entalpia. Le risorse a media e alta entalpia, caratterizzate da temperature di lavoro superiori a circa 100°C, richiedono

sistemi di estrazione molto profondi e vengono solitamente impiegate nelle centrali geotermiche per la produzione di elettricità. Le fonti a bassa entalpia sono, invece, associate a sistemi più superficiali che utilizzano pompe di calore per consentire lo scambio termico con il terreno al fine di provvedere al riscaldamento e/o raffrescamento degli edifici.

Con riferimento a quest'ultima tipologia, lo scambio può avvenire mediante sistemi a circuito chiuso composti da piccole tubazioni in cui circola un **fluido termovettore**, da installare in un foro di perforazione realizzato ad-hoc (sonde geotermiche) o inglobare in geostrutture energetiche (Figura 1). Le geostrutture energetiche sono sistemi geotecnici che assolvono contemporaneamente alle funzioni geotecnico/strutturali, per le quali si sono

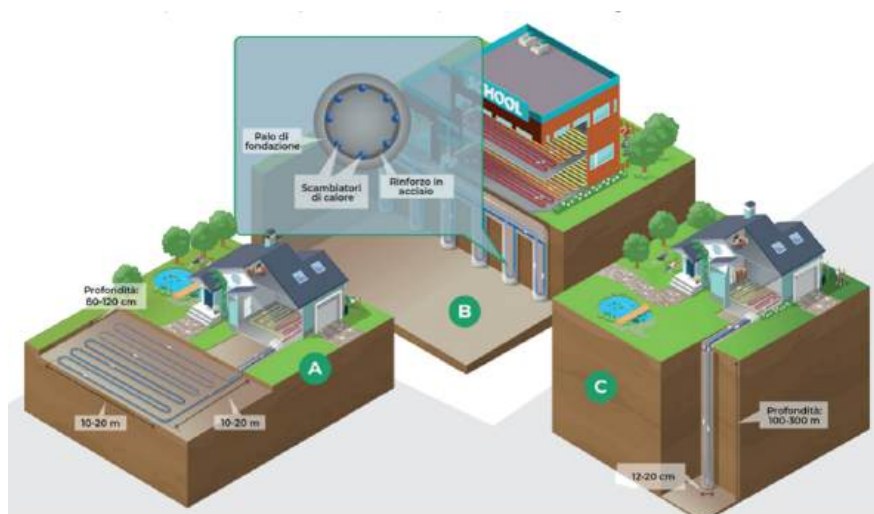


Figura 1 - Sistemi geotermici a bassa entalpia realizzati con (A) sonde geotermiche orizzontali, (B) geostrutture energetiche (pali di fondazione) e (C) sonde geotermiche verticali (modificata da Capodaglio et al., 2018)

resi necessari, e a quelle energetiche di scambiatori di calore con il terreno circostante. Questi sistemi, essendo caratterizzati da profondità operative fino a circa 60 m, sono denominati sistemi geotermici superficiali e includono tutte le opere che interagiscono con il terreno entro tali profondità, quali fondazioni superficiali, pali, muri di sostegno, diaframmi, gallerie e tunnel.

Il presente lavoro fornisce un contributo relativo all'impiego dei pali di fondazione come scambiatori di calore con il terreno circostante per l'utilizzo dell'energia geotermica. Tali sistemi prendono il nome di **pali energetici** e, assieme alla classica funzione di elemento strutturale, vengono tipicamente impiegati per assolvere, in modo sostenibile, alle esigenze di riscaldamento e raffrescamento degli spazi interni di edifici.

Energia geotermica: i pali energetici

A partire dagli anni '80, l'estrazione dell'energia geotermica mediante strutture di fondazione ha subito un forte impulso soprattutto in paesi europei quali Austria e Svizzera. Inizialmente, ciò avveniva tramite impiego di fondazioni superficiali e, successivamente, anche mediante pali energetici. Le fondazioni composte da pali energetici sono tra le applicazioni geotermiche più diffuse. È ben noto che i pali sono elementi strutturali il cui scopo è **trasferire al terreno i carichi derivanti dalla struttura in elevazione**. Quando equipaggiati con tubazioni a circuito chiuso in cui circola un fluido termovettore, acquisiscono anche il ruolo di scambiatori di calore con il terreno circostante (Figura 2).

Nonostante la tecnologia esecutiva dei pali di fondazione può contare su diversi metodi costruttivi, per i pali energetici il più diffuso è quello gettato in opera. In un palo energetico trivellato gettato in opera, le tubazioni scambiatrici, realizzate in polietilene ad alta densità, vengono fissate alla gabbia di armatura prima del getto del calcestruzzo. Tra le possibili configurazioni, tali circuiti possono essere **installati a formare una singola o una doppia U** e in configurazione a spirale o elicoidale in funzione dei risultati del progetto energetico (Figura 2). È possibile, pertanto, individuare un circuito primario contenente le tubazioni inglobate all'interno dei pali energetici che funge da **collegamento tra terreno e pompa di calore** e un circuito secondario costituito da una rete chiusa di

tubazioni installate all'interno dell'edificio aventi lo scopo di collegare la pompa di calore all'edificio stesso (Figura 3). Considerando che la temperatura del terreno è influenzata dalle fluttuazioni stagionali fino ad una profondità di circa 7 m, si può affermare che i pali energetici interagiscono con un serbatoio (il terreno) a temperatura praticamente costante nell'intervallo 10-25°C a seconda della zona climatica in cui sono installati (Laloui e Rotta Loria, 2019). Pertanto, durante l'inverno l'aria esterna è più fredda rispetto al terreno e il calore può essere estratto allo scopo di riscaldare, invece, durante l'estate, l'aria esterna è più calda e il calore può essere iniettato allo scopo di raffrescare. Ne segue che, stante le esigenze stagionali degli edifici, a differenza dei tradizionali carichi meccanici, la variazione di temperatura a cui sono soggetti i pali è solitamente una sollecitazione avente natura ciclica.

Come fondazioni profonde, i pali energetici sono progettati (i) per avere un adeguato **marginale di sicurezza nei riguardi della rottura geotecnica e strutturale** (Stato Limite Ultimo, Uls) e (ii) per garantire cedimenti assoluti e differenziali accettabili sotto i carichi di esercizio, quindi compatibili con la funzionalità della struttura in elevazione (Stato Limite di Servizio, Sls). L'interazione termo-meccanica con il terreno circostante determina una risposta in termini di sforzi e deformazioni

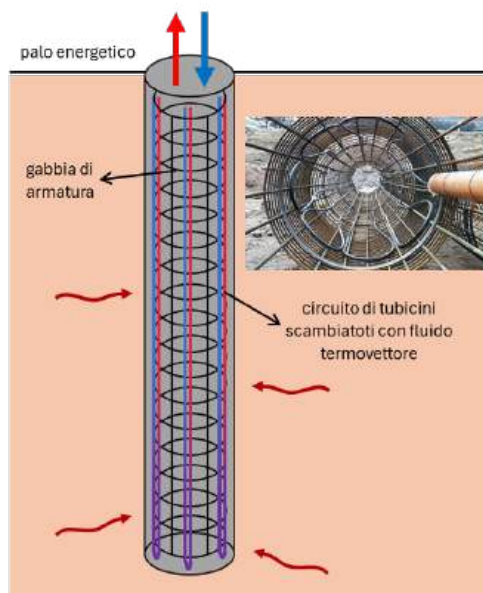


Figura 2 - Rappresentazione schematica di un palo energetico con circuito di tubicini scambiatori di calore collegati alla gabbia di armatura (foto tratta da Brandl, 2006)

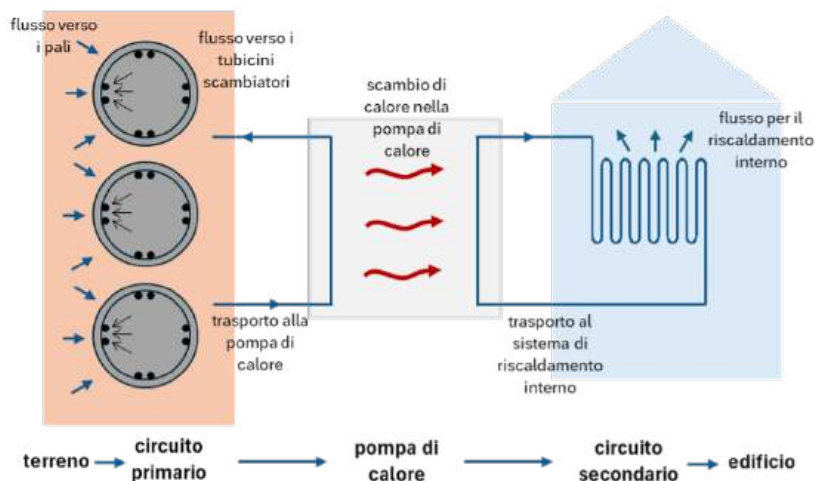


Figura 3 - Rappresentazione schematica di un impianto geotermico con funzionamento in riscaldamento (modificata da Brandl, 2006)

diversa rispetto all'applicazione di soli carichi meccanici (Figura 4). Infatti, l'espansione o la contrazione termica del palo dovuta alle variazioni cicliche di temperatura è limitata dalla presenza del terreno, dei pali tradizionali (termicamente inattivi) collegati alla stessa platea e, eventualmente, di strati più rigidi alla base del palo. Pertanto, a seconda della variazione di temperatura imposta, nascono degli sforzi di compressione o trazione che si sommano allo stato di sollecitazione dovuto ai carichi meccanici. La libera espansione/contrazione si traduce, invece, in spostamenti aggiuntivi. Si sottolinea che, stante la natura ciclica della sollecitazione termica, a seconda della tipologia di terreno in cui i pali sono installati, tali spostamenti possono presentare caratteristiche più o meno pronunciate di

irreversibilità e, quindi, accumularsi anno dopo anno di funzionamento. Al momento, a meno di raccomandazioni sviluppate da alcune nazioni europee, non esiste una metodologia consolidata per la progettazione (combinata geotecnica, strutturale ed energetica) di tali sistemi di fondazione. Alla luce di quanto richiamato riguardo gli aspetti fondamentali del comportamento dei pali energetici, alcuni studi disponibili in letteratura cercano di evidenziare le varie criticità che si celano dietro loro la progettazione termo-meccanica, e, quindi, di derivare semplici regole pratiche (Rotta Loria et al., 2019; Iodice et al., 2020). In generale, compatibilmente con le esigenze di efficienza energetica del sistema di fondazione, **l'utilizzo di configurazioni in cui siano presenti sia pali energetici che pali tradizionali** consente di giungere ad una soluzione ottimizzata per dare risposta ad entrambe le esigenze di **contenimento dei cedimenti e dello sforzo assiale agente alla testa dei pali**.

Il caso del Terminal E dell'aeroporto di Zurigo

Un'applicazione interessante relativa ad un sistema geotermico con pali energetici è costituita dalle fondazioni del Terminal E dell'aeroporto di Zurigo in Svizzera (Figura 5). Il terminal si estende su di una superficie avente dimensioni in pianta di **circa 500 x 30 m** con un volume complessivo da riscaldare e raffreddare pari a circa 20mila m³. La configurazione finale della fondazione consta di 440 pali in calcestruzzo armato gettato in opera (con lunghezza attiva media pari a 26.8 m e diametro compreso tra 0.9 e 1.5 m) di cui 306 sono equipaggiati con vari circuiti di tubicini a forma di U per consentire lo scambio

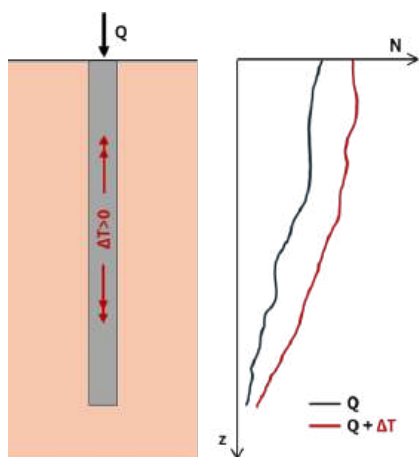


Figura 4 - Rappresentazione schematica della variazione dello sforzo assiale, N , con la profondità, z , nel caso di palo soggetto a carico verticale, Q , e incremento di temperatura, ΔT .



Figura 5 - Terminal E dell'aeroporto di Zurigo, Svizzera (tratta dal sito web dell'aeroporto di Zurigo)

di calore con il terreno. Dai dati di monitoraggio relativi al funzionamento del sistema tra ottobre 2005 e settembre 2006, è emerso che l'energia per il riscaldamento proveniente dalla fondazione geotermica con pompa di calore ha consentito di soddisfare circa il **73% del fabbisogno energetico annuo** pari a 3020 MWh; riguardo il raffrescamento, dei 1170 MWh richiesti, l'85% è stato soddisfatto mediante il sistema di fondazione (Pahud e Hubbuch, 2007). Oltre ai grandi vantaggi dal punto di vista energetico e di sostenibilità, dall'analisi dei costi è stato possibile stimare un rientro dell'investimento nella realizzazione dell'impianto geotermico di soli otto anni.

Conclusioni

L'impiego di fonti rinnovabili è l'unica alternativa possibile per far fronte alla crescente domanda di energia in modo sostenibile ed ecocompatibile. Tale azione si sposa con gli obiettivi europei e, più in generale, globali, di promozione dell'uso di energie pulite rispetto alle classiche fonti non rinnovabili che, quotidianamente, minacciano l'ecosistema in cui viviamo. Tra queste, un'interessante applicazione è costituita dall'estrazione dell'energia geotermica mediante impiego di opere geotecniche quali, ad esempio, i pali di fondazione. Il successo di sistemi di questo tipo è connesso alla semplicità con cui tali elementi, già richiesti per assolvere alle classiche funzioni geotecnico-strutturali, possono essere adatti a scambiatori di calore con il terreno circostante

per il riscaldamento e/o raffrescamento degli edifici che supportano. Infatti, nonostante non esista una consolidata metodologia progettuale, l'uso di fondazioni energetiche è sempre più diffuso anche grazie alla **velocità di rientro dei costi di investimento iniziale oltre che agli innegabili vantaggi in termini energetici.**

Riferimenti bibliografici

- Brandl H. (2006). *Energy foundations and other thermo-active ground structures*. *Géotechnique*, 56(2):81-122.
- Capodaglio P., Baietto A., Casasso A. e Della Valentina S. (2018). *Geotermia a bassa entalpia: aspetti ambientali, energetici ed economici. Il Progetto INTERREG Spazio Alpino GRETA in Valle d'Aosta. GRETA project booklet*, ARPA, Aosta.
- Iodice C., Di Laora R., Mandolini A. (2020). *Analytical Solutions for Ultimate Limit State Design of Thermal Piles*. *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 146(5):04020016
- Laloui L. e Loria A.F.R. (2019). *Analysis and design of energy geostructures: theoretical essentials and practical application*. Academic Press.
- Loria A.F.R., Bocco M., Garbellini C., Muttoni A. e Laloui L. (2020). *The role of thermal loads in the performance-based design of energy piles*. *Geomechanics for Energy and the Environment*, 21, 100153.
- Pahud D. e Hubbuch, M. (2007). *Measured thermal performances of the energy pile system of the dock midfield at Zürich Airport*.



F

O

C

U



S I N G

A CURA DI PPAN

PROPRIETÀ STRAORDINARIE DELLE TERRE RARE

CHIARA BRIVIO, PPA

ELEMENTI PER LE TECNOLOGIE AVANZATE E TRANSIZIONE ENERGETICA: CRITICITÀ SU ESTRAZIONE, IMPATTI AMBIENTALI E FILIERE

Le “terre rare” (Ree dall’inglese *Rare earth elements*) sono un gruppo di 17 elementi chimici fondamentali per le tecnologie moderne. «In base al peso atomico, i magnifici 17 si raggruppano in **terre rare leggere e terre rare pesanti**. Sono difficilissime da separare l’una dall’altra, ma, a parte il promezzo che in natura non esiste, ciascuna di esse ha proprietà molto diverse e conferisce alle tecnologie di uso quotidiano proprietà straordinarie, inimmaginabili fino a pochi anni fa», si legge in una nota del Politecnico di Torino del 2023. Sono infatti innumerevoli i componenti, i prodotti e le applicazioni per cui vengono sfruttate le proprietà di questi minerali strategici: dal settore eolico a quello automobilistico, dall’ambito sanitario alla difesa, ma anche nei comuni smartphone. Sono inoltre fondamentali per la transizione energetica e l’innovazione.

102

Le terre rare non sono definite così per la scarsità in natura, piuttosto per la difficoltà di estrazione e lavorazione, che ha inoltre un altissimo impatto ambientale. Sempre secondo il Politecnico di Torino, «le sostanze attraversano una numerosa serie di passaggi che coinvolgono in più stadi sostanze chimiche potenzialmente nocive e filtraggi, che generano consistenti scarti tossici, con un costo ambientale potenzialmente elevatissimo. È stato calcolato che la lavorazione di una tonnellata di metalli delle terre rare **produce circa 2mila tonnellate di rifiuti tossici**», con gravi conseguenze sull’inquinamento delle acque, sulla distruzione degli habitat con perdita della biodiversità

e sulle **emissioni di gas serra** «in quanto la lavorazione delle Ree richiede un notevole consumo di energia, spesso proveniente da fonti fossili».

Anche per questi motivi, le terre rare si trovano al centro di **tensioni geopolitiche internazionali e guerre commerciali**: basti solo ricordare il recente accordo tra gli Stati Uniti e l’Ucraina e lo scontro sui dazi tra gli Usa e la Cina, Paese che ad oggi, secondo l’**Agenzia internazionale dell’energia** (Iea) controlla il 90% della raffinazione delle Ree – anche se ne detiene il 60% a livello globale –, e del 60%-70% del litio e del cobalto. In altre parole, **la Cina esercita un monopolio quasi totale su questa catena di approvvigionamento, sempre più centrale per l’economia globale**. Una situazione che ha spinto il ministero della Difesa americano a stanziare oltre 439 milioni di dollari per l’approvvigionamento di terre rare in quattro anni, a partire dal 2020, oltre all’accordo recentemente siglato con l’Ucraina dal presidente Trump che prevede l’accesso alle risorse minerarie del Paese da parte degli Usa, in cambio della creazione di un fondo di investimento per la ricostruzione – gestito in forma paritaria –, che sarà parzialmente finanziato dalle future estrazioni. Dall’altra, la minaccia cinese del blocco dell’esportazione delle terre rare – che avrebbe messo in crisi il settore automotive, aerospaziale e militare, tra gli altri – ha visto le due super-potenze raggiungere un accordo sulla ripresa delle spedizioni di questi elementi dalla Cina verso gli Usa a giugno 2025, in risposta ai dazi su semiconduttori e veicoli elettrici cinesi imposti dall’amministrazione Trump ad aprile.

La corsa quindi, da parte dei Paesi a livello globale, è al riciclo di questi minerali dai componenti elettronici e, parallelamente, rendere più sostenibile il processo di estrazione e purificazione. E qui entrano in campo le ingegnerie.

Uno dei nuovi metodi è stato sviluppato dai ricercatori dell'**Università del Texas di Austin** e consentirebbe di estrarre e separare gli elementi "rari", come l'euporio e il terbio, laddove oggi non risulti possibile. Gli studiosi hanno sviluppato canali di pelle artificiale – minuscoli pori incorporati nelle membrane – che imitano i meccanismi di trasporto selettivo delle proteine presenti nei sistemi biologici. Se questo metodo potesse essere integrato a livello industriale, renderebbe più semplice portare avanti la separazione degli ioni negli Stati Uniti, utilizzando anche maggiore energia pulita.

Nemmeno l'**Unione europea** sta a guardare: nel 2025 infatti, la Commissione ha selezionato **47 progetti strategici, dei quali quattro in Italia, per un investimento complessivo di 22,5 miliardi di euro**, per garantire e diversificare l'accesso alle materie prime. Uno step che si inserisce nella cornice del **Critical raw materials act del 2023**, che dovrebbe garantire all'Ue l'accesso a un approvvigionamento sicuro e sostenibile di materie prime critiche (delle quali le terre rare sono parte), consentendo all'Europa di conseguire i suoi obiettivi climatici e digitali per il 2030. L'Unione, infatti, stima che la domanda di terre rare dovrebbe aumentare di sei volte nel 2030 e fino sette volte entro nel 2050, con il litio che addirittura dovrebbe crescere di dodici e ventuno volte, rispettivamente. Il regolamento punta a garantire che l'estrazione, la trasformazione e il riciclaggio europei delle materie prime strategiche soddisfino rispettivamente il 10%, il 40% e il 25% della domanda dell'Unione entro il 2030, e che la dipendenza da una singola fonte di approvvigionamento non superi il 65% del consumo. Per quello che riguarda l'Italia, secondo una ricerca condotta da **Iren-The European House – Ambrosetti** (Teha), nel 2020 il fabbisogno italiano di materie prime strategiche per la produzione delle tecnologie chiave si attestava a **circa 2.782 tonnellate**. Sempre secondo le stime di Teha, per il 2040 questo fabbisogno crescerà tra le cinque e le undici volte.

I **quattro progetti italiani** finanziati dalla Commissione si concentrano sul riciclo e la valorizzazione delle terre rare e altri metalli strategici. In Toscana, a Rosignano Marittimo, la Solvay Chimica Italia con l'**Alpha project** punta in particolare al riciclo del palladio, utilizzato nella produzione del perossido di idrogeno, a sua volta impiegato nell'industria dei semiconduttori come soluzione lavante nella produzione di microchip. Scendendo nel Lazio, il progetto **Life22-Env-It-Inspiree** a Ceccano (Frosinone) è sviluppato da Itelyum Regeneration per il riciclo delle terre rare (neodimio, praseodimio, disprosio) da magneti permanenti esausti,

hard disk e motori elettrici. Infine, in Veneto e in Sardegna, è la Circular Materials ad avere promosso due progetti, rispettivamente a Cadoneghe e a Portovesme. A Cadoneghe, con il recupero e riciclo di metalli critici da rifiuti industriali, come nichel, rame e metalli del gruppo del platino. A Portovesme, con il **Portovesme CRM Hub**, utilizzando una tecnologia idrometallurgica avanzata per estrarre metalli strategici come rame, nichel, stagno e cromo da batterie al litio esauste e scarti di produzione provenienti da tutta Europa.

Sempre in Italia, il progetto internazionale **Freecover** (Eco-friendly hydrometallurgy for rare earths recycling) coordinato dal dipartimento Politecnico di ingegneria e architettura dell'**Università di Udine**, ha ricevuto 777mila euro di fondi dall'Unione europea. La ricerca punta al riciclo sostenibile dei materiali di scarto delle terre rare. Nove i partner coinvolti, provenienti da sette Paesi: Bosnia ed Erzegovina, Cuba, Irlanda, Italia, Serbia, Slovenia e Spagna.

Riferimenti bibliografici

<https://www.cnn.com/2025/05/28/china-controlled-rare-earths-account-for-3-pounds-of-an-electric-car-ev.html>
<https://erion.it/it/news/terre-rare-che-cosa-sono-e-perche-sono-al-centro-della-transizione/#:~:text=Pi%C3%B9%20nello%20specifico%20si%20tratta,%2C%20Tulio%2C%20Itterbio%20e%20Lutezio>
<https://www.polito.it/ateneo/comunicazione-e-ufficio-stampa/poliflash/le-terre-rare-sono-solo-la-punta-dell-iceberg>
https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/strategic-projects-under-crma/selected-projects_en
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/ip_23_5733
https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/critical-raw-materials-act_en?prefLang=it
<https://it.euronews.com/my-europe/2025/06/04/dal-litio-alle-terre-rare-la-strategia-dell'europa-per-alimentare-il-suo-futuro-energetico>
<https://www.csis.org/analysis/what-know-about-signed-us-ukraine-minerals-deal>
<https://qui.uniud.it/ricerca-e-innovazione/terre-rare-lateneo-coordina-un-progetto-internazionale-finanziato-dall'unione-europea/>
<https://www.scienzaonline.it/articolo/terre-rare-loro-di-pechino-che-tutti-vogliono/luca-carra-grazia-giampaolo/2025-05-02>
https://www.youtube.com/watch?v=_HSy0gqmd8S
<https://www.gruppoiren.it/it/everyday/sfide-di-innovazione/2023/studio-iren-ambrosetti-materie-prime-critiche.html>
<https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023/clean-energy-supply-chains-vulnerabilities>

AMBIENTE E LAVORO, IL CONFLITTO DEI TERRITORI

FRANCESCA FRADELLONI, PPAN

IL CASO DELL'EX ILVA, IL BIVIO TRA LA PROMESSA DI UN POLO SIDERURGICO GREEN E IL RISCHIO DI UN COMPROMESSO CHE PROLUNGH L'AGONIA AMBIENTALE DELLA CITTÀ

L'impatto ambientale e l'impatto sanitario di alcune industrie nei territori italiani è da sempre motivo di dibattito. Dalla raffineria di petrolio della Saras, sul braccio del Golfo degli Angeli che fronteggia Cagliari (la più grande del Mediterraneo) all'ex Ilva, oggi Acciaierie d'Italia, di Taranto, il lessico del bene pubblico ha parole sempre diverse.

Il tema della scelta tra **lavoro e salute**, e le relative implicazioni per i territori, è complesso e attuale. Molti territori si trovano a dover affrontare decisioni difficili che mettono in contrapposizione la necessità di tutelare la salute dei cittadini e la creazione di posti di lavoro. Questa situazione spesso deriva da fattori come la presenza di attività industriali inquinanti, la mancanza di alternative economiche o la difficoltà di applicare le normative sulla sicurezza sul lavoro.

I cittadini e le comunità locali desiderano sempre più spesso che le attività economiche siano compatibili con la tutela dell'ambiente e della salute; questo implica la ricerca di soluzioni che permettano di conciliare sviluppo economico e benessere sociale. **Per questo è fondamentale che le comunità locali siano coinvolte nelle decisioni che riguardano il loro territorio**, partecipando attivamente al dibattito e alla costruzione di una cultura condivisa sulla pianificazione e la gestione delle attività economiche.

Saras si conferma l'azienda col maggior fatturato in Sardegna, ma il primato economico solleva interrogativi su sostenibilità, sicurezza e futuro industriale dell'isola.

Tra dipendenza dai fossili e transizione ecologica ancora incerta, la vera sfida è tutta da giocare. Era stato tutto raccontato con dovizia di particolari e un approfondito approccio documentaristico, in "Oil", film inchiesta firmato da Massimiliano Mazzotta. Ancora poche settimane fa durante l'ultimo appuntamento che si è tenuto in Municipio a Sarroch è stato affrontato il problema dei cattivi odori provenienti dalla raffineria, che nei giorni scorsi hanno provocato gravi disagi alla popolazione.

Nelle cronache dei giorni in cui va in stampa questo numero de L'Ingegnere Italiano però tiene banco la vicenda dell'ex Ilva. La popolazione tarantina ha proclamato ufficialmente nel bel mezzo dell'estate 2025 lo stato di emergenza sanitaria e ambientale nel territorio di Taranto e dei Comuni limitrofi, con effetto immediato e fino alla cessazione delle condizioni di rischio per la vita, la salute e l'ambiente.

È la determinazione a cui sono arrivati comitati civici, associazioni, rappresentanze territoriali e cittadini, riuniti in sit in nei pressi della prefettura per dire no al rilascio dell'Aia all'ex Ilva. In un comunicato si definisce la dichiarazione un "atto collettivo di autodifesa civile" contro decisioni istituzionali ritenute lesive dei diritti fondamentali. Al centro della protesta, **il rinnovo**

dell'Autorizzazione integrata ambientale (Aia) per lo stabilimento siderurgico, approvato dal governo nonostante il parere contrario di Regione, Provincia, Comune di Taranto e Comune di Statte. L'accordo proposto dal ministro delle Imprese e del Made in Italy, Adolfo Urso, che prevede la completa decarbonizzazione in 12 anni, durante i quali la produzione di acciaio resterà costante a 6 milioni di tonnellate, con tanto di unità galleggiante di stoccaggio e rigassificazione, scontenta tutti. Ma a oggi la soluzione per l'Ilva di Taranto sembra in alto mare. Un nuovo incontro è atteso per il 12 agosto, mentre già dal primo agosto è partita la gara per la cessione degli impianti. La gara si chiuderà a ottobre e vede in lizza gruppi come Jindal e Baku Steel, ma **resta l'incognita sui fondi necessari**: il revamping degli altiforni, stimato in un miliardo di euro, appare un investimento rischioso per un impianto destinato a essere superato dai forni elettrici in pochi anni.

L'obiettivo della riunione del 12 agosto è quello di definire un accordo che tracci il futuro green dell'ex Ilva, con un focus sulla decarbonizzazione attraverso l'adozione di forni elettrici e impianti di preridotto (DRI).

Due erano le opzioni principali discusse: la prima prevedeva la costruzione di tre forni elettrici e tre impianti DRI; la seconda si limitava a tre forni elettrici, senza specificare il numero di DRI. Il sindaco Piero Bitetti, presente al tavolo dopo aver ritirato le dimissioni annunciate il 28 luglio a seguito delle proteste delle associazioni ambientaliste, aveva riproposto una "terza via" già avanzata al Comitato tecnico su gas e DRI: tre forni elettrici abbinati a un solo impianto DRI.

Questa soluzione, che ridurrebbe il fabbisogno di gas e l'impatto della contestata nave rigassificatrice, non ha però raccolto consenso unanime. Bitetti, eletto solo due mesi fa con il sostegno del centrosinistra e vicino al governatore Michele Emiliano, aveva sottolineato la **necessità di un passaggio in Consiglio comunale** per rispondere alle pressioni della comunità tarantina, che temeva una proroga dell'uso del carbone per altri 12 anni, come previsto dall'attuale Autorizzazione integrata ambientale (Aia).

Tavoli aperti che riflettono le tensioni tra le esigenze produttive e le istanze ambientali della città. Le associazioni ambientaliste contestano un piano che, secondo loro, non garantisce una chiusura immediata dell'area a caldo, responsabile di decenni di inquinamento. Sul fronte industriale, Confindustria Taranto insiste su tre forni e tre DRI, con una nave rigassificatrice nel porto, per garantire continuità produttiva e competitività, ma avverte che servono tempi realistici (otto anni) e garanzie statali per attrarre investitori. In parallelo, la Camera ha approvato il decreto ex Ilva con 139 voti favorevoli e 85 contrari, dopo il via libera alla fiducia.

Il provvedimento stanza fino a 200 milioni di euro per il 2025 per garantire la continuità produttiva e la sicurezza degli stabilimenti, introduce **semplificazioni per investimenti sopra i 50 milioni di euro nelle aree ex Ilva** o funzionali allo stabilimento, e disciplina la realizzazione degli impianti DRI. Inoltre, il decreto prevede la nomina di un commissario straordinario per coordinare gli investimenti.



© Adobe Stock

ASCOLTARE LA TERRA: MONITORAGGIO GEOFISICO TRA SCIENZA E TECNOLOGIA

GIULIA FUSELLI, PPA

RETI INTELLIGENTI, SENSORI AVANZATI
E OSSERVATORI TRASFORMANO IL RUMORE
DEL PIANETA IN CONOSCENZA UTILE
ALLA PREVENZIONE

In un hangar affacciato sul porto industriale di Valencia, un team di ingegneri e ricercatori del **Centro Allerta Tsunami (Cst)** dell'ente di ricerca dedicato, l'Istituto Nazionale di Geofisica e vulcanologia (Ingv) hanno studiato un galleggiante di due metri di lunghezza. Si tratta di uno degli strumenti più sofisticati per ascoltare il mare e anticiparne i segnali più estremi: **gli tsunami**. È qui che i ricercatori sono volati per monitorare gli ultimi dettagli del lavoro svolto dalla ditta spagnola Mediterranea Señales Marítimos (Msm), incaricata di realizzare le due boe d'alto mare nel Mar Ionio. Collegate a sensori di pressione a oltre 3mila metri di profondità e in grado di trasmettere dati in tempo reale, queste boe segnano un punto di svolta: sono le prime nel Mediterraneo e parte del sistema globale North-eastern Atlantic, the Mediterranean and Connected seas Tsunami Early Warning and Mitigation System (Neamtws), promosso dall'Unesco per l'allerta, il monitoraggio e la mitigazione appunto degli tsunami.

Il laboratorio di Valencia mostra quanto il rumore, inteso come l'insieme delle vibrazioni generate dal pianeta, diventi un linguaggio da saper interpretare. **L'ingegneria geofisica si occupa proprio di questo: captare, filtrare e rendere intellegibili** quei segnali invisibili che la Terra emette costantemente. Come ricordava Aristotele,

«in tutte le cose della natura esiste qualcosa di meraviglioso», e oggi, grazie a tecnologie sempre più sofisticate, anche il «silenzio» del nostro pianeta può rivelare informazioni preziose. Dalla Spagna all'Italia. Nel Comune di Bitti (NU), un gruppo di ricercatori dell'Ingv ha condotto un esperimento per approfondire la conoscenza del rumore sismico ambientale nei pressi del sito di Sos Enattos, nell'ambito del Sardinia Far Fault Observatory (Faber). Per l'occasione sono stati installati diciassette sismometri a banda larga, disposti secondo una particolare configurazione a elica, progettata per rilevare il rumore sismico ad alta frequenza che si propaga nei primi 200 metri di profondità.

La strumentazione impiegata è stata acquisita grazie al progetto Pnrr, **Monitoring Earth's Evolution and Tectonics (Meet)**, che mira a sviluppare una nuova infrastruttura di ricerca distribuita sul territorio nazionale, dedicata allo studio dei processi geodinamici e alla sorveglianza sismica e vulcanica. I dati raccolti nell'esperimento contribuiranno a completare la mappatura del rumore ambientale e a identificare con maggiore precisione le sorgenti e le variazioni di quel caratteristico **«silenzio sismico»** che rende unico il sito di Sos Enattos. Un asse fondamentale del progetto Meet riguarda, infatti, due osservatori per lo studio dei fenomeni geofisici.

L'Osservatorio vulcanologico a Pizzi Deneri, situato a 2.818 metri di quota, sul bordo della Valle del Bove in Sicilia. Il suo **sistema di monitoraggio rappresenta la punta di diamante del complesso sistema di monitoraggio e sorveglianza del vulcano Etna** che l'Osservatorio Etneo-Sezione di Catania dell'Ingv gestisce e sviluppa a seguito del Decreto Legislativo n. 381 del 29 settembre del 1999. La struttura sarà dotata di strumentazione scientifica avanzata e promosso come laboratorio di ricerca internazionale, accessibile sia fisicamente che in modalità virtuale.



Nelle profondità della miniera dismessa di Sos Enattos, a Lula (NU), il **progetto Sardinia Far Fault Observatory (Faber)**, un osservatorio geofisico permanente. Il sito è candidato come sede italiana per l'Einstein Telescope, la grande infrastruttura di ricerca del futuro rivelatore di onde gravitazionali da realizzare in Europa. Sos Enattos è caratterizzato da condizioni ambientali eccezionalmente favorevoli: l'assenza di rumore antropico e la posizione sotterranea remota permetteranno la **raccolta di dati sismici di altissima qualità**, rendendo l'osservatorio una risorsa strategica per la comunità scientifica internazionale.



Array sismici, reti urbane e stazioni acustiche sono solo alcuni degli strumenti grazie ai quali emerge un ritratto potente: **la Terra comunica continuamente, e il "silenzio" può raccontare tanto quanto il "rumore"**. Ascoltarlo significa anticipare rischi, progettare sistemi

di allerta più reattivi e proteggere la comunità. E se Aristotele aveva ragione - che in ogni cosa naturale si cela qualcosa di meraviglioso - quel segreto si trova nelle vibrazioni che ci attraversano. Comprenderle è più che scienza: è ascolto del nostro pianeta.

L'AGRIFOOD, CHIAVE DELL'ECONOMIA ALLA RICERCA DI NEOLAUREATI

FRANCESCA FRADELLONI, PPAN

INNOVAZIONE, STARTUP E SOSTENIBILITÀ: LE SFIDE APERTE TRA FORMAZIONE, INVESTIMENTI E NUOVE TECNOLOGIE

Produzione, trasformazione, distribuzione e consumo di prodotti alimentari. In una sola parola Agrifood. Un settore chiave per l'economia, con un forte impatto sulla sostenibilità e sulla sicurezza alimentare che include sia l'agricoltura e le attività connesse, sia l'industria alimentare e le sue filiere. In questo contesto, è stata lanciata la **Call4Future AGRIFOOD25**, un'iniziativa ambiziosa che mira a catalizzare investimenti e innovazioni nell'ambito agricolo. Con l'aumentare della popolazione mondiale e le sfide poste dai cambiamenti climatici, diventa essenziale non solo aumentare la produzione di cibo, ma farlo in modo sostenibile. Le ragioni per investire nel settore sono molteplici: dall'innovazione tecnologica che promette di ottimizzare le risorse esistenti alla crescente richiesta di prodotti alimentari che rispettino criteri etici e sostenibili.

Attraverso un investimento di 1 milione di euro e un programma di accelerazione avanzato, la call mira a identificare e supportare startup capaci di proporre soluzioni innovative nei quattro ambiti critici: agricoltura sostenibile, alimentazione, biodiversità e materiali biodegradabili.

Un'iniziativa importantissima soprattutto se si leggono gli ultimi dati prodotti dalla ricerca sull'anno 2024 dell'**Osservatorio Smart AgriFood 2025 del**

Politecnico di Milano e dell'Università degli Studi di Brescia. Lo studio segnala una tendenza che ha contrassegnato l'andamento dello scorso anno quando, dopo una progressione caratterizzata da una crescita costante, si è dovuto registrare una frenata. Il mercato dell'agricoltura 4.0, infatti, nel suo complesso è sceso dai **2,5 miliardi di euro del 2023 ai 2,3 miliardi di euro del 2024** registrando un calo dell'8%. Un dato, è bene precisarlo subito, nel quale convivono due fenomeni per certi aspetti in contrasto tra loro ma che aiutano a comprendere meglio le motivazioni che stanno alla base delle scelte di innovazione. Le tecnologie avanzate – ad esempio intelligenza artificiale, biotecnologie e Internet of things – trovano nell'agroalimentare il terreno ideale per svilupparsi e che apre la strada alla sostenibilità.

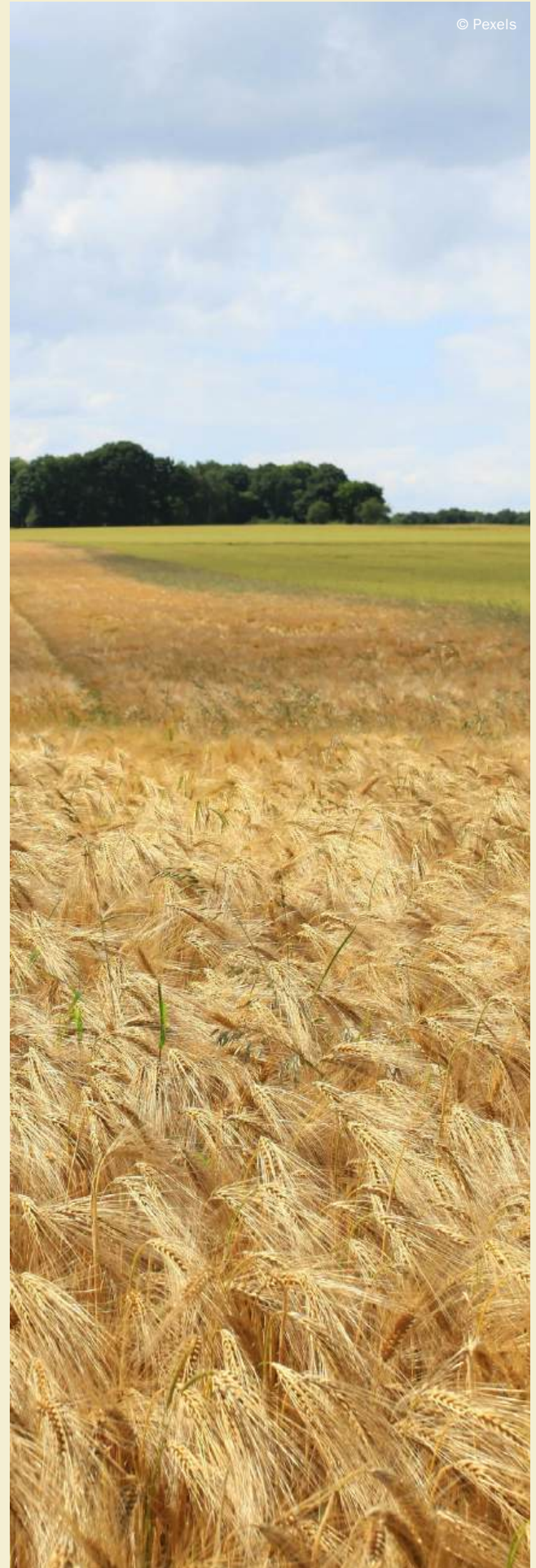
Emerge che nelle imprese del settore primario sono entrati **meno macchinari e meno attrezzature** mentre, al contrario, sono aumentati **software e soluzioni per lavorare sui dati**. In altre parole sono cresciuti Farm management information system, Decision support system, sistemi di monitoraggio e mappatura dei suoli e delle colture.

Si tratta di tipologie di investimenti che segnalano una **maggiore propensione delle imprese a lavorare sui dati** e a cercare di disporre di maggiore intelligenza, con investimenti che portano in azienda soluzioni importanti

sotto il profilo della gestione e delle prospettive di sviluppo. Tuttavia, per quanto importanti, si tratta di investimenti in soluzioni che non compensano la diminuzione degli investimenti collegati all'hardware. Le conseguenze del cambiamento climatico nella forma di tanti **eventi metereologici estremi** hanno penalizzato il settore, come se non bastasse, a queste criticità si è aggiunto il fatto che il settore aveva messo a segno crescite importanti grazie all'effetto di incentivi che poi si sono esauriti. Ma più che il rallentamento degli investimenti, il dato che preoccupa maggiormente riguarda la sostanziale staticità che caratterizza l'adozione del digitale.

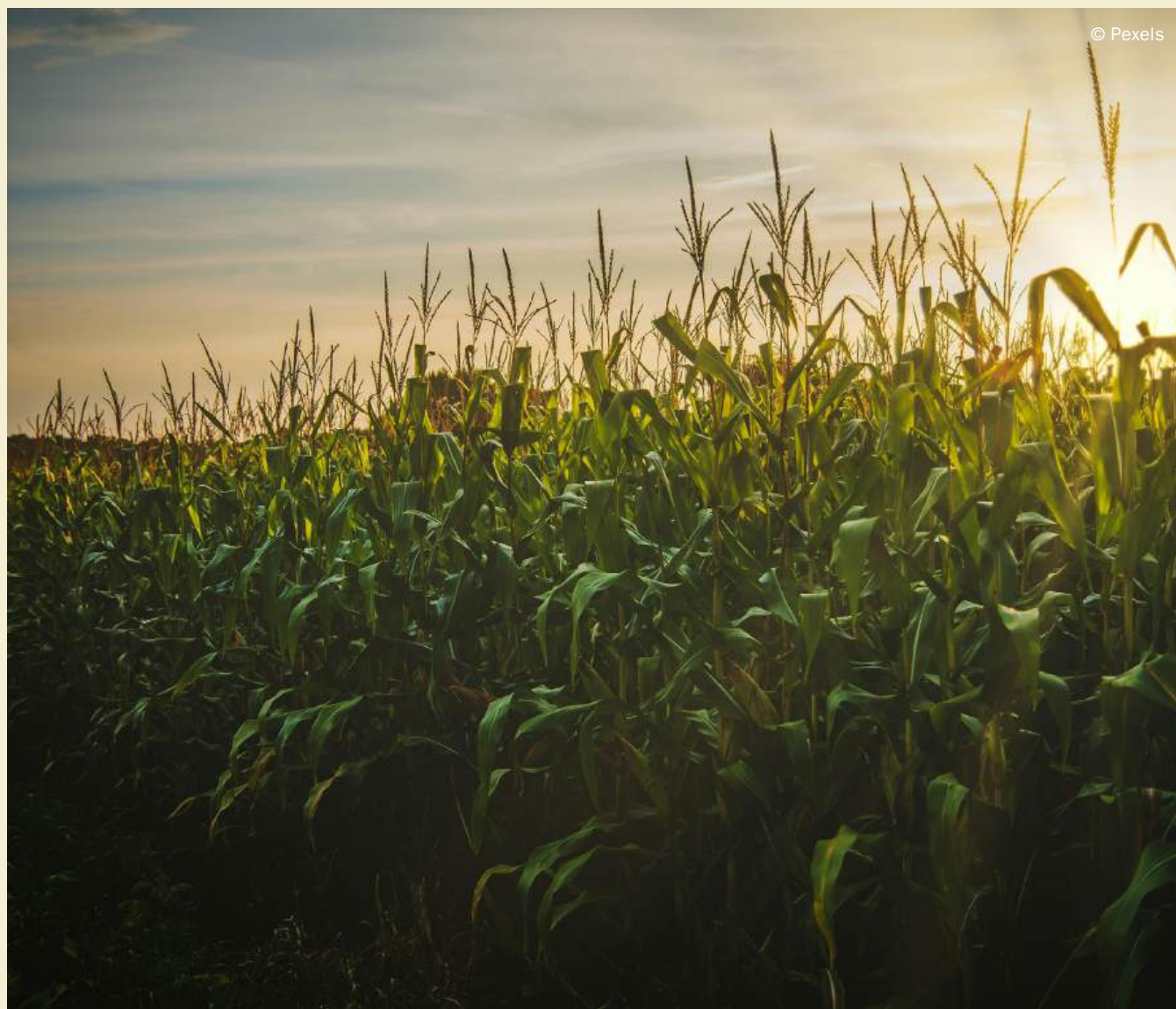
Nonostante questo scenario di leggera flessione, la domanda di **professionisti del sistema agroalimentare** cresce a tal punto che diventa complicato soddisfarla. Per rispondere a questa domanda è nata, infatti, la **laurea magistrale in Agricultural and Food Economics dell'Università Cattolica del Sacro Cuore di Cremona**. Rivolta a laureati triennali in discipline tecnico-scientifiche ed economico-gestionali, questa magistrale rappresenta un punto di riferimento in Italia per chi vuole intraprendere una carriera nel mondo dell'economia agroalimentare con respiro globale. Tutti i corsi della laurea sono tenuti in **lingua inglese** e molti docenti provengono da università internazionali. Ma il vero valore aggiunto è rappresentato dalle opportunità di scambio con l'estero: gli studenti con i requisiti adeguati possono trascorrere uno o due semestri presso atenei partner situati in **Europa, Stati Uniti o Australia**. Tra le esperienze più significative offerte spicca il programma di Double Degree, che consente di ottenere due titoli di laurea magistrale grazie a un accordo tra università. Gli studenti possono, ad esempio, frequentare il primo anno a Cremona e il secondo presso atenei di eccellenza come Wageningen nei Paesi Bassi. Il percorso prevede il reciproco riconoscimento degli esami e una tesi co-supervisionata da docenti di entrambe le sedi, offrendo al termine un doppio titolo che rappresenta un vantaggio competitivo rilevante nel mercato del lavoro internazionale. Per il prossimo anno accademico, iscrizioni già aperte, sono previste borse di studio del valore di 5mila euro per studenti meritevoli, il che si traduce in una votazione media di 27 per i laureandi e in una votazione minima di 100 per i laureati.

L'interesse per il settore è dimostrato, inoltre, dall'aumento del numero di **startup** attive nell'agrifood tech: 407 nel 2024 rispetto alle 341 del 2023. Secondo il **Rapporto sullo stato dell'agrifood tech in Italia** elaborato da Eatable Adventures per il Verona agrifood innovation hub, primo polo di sviluppo dell'agrifood tech italiano, il **Nord Italia** fa la parte del leone, con il **50% di startup attive**. Le regioni più rappresentate sono Lombardia (31%), Piemonte (10%), Veneto (9,7%) ed Emilia-Romagna (11%). Per il Centro la maggiore concentrazione di startup agrifood tech è nel Lazio (9,7%).



Contrariamente a quanto farebbe pensare il suo notevole potenziale agricolo, il **Sud** stenta a decollare probabilmente a causa di un ecosistema imprenditoriale ancora poco sviluppato. Gli **imprenditori dell'agrifood tech italiano** hanno una solida preparazione alle spalle: il 38% possiede un dottorato di ricerca, mentre circa il 30% ha conseguito una laurea magistrale o un master. Più della metà dei founder, generalmente, ha già acquisito esperienze in campo imprenditoriale (60%) e nell'agroalimentare (60%): esperienze che li rendono capaci sia di affrontare le sfide sia di cogliere le opportunità offerte dal mercato. Il dato relativo all'età appare quasi scontato. Infatti, dietro al 73% delle startup agrifood tech ci sono imprenditori nella fascia di **età 25-45 anni**. Solo il 6%, invece, lancia un'attività prima dei 25 e dopo i 56 anni. I team sono piccoli: il **74% delle startup** è composto da **1 a 5 dipendenti**, solo il 6% ne ha più di 25. **Produzione, trasformazione e agritech** sono i settori con il maggior numero di startup. **Automazione e robotica** (38%) e **nuovi sistemi**

di coltivazione (29%) guidano l'innovazione; **prodotti innovativi** (44%) e nuovi modelli di **economia circolare** (20,8%) sono invece capofila nei settori della produzione e della trasformazione. Il **77% delle startup** sviluppa le **tecnologie in-house**: l'intelligenza artificiale è al primo posto (43%) per la sua versatilità e capacità di adattarsi a diversi settori, seguita da biotecnologie (32%) e piattaforme digitali (30%). Rispetto al 2023 (40%), cresce la consapevolezza della tutela dei **brevetti** che ormai è una regola per il 75% delle startup. La **registrazione dei marchi** ha toccato l'82%, un dato che conferma l'importanza di proteggere la proprietà intellettuale. Rimane però **senza alcuna forma di tutela il 19% delle startup**, che da un lato rischia le imitazioni e dall'altro la perdita del vantaggio competitivo. Una delle criticità più evidenti è la **contrazione del numero di dipendenti**, che attualmente sono 2.995 (-27% rispetto al 2023). Le cause sono da ricercare nella chiusura in fase di scale-up e nei team di lavoro piccoli.



Isolkappa presenta SILENCE: la nuova linea termoacustica per un comfort abitativo completo

Prodotti termoacustici (i-GREY ECO Floor)

Isolkappa lancia **SILENCE**, la nuova linea termoacustica in EPS elasticizzato, pensata per garantire comfort abitativo, assicurare il massimo risparmio energetico e un'elevata privacy. Il cuore della linea è una tecnologia che riduce la rigidità dinamica – cruciale per l'isolamento acustico – mantenendo eccellenti prestazioni termiche. Ne risulta una soluzione leggera, efficace e facile da applicare, ideale per nuove costruzioni e ristrutturazioni.

Come afferma il CEO Giuseppe Rinaldi, l'obiettivo è migliorare la qualità della vita anche in linea con le più recenti normative in materia di comfort abitativo ed efficienza energetica.



Prodotti termoacustici (i-GES G ECO Silence)



Prodotti termoacustici (i-GREY XL ECO Silence)

Le soluzioni SILENCE offrono isolamento in linea con le normative **UNI EN 13163**, che definisce i requisiti per i pannelli in EPS destinati all'isolamento termico, e **UNI 11367:2010**, che fissa i valori di riferimento per l'isolamento acustico. Contrastano l'inquinamento acustico, migliorano l'efficienza energetica e rispondono alla Direttiva Case Green.

UNICO L'OBIETTIVO: IL COMFORT TOTALE

La Linea SILENCE si compone di tre sistemi sviluppati per adattarsi a diverse esigenze applicative:

- **i-GREY ECO Floor:** isolamento sotto massetto per solai. Riduce i rumori da calpestio e migliora la resa termica.
- **i-GES G ECO Silence:** pannello in cartongesso e EPS per pareti e controsoffitti. Migliora l'isolamento acustico e il comfort abitativo.
- **i-GREY XL ECO Silence:** per intercapedini murarie, evita ponti termici, prevedendo isolamento continuo, aumento della privacy e risparmio energetico.

Tutti i prodotti sono certificati, conformi ai CAM, riciclabili al 100% e contribuiscono alla riduzione della CO₂. SILENCE rappresenta un nuovo standard sostenibile per il comfort termoacustico, in ogni contesto abitativo e professionale.

Per chi progetta, costruisce o ristruttura con uno sguardo alla sostenibilità, SILENCE è il nuovo riferimento per un comfort eco-efficiente in cui il benessere termoacustico è di casa.

Per approfondimenti:

Linea Silence Isolkappa



ISOLKAPPA
L'ISOLANTE ECO EFFICIENTE

📍 Sede Legale: Foro Buonaparte, 69 | 20121 - Milano
📍 Sede Operativa: Via Spineta | 84091 - Battipaglia (SA)
☎ (+39) 0828 971713 ✉ info@isolkappa.it

www.isolkappa.it

RIAPERTURA DELLE MINIERE: AL VIA IL PROGRAMMA NAZIONALE

LUIGI RUCCO, PPAN

DOPO OLTRE 30 ANNI DALL'ULTIMO INVESTIMENTO PUBBLICO NEL SETTORE, PARTE LA RICERCA DELLE MATERIE PRIME ANCHE IN ITALIA

La terra come fonte di approvvigionamento di quei materiali diventati imprescindibili per affrontare le sfide tecnologiche e sostenere la doppia transizione green e digitale, riducendo così la dipendenza da altri Paesi. I ministeri dell'Ambiente e della Sicurezza energetica (MASE) e delle Imprese e del Made in Italy (MIMIT) hanno incaricato il Servizio geologico dell'Ispra, che **coinvolge 15 unità operative e oltre 400 specialisti, con un investimento di 3,5 milioni di euro** per la prima fase di indagine sui depositi naturali, alla ricerca delle materie prime critiche e strategiche individuate dalla Commissione europea.

112 A un anno esatto dall'approvazione del decreto sulle materie prime critiche, per adeguare la normativa nazionale sul settore minerario agli obiettivi e agli standard europei previsti dal Critical Raw Materials Act, il **Comitato interministeriale per la transizione ecologica** (Cite) ha dato il disco verde al **Programma nazionale di esplorazione mineraria**. Un ritorno all'estrattivismo ma in chiave green, dove l'Italia punta alla valorizzazione delle proprie risorse minerarie, in un'ottica moderna, sostenibile e in linea con le priorità europee, puntando anche a fornire le indicazioni preliminari agli investitori italiani ed esteri sulla disponibilità di materie prime presenti nel Paese. Ben 14 i progetti di ricerca contenuti nel Programma distribuiti in 11 regioni da nord a sud,

focalizzandosi principalmente su territori già noti per la loro potenzialità mineraria o per formazioni geologiche favorevoli. Al Nord-Est, **Lombardia e Trentino-Alto Adige** saranno esplorati per la presenza di fluorite, barite e le terre rare localizzate nelle Alpi Meridionali. A Nord-Ovest, in **Piemonte**, si indagheranno i metalli del gruppo del platino e i giacimenti di rame e manganese nelle ofioliti liguri. Sempre in **Piemonte** e in **Liguria** si cercherà di approfondire la conoscenza dei depositi di grafite. Nel Centro Italia, **Toscana, Lazio, Emilia-Romagna e Marche** saranno analizzati per il litio e altre risorse minerarie come antimonio e magnesio. Nel Sud Italia, la Campania sarà oggetto di indagini su litio, feldspati e minerali industriali, mentre in Calabria si esploreranno giacimenti di grafite.

In **Sardegna**, storicamente la principale regione mineraria d'Italia, l'esplorazione si concentrerà su una varietà di materiali, tra cui minerali industriali come feldspati, zeoliti, bentoniti e caolino nelle aree magmatiche, e mineralizzazioni di fluorite, barite e terre rare nel centro-sud dell'isola. Inoltre, saranno oggetto di indagine i più rilevanti depositi metalliferi, con focus particolare sul distretto di **Funtana Raminosa** per tungsteno, terre rare, rame e altri solfuri, e sul settore sud-occidentale per rame, molibdeno, stagno, bismuto, arsenico e oro. A queste regioni si aggiunge la

mappatura nazionale prevista dal progetto Pnrr **Urbes**, con la realizzazione di un database pubblico (Gis) per la geolocalizzazione e la visualizzazione dei rifiuti estrattivi in ambiente urbano e da strutture di deposito chiuse o abbandonate.

Durante la prima fase di esplorazione, si effettueranno indagini non invasive, come analisi di immagini telerilevate e rilievi geologici, geochimici e geofisici, anche con sensori aviotrasportati. Saranno sperimentate tecnologie avanzate, tra cui la radiografia muonica e l'intelligenza artificiale per l'elaborazione dei dati. Sondaggi esplorativi diretti, se necessari, saranno previsti nelle fasi successive e solo dopo valutazioni ambientali. I dati raccolti saranno inseriti nel **Database minerario nazionale GeMMA**, sviluppato nell'ambito del progetto GeoSciencesIR del PNRR, per garantire la trasparenza e la consultabilità delle informazioni.

«Le materie prime critiche sono fondamentali per il futuro industriale dell'Europa e per la sicurezza degli approvvigionamenti», ha dichiarato il ministro dell'Ambiente e della Sicurezza energetica **Gilberto Pichetto**. *«Con il Programma nazionale di esplorazione, l'Italia si dota di uno strumento moderno e trasparente per conoscere e valorizzare il proprio potenziale minerario, nel pieno rispetto dell'ambiente. È un passo strategico verso un'economia più autonoma, resiliente e sostenibile».* Gli fa eco il ministro delle Imprese e del Made in Italy **Adolfo Urso**: *«Il Programma rappresenta un passaggio fondamentale per rilanciare il settore minerario italiano e contribuire concretamente alla sovranità industriale ed energetica del Paese. Non esistono decarbonizzazione, innovazione e futuro industriale senza l'accesso sicuro a queste risorse. Stiamo lavorando per costruire un'Italia più autonoma, competitiva e protagonista in Europa e nel mondo».*



Biografie

Giuseppe Scarpelli

Laureato con lode in Ingegneria Civile Idraulica nel 1978 presso l'Università di Roma La Sapienza, consegue il Master of Philosophy in Geotechnical Engineering nel 1981 presso la University of Cambridge con studi sulle bande di taglio nei terreni granulari. Ricercatore di ruolo presso l'Università di Roma La Sapienza, professore associato e poi ordinario di Geotecnica presso l'Università Politecnica delle Marche. Visiting Scientist presso il Dipartimento di Ingegneria Meccanica all'MIT per studi sulla propagazione della frattura nei terreni. Membro del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e componente del CEN TC250/SC7 di cui è stato vicepresidente fino al 2013. Presidente del Gruppo Nazionale di Ingegneria Geotecnica nel triennio 2012-2015. È autore di oltre 150 pubblicazioni su rivista o in atti di congressi del settore della geotecnica con attività scientifica in diversi ambiti. È socio fondatore della GES, Geotechnical Engineering Services S.r.l., spin-off dell'Università Politecnica delle Marche, dove svolge attività di progettazione geotecnica per infrastrutture ed opere di ingegneria.

Maria Alfieri

Consegue la laurea in Ingegneria Edile – Architettura presso l'Università degli Studi di Salerno con una tesi in Geotecnica e nello stesso anno ottiene l'abilitazione alla professione di Ingegnere Civile Ambientale Sezione A presso l'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli. A partire da gennaio 2024 e per la durata di cinque mesi è risultata vincitrice di una borsa di studio finalizzata allo svolgimento di attività di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli studi di Salerno. Dal novembre 2024 è titolare di un assegno di ricerca di durata annuale presso il Consorzio inter-Universitario per la previsione e prevenzione dei Grandi Rischi (C.U.G.RI.).

Stefano Aversa

Professore Ordinario di Geotecnica presso l'Università di Napoli Parthenope, dove è titolare dei corsi di "Meccanica delle terre" e di "Progettazione marittima e geotecnica delle opere portuali". Membro del collegio dei docenti del Dottorato di ricerca in Fenomeni e Rischi Ambientali, è stato Presidente dell'Associazione Geotecnica Italiana (2009-2014) e del Gruppo Nazionale di Ingegneria Geotecnica (2019-2021). È coordinatore del Gruppo Geotecnico dei Progetti DPC-ReLUIS e della UNI CT 021/SC 07 – Progettazione Geotecnica.

Marco Barla

Professore ordinario di Ingegneria geotecnica presso il Politecnico di Torino (Italia) e consulente esperto in problemi di gallerie e stabilità dei pendii. Dirige un gruppo di ricerca attivo nel campo delle prove di laboratorio su terreni e rocce, della modellazione numerica, dello scavo di gallerie, della stabilità dei pendii, del monitoraggio geotecnico e delle geostrutture energetiche. È Presidente di ISEG (International Society for Energy Geostructures), è stato Editor in Chief dell'ASCE International Journal of Geomechanics, Presidente di ELGIP (European Large Geotechnical Institutes Platform) e ha ricoperto incarichi accademici come Referente del Rettore per le attività sportive, membro del Presidio della Qualità, Senatore Accademico. È consulente e fondatore di Geosolving srl, società di ingegneria già spin-off del Politecnico di Torino.

Manuela Cecconi

Professore associato di Geotecnica all'Università di Perugia. La sua ricerca più recente ha riguardato lo studio del comportamento idro-meccanico di terreni piroclastici, il trattamento a calce mediante approcci e osservazioni sperimentali multi-scala e l'interazione idro-meccanica terreno-vegetazione. Per questo tema, insieme alla prof. ssa F. Cotecchia e al dr. V. Tagarelli del Politecnico di Bari, è tra i promotori del gruppo di ricerca internazionale RootS.

Simonetta Cola

Professoressa ordinaria di Geotecnica presso l'Università di Padova. Laureata con lode in Ingegneria Civile Idraulica nel 1989 presso l'Università degli studi di Padova (UniPD), è stata ricercatrice presso l'ISMES di Bergamo e nel 1994 ha conseguito il PhD in Ingegneria Geotecnica con studi sul comportamento dei terreni eterogenei della laguna di Venezia. Visiting Scientist presso l'Imperial College di Londra nel 1995 per studi sulla compressibilità delle argille strutturate. Ricercatore nel 2001, poi professore associato e infine, dal 2021, ordinario di Geotecnica presso UniPD. Membro del Senato Accademico di UniPD nel 2011-2015 e del Consiglio Direttivo dell'Associazione Geotecnica Italiana dal 2015. Responsabile dei corsi di geotecnica delle lauree in Ingegneria Civile e Ambientale presso l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP) di Yaoundé (Camerun) dove ha insegnato nel 2014-2023. È autore di oltre 160 pubblicazioni su rivista o in atti di congressi del settore della geotecnica.

Luca De Sanctis

Professore ordinario di Geotecnica presso l'Università di Napoli Parthenope. È stato coordinatore di numerosi progetti di ricerca nazionali ed europei. Ha ricevuto premi e riconoscimenti per la sua attività di ricerca, dedicata principalmente allo sviluppo e alla verifica sperimentale di modelli matematici a parametri concentrati visco-elasto-plastici per fondazioni superficiali su pali.

Marta Di Sante

Professoressa associata di Geotecnica presso l'Università Politecnica delle Marche. Docente dei corsi Environmental Geotechnics e Consolidamento dei terreni. Responsabile della Qualità del CUCS di Ingegneria Civile-Ambientale all'UnivPM. Relatrice su invito a numerosi congressi nazionali e internazionali. Autrice di oltre 60 articoli su riviste o atti di convegno. Premiata dalla società internazionale con ISSMGE Bright Spark Lecture nel 2018. Consulente per Società di Ingegneria e Enti pubblici. Temi di ricerca: stabilizzazione di terre con leganti tradizionali e sostenibili, modelli per analisi di rischio per siti contaminati, tecniche di consolidamento dei terreni.

Settimio Ferlisi

Laureato in Ingegneria Civile sezione Idraulica con lode e dottore di ricerca in Ingegneria Geotecnica, è Professore Ordinario di Geotecnica presso l'Università degli Studi di Salerno (UNISA) dove è titolare degli insegnamenti di "Geotecnica", "Fondazioni" e "Gestione, riqualificazione e sicurezza delle gallerie stradali". In ambito scientifico si è dedicato all'analisi della risposta non drenata di mezzi saturi a struttura complessa, alla modellazione fisica di fondazioni superficiali, all'analisi della stabilità di strutture a torre, all'analisi a diverse scale di riferimento della vulnerabilità del costruito in aree subsidenti o sede di frane a cinematica lenta, all'analisi quantitativa del rischio da frane a cinematica lenta o rapida. Attualmente è Direttore Vicario del Dipartimento di Ingegneria Civile (DICIV) di UNISA, Presidente della Scuola Internazionale di Alta Formazione su "Landslide Risk Assessment and Mitigation" (LARAM) di UNISA, componente del Consiglio di Presidenza dell'Associazione Geotecnica Italiana.

Alessandro Flora

Già dottore di ricerca in Ingegneria Geotecnica, è Professore ordinario di Ingegneria geotecnica presso l'Università di Napoli Federico II e Professore aggiunto presso l'Indian Institute of Technology Madras (India). È coordinatore del comitato tecnico TC301 (preservation of historic sites) dell'associazione geotecnica internazionale (ISSMGE).

Evelina Fratalocchi

Professoressa ordinaria di Geotecnica presso l'Università Politecnica delle Marche. Responsabile del laboratorio di Geotecnica Ambientale e Presidente del CUCS di Ingegneria Civile-Ambientale all'UnivPM. Membro per l'Italia del TC215 - Environmental Geotechnics della ISSMGE. Relatrice su invito a numerosi congressi internazionali e nazionali. Autrice di oltre cento articoli su riviste o atti di congressi. Consulente per Società di Ingegneria e Enti pubblici. Temi di ricerca: diaframmi plastici, stabilizzazione terreni con leganti, analisi di rischio, barriere minerali, vasche di colmata.

Vivienne Fruzzetti

Ha conseguito la Laurea in "Ingegneria Civile Difesa del Suolo e Pianificazione Territoriale – DSPT" presso l'Università di Ancona nel 1996 e il Dottorato di Ricerca in "Ingegneria Geotecnica" presso l'Università degli Studi di Ancona nel 2000. Attualmente è Professore associato di Geotecnica presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università Politecnica delle Marche e svolge attività di ricerca applicata prevalentemente sui seguenti temi: caratterizzazione di sottosuoli difficili, progettazione agli Stati Limite e analisi delle prestazioni di opere e sistemi geotecnici.

Chiara Iodice

Dottore di ricerca (nel 2020) presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università della Campania "Luigi Vanvitelli" dove attualmente ricopre il ruolo di Ricercatore a Tempo Determinato di tipo A (dal 2022). L'attività di ricerca riguarda principalmente lo studio di pali di fondazione con particolare attenzione alla comprensione del comportamento di pali singoli e in gruppo soggetti a condizioni di carico generalizzate, che includono anche carichi termici di natura ciclica, impiegando approccio numerico, analitico e sperimentale. È autore di diverse pubblicazioni scientifiche relative agli argomenti citati.

Alessandro Mandolini

Dopo il dottorato di ricerca in Ingegneria Geotecnica (1994), è stato prima ricercatore (1996), poi Professore associato (2001) ed infine ordinario dal 2011. Attualmente ricopre i seguenti ruoli: Presidente del Comitato Tecnico Mondiale TC212 "Deep Foundations" dell'ISSMGE (dal 2015); Direttore del Dipartimento di Ingegneria (dal 2020); Membro nominato UNI/CIS/SC7 "Geotecnica" (dal 2022); Presidente del Gruppo Nazionale di Ingegneria Geotecnica GNIG (dal 2024). Coordinatore di vari progetti di ricerca nazionali ed internazionali. Autore di circa 170 pubblicazioni su riviste nazionali e internazionali e in atti di convegno nazionali ed internazionali su tematiche di Geotecnica Sismica. Autore del libro "Piles and Pile Foundations".

Salvatore Miliziano

Dottore di ricerca in Ingegneria Geotecnica (1992). Prima ricercatore (1996), poi Professore associato (2006), infine, abilitato come Professore ordinario nel 2023. Attualmente, ricopre i seguenti ruoli: Membro del Comitato tecnico-scientifico della Società italiana Gallerie; Cofondatore e presidente di GEEG start-up innovativa di Sapienza che opera nel campo dello scavo meccanizzato di Gallerie; Cofondatore e leader di GDG una società di ingegneria specializzata nella consulenza, progettazione e realizzazione di opere a prevalente carattere geotecnico e, in particolare, di gallerie e di opere interrato. È progettista di molte gallerie e opere interrato di grande impegno tecnico di rilevanza nazionale.

Gianfranco Nicodemo

Laureato in Ingegneria Civile presso l'Università degli Studi di Salerno e dottore di ricerca europeo (Europaeus Doctor) in Geotecnica, attualmente ricopre il ruolo di Ricercatore a tempo determinato presso il Dipartimento di Ingegneria Civile (DICIV) dell'Università degli Studi di Salerno (UNISA). Svolge attività di ricerca su tematiche che riguardano principalmente l'analisi e la valutazione della vulnerabilità e la quantificazione del rischio di strutture e infrastrutture ricadenti in aree affette da fenomeni di subsidenza e frane. Svolge attività didattiche presso il DICIV a supporto dei corsi di Geotecnica, Fondazioni, Scavi e Opere di Sostegno, Laboratorio progettuale in contesti multirischio. Editore della rivista internazionale "Landslides", revisore per diverse riviste internazionali di settore e membro del Comitato Tecnico della Scuola Internazionale LARAM.

Alessandro Pagliaroli

Dottore di ricerca in Ingegneria Geotecnica presso l'Università di Roma La Sapienza (2006) e ricercatore presso l'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG) del CNR di Roma (2008-2015). Attualmente è Professore associato presso l'Università di Chieti-Pescara dove è titolare dei corsi di "Geotecnica Sismica", "Fondazioni e Opere di Sostegno", "Geotechnical Engineering for the Preservation of Cultural Heritage", membro del collegio di dottorato in "Engineering Science" e presidente del Corso di Studi Magistrale in "Ingegneria delle Costruzioni". È autore di circa 170 pubblicazioni su riviste internazionali, volumi e atti di convegno nazionali ed internazionali su tematiche di Geotecnica Sismica.

Vincenzo Pane

Laureato con lode in Ingegneria Civile Idraulica nel 1979 presso l'Università di Napoli Federico II, nel 1981 e nel 1985 consegue, rispettivamente, il Master of Science e il PhD in Ingegneria Geotecnica presso l'Università del Colorado, USA, con studi sulle argille teneri e sulla consolidazione non-lineare a grandi deformazioni. Professore associato, e poi nel 2000 professore ordinario di Geotecnica presso l'Università degli Studi di Perugia. Membro del Project Team 1 per la nuova generazione dell'Eurocodice 7 dal 2014 al 2018. Membro effettivo del Comitato Speciale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Membro effettivo del Comitato Tecnico Amministrativo del Provv. OO.PP. Toscana-Umbria-Marche. Autore di circa 150 pubblicazioni su rivista o in atti di congressi del settore Geotecnica. Dal 1980 esercita attività di consulenza scientifica in ambito geotecnico presso società di ingegneria, enti e amministrazioni pubbliche e private, in Italia e all'estero.

Francesco Petrella

Director presso la società di consulenza ingegneristica Arup in Danimarca. Per Arup è responsabile del settore di geotecnica in Europa. Oltre alla consulenza tecnica svolge attività di ricerca in collaborazione con alcuni istituti di ricerca ed atenei europei.

Paolo Ruggeri

Ingegnere civile, ha conseguito il Dottorato di Ricerca in "Ingegneria dei Materiali, delle Acque e dei Terreni" nel 2009 presso l'Università Politecnica delle Marche. È attualmente Professore associato di Geotecnica presso la facoltà di Ingegneria dell'Università Politecnica delle Marche. Le tematiche di ricerca riguardano il comportamento meccanico dei terreni complessi, l'interazione terreno-struttura in condizioni sismiche, la geotecnica in ambito portuale.

Giacomo Russo

Laureato in Ingegneria Civile presso l'Università degli Studi di Napoli Federico II, è Dottore di ricerca in Ingegneria Geotecnica. Attualmente è Professore associato in Ingegneria Geotecnica presso il Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. Svolge attività di ricerca sperimentale sul riuso dei terreni di scavo mediante trattamento con leganti tradizionali e innovativi, con particolare attenzione agli effetti dei leganti alle diverse scale di osservazione (scala della particella, microstruttura, scale dell'elemento di volume).

IDEA StatiCa Steel

 **Connection**

 **Member**

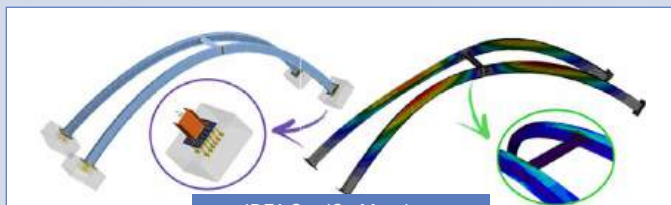
 **Checkbot**

Soluzioni Avanzate per la Progettazione Strutturale: la Suite IDEA StatiCa di Eiseko Computers

Eiseko Computers propone una selezione completa di software per l'ingegneria civile e industriale, dedicati al disegno, analisi e calcolo strutturale, frutto della competenza del suo team di ingegneri. Dal 2016 distribuisce **IDEA StatiCa**, una suite avanzata per la progettazione e verifica delle strutture in acciaio, cemento armato e CAP.

IDEA Connection consente di modellare e verificare connessioni in acciaio, acciaio-calcestruzzo e acciaio-legno, senza limitazioni di forma o carico. Il software esegue analisi non lineari in campo elasto-plastico e verifica le componenti secondo Eurocodici o normative internazionali. Include analisi di sforzo-deformazione, buckling, rigidità, progettazione in capacità, resistenza dell'unione, fatica, fuoco e tying orizzontale.

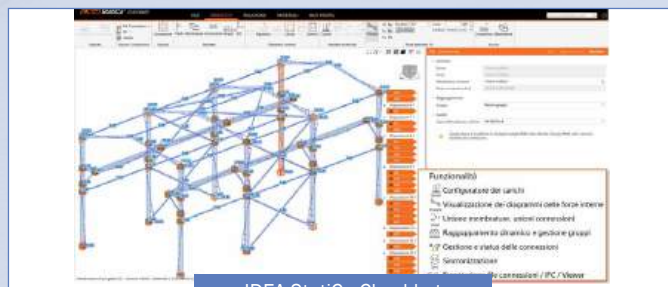
IDEA Member applica l'innovativo metodo **CBFEM** a interi elementi strutturali come travi, pilastri e nodi. L'analisi avviene in tre fasi: **MNA** (analisi non lineare del materiale), **LBA** (buckling lineare) e **GMNIA** (analisi non lineare con imperfezioni iniziali), offrendo un controllo completo sulla stabilità e resistenza.



IDEA StatiCa Member

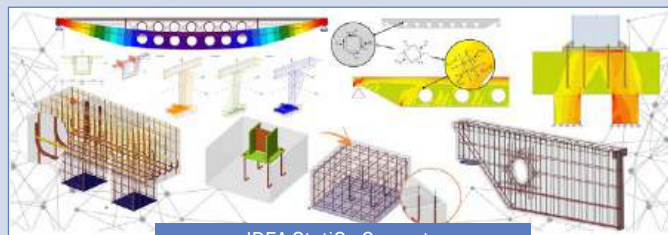
IDEA Checkbot permette di integrare IDEA StatiCa in ambiente **BIM**, automatizzando il processo di progettazione grazie all'importazione di unioni e combinazioni di carico da software CAD e FEA. Inoltre, la **Connection Library** offre una libreria online con oltre un milione di connessioni in acciaio

già modellate, pronte per essere scaricate e riutilizzate nei propri progetti.



IDEA StatiCa Checkbot

La suite include anche **IDEA StatiCa Concrete**, dedicata alla progettazione e verifica di elementi in calcestruzzo armato. Il modulo consente di analizzare travi, nodi, mensole e altri dettagli strutturali in cemento armato, valutando tensioni, deformazioni e fessurazione nel rispetto delle normative europee e internazionali. Per completare la verifica delle fondazioni, è possibile esportare il blocco in calcestruzzo da **IDEA Connection** a **IDEA StatiCa Detail**, applicazione specializzata per le zone di discontinuità del calcestruzzo. In questo modo, anche gli ancoraggi non verificabili in Connection per l'assenza dell'armatura del plinto possono essere correttamente analizzati e dimensionati.



IDEA StatiCa Concrete

IDEA StatiCa offre anche versioni **trial gratuite** con accesso completo alle funzionalità, per valutare il software prima dell'acquisto. Maggiori dettagli sono disponibili sul sito ufficiale.

Il rapporto tra terra ed ingegneria è molto ampio e tocca numerosi ambiti. Ad essere coinvolte sono, in particolare, l'ingegneria civile, l'ingegneria ambientale e la geotecnica, le cui basi scientifiche consentono di progettare opere sicure e rispettose dell'ambiente e del territorio. La relazione tra terra ed ingegneria solleva anche alcune questioni politiche di grande importanza, come quelle del rischio idrogeologico e del rischio sismico, che da anni sono al centro dell'attività istituzionale del Consiglio Nazionale degli Ingegneri. Questo numero dell'Ingegnere Italiano dedicato al tema Terra offre l'occasione per illustrare ai professionisti che operano nel campo dell'Ingegneria delle costruzioni come l'Ingegneria geotecnica stia rispondendo alle moderne sfide della professione, a cui oggi è richiesto di affrontare temi tecnici sempre più arditi con soluzioni sostenibili per l'ambiente e per la società, con il minimo consumo di risorse e rispettose del patrimonio storico e culturale dell'umanità. I contributi riguardano temi fondamentali della moderna ingegneria, dei quali è necessario tenere conto sia in senso assoluto, sia quando si progettano nuove infrastrutture e opere geotecniche: la mitigazione del rischio idrogeologico e ambientale, la mitigazione del rischio sismico, la conservazione e la valorizzazione del costruito, la produzione di energie rinnovabili.



CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI



L'Ingegnere Italiano
2 2025

n. 389 dal 1966 - n. 16 della nuova versione quadrimestrale
a cura del Consiglio Nazionale degli Ingegneri
Registrazione del Tribunale di Roma
n. 46/2011 del 17 febbraio 2011

Editore
Consiglio Nazionale degli Ingegneri
via XX Settembre 5, 00187 Roma

Poste Italiane SpA
Spedizione in abbonamento postale - 70%
Aut. GIPA/C/RM/16/2013