

ISSN 1722 - 0025

2  
23

Quadrimestrale dell'Ordine Nazionale dei Geologi

Poste italiane S.p.A. - Spedizione in Abbonamento Postale - D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n.49) art.1 comma 1 DCB - ROMA, Comitero I.P. In caso di mancato recapito, rinviare a Ufficio Poste Roma Romantina per la restituzione al mittente previo addebito. Contiene I.P.

# GEOLOGIA

## TECNICA & AMBIENTALE



CONSIGLIO NAZIONALE  
DEI GEOLOGI

**Estratto  
dall'articolo**

**VAJONT,  
60 ANNI DOPO IL  
DISASTRO**

*di Paolo Spagna*

# Sottocontrollo

Foto: Letizia\_brt - Pexels

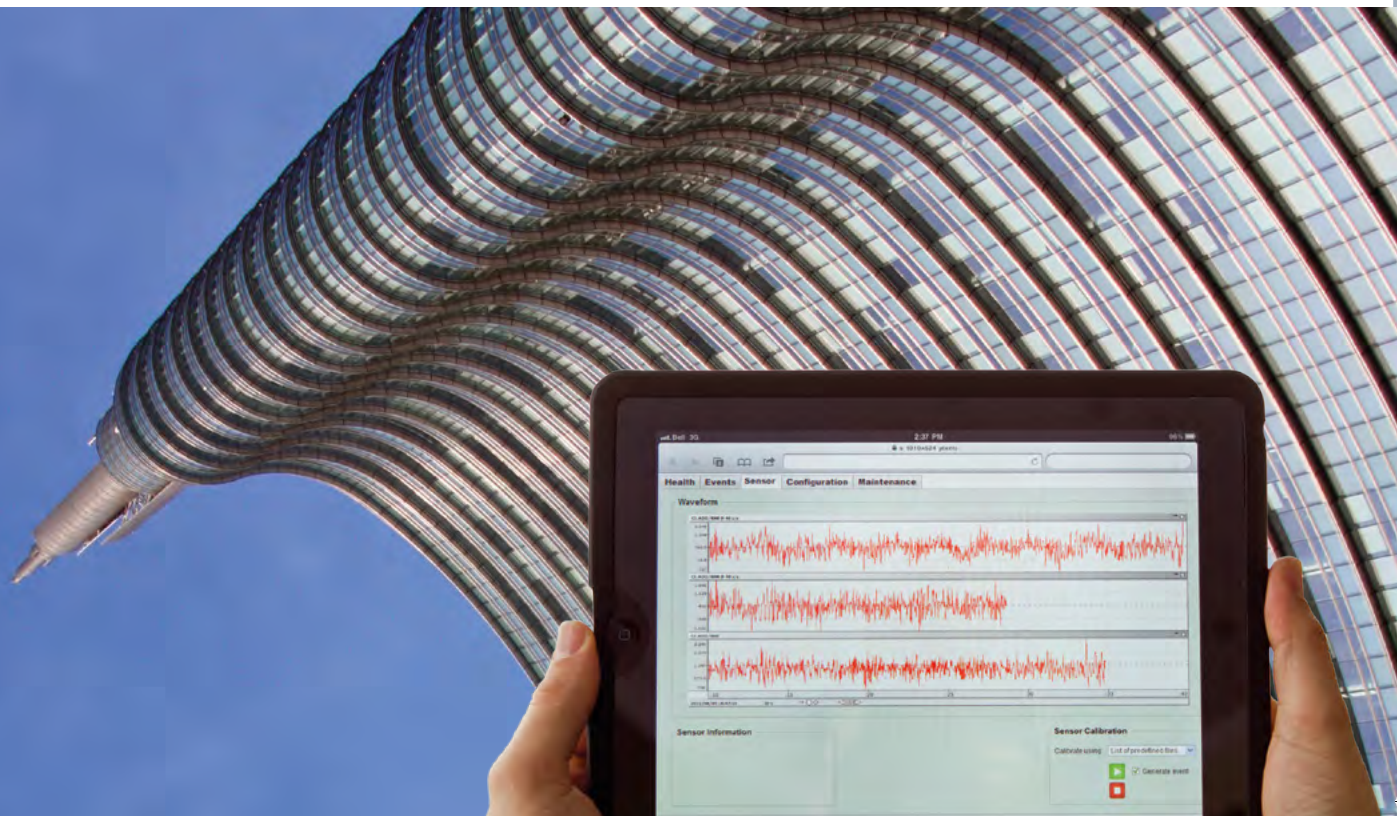


Foto: CGT - Siena

## studio del sottosuolo

- > indagini geosismiche
- > monitoraggio versanti in frana

## Strumenti - anche a noleggio - per: monitoraggio sismico

- > strong motion, monitoraggio infrastrutture
- > esplorazione faglie sismiche
- > microzonazione sismica

## gallerie, ponti, viadotti

- > analisi deformazioni o cedimenti
- > ricerca di vuoti, ammaloramenti, distacchi



**Codevintec**

*Seleziona il link!*



**CODEVINTEC**

Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare

Codevintec rappresenta anche:

 nanometrics

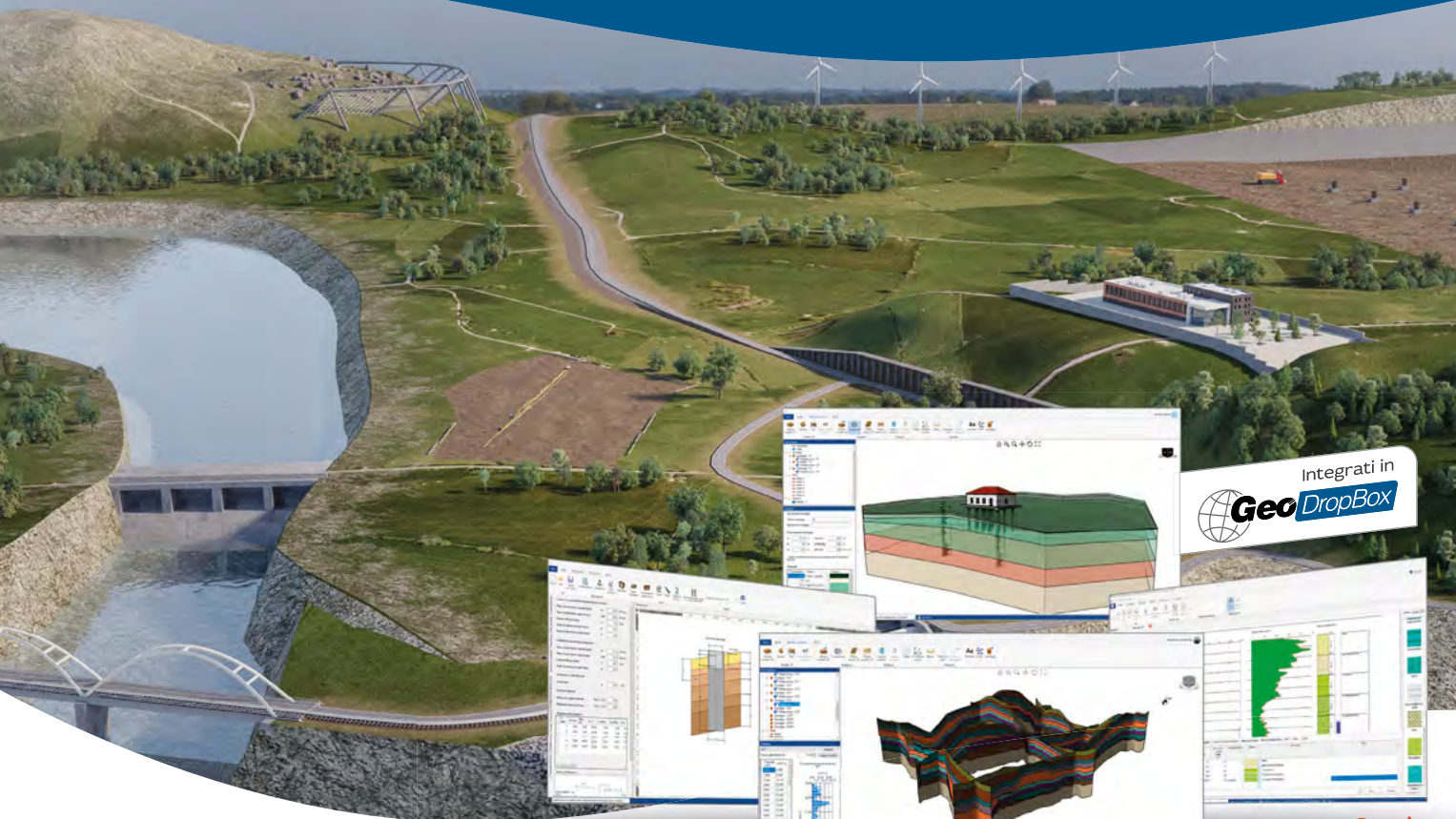
 **GEOMETRICS**  
Simplify your search

tel. +39 02 4830.2175 | info@codevintec.it | www.codevintec.it

# SCEGLI IL PARTNER GIUSTO PER LA TUA PROFESSIONE



Sviluppiamo software di successo a livello mondiale.



Integrati in  
**GeoDropBox**

## GEOSTRU TI OFFRE I SOFTWARE PIÙ POTENTI ED AFFIDABILI.

Produciamo software di successo a livello mondiale per numerosi settori professionali. I nostri software sono caratterizzati da un costo molto competitivo e da una qualità garantita da oltre 48.000 installazioni in più di 145 paesi nel mondo. I prodotti GEOSTRU sono caratterizzati da un'estrema facilità d'uso: ogni software risolve uno specifico problema, riducendo i dati di input a quelli strettamente necessari. Inoltre 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) e gli Eurocodici.

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

Scarica gratuitamente la copia omaggio del libro *Terrae motus*, conoscere per prevenire.

**Coupon di sconto del 100%**



(<https://www.geostru.eu/shop/book/terrae-motus-conoscere-per-prevenire/>)

**GM3D**

**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](http://geoapp.geostru.eu)

Corsi certificati in collaborazione con GoMeeting.  
Visita il sito [www.gomeeting.eu](http://www.gomeeting.eu)

### NUOVI SOFTWARE E SERVIZI

- Nuove versioni Geostru 2024
- Risposta sismica locale 1D, 2D
- GFAS (Geotechnical and F.E.M. Analysis System)
- GeoDropbox 2024 ([geodropbox.com](http://geodropbox.com))
- GeoApp 2024 - Oltre 10 applicazioni aggiunte di recente (<https://geoapp.geostru.eu>)
- GeoStru 365
- Resistenza di progetto di fondazioni con il metodo pressimetrico e penetrometrico: PQL
- Soil Nailing Analysis: GSAS
- Geobuild (Innovazione e Interoperabilità nella progettazione)
- Well Foundation (Progettazione e calcolo pozzi strutturali)
- GM3D (Modellazione Geologica/Geotecnica, 3D, BIM)
- RPD (Road Pavement Design)
- DeepFound (Analisi platee Pilate)

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

[www.geostru.eu/it](http://www.geostru.eu/it)

Static  
Probing

# SOLUZIONI PER L'AMBIENTE



Registrazione e  
trasmissione  
remota dei dati



Ossigeno disciolto



Torbidità



Coducibilità e salinità



Sonde di livello  
e temperatura



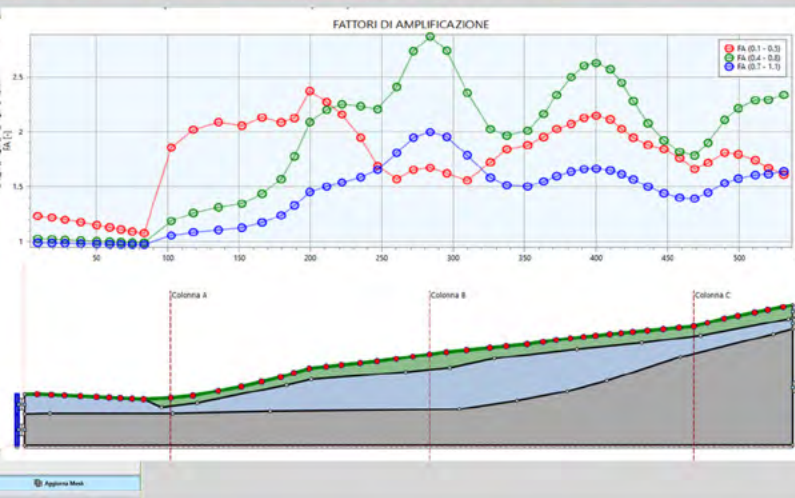
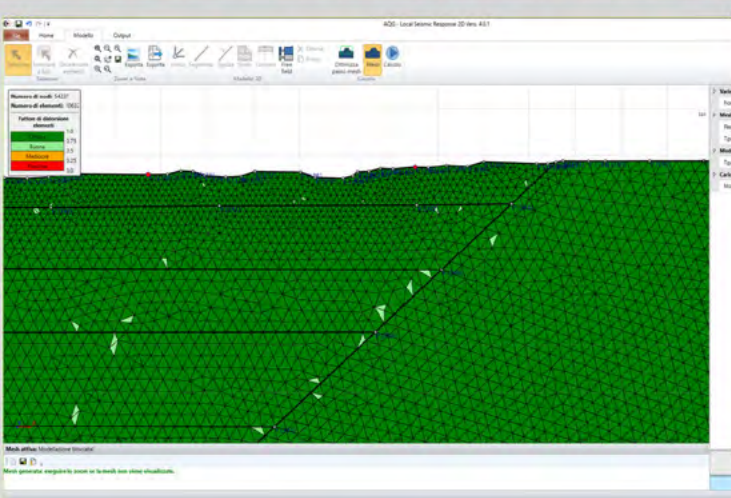
Cono  
Idropneumatico



Sonda  
multiparametrica

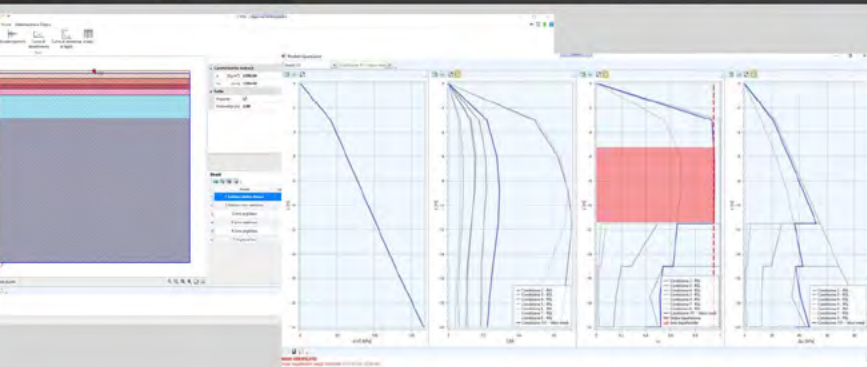
# LSR<sub>2D</sub>

## SOFTWARE PER L'ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE 2D

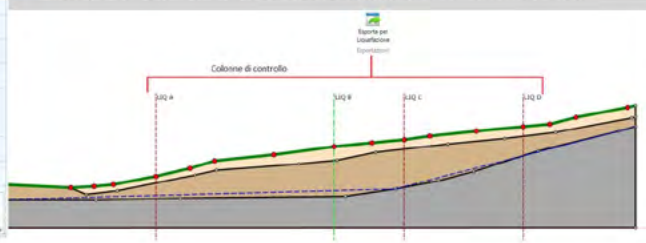


## LIQUEFAZIONE<sup>©</sup>

## SOFTWARE PER LA VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE MEDIANTE IL CALCOLO DELLE SOVRAPPRESSIONI INTERSTIZIALI



## INTEROPERABILITÀ CON LSR



**La sicurezza di  
grandi performance  
su ogni terreno.**

**G E O**



Solidità, affidabilità, sicurezza e tutela dell'ambiente sono racchiuse in un design flessibile che rende queste perforatrici in grado di eseguire molteplici indagini e prove, garantendo la massima precisione con un'elevata semplicità di utilizzo. **La nostra idea di innovazione scende in profondità per garantirti le migliori prestazioni.**



Live the  
experience on:

[comacchio.com](http://comacchio.com)



**COMACCHIO**



IN COPERTINA: foto sulla Valle del Vajont

Quadrimestrale dell'Ordine Nazionale dei Geologi  
N. 2/2023

#### DIRETTORE RESPONSABILE

Alessandro Reina

#### CO-DIRETTORI

Domenico Angelone

Rudi Ruggeri

#### COMITATO DI REDAZIONE

Arcangelo Francesco Violo, Filippo Cappotto, Domenico Angelone, Lorenzo Benedetto, Alessandra Biserna, Giovanni Capulli, Emanuele Emami, Daniele Mercuri, Mario Nonne, Rudi Ruggeri, Domenico Sessa, Paolo Spagna, Fabio Tortorici, Roberto Troncarelli, Valentina Casolini

#### COMITATO SCIENTIFICO

Eros Aiello, Vincenzo Simeone, Guido Giordano, Antonio Martini, Giulio Iovine, Claudio Mariotti, Sergio Castenetto, Sergio Rusi, Ezio Crestaz, Alfredo Degiovanni, Francesco Maria Guadagno, Paolo Fabbri, Rocco Dominici, Domenico Guida, Tiziana Apuani, Elisabetta Erba, Alessandro Conticelli, Nicola Casagli, Rinaldo Genevois, Gilberto Panebianchi, Silvia Castellaro, Floriana Pergalani, Vincenzo Morra, Silvia Fabbrocino, Gabriele Scarascia Mugnozza, Massimiliano Imperato, Vincenzo Tripodi

#### SEGRETERIA DI REDAZIONE

segreteriaapc@cngeologi.it

#### DIREZIONE, REDAZIONE, AMMINISTRAZIONE

Consiglio Nazionale dei Geologi

Via Vittoria Colonna, 40 - 00193 Roma

Tel. 06.68807736 / 06.68807737 - Fax 06.68807742

#### SITO INTERNET

www.cngeologi.it

#### UFFICIO STAMPA

addettostampa@cngeologi.it

#### PUBBLICITÀ

Agicom srl

Viale Caduti in Guerra, 28 - 00060 Castelnuovo di Porto (Roma)

Tel 06.9078285 Fax 06.9079256

agicom@agicom.it

www.agicom.it

#### GRAFICA E IMPAGINAZIONE

Agicom srl

Immagine: ©shutterstock.com

#### STAMPA

Stampa digitale

Iscritto al Registro degli Operatori di Comunicazione (ROC)  
al n. 4768. Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 55 del  
5 febbraio 1986.

#### Questa rivista è disponibile online:

sfogliabile o scaricabile in formato PDF su [cngeologi.it](http://cngeologi.it)

È inoltre disponibile su **App Store** o **Play Store**

scaricando l'App dedicata.

La comunicazione di uscita del nuovo numero viene inviata per email a tutti gli iscritti.

La rivista ha una distribuzione cartacea destinata agli Ordini Regionali e ad un numero selezionato di indirizzi istituzionali.

*L'Autore dell'articolo è responsabile di quanto in esso contenuto, delle autorizzazioni alla pubblicazione di figure, tabelle, ecc., dei riferimenti e strumentazioni.*

Associato all'USPI, Unione Stampa Periodica Italiana.

#### GARANZIA DI RISERVATEZZA

L'editore garantisce la massima riservatezza dei dati forniti dagli abbonati e la possibilità di richiedere gratuitamente la rettifica o la cancellazione, scrivendo a: Consiglio Nazionale dei Geologi - Via Vittoria Colonna 40, 00193 Roma.

Le informazioni custodite nell'archivio elettronico dell'Editore saranno utilizzate al solo scopo di inviare la rivista o altre comunicazioni concernenti l'abbonamento (D.L. 30/6/2003, n. 196, sulla tutela dei dati personali).

#### PER GLI AUTORI:

le Norme di Stampa sono consultabili sul sito [cngeologi.it](http://cngeologi.it), nell'area Rivista.

7

## l'editoriale

A. Reina

9

## il punto del presidente

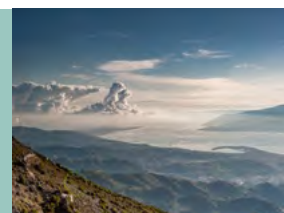
A.F. Violo

12

## Focus

F. Cappotto e G. Andiloro

Ponte sullo Stretto



26

## Focus

P. Spagna

VAJONT, 60 anni dopo  
il disastro



33

## Atlante: l'Italia dei terremoti

E. Guidoboni e G.

Valensise

L'azzardo sismico  
delle città

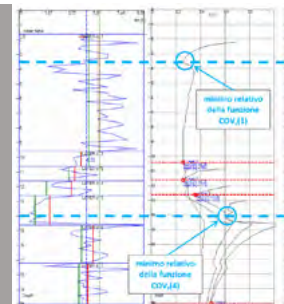


49

## II SOIL PROFILING

P. Froidi

Determinazione del  
profilo stratigrafico  
con le prove CPT



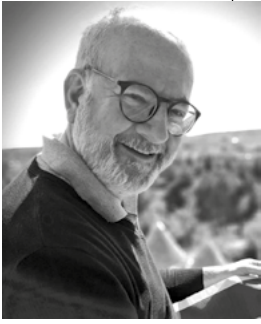
Il viaggio delle acque  
contaminate termina  
sulla nostra tavola.

**Noi lavoriamo  
per renderle  
sane e sicure.**

Festeggiamo 10 anni di impegno costante nella progettazione di interventi di bonifica che siano economicamente e ambientalmente sostenibili, con l'impiego delle migliori tecnologie offerte dal mercato: **il futuro dei nostri figli è il nostro presente, il nostro impegno è renderlo migliore.**







**Alessandro Reina**  
Direttore Responsabile

**N**egli ultimi anni si registra una sensibile diminuzione degli iscritti ai corsi di Laurea in Scienze Geologiche in Italia ma anche all'estero. Conseguentemente il numero dei geologi professionisti segue questa tendenza. Il numero dei nuovi iscritti non riesce a compensare quello dei geologi "pensionati" o cancellati dagli Albi.

Ha una ragione di fondatezza pensare che il motivo di questa decrescita possa essere legato alla mancata o insufficiente presenza della disciplina nei livelli scolastici dell'istruzione primaria e secondaria, o la mancanza di attrattività nei confronti della società e dei giovani che devono scegliere un indirizzo universitario.

Si può osservare inoltre una certa distanza tra i contenuti dei corsi universitari e i temi legati ai dissesti geologici: va considerato che l'università deve insegnare il metodo e le modalità di approccio alla risoluzione di tematiche geologiche in senso ampio (mineralogia, stratigrafia, sismicità, ecc), senza poter trascurare la ricerca.

Pertanto, per i professionisti, è di vitale importanza il ruolo del Consiglio Nazionale e degli Ordini regionali che devono sostenere e guidarli nelle loro attività.

Mi è capitato spesso di ricevere, dalle persone alle quali riferivo di essere geologo, espressioni di ammirazione e di interesse per la nostra professione. La frase conclusiva è sempre: "Beh con tutti i disastri che accadono voi avete un ruolo importante".

La consapevolezza nell'opinione pubblica della importanza dei geologi forse è ben presente. Quando ci sono eventi terribili come terremoti, alluvioni, frane e così via anche l'attenzione mediatica sui geologi è elevatissima, anche se destinata ad affievolirsi in breve tempo.

La condizione sociale dei geologi professionisti è ben diversa. Credo che il problema più stressante sia l'aspetto economico: a partire dalla quantificazione del proprio onorario alla certezza del pagamento. ***Oggi il lavoro per i geologi è certamente aumentato rispetto a diversi anni fa e si registra - con interesse - che i redditi negli ultimissimi anni sono quasi raddoppiati. Ma una cosa è l'esecuzione di un lavoro professionale ben fatto, un'altra è riuscire a farsi pagare (dal privato e dal pubblico), bene e per tempo.***

Si aggiunga che per i giovani professionisti l'inizio dell'attività professionale confrontata con altre professioni è decisamente più complicata e difficile. Si tratta certamente di minore efficacia nei meccanismi dovuti alle interazioni con il mon-

do delle imprese e della progettazione e non ultimi l'obbligo della formazione e quello degli adempimenti fiscali. Ecco la necessità di una guida.

Certamente oggi i giovani sono spesso più diretti verso attività professionali che ritengono potenzialmente più redditizie come Ingegneria, medicina o verso il mondo artistico e dello spettacolo.

Cosa fare per migliorare l'attenzione verso la geologia in maniera pregnante e stabilizzata?

Il ruolo del nostro Consiglio Nazionale deve esplicitarsi nel fornire le modalità per cristallizzare la fiducia nelle nostre possibilità e interagire consapevolmente a livello politico. La strada giusta da percorrere ha un tracciato che determina le condizioni specifiche per dotare la società di oggi di geologi preparati e competenti.

Non meno importante sarebbe far capire a livello politico che l'intervento dei geologi, in un paese che di potenziali fenomeni di dissesto geologico ne contempla tanti e di tutti i tipi, deve svilupparsi soprattutto a livello di prevenzione. Investire in prevenzione è certamente meno dispendioso di qualunque intervento emergenziale.

La necessità di uno studio geologico non dovrebbe essere solo stabilita da una norma o da una legge ma anche soprattutto dalla consapevolezza dell'importanza del contributo che si può dare alla progettazione o alla pianificazione.

In questo numero i colleghi Filippo Cappotto e Giovanni Andiloro ripercorrono la storia recente del progetto del ponte sullo stretto di Messina iniziata negli anni '70, proponendo una chiave di lettura interessante dal punto di vista scientifico e professionale.

In occasione del sessantesimo Anniversario del disastro del Vajont il Consigliere Paolo Spagna ci parla dell'evento tenutosi a Longarone il 29 settembre u.s.

Emanuela Guidoboni e Gianluca Valensise presentano l'opera innovativa di divulgazione e di orientamento sul tema sismico: *Latlante: l'azzardo sismico delle città*. Opera in due volumi di grande interesse per la progettazione e allo stesso tempo per sviluppare nuove sensibilità nei confronti della salvaguardia dei cittadini e della conservazione delle nostre città. Il Soil Profiling: determinazione del profilo stratigrafico con le prove CPT di Piergiuseppe Frolidi, è un articolo con molteplici contenuti professionali che può aiutare i colleghi ad approfondimenti metodologici e di analisi dei dati.

Buon Anno e Buona lettura





Adalta propone in Italia da più di 20 anni l'utilizzo di alcuni tra i più importanti software al mondo per l'innovazione tecnologica, la ricerca e lo sviluppo.

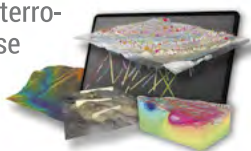
Centinaia di aziende private, istituzioni pubbliche, università italiane si avvalgono dei servizi di grandissima qualità offerti da Adalta: supporto nell'individuare il prodotto più adatto alle specifiche esigenze, consulenza e formazione per sfruttare al meglio le potenzialità del software.

Adalta ha selezionato nel proprio catalogo i seguenti software per rispondere alle necessità di geingegneri e geoscienziati.

### Seequent - Oasis montaj

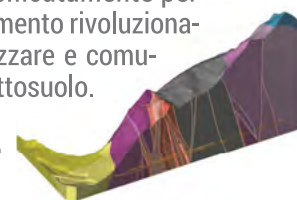
Il software leader per la modellazione di dati geofisici. Permette una comprensione avanzata della superficie sotterranea della terra e dell'ambiente marino.

All'interno di un unico dinamico ambiente 2D e 3D è possibile processare, mappare, interrogare e interpretare i dati, incluse indagini geofisiche, geochimiche e geologiche.



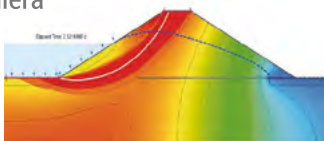
### Seequent - Leapfrog

Soluzione software per la modellazione 3D di superfici sotterranee sviluppata specificatamente per l'ingegneria civile; è uno strumento rivoluzionario per comprendere, visualizzare e comunicare le condizioni del sottosuolo. Permette di trasformare dati complessi in modelli chiari e di semplice interpretazione.



### Seequent - GeoStudio

Un modello, uno strumento, molte analisi! GeoStudio risponde in maniera completa a tutte le necessità di modellazione geotecnica e geoambientale 2D e 3D.



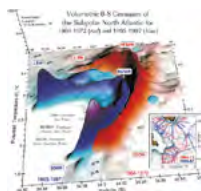
### Seequent - Central

Consente di visualizzare, modificare, integrare e gestire i propri dati geoscientifici all'interno di un ambiente centralizzato monitorabile. È la soluzione ideale per condividere informazione in un team di tecnici o con i finanziatori del progetto.



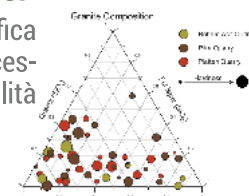
### Golden Software - Surfer

Le potenti funzioni di mappatura modellazione e analisi di Surfer aiutano a trovare le risposte alle domande più difficili e prendere decisioni consapevoli.



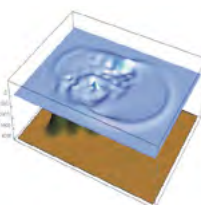
### Golden Software - Grapher

Ottimo software tecnico di grafica scientifica per chiunque abbia necessità di creare grafici di grande qualità velocemente e facilmente.



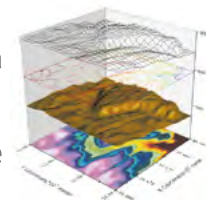
### Matematica e Tecnologie Wolfram

Simula le applicazioni di geoscienza con modelli completamente interattivi che incorporano un'elaborazione delle immagini all'avanguardia, dati geodesici integrati e la potenza di calcolo che solo Wolfram può fornire.



### OriginLab - Origin Pro

Dai dati ai risultati. È un software user-friendly e facile da apprendere che fornisce potenti funzionalità di analisi dei dati e di grafica scientifica di qualità, adatte alle esigenze di scienziati e ingegneri.





**Arcangelo Francesco Violo**

Presidente Consiglio Nazionale dei Geologi

**Q**uesto terzo anno di mandato consiliare sta per volgere al termine e, in concomitanza, con la chiusura dell'anno solare, vorrei dedicare qualche considerazione alle recenti attività promosse dal Consiglio Nazionale dei Geologi ("CNG"), nell'ambito della XXVIII Conferenza delle Parti della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, nota come COP28, tenutasi dal 30 novembre al 12 dicembre 2023 all'Expo City di Dubai, sotto la presidenza degli Emirati Arabi Uniti. L'aver preso parte, insieme al Segretario Consigliere del CNG, Domenico Angelone, e al Presidente della Federazione Europea dei Geologi ("FEG"), David Govoni, alla Conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, ci ha permesso di rappresentare la categoria professionale dei geologi in un contesto globale di grande risonanza pubblica e mediatica.

In qualità di osservatori nazionali sulle materie di interesse ambientale, all'interno di un palcoscenico internazionale di alto livello, a cui hanno partecipato 198 Paesi e numerosi capi di Stato e rappresentanti di governo, riuniti per discutere i temi urgenti relativi ai cambiamenti climatici e al processo di transizione energetica, abbiamo avvertito la necessità e il dovere di tracciare delle linee fondamentali per evidenziare il ruolo centrale della geologia e delle geoscienze in relazione a tali questioni.

I cambiamenti climatici, difatti, sono causa di degrado del suolo e di scarsità idrica, che riducono la produttività nei settori legati alle risorse naturali. A tale riguardo, abbiamo evidenziato che la geologia assume una funzione essenziale, quale scienza in grado di sviluppare soluzioni funzionali ad un utilizzo sostenibile di tali risorse e, in maniera consequenziale, di contribuire alla prosperità delle generazioni future.

Ci siamo, inoltre, concentrati sull'importanza di diffondere un paradigma basato sull'urgenza di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>, mediante l'applicazione di fonti di energia alternative. Particolare attenzione, in tal proposito, abbiamo indirizzato alla geotermia, come fonte energetica pulita e rinnovabile, soprattutto, in virtù del perseguimento e del raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell'Agenda 2030, che prevedono la riduzione intermedia

delle emissioni di gas serra del 43% entro il 2030 e del 60% entro il 2035, in modo tale da rendere attuabile l'obiettivo di lungo periodo della neutralità climatica entro il 2050. Abbiamo, infine, dedicato un momento all'illustrazione del funzionamento sia del CNG che della FEG, per delineare principi, valori e obiettivi della categoria professionale dei geologi nel contesto nazionale e comunitario.

Il 3 dicembre 2023, in occasione della II<sup>a</sup> giornata tematica della COP28, dedicata ai temi salute, sollievo, ripresa e pace, abbiamo preso parte al convegno dal titolo *"Renewing Territories to support the multi-transition and development of the Third Millennium"*, fornendo il nostro contributo nel corso del panel *"Understanding the territories to plan and initiate the multi-transition: the geosciences to achieve the Sustainable Development Goals of 2030"*, essendo stati, sia il CNG sia la FEG, selezionati dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica per la partecipazione. In tale contesto, grazie ad una delegazione guidata da RemtechExpo, abbiamo voluto promuovere e approfondire l'importanza della conoscenza geologica nell'affrontare le sfide contemporanee legate alla gestione dei rischi naturali. Partendo dai dati sul numero di eventi climatici verificatisi in Italia e nel mondo, è stato possibile delineare un quadro generico sia sulle condizioni che sulle conseguenze ed effetti generati da questi ultimi. Abbiamo evidenziato, più in generale, che, in Italia, dal dopoguerra ad oggi, sono stati spesi circa 358 miliardi di euro per il dissesto idrogeologico e sismico e, negli ultimi 60 anni, circa 10 mila morti sono stati registrati a causa degli eventi naturali. Relativamente, invece, ai fenomeni franosi, abbiamo evidenziato che circa 800 mila eventi sono stati censiti nel continente europeo, di cui 630 mila solo in Italia. Abbiamo, inoltre, fatto constatare che, a livello globale, dal 1991, circa 676 mila morti sono stati registrati nelle aree più fragili del mondo a causa dei disastri ambientali, con un dato rilevante riguardante l'alluvione che si è abbattuta in Pakistan nel 2022, che ha causato circa 1500 morti e un danno stimato pari a 40 miliardi di dollari. Non abbiamo dimenticato, infine, i fenomeni alluvionali che si sono abbattuti su Emilia-Romagna, Toscana e Marche nell'ultimo anno, con una stima di circa 10 miliardi di euro di danni.

Abbiamo, in sostanza, rimarcato il ruolo della geologia e, più in particolare, dei professionisti geologi nel pianificare un futuro sostenibile, in un contesto in cui le pressioni sull'ambiente e sul territorio continuano a intensificarsi e determinano un aumento della povertà per la conseguente riduzione di beni di prima necessità. Garantire l'integrità degli ecosistemi, proteggendo l'ambiente, gestendo in maniera strategica le georisorse, con l'essenziale contributo della nostra categoria, è il percorso da seguire per raggiungere una effettiva giustizia nello sviluppo.

Tramite l'intervento del Presidente Govoni abbiamo anche promosso due progetti innovativi finanziati dall'UE, di grande rilevanza per lo sviluppo di soluzioni tecnologiche a sostegno della transizione energetica in atto: il CEEGS e il CRM-geotermico, ai quali il CNG collaborerà come terzo attore, fornendo il suo supporto e la sua partecipazione attiva nel contesto europeo.

Tirando le somme di quello che è stato, sicuramente, un momento di grande discussione per i diversi paesi che hanno preso parte al vertice mondiale sul clima, è opportuno segnalare la forte contraddizione scaturita dalla decisione di affidare un così importante evento mondiale sul clima ad un paese, quello degli Emirati Arabi Uniti, caratterizzato da un forte coinvolgimento nella produzione di combustibili fossili.

Per tutti noi geologi, l'aver partecipato a questo evento ha rappresentato una grande vetrina per enfatizzare il ruolo professionale della categoria e l'impegno a fare rete fra associazioni e organizzazioni interessate ai temi, si può ritenere che l'effettiva partecipazione alla COP28 abbia assolto una funzione strumentale alla creazione di rapporti

di scambio con gli altri attori presenti, volti a valorizzare le competenze specifiche dei professionisti geologi nelle varie questioni di carattere ambientale.

Questo costituisce il medesimo percorso che stiamo tracciando e seguendo sul piano nazionale, ove il CNG continua ad intervenire, con la dovuta attenzione e dedizione, ai tavoli istituzionali per potenziare, sia all'interno della categoria sia verso i terzi, tali competenze, in modo che la "cultura geologica" si diffonda in maniera efficace e che ciò consenta un incremento di opportunità nel mercato del lavoro. Proprio in questi giorni, si è ottenuto un tale risultato, con riferimento alla geotecnica, all'idrologia e all'idraulica per l'utilizzo sostenibile delle risorse idriche superficiali e sotterranee, nell'ambito del decreto del Ministero dell'Università e della Ricerca n. 1649 del 19.12.2023, che definisce le classi dei corsi di laurea magistrale.

Per i restanti anni del mandato consiliare, si intende perseguire tale traguardo, potenziando le relazioni con gli **stakeholder** di riferimento, incrementando la formazione, soprattutto per i nuovi geologi professionisti, con la prospettiva di impiegare le nuove risorse formate nei settori lavorativi emergenti, connessi alla transizione energetica, valorizzando il titolo professionale, da considerare come "garanzia di qualità" nell'esercizio delle attività di spettanza.

Con l'auspicio che tutto ciò possa contribuire a rimarcare la figura dei geologi quali "custodi" di risorse essenziali per l'umanità e quali "promotori" di uno sviluppo sostenibile, rivolgo a tutti gli iscritti i miei più sentiti auguri di buon anno.



# COP28

## UAE



**focus**

# PONTE SULLO STRETTO

A cura di **Filippo Cappotto & Giovanni Andiloro**





### Filippo Cappotto

Vicepresidente Consiglio Nazionale dei Geologi



### Giovanni Andilorò

Componente commissione area tematica "Risorse Idriche" del CNG

**L**a storia recente del progetto del ponte sullo stretto di Messina inizia negli anni '70. Nel 2003 viene approvato il progetto preliminare, ma solo nel 2010 vede la luce il progetto definitivo, che viene consegnato alla società Stretto di Messina prima che il governo pro-tempore ne bloccasse l'iter per la realizzazione. Il Governo attualmente in carica ha ripreso il dossier, e il Consiglio dei Ministri del 16 marzo 2023 ha approvato il **Decreto-Legge 35/2023 con cui si riavvia l'iter realizzativo dell'opera**. Per l'Unione Europea, il ponte rappresenta un'opera strategica per il completamento delle reti trans-europee di trasporto, e si inserisce nel tracciato del Corridoio Multimodale Scandinavo-Mediterraneo che attraversa


l'Italia da nord a sud, sviluppandosi dal valico del Brennero fino alla Sicilia, passando per i nodi urbani di Trento, Verona, Bologna, Firenze, Roma, Napoli, Bari, Messina e Palermo. Dieci dei sedici porti *core* della rete TEN-T italiana fanno parte di questo corridoio (Ancona, Augusta, Bari, Gioia Tauro, La Spezia, Livorno, Napoli, Palermo, Termini Imerese, Taranto).

Il progetto definitivo dell'attraversamento stabile sullo stretto, approvato nel 2010, prevede lo schema del ponte sospeso che sarà il più lungo al mondo, con una campata centrale tra i 3.200 e i 3.300 metri, a fronte di 3.666 metri di lunghezza complessiva, comprensiva delle campate laterali, un'altezza delle torri di 399 metri con volume dei blocchi d'ancoraggio pari a 533.000 metri cubi.

Il ponte è stato progettato per resistere a un sisma di magnitudo 7,1 della scala Richter, con impalcato aerodinamico di "terza generazione", stabile fino a una velocità del vento di 270 km/h.

Le ultime tappe di questo tormentato iter hanno visto la costituzione, nel mese di settembre 2023, del Comitato Scientifico di supporto e consulenza tecnica, supervisione e indirizzo delle attività tecniche progettuali per l'attraversamento stabile dello stretto, con l'assenso delle regioni Calabria e Sicilia.

Il 30 settembre, dopo oltre 50 anni dall'avvio, il consorzio Eurolink, guidato dal Gruppo Webuild, ha consegnato l'aggiornamento del progetto definitivo del ponte e dei suoi collegamenti stradali e ferroviari, precisando che è stato progettato per **resistere a intensità del vento estreme**, largamente superiori al vento più intenso mai registrato nello Stretto. **Dal punto di vista sismico**, l'integrità strutturale dell'opera è stata verificata per eventi di magnitudo superiore al terremoto di Messina del 1908.

Il 25 e 26 maggio, il **Consiglio Nazionale dei Geologi** e gli **Ordini dei Geologi della Calabria e della Sicilia**, a seguito dell'emanazione nel DL n.35/2023-Decreto Ponte, hanno organizzato presso le Università di Reggio Calabria e di Messina un convegno tecnico-scientifico sugli aspetti geologici, sismici e normativi delle opere infrastrutturali complesse nell'area dello **Stretto di Messina** .

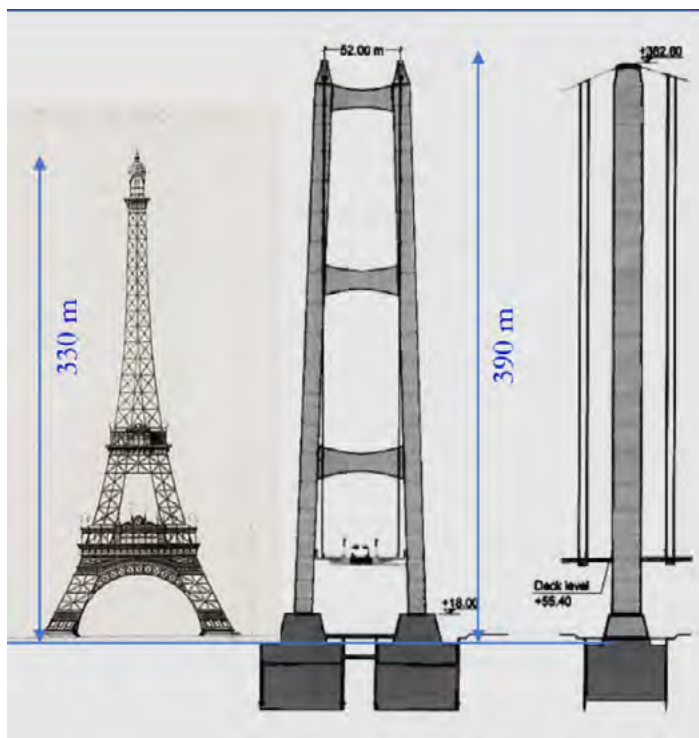
Il convegno ha rappresentato un'occasione di approfondimento per il Governo, il mondo delle professioni tecniche e l'opinione pubblica, attraverso la discussione di studi scientifici, dati e nuove conoscenze.

La realizzazione di opere infrastrutturali complesse e, in particolare, l'attraversamento stabile dello Stretto di Messina, in un'area con caratteristiche geologiche peculiari, costituisce un'opportunità per mettere a frutto i risultati di decenni di ricerca scientifica in campo geologico, gli avanzamenti tecnologici e le competenze ingegneristiche di cui l'Italia dispone. Occorre, tuttavia, procedere con la giusta consapevolezza della fragilità del contesto territoriale. La progettazione dell'opera dovrà, infatti, garantire una piena compatibilità con



l'assetto geologico s.l. dell'area. La compatibilità geologica e geomorfologica, in particolare, è un presupposto su cui il CNG si è molto battuto di recente, sia per il suo inserimento tra le priorità di valutazione preventiva nel nuovo Codice dei Contratti Pubblici, sia durante le audizioni parlamentari propedeutiche all'emanazione del DL n.35/2023-Decreto Ponte.

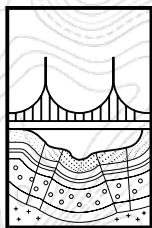
Il convegno del 25 e 26 maggio è stato arricchito dalla partecipazione di autorità politiche e tecniche, tra cui il Ministro dei Trasporti e della Mobilità Sostenibile, On. Matteo Salvini, il Ministro della Protezione Civile e del Mare, On. Nello Musumeci, e il Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Ing. Massimo Sessa.



L'aula Magna "Quistelli" dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria ha ospitato la prima delle due giornate. Tra i saluti istituzionali, in collegamento da remoto, il **Ministro delle Infrastrutture, Matteo Salvini**, ha dichiarato che *<La politica ha deciso, adesso la parola ai tecnici per mettere mano al progetto e realizzarlo. Il ponte lo faranno loro>*, rivolgendosi alla vasta platea di tecnici presenti.

**Il Presidente dell'Ordine dei Geologi della Calabria, Giulio Iovine**, ha quindi sottolineato come la scelta di realizzare o meno un'opera come il Ponte dello Stretto - un'opera ardua e unica per estensione - non attiene alle prerogative dei geologi, chiamati viceversa a fornire supporto tecnico-specialistico qualificato per la comprensione delle caratteristiche e dei rischi del territorio. L'area destinata a ospitare il ponte è, com'è noto, molto particolare dal punto di vista geologico, essendo caratterizzata anche da elevata sismicità e da significativi movimenti di allontanamento e sollevamento delle sponde. Vi sono aspetti geologici ancora oggetto di acceso dibattito scientifico, e una serie di aspetti ambientali da considerare, per cui risultano opportuni ulteriori approfondimenti. L'opera può rappresentare un forte stimolo per sviluppare le conoscenze geologiche in un territorio complesso e





## Aspetti geologici e sismici nell'area dello Stretto di Messina


# 25-26 MAGGIO

## Reggio Calabria - Messina


**Convegno** "Aspetti geologici, sismici e normativi delle opere infrastrutturali complesse nell'area dello Stretto di Messina"

paesaggisticamente affascinante. Tuttavia, a prescindere dalla realizzazione del Ponte, non si può tacere la necessità di prevedere investimenti adeguati per migliorare il tessuto infrastrutturale e i servizi in un'area del Mezzogiorno che merita attenzione e opportunità di sviluppo pari a quelle di altre zone "più fortunate" del Paese.

Numerosi sono stati i contributi tecnico scientifici che hanno caratterizzato l'intenso pomeriggio. Sulla normativa antisismica e sulle procedure di parere tecnico, sono intervenuti i Proff. Eros Aiello, Francesco Maria Guadagno e Paolo Fuschi.

**Il Prof. Francesco Maria Guadagno** , Ordinario di Geologia Applicata presso l'Università degli studi del Sannio, ha evidenziato come, in riferimento al nuovo Codice dei Contratti Pubblici, la centralità del PFTE conduce a riconoscere l'importanza delle attività relative alle conoscenze geologiche e ambientali. Tali caratteristiche, in termini di assetti ed evoluzione, determinano, di fatto, le valutazioni relative all'inserimento dell'intervento (sia esso di tipo lineare o puntuale) nel contesto geologico e geomorfologico, condizionando le relative scelte progettuali.


La caratterizzazione geologica è quindi elemento di riferimento e preminente nelle scelte progettuali, per cui le valutazioni di carattere geologico non possono più avere una funzione "giustificativa" degli interventi, come spesso accadeva, ma orientare le scelte progettuali. La certezza dei modelli geologici del PFTE ha, peraltro, l'obiettivo di minimizzare gli imprevisti relativi alle condizioni geologiche (la c.d. "sorpresa geologica"), alla base di varianti in corso d'opera, oggetto di ampia letteratura tecnica e legale, e troppo spesso alla base di ritardi esecutivi o addirittura di definitive interruzioni delle attività costruttive. Ritardi che sono particolarmente gravi quando si ha a che fare con finanziamenti a termine, come nel caso del PNRR.

**Il Prof. Paolo Fuschi** , Ordinario di Scienze delle Costruzioni presso l'Università Mediterranea di Reggio Calabria, ha focalizzato l'attenzione sulle caratteristiche strutturali del Ponte sullo Stretto. In particolare, sono state illustrate le principali soluzioni adottate in relazione alle azioni e alle problematiche connesse con i requisiti normativi e peculiari di un'opera unica al mondo. Le principali azioni meccaniche, agenti in campo sia statico sia dinamico, sono legate a quattro problematiche strutturali predominanti che hanno guidato e determinato le soluzioni progettuali proposte: l'interazione vento-struttura; l'interazione treno-struttura; le azioni sismiche; l'interazione struttura-terreno. Particolare attenzione è stata dedicata agli aspetti legati alla progettazione dei principali organismi resistenti e al loro ruolo all'interno della complessa opera di ingegneria. A tale scopo sono stati analizzati alcuni confronti con opere e soluzioni già adottate, realizzate in ponti di caratteristiche simili.

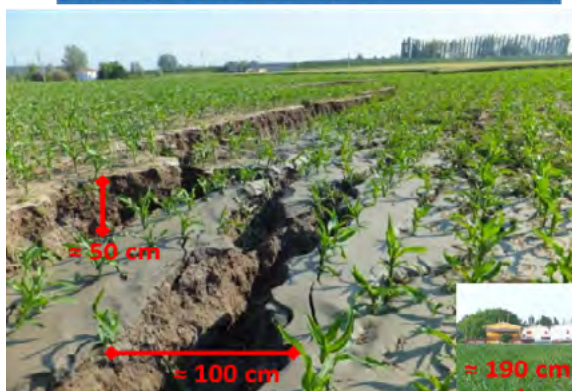


La seconda sessione è stata incentrata sulla sismicità e sugli effetti sismo-indotti legati alle peculiarità geologiche dell'area. **Il Prof. Salvatore Critelli** , Ordinario di Geologia presso l'Università degli studi della Calabria, ha illustrato come la Calabria, posta in posizione intermedia tra il Mediterraneo occidentale e quello orientale, con i suoi sistemi montuosi, le valli torrentizie, le forme costiere e sottomarine, sia il risultato di una complessa e attiva morfoevoluzione. L'evoluzione del paesaggio in epoca quaternaria-olocenica, e le strutture geologiche ereditate dalla storia pre-quaternaria, espongono la regione a una forte incidenza rispetto ai principali rischi naturali, sia geologico-idrodinamici sia sismotettonici. La storia geodinamica della Calabria, negli ultimi 2 milioni di anni, ha conformato rilievi e versanti montani acclivi e suscettibili a forte instabilità gravitativa, governati da tassi di sollevamento tettonico significativi, così come risultano notevoli i tassi di subsidenza delle

piane costiere, condizionando anche la morfologia e l'idrodinamica sottomarina.

**Il Prof. Eutizio Vittori** , Ricercatore associato presso l'istituto di Geoscienze e Georisorse IGG-CNR, ha illustrato la pericolosità geologica sismoindotta, con particolare riguardo alle deformazioni permanenti del suolo, in termini di effetti primari e secondari. Ha inoltre rimarcato come lo scuotimento sismico, in condizioni di near-field, è caratterizzato da effetti di direttività e amplificazione delle componenti verticali, fortemente controllate da distanza, geometria e cinematica della sorgente sismogenica. L'area dello stretto è senza dubbio a elevata pericolosità sismica, con Mw osservate > 7. I principali effetti geologici dei due terremoti più recenti e meglio documentati (1783, 1908) sono stati: fagliazione superficiale (1783), deformazione cosismica (1908, livellazione Loperfido), liquefazione, franosità, maremoto. Purtroppo, nonostante i numerosi studi condotti nell'ultimo decennio nell'area di interesse, vi è una perdurante assenza di un quadro chiaro e condiviso relativo alle faglie capaci e alle sorgenti sismogeniche (faglie principali offshore e/o cieche). Appare, quindi, indispensabile effettuare un programma di indagini sismotettoniche e paleosismologiche, a supporto del progetto del Ponte. Considerata la rilevanza delle opere previste, il dettaglio delle indagini dovrebbe essere almeno paragonabile a quello

Fratture (liquefazione-espansione laterale) a SW di San Carlo




Emilia 2012, Mw 5,9



	<b>Tipo di Ponte: Sospeso</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lunghezza campata centrale : <b>3.300 m</b></li> <li>• Lunghezza campate laterali: <b>3.666 m</b></li> <li>• Larghezza impalcato : <b>60,4 m</b></li> <li>• Resistenza a vento fino a <b>270 km/h</b></li> </ul>
	<b>Sistema di sospensione:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- N° 2 torri alte : <b>399 m</b></li> <li>- Cavi in fili di acciaio speciale : N° <b>4</b></li> <li>- Diametro di ogni cavo: <b>126 cm</b></li> <li>- Fili per ogni cavo: <b>N° 44.323</b></li> </ul>
	<b>Fondazione Torre: Plinti circolari</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diametro <b>48 m</b> Calabria</li> <li>- Diametro <b>55 m</b> Sicilia:</li> </ul>
	<b>Fondazione Ancoraggio</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Volume Calabria : <b>229.900 m<sup>3</sup></b></li> <li>Volume Sicilia : <b>303.300 m<sup>3</sup></b></li> <li>Volume fuori terra : <b>17%</b></li> </ul>
	Canale navigabile per transito grandi navi Sezione : <b>600 x 65/70 m</b>

Fig.  
 Fotocomposizione del ponte sullo Stretto di Messina e dati tecnici della struttura

degli studi di microzonazione di III livello. Riguardo alla pericolosità da fagliazione superficiale per le grandi opere, in attesa di una normativa nazionale specifica, si potrebbe far riferimento alle linee guida per le grandi dighe e, in campo internazionale, alle guide tecniche IAEA SSG9 2021.

Sul tema delle opere infrastrutturali complesse in aree ad alto rischio sismico, si è conclusa la terza sessione tecnico-scientifica pomeridiana del primo giorno. Tra gli altri, è intervenuto **il Prof. Giuseppe Mandaglio** , docente di Geologia Applicata presso l'Università Mediterranea di Reggio Calabria, che ha evidenziato, attraverso la trattazione degli aspetti geodinamici, le caratteristiche del progetto e le problematiche a esso associate. Nell'immagine che segue, si può apprezzare l'imponenza dell'opera e il contesto in cui essa dovrebbe essere inserita. Nella tabella sono, inoltre, riportati i dati salienti della struttura. Le caratteristiche geo-strutturali e tettoniche dell'Arco Calabro-Peloritano danno origine a una sismicità elevata, a un assetto geologico e morfo-batimetrico complessi, e a aspetti idrogeologici e ambientali le cui problematiche condizionano le scelte

progettuali anche dal punto di vista tecnologico. Pertanto, esse vanno attentamente definite e considerate.

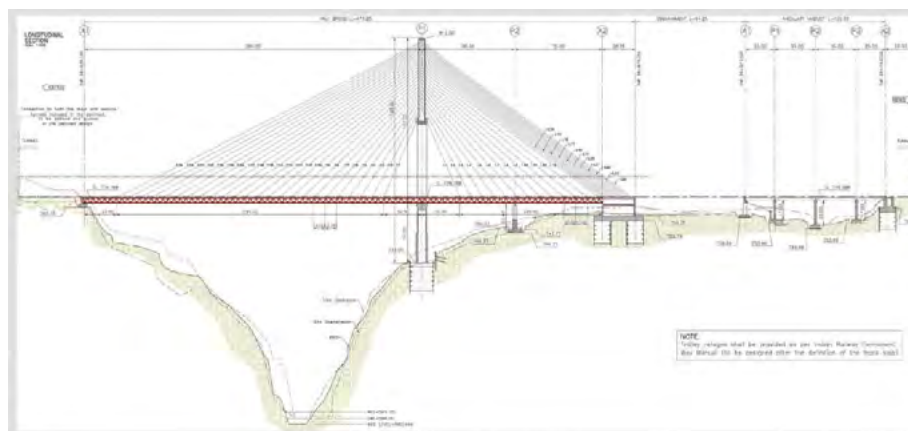
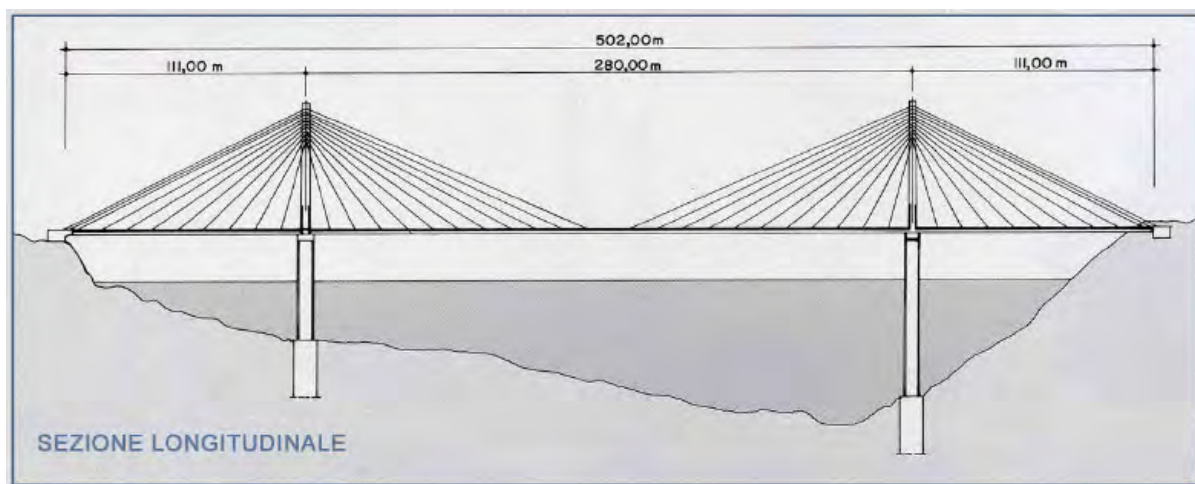
**Il Prof. Mario Petrangeli**, già docente del corso di "Teoria e Progetto di Ponti" presso l'Università la Sapienza di Roma, ha, quindi, evidenziato le peculiarità del comportamento dei ponti di grande luce rispetto alle azioni sismiche, e le conseguenze in termini di progettazione, con esempi di applicazione in due ponti strallati:

- il ponte stradale sul oued DIB, in Algeria
- il ponte ferroviario sull'anji KHAD in India

Alcuni dei relatori (**Proff. Eros Aiello, Carlo Doglioni, e Janpieter Van Dijk**) hanno contribuito a entrambe le giornate. Gli estratti dei loro interventi sono riportati in calce all'articolo.

Nella seconda giornata di lavori, tenutasi a Messina presso l'Aula Magna dell'Università, hanno portato i saluti istituzionali **il Ministro alla Protezione Civile e delle Politiche del Mare, Nello Musumeci**, e **il Senatore, Nino Germanà**. L'ex Presidente della Regione Sicilia ha ribadito <l'importanza della costruzione del collegamento stabile tra Sicilia e Calabria e l'importanza di tenere separate la politica dalla tecnica, affermando che è compito degli esperti tecnici e scientifici dare indicazioni su come realizzare l'opera>.

Ha, quindi, portato i saluti del **CSLLPP il Presidente, Ing. Massimo Sessa**, che ha richiamato il ruolo di professionisti e universitari per una sfida di tale portata, con la solidità della tecnica italiana che già per il passato ha dimostrato la capacità di realizzare grandi opere come il ponte sullo stretto di Messina.




The proposed solution with the central embankment for the workshop (Vista da monte)

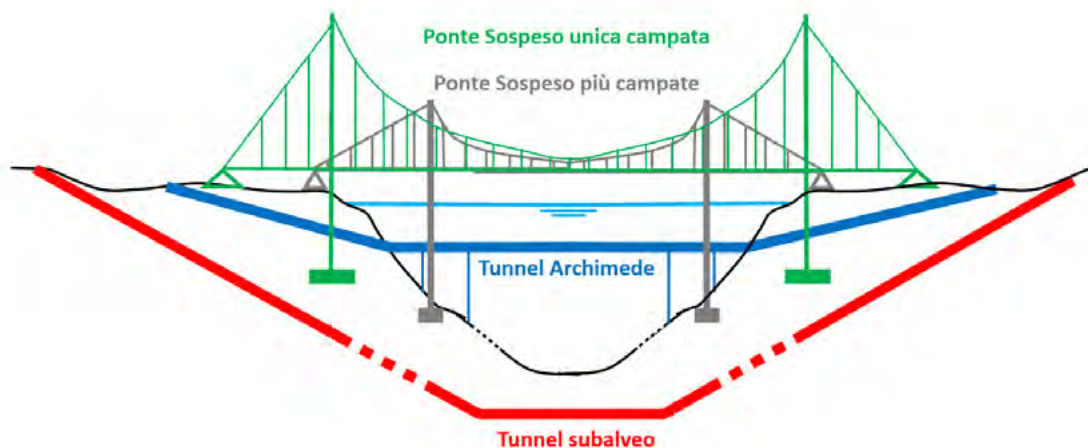
**Il presidente dell'ORGS Mauro Corrao**, ha espresso la propria soddisfazione per aver reso possibile l'organizzazione di un evento che vedrà oltre le autorità politiche anche esimi esponenti del mondo scientifico. Certo che quest'ultimi riusciranno a definire la fattibilità e gli scenari complessi sia dal punto di vista geologico che ingegneristico per la realizzazione del ponte sullo Stretto, i lavori del convegno restituiranno all'opinione pubblica un quadro svincolato da ogni pregiudizio politico.

Nell'aula magna numerosi e qualificati

esperti hanno presentato le loro relazioni scientifiche, illustrando approfonditamente il contesto territoriale dello stretto di Messina.

**Il Prof. Giancarlo Neri** , Prof. Ordinario di *Geofisica* nell'Università di Messina, ha presentato un approfondimento sulla "Sismicità nell'area dello Stretto di Messina e risvolti di carattere applicativo", indicando le sorgenti sismiche in grado di produrre rilevanti effetti di oscillazione del suolo nell'area.

**Il Prof. Carlo Doglioni**, Presidente dell'INGV e componente del Gruppo di Lavoro per la valutazione di soluzioni alternative per il sistema di attraversamento stabile dello Stretto di Messina (cfr. Det. MIMS n. 2620, 27 agosto 2020), ha illustrato i risultati raggiunti dalla Commissione in



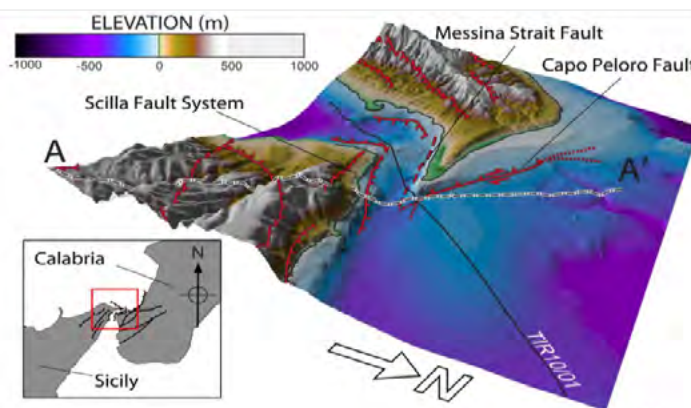
merito alle possibili alternative tecnologiche per l'attraversamento stabile dello stretto di Messina (ponti a due o più campate, tunnel subalveo, tunnel di Archimede). Dopo aver ricostruito dettagliatamente il contesto di pericolosità sismica e l'assetto geodinamico e sismo-tettonico dello Stretto, egli ha presentato approfondimenti effettuati nell'area, relazionandoli anche alle strutture del Ponte. Ha, inoltre, sottolineato l'importanza di una corretta valutazione delle azioni sismiche di progetto, con particolare riguardo a quelle verticali e alle peculiari accelerazioni realmente osservate in casi reali. Un'infrastruttura di tale rilevanza economica e sociale dovrebbe essere costruita per resistere alle massime accelerazioni possibili in area epicentrale. Pertanto, in fase di revisione del Progetto, dovrebbero essere adottati criteri di valutazione della pericolosità sismica di scenario o deterministica, che forniscono parametri di scuotimento possibili superiori a quelli ottenuti con tecnica probabilistica. Nell'intervento, egli ha infine analizzato profili sismo-stratigrafici e di resistenza del sottosuolo, evidenziando le maggiori problematiche geologiche da affrontare per le fondazioni delle torri e dei blocchi di ancoraggio.

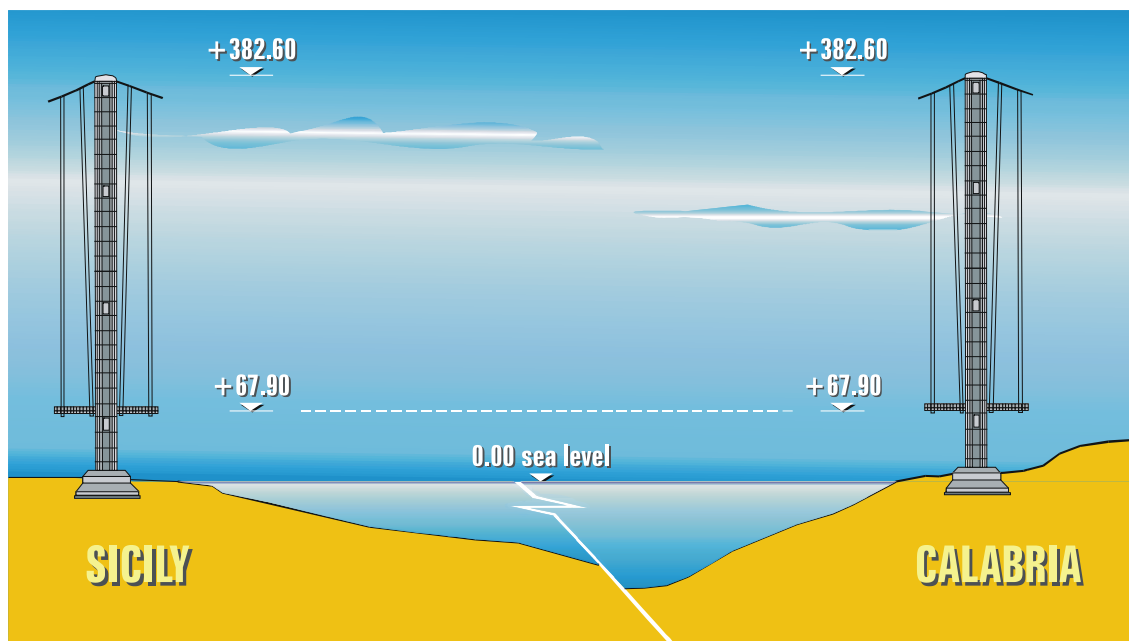
**Il dr. Valerio Comerci** , Ricercatore ISPRA, ha illustrato gli effetti e lo scenario co-sismico e post-sismico nell'area dello Stretto generatosi in seguito al terremoto di Messina e Reggio Calabria del 28 Dicembre 1908. Egli ha illustrato i risultati di uno studio sugli effetti tettonici del terremoto del 1908 da fonti coeve (Comerci et al. 2015), evidenziando come, oltre allo scuotimento, gli effetti ambientali indotti

dal sisma hanno contribuito in modo sostanziale al danneggiamento su entrambe le sponde dello Stretto. Tali informazioni sono preziose per definire correttamente lo scenario di un futuro terremoto nell'area, e occorre tenerne conto nella progettazione delle opere.

**Il Prof. Carmelo Monaco** , del Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Università di Catania, ha presentato lo studio sull'origine del terremoto del 1908, che illustra i risultati di sofisticate analisi geomorfologiche, strutturali e sismo-tettoniche (Barreca et al., 2021).

Lo studio, a più di cento anni dal devastante terremoto di Messina-Reggio Calabria, il più grande evento sismico mai registrato nell'Europa meridionale in epoca strumentale, presenta l'interpretazione di un nuovo set di dati di profili sismici sottomarini con risoluzione senza precedenti, della sismicità rilocalizzata e di un modello di velocità di onde P, insieme a nuove indagini morfotettoniche e a un modello d'inversione dei dati di livellazione disponibili, hanno fornito ulteriori vincoli sui meccanismi di deformazione e sulle caratteristiche sismo-tettoniche dell'area dello Stretto di Messina. Le linee sismiche ad alta risoluzione nell'offshore, insieme alla dislocazione dei terrazzi marini quaternari sulla terraferma, indicano una deformazione attiva lungo una faglia estensionale lunga circa 34,5 km precedentemente non





mappata. La lunghezza della faglia insieme al rigetto del fondale marino suggeriscono infatti che questa struttura tettonica sia la più idonea a produrre grandi terremoti nell'area dello Stretto di Messina.

**Il Prof. Giuseppe Muscolino**, del Dipartimento di Ingegneria UNIME, ha analizzato gli aspetti geotecnici e strutturali in campo dinamico per i ponti di grande luce, ricostruendo l'iter progettuale e le caratteristiche del progetto del 2010 ed esponendo alcune considerazioni sull'opera. In particolare, egli ha concluso il suo intervento come segue.

Il "Ponte sullo Stretto di Messina" è una struttura che allargherà i confini della conoscenza e dell'esperienza ingegneristica. Il significativo aumento di scala dell'intera struttura spinge tutti gli elementi ai loro limiti di utilizzo (Muscolino, 2014). Pertanto, un ruolo fondamentale per la riuscita dell'opera avrà la realizzazione di un efficace sistema di monitoraggio (Andersen, 2006).

Vista la complessità della struttura, tutti gli

aspetti del progetto sono stati rivisti e controllati da scienziati, ricercatori e ingegneri sia italiani che stranieri, di fama mondiale, e verificati con strumenti di calcolo all'avanguardia. Le parti principali del "Ponte" sono state testate, a scala ridotta, nelle più attrezzate gallerie del vento internazionali. Conseguenza di ciò è l'immensa documentazione progettuale (tra gli 8.000/10.000 documenti) che ne è scaturita.

Prima di scegliere e quindi procedere alla progettazione dell'attraversamento stabile dello Stretto di Messina col ponte sospeso ad unica campata, sono state studiate da pool di esperti internazionali tutte le possibili alternative: tunnel sotterraneo, tunnel di Archimede, ponte sospeso a più campate con fondazioni delle torri subacquee. La soluzione poi adottata è scaturita da un acceso dibattito, durato più di un decennio, tra scienziati e ingegneri, italiani e stranieri (Brancaleoni et al., 2009).


Prima della sospensione delle attività della "Società Stretto di Messina" era programmata l'inaugurazione dell'opera nel 2020. Ridiscutere il progetto attuale richiederà altri anni di lavoro ed allontanerà la possibilità di realizzazione di un'opera di cui il Sud dell'Italia ha estremo bisogno.

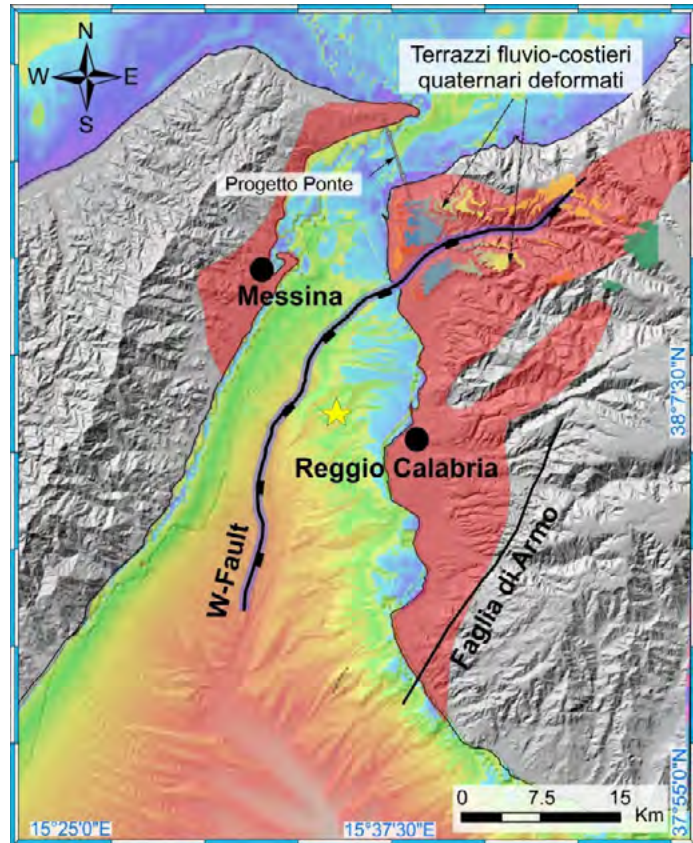
**Il Prof. Eros Aiello**, del Centro di GeoTecnologie di UNISI, nella relazione "Il ponte mediterraneo-inquadramento normativo e aspetti conoscitivi", ha illustrato le caratteristiche litologiche dei materiali che costituiscono il substrato dello Stretto, rappresentati dalle sabbie

e ghiaie di Messina, e i possibili effetti di liquefazione in caso di sisma. Egli ha sottolineato che, negli studi di geotecnica sismica nell'ambito del Progetto Definitivo, per i terreni di sedime delle torri e dei blocchi di ancoraggio sono emersi scenari sismici e potenziali di liquefazione tali da richiedere la progettazione di interventi di miglioramento mediante *jet-grouting*. Ne ha quindi discusso gli aspetti tecnici e stratigrafici, in termini geometrici e meccanici, i benefici sulla liquefazione dei terreni e gli effetti sull'amplificazione sismica.

**Il Prof. Ernesto Cascone**, del Dipartimento di Ingegneria di UNIME ha illustrato le principali caratteristiche del comportamento delle terre quando sono sottoposte a sollecitazioni cicliche. In particolare, partendo dal concetto di effetti di sito, sono state descritte l'influenza delle azioni cicliche e dinamiche, quali quelle indotte dai terremoti, sullo stato tensionale agente nel terreno, la dipendenza della risposta alle sollecitazioni cicliche dai livelli deformativi indotti e le proprietà fisiche e meccaniche dei terreni che maggiormente influenzano tale risposta.

Cascone, in conclusione del proprio intervento ha sottolineato la necessità, per i terreni a grana grossa, di eseguire prove su provini di grandi dimensioni, si è fatto un breve cenno alle attrezzature sperimentali del Laboratorio di Geotecnica del Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Messina, che oltre alle attrezzature per l'esecuzione di prove cicliche e dinamiche di campioni di terra, dispone anche di una tavola vibrante dotata di contenitore a pareti flessibili per l'esecuzione di prove su modelli fisici di sistemi geotecnici.

**Il Prof. Giovanni Randazzo** , di UNIME, ha descritto la morfologia e il paesaggio del contesto urbano di Messina, ricostruendo gli aspetti legati alle dinamiche urbanistiche ed evolutive della costa. Randazzo sottolinea di come l'azione antropica abbia cancellato il paesaggio naturale, trasformandolo in un



pericoloso contesto urbano che non ha rispettato neanche la estrema propaggine di Capo Peloro.

In questo contesto la realizzazione del ponte sullo Stretto di Messina potrebbe arrecare ben pochi ulteriori "oltraggi" a questo territorio che in meno di cinquant'anni abbiamo sfregiato, anzi, volendolo considerare come il cataclisma che tanti localissimi movimenti NIMBY paventano, potrebbe dare quella scossa necessaria per farla risorgere ancora una volta più bella di prima.

**Il Prof. Janpieter Van Dijk** , Freelance Consultant (già Senior Scientist presso ENI), ha sintetizzato gli aspetti fondamentali del processo di valutazione dei rischi legati alla costruzione del Ponte sullo Stretto:

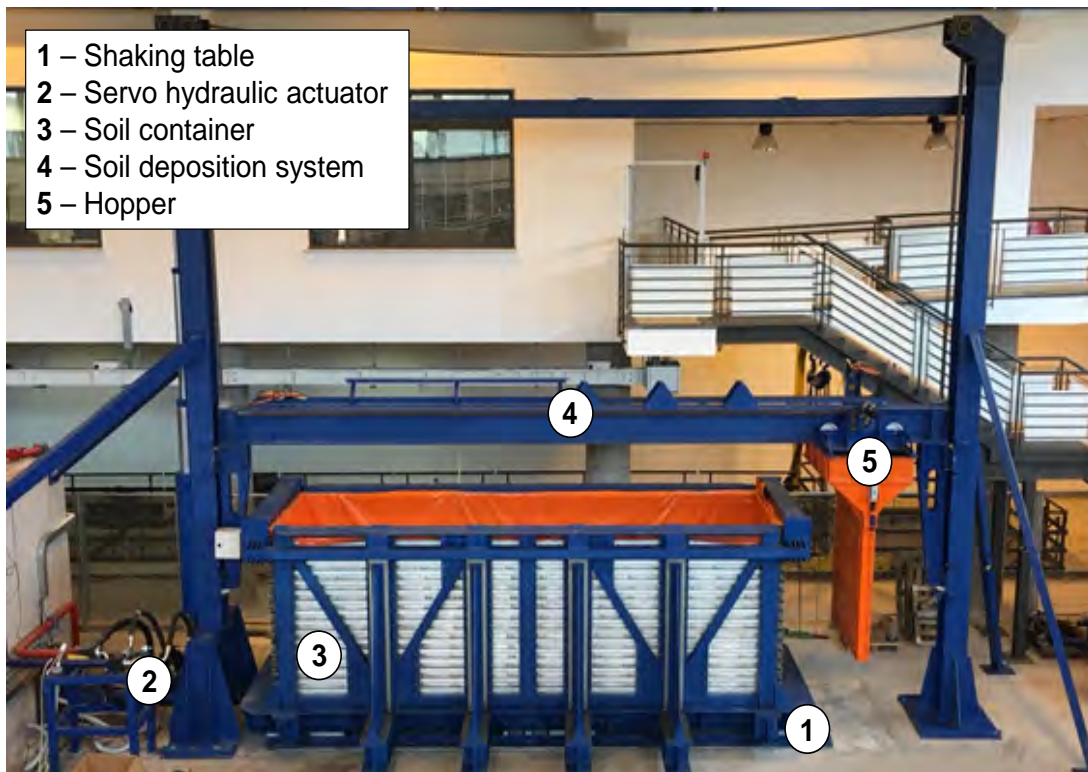
- la sostenibilità nella gestione delle risorse, della generazione dell'energia e dell'economia circolare, e il ruolo delle geoscienze;
- le nuove tecnologie disponibili nell'era della 4ª rivoluzione industriale (es. INSAR, Ultra High Density 3D Seismic Survey, Digital Twin, etc.);
- la complessità dei caratteri geologici dell'Arco Calabro-Peloritano.

Per quanto riguarda i primi due punti, egli ha suggerito di seguire specifiche linee guida, adottando azioni atte a raggiungere una conoscenza aggiornata e approfondita delle caratteristiche geologiche dell'area. Egli ha, inoltre, sottolineato l'importanza di gestire e interpretare il

sistema nella sua complessità, attraverso la costituzione di una specifica *Task-Force Geoscientifica*, cui dovrebbero partecipare geologi, geofisici e ingegneri provenienti da ambiti accademici, industriali e imprenditoriali.

#### Riferimenti Bibliografici

- Andersen, J. E. (2006). *Structural health monitoring systems*. Jacob Egede Andersen.
- Brancaleoni F., G. Diana, E. Faccioli, G. Fiammenghi, I.P.T. Firth, N.J. Gimsing, M. Jamiolkowski, P. Sluszkza, G. Solari, G. Valensise & E. Vullo (2009). *The Messina Strait Bridge: A challenge and a dream*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, USA.
- Comerci, V., Vittori, E., Blumetti, A.M., Brustia, E., Di Manna, P., Guerrieri, L., Lucarini, M., Serva, L. (2015). Environmental effects of the December 28, 1908, Southern Calabria–Messina (Southern Italy) earthquake, *Nat. Hazards* 76 (3), 1849-1891. DOI: 10.1007/s11069-014-1573-x.
- Muscolino G. (2014). “Engineering Aspects of the Bridge” in *A BRIDGE TO SOMEWHERE-The Tragedy of the Messina Strait Bridge* (Editors E.P. Trani, D.E. Davis) Library of Congress pp.127-158.
- Barreca, G., Gross, F., Scarfi, L., Aloisi, M., Monaco, C., Krastel, S., 2021. The Strait of Messina: Seismotectonics and the source of the 1908 earthquake. *Earth-Science Reviews*, 218, 103685, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825221001860>



La tavola vibrante con contenitore a pareti flessibili del laboratorio del Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Messina



# APPROFONDIMENTI



*Il programma del  
convegno*



*L'intervista al vicepresidente  
Filippo Cappotto*



*L'intervista al Presidente  
Violo*



*L'intervista al Ministro  
Musumeci*



**CLICCA**  
*per i contributi  
completi*

- ▶ Prof. Guadagno
- ▶ Prof. Neri
- ▶ Prof. Fruschi
- ▶ Dott. Comerci
- ▶ Prof. Critelli
- ▶ Prof. Monaco
- ▶ Prof. Vittori
- ▶ Prof. Randazzo
- ▶ Prof. Mandaglio
- ▶ Prof. Van Dijk





**MASSENZA**  
DRILLING RIGS

**100 YEARS**  
SINCE 1921  
MADE IN ITALY

Impianti di perforazione  
dal 1921



**Mi4 per:**

Pozzi d'acqua  
Geotecnica  
Geotermia



**Personalizzazioni:**

Martello idraulico  
Pompe acqua e fango  
Prolunga antenna  
Radiocomando  
Sistema di lavaggio incluso  
Argano wire line



DATALOGGER E  
TELEMETRIE

# LEVELLOGGER 5

## LA QUINTA GENERAZIONE DEI DATALOGGER SOLINST®



NOVITÀ

SENSORE LIVELLO  
TEMPERATURA  
MODBUS • SDI-12



La precisione e l'affidabilità Solinst® si consolida con il rinnovo dell'intera gamma di datalogger per il monitoraggio di livello, temperatura, conducibilità e precipitazioni.

### Caratteristiche\*

- Sensore di pressione in Hastelloy con una precisione del  $\pm 0,05\%$  FS.
- Disponibili con sensore di pressione di tipo assoluto o a tubo aperto.
- Rivestimento polimerico in PTFE interno ed esterno applicato a caldo PFAS-free.
- Batteria di lunga durata: 10 anni!
- 150.000 set completi di dati.
- Intervalli di campionamento programmabili da 1/8 di secondo a 99 ore.
- Disponibili in versioni di fondo scala da 5 a 200 m.
- Connettività ottica ad alta velocità.

### Applicazioni

- Caratterizzazione degli acquiferi.
- Test di pompaggio.
- Fluttuazione del livello dei porti e delle maree.
- Studi sulla salinità e sulle intrusioni saline.
- Monitoraggio delle acque di scioglimento.
- Monitoraggio del plume nelle attività di bonifica.
- Monitoraggio a lungo termine in pozzi e piezometri.
- Monitoraggio di livello in corsi d'acqua, bacini, ecc.

\*Le caratteristiche variano in base al modello.

Da sempre impegnati nell'offrire le soluzioni tecnologiche più avanzate e affidabili per misure e monitoraggio di livello, campionamenti low-flow e indisturbati, analisi qualitative delle acque sotterranee o di superficie. Abbiamo selezionato i migliori prodotti disponibili sul mercato internazionale per soddisfare le esigenze dei professionisti del settore.



MISURE DI LIVELLO



CAMPIONAMENTO  
LOW-FLOW



PROFILAZIONE  
MULTILIVELLO



BONIFICA  
IDROCARBURI

# Solinst®

DISTRIBUTORI UFFICIALI PER L'ITALIA E RIVENDITORI PER CROAZIA,  
SLOVENIA E SVIZZERA DEI PRODOTTI SOLINST®

Una partnership di successo che dura da oltre trent'anni.

 **EGEO** +lab

WWW.EGEO.LAB.IT

focus

# VAJONT

60 anni dopo il disastro

A cura di **Paolo Spagna**





A cura di **Paolo Spagna**  
Consiglio Nazionale dei Geologi  
e Vicepresidente Fondazione  
CentroStudi - CNG

**A** Longarone si è svolta una due giorni di eventi organizzati dal Consiglio Nazionale dei Geologi in collaborazione con il proprio Centro Studi, con i Comuni di Longarone e Erto e Casso, con la Fondazione Vajont, con gli Ordini Regionali dei Geologi del Veneto e del Friuli Venezia Giulia, in occasione del 60esimo Anniversario del disastro del Vajont. Oltre 250 partecipanti in presenza e più di 800 in collegamento streaming hanno avuto la possibilità di seguire la commemorazione delle quasi 2000 vittime di quel disastro, organizzata in maniera del tutto inedita, con letture di brani giornalistici tratti da importanti quotidiani e firmati da autorevoli giornalisti dell'epoca e a seguire il Convegno dal titolo "VAJONT, 60 ANNI DOPO IL DISASTRO - GRANDI OPERE E SOSTENIBILITÀ TECNICA, AMBIENTALE, ECONOMICA E SOCIALE - LE NOSTRE ESPERIENZE, LE NOVITÀ NORMATIVE".



La seconda giornata è stata caratterizzata dall'escursione mattutina sull'area della grande frana e sul coronamento della Diga. Nel pomeriggio, una volta misurate le frequenze elettromagnetiche del corpo di frana e tradotte in onde sonore e quindi in musica, presso il Teatro "Ferruccio Parri" di Longarone si è svolto il concerto musicale.

Numerosi gli apprezzamenti sia per la novità scenografica della commemorazione, che è stata accompagnata dalle note di sottofondo del Maestro Paolo Fornasier e dalle immagini di come era Longarone prima e dopo l'alluvione, sia per i contenuti tecnici dei relatori intervenuti alla Tavola Rotonda mattutina che da parte dei grandi esperti appositamente chiamati a relazionare sui principali temi tecnici che riguardano le grandi opere e sulle novità introdotte dal Nuovo Codice dei Contratti, il D.Lgs. 36/2023.

Di seguito vengono proposti i due interventi tecnici-politici che hanno aperto e avviato il Convegno. Si tratta della "Relazione introduttiva sullo stato della professione nella società", del Consigliere Nazionale e Vice Presidente della Fondazione Centro Studi del CNG, Paolo Spagna e la Relazione generale del Presidente del Consiglio Nazionale dei Geologi, Arcangelo Francesco Violo, dal titolo "Novità normative e sviluppo sostenibile"

## **VAJONT, 60 ANNI DOPO IL DISASTRO LONGARONE, 29 SETTEMBRE 2023**

### **Relazione Introduttiva**

**Dott. Geol. Paolo SPAGNA**

*Consiglio Nazionale dei Geologi e Vicepresidente Fondazione Centro Studi - CNG*

"Buongiorno a tutti, ai presenti e a quanti ci stanno seguendo in streaming in tutta Italia.

Desidero, innanzitutto, salutare e ringraziare, Giulia Apollonio, che avete sicuramente riconosciuto, nota giornalista del TG2, di origini ampezzane, che ha chiuso la parte commemorativa del convegno, ma che ritornerà poi a condurre la Tavola Rotonda.

Saluto il Presidente del CNG, Arcangelo Francesco Violo; il Presidente del Centro Studi del CNG, Lorenzo Benedetto; i Colleghi Consiglieri del Consiglio Nazionale dei Geologi e del CdA della Fondazione, nonché i Presidenti degli OO.RR. dei Geologi e i relativi Consiglieri, ma anche tutti gli altri rappresentanti delle diverse categorie professionali presenti.

Saluto e ringrazio il Presidente della Provincia di Belluno, nonché Sindaco del Comune di Longarone, Roberto Padrin e la Sua Giunta, per l'ospitalità offerta e la pronta disponibilità a collaborare all'organizzazione di questo Convegno, inserendolo tra l'altro tra le manifestazioni programmate per il 60esimo anniversario delle vittime del Vajont, a conferma dell'immutata attenzione dell'Amministrazione locale ai temi geologico-ambientali e ai rischi ad essi connessi e altrettanto desidero fare nei confronti del Sindaco di Erto e Casso, Antonio Carrara.

Saluto, infine, le personalità scientifiche e le autorità accademiche, che rappresentano il punto più elevato delle conoscenze tecnico-scientifiche del nostro delicato sistema naturale italiano, spesso maltrattato.

Questo convegno, programmato per ricordare la tragedia del Vajont avvenuta 60anni fa, vuole però essere anche la testimonianza, nel 60esimo anniversario della nostra legge istitutiva, di un percorso evolutivo che la nostra professione ha fatto, ampliando le proprie competenze tecniche e scientifiche, in particolar modo nella salvaguardia del territorio e dell'ambiente. La cultura e la conoscenza delle naturali criticità idro-geomorfologiche, dei parametri e delle caratteristiche dei terreni e delle rocce, dei segnali premonitori degli eventi calamitosi e quindi intervenire con le opportune progettualità, sono, infatti, la conferma del riconoscimento della nostra qualifica di tecnici progettisti anche nel Nuovo Codice dei Contratti Pubblici, come già prevedeva, peraltro, il D.Lgs. n. 328 del 2001.

Tornando però al tema del convegno, è doveroso ricordare che nella Valle del Vajont, al limite tra i Comuni di Longarone e di Erto e Casso, cioè tra la Regione del Veneto e la Regione Autonoma del Friuli Venezia Giulia, 60anni fa veniva progettata e realizzata una diga che per la sua altezza rappresentava la struttura più alta al mondo. Il suo bacino, con una capacità utile di 150 milioni di metri cubi d'acqua, avrebbe costituito una colossale riserva d'acqua, ma la memoria di ciò che accaduto nella notte del 9 ottobre 1963 e delle 1910 vittime di quel disastro, travalica questo primato portandoci, invece, a riflettere sulle valutazioni tecniche che hanno determinato la tragedia. Infatti, 300 milioni di m<sup>3</sup> di roccia si staccarono dal versante nord del Monte Toc scivolando nell'invaso, pieno d'acqua fin quasi all'orlo, provocando un'onda che scavalcò il coronamento della diga, riversandosi violentemente sull'abitato di Longarone e sui borghi



e paesi vicini, portando con sé ogni cosa, comprese le persone.

Era un evento prevedibile? Purtroppo sì! Questo è quanto ci riporta la storia perché è quello che i geologi incaricati avevano visto nei segnali di dissesto (lo abbiamo appena sentito anche dalle parole del padre del collega Pietro Semenza) e questo lo vogliamo affermare ancora una volta perché ciò che fu definita *"la storia di un disastro annunciato"* non rimanga, infine, soltanto la storia di una grande opera ingegneristica, ma diventi un severo monito per chi ha il dovere e l'onere, di mettere in campo politiche di contrasto ad ogni forma di rischio naturale, potendo così evitare altre vittime innocenti e altri disastri.

Ovviamente, quelli del Vajont, erano altri tempi e sul piano tecnico le considerazioni, le riflessioni e gli approfondimenti che sono seguite ci hanno permesso di analizzare gli accadimenti e le inefficienze anche con un occhio rivolto agli insegnamenti dei corsi universitari e alle competenze professionali dei geologi.

Oggi, nel rispetto delle teorie e dei principi del determinismo sostanziale, basato sui risultati delle indagini e sulla progettazione degli interventi geologici, la nostra categoria professionale è cresciuta al passo del progresso evolutivo delle conoscenze, che sono la base imprescindibile del saper fare per competenza, specie in ambito di moderne collaborazioni interprofessionali.

Il Vajont ha quindi rappresentato, per noi geologi, l'inizio di un cammino all'interno della società che oggi decliniamo in termini di sostenibilità ambientale, di adattamento delle strutture e infrastrutture ai cambiamenti climatici e di valutazione del loro corretto inserimento nel territorio e nell'ambiente.

In modo analogo, lo stiamo facendo anche nella ricerca e sfruttamento delle georisorse, che sappiamo essere il vero tallone d'Achille per l'opinione pubblica, essendo tra le attività più impattanti, almeno così è stato fino agli anni '90. Infine, la questione della rigenerazione urbana e territoriale, dove gli aspetti applicativi della nostra professione, uniti



# VAJONT 60 ANNI DOPO IL DISASTRO

29/30 SETTEMBRE 2023 | LONGARONE (BL)  
TEATRO CENTRO CULTURALE "FERRUCCIO PARRI"

al concetto di resilienza, determinano quel valore aggiunto che il mercato imprenditoriale richiede.

Insomma, per noi geologi, il nuovo paradigma professionale che stiamo tracciando è quello del riconoscimento valoriale delle nostre attività, rappresentato soprattutto in fase preventiva, facendo incontrare l'esigenza della salvaguardia del territorio con le necessità economiche e sociali di un Paese avanzato. Tutto ciò, applicando norme e leggi che riconoscono al geologo capacità tecnica e progettuale, un ruolo che nei principi costituzionali si associa alla tutela del suolo, del territorio, del paesaggio e dell'ambiente naturale.

Con la recente approvazione del "Nuovo Codice dei Contratti Pubblici" (il D.Lgs. 36/2023) e malgrado presenti ancora diverse criticità derivanti per lo più da un'impostazione iperliberista della Comunità Europea, possiamo dire che finalmente il Governo ha voluto affrontare il tema della difesa strutturale e infrastrutturale del suo territorio con un'ottica moderna, diversa dalle precedenti. In più occasioni ha dimostrato il proprio convincimento verso la preventiva necessità della verifica della sostenibilità ambientale delle opere progettate attraverso lo studio geologico e geomorfologico del territorio, credendo nella capacità di sviluppo di nuovi modelli culturali e professionali, ma anche nella necessità di investire in conoscenza, qualità e sviluppo, per il proprio Paese.

In buona sostanza, l'appuntamento di oggi vuole essere il luogo della ricerca dei punti di sintesi più elevati in relazione ai nodi normativi e agli obiettivi delle grandi opere, al fine di programmare le opportune strategie da mettere in campo nel prossimo periodo.

Con questa visione prospettica, necessariamente, l'offerta formativa universitaria, preposta alla scienza in senso stretto, ma anche alla formazione di professionisti in grado di rispondere alle esigenze del Paese, dovrà prevedere percorsi didattici flessibili e rispondenti al mercato della domanda professionale, in una continua osmosi tra l'accademia e la professione, al fine di dare al neo-professionista soluzioni applicative definite e quantificabili economicamente.

In altri termini, oggi, con i moderni strumenti professionali siamo in grado di esprimere al meglio le nostre competenze: sappiamo, ad esempio, affrontare le politiche di gestione del territorio con strategie di contrasto al dissesto idrogeologico e sismico, in modo da evitare le soluzioni emergenziali che spesso finiscono per spostare il problema da un'altra parte, senza mai risolverlo alla radice. Siamo, infatti, in grado di mettere in campo nuove soluzioni e una nuova e moderna filosofia professionale capace di contemplare soluzioni strutturali e non strutturali, attraverso i cosiddetti presidi territoriali, formati da professionisti che sanno leggere ed interpretare i segnali di pericolo e allertare, per tempo, le popolazioni esposte. Un valore aggiunto, questo, che indubbiamente porterebbe minori costi sociali e minori spese per lo Stato.

Detto questo, vado a concludere il mio intervento con una breve sintesi del corposo programma di oggi, che prevede: al mattino, dopo i saluti istituzionali, la relazione generale del Presidente del CNG e a seguire la Tavola Rotonda dedicata alle grandi opere e alle questioni riguardanti la loro sostenibilità tecnica, ambientale, economica e sociale, che come ho già detto, sarà moderata dalla giornalista, Giulia Apollonio. Nel pomeriggio, invece, sarò io a moderare la sessione dedicata ai temi tecnici, con importanti ospiti del mondo accademico, professionale e delle imprese. Tra le altre cose saranno espone alcune novità tratte dal Nuovo Codice dei Contratti, che ricordo essere cogente dall'1 luglio di quest'anno. Verranno approfonditi gli aspetti geologico-ambientali che hanno a che fare con le grandi strutture e infrastrutture e si parlerà anche di soluzioni tecniche. Insomma, un pomeriggio denso di novità.

Con questo ho davvero terminato e auguro a tutti buon lavoro".

## VAJONT, 60 ANNI DOPO IL DISASTRO LONGARONE, 29 SETTEMBRE 2023

### Relazione Generale

*Dott. Geol. Arcangelo Francesco Violo*

*Presidente del Consiglio Nazionale dei Geologi*



Il disastro del Vajont ha rappresentato uno spartiacque nella evoluzione delle applicazioni della geologia e delle geotecnologie. Con il convegno del 29 settembre abbiamo voluto, quindi, tracciare l'evoluzione delle conoscenze e delle esperienze dei geologi professionisti e della normativa tecnica negli ultimi 60 anni, ma anche per verificare quanto abbiamo imparato da quell'evento catastrofico che ha causato quasi 2.000 vittime e danni sociali inestimabili che si ripercuoteranno per intere generazioni.

Il Vajont ha insegnato la necessità di valutare attentamente le influenze di un'opera nell'ambito territoriale significativo e viceversa. La diga, che all'epoca aveva il primato di essere la più alta del mondo, ha retto alla forza dell'enorme onda generata da circa 270 milioni di metri cubi di materiale che si è mobilizzato dal versante del Monte Toc e si è riversato nel bacino artificiale. E' evidente che ci sono state sottovalutazioni delle problematiche geomorfologiche nell'ambito territoriale significativo. Negli ultimi anni si registra maggiore consapevolezza sui temi della sostenibilità

tecnico-ambientale delle opere, con previsioni normative che sanciscono la necessità di esaustive conoscenze geologiche che devono indirizzare le progettazioni, in particolare in questo momento storico, in cui cospicue risorse finanziarie sono destinate alla modernizzazione e potenziamento del sistema infrastrutturale del nostro Paese, affinché non si ripetano i danni ambientali del passato, in un territorio esposto ai rischi geologici, urbanizzato disordinatamente e su cui impattano, in maniera sempre più frequente, gli eventi meteorici estremi.

Il Consiglio Nazionale dei Geologi si è molto impegnato con un costante monitoraggio normativo e numerosi interventi a livello istituzionale, sia in fase di analisi che di proposte migliorative, con riferimento ai provvedimenti del Parlamento e/o del Governo che hanno, tra l'altro, riguardato:

- la Legge sui titoli universitari abilitanti, con riferimento alla quale il Consiglio Nazionale sta lavorando in sede redazione dei regolamenti attuativi;
- il "DL Ischia", dove sono state recepite, in fase di conversione in legge, proposte volte a migliorare gli interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi eccezionali di carattere naturale che hanno colpito l'isola lo scorso 26 novembre 2022 (tra le quali la costituzione di un "presidio territoriale");
- il "DL Ponte", nel quale sono state inserite disposizioni al fine di garantire un corretto aggiornamento degli elaborati specialistici di competenza nella realizzazione del collegamento stabile tra la Sicilia e la Calabria;
- il Codice dei contratti pubblici, che focalizza, in numerose parti, l'attenzione, in generale, sulle "attività di progettazione" (non limitandosi più a citare solo i "servizi di ingegneria e architettura", come nei precedenti testi) e, più in particolare, su quelle di competenza professionale dei geologi, che vengono riconosciuti tra i "progettisti" che debbono possedere specifici requisiti per la redazione degli elaborati specialistici di competenza;
- il "DL Salva Infrazioni", per il riconoscimento della professionalità del geologo negli interventi di bonifica delle costruzioni da gas radon;
- il "DL Scarsità Idrica", che, nel testo convertito in legge, prevede il coinvolgimento del Consiglio Nazionale nelle funzioni di segreteria tecnica della Cabina di regia, la necessità di una ricognizione, da parte del Commissario straordinario, dei corpi idrici sotterranei potenzialmente idonei per il ravvenamento o l'accrescimento delle falde, l'individuazione dei progetti di fattibilità e di gestione delle reti di monitoraggio dei corpi idrici sotterranei e superficiali per massimizzare l'efficace gestione delle risorse e la resilienza dei sistemi ai cambiamenti climatici. Alle citate attività si sono affiancate le presenze dirette nei tavoli istituzionali, tra cui quelli costituiti presso il CSLPP, quali il Comitato



Speciale per i pareri in merito ai progetti delle opere finanziate con il PNRR e la Commissione per la riforma del “Testo Unico dell’edilizia”. Tra i risultati più tangibili, ottenuti nell’ambito dei citati organismi, vi sono le Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio delle gallerie e dei ponti esistenti, in cui si pone particolare attenzione agli aspetti geologici, geomorfologici e idrogeologici nella caratterizzazione del sito di costruzione, dell’ambito territoriale significativo e nella valutazione della vulnerabilità di tali infrastrutture.

Si è garantita, altresì, un’importante attività in materia sismica mediante la Commissione Tecnica per gli Studi di Microzonazione Sismica e CLE istituita presso il Dipartimento di Protezione Civile, il Tavolo Tecnico Sisma e l’Osservatorio Tecnico per la ricostruzione post-sisma 2016, garantendo supporto anche nelle fasi di aggiornamento del Testo Unico della ricostruzione privata.

Di particolare rilievo è stato, inoltre, il risultato conseguito con il cd. “DM Geoscambio”, un provvedimento che ha in parte disciplinato la materia, riconoscendo il ruolo centrale dei geologi professionisti, grazie anche all’attività di analisi e supporto fornito dalla “Piattaforma Geotermia”, Gruppo di studio istituito e coordinato dal Consiglio Nazionale, che vede la partecipazione di enti ed associazioni di settore, oltre che di rappresentanti di CNR, ISPRA, GSE, ENEA, INGV e MASE.

Analoghi organismi sono stati poi creati dal Consiglio Nazionale su materie di particolare interesse, quali “Sinkhole e cavità sotterranee”, “Faglie Attive e Capaci” e “Stretto di Messina”, con autorevoli componenti inseriti nel tessuto professionale, istituzionale e accademico.

Risulta degna di una speciale menzione la

partecipazione del Consiglio al Tavolo nazionale MIMIT-MASE delle Materie Prime Critiche e GdL2 “Mining”, in un momento storico che vede ritornare in agenda lo sviluppo della ricerca mineraria in Italia ed Europa secondo principi di sostenibilità ambientale ed economica. Su base nazionale, sono state, infine, stabilite solide sinergie di ulteriore interesse della categoria, tra cui l’accordo con il Ministero della Difesa per la riqualificazione delle aree dismesse, il protocollo con il Commissario Straordinario per la bonifica delle discariche abusive, la partecipazione al Gruppo di Lavoro di Itaca sui Criteri Ambientali Minimi e sul BIM geologico.

Non sono mancate azioni proficue con le istituzioni europee attraverso la Federazione Europea dei Geologi e la partecipazione a progetti europei su temi di nostra specifica competenza, impegno coronato dalla elezione di un Presidente Italiano della FEG (dopo 40 anni) indicato dal Consiglio Nazionale, nella persona del collega David Govoni.

Sono proseguite anche le attività congiunte con le altre rappresentanze ordinistiche nell’ambito della Rete Professioni Tecniche, tra cui merita una citazione particolare l’approvazione della Legge sull’equo compenso, che sancisce e fissa principi fondamentali per l’adeguata remunerazione della prestazione professionale.

Tutte le iniziative sopra elencate hanno consentito, anche mediante azioni trasversali, di raggiungere, unitamente all’obiettivo principale di valorizzazione della professione del geologo, quello di sensibilizzazione della presenza femminile nelle geoscienze.

Nel proseguo del mandato, verranno, certamente, raccolti spunti e proposte migliorative per affrontare con competenza e criterio le nuove sfide, apportando accorgimenti, dove necessario, e proseguendo in maniera decisa sui versanti che sinora hanno consentito di raccogliere risultati positivi per i geologi professionisti. Si proseguirà, in particolare, nel lavoro avviato per valutare, in sinergia con le altre professioni tecniche, efficaci correttivi e regolamenti attuativi del Codice dei contratti pubblici, tra cui quello che riguarda l’aggiornamento del “DM Parametri”; così come si insisterà per il riassetto della normativa vigente in materia di gestione delle risorse idriche e la revisione del Testo Unico ambientale.

Il prosieguo del lavoro, oltre a consolidare ulteriormente il ruolo del “geologo progettista”, avrà come importante scopo quello di rafforzare la figura professionale nelle attività di programmazione e pianificazione di medio e lungo termine, in modo che questa possa mettere in campo interventi utili e sostenibili, aderenti alle reali necessità dei territori ed alle dinamiche evolutive future.





# TECNOLOGIE PER LA GEOFISICA

Dal 2000 siamo specializzati nella progettazione e produzione di strumentazioni e software per geofisica applicata, monitoraggio sismologico e strutturale. Ad oggi offriamo soluzioni software integrate e flessibili da unire ai nostri strumenti a condizioni commerciali vantaggiose, consultateci e richiedete una demo senza impegno.

## ALCUNI DEI NOSTRI SOFTWARE:

**GE MASW** Il programma permette di modellare i profili sismostratigrafici tramite le onde di Rayleigh e/o le onde di Love e tool di processing, come filtri, muting, detrending e il refraction quality check consentendo un completo controllo su tutto il dataset acquisito.

**GE HVSR** Questo modulo fornisce un tool intuitivo per la selezione delle finestre campione, per l'identificazione di transienti e problematiche nascoste, selezione della  $f_0$ , validazione dei criteri di SESAME e modellazione della curva HVSR, inoltre è il primo al mondo ad offrire l'ascolto del dato per l'identificazione dei disturbi.

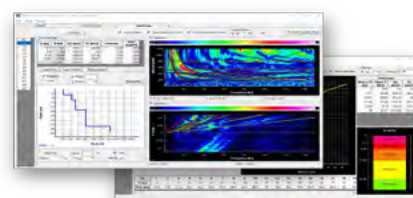
**GE REFRACT** Permette di elaborare il dato con la tecnica delle intercette e GRM per la generazione di sezioni 2D. Dalle sezioni è possibile estrarre modelli 1D per le modellazioni e comparazioni con le altre tecniche di elaborazione.

**GE MARW** Il modulo consente l'analisi sismica a riflessione 1D per la generazione di profili sismostratigrafici, permettendo di raggiungere profondità impossibili da raggiungere con le altre tecniche.

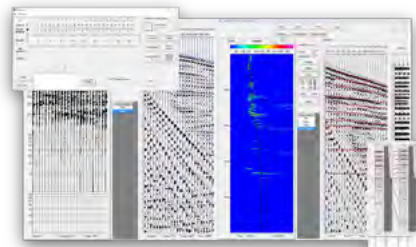
**GE DH** Permette di elaborare i dati per downhole classici e a doppio corpo, gestisce il nostro sensore SSBH-5C a 5 canali e il geofono spia, dà la possibilità di effettuare diversi tipi di correzioni e comparazioni e di gestire il dataset in modo efficace e intuitivo.

**GE SSV** Il modulo è progettato per mettere in evidenza le riflessioni associate a possibili reservoir di acqua, tramite la riflessione near vertical. Tale tecnica è di semplice e rapida acquisizione e consente un numero elevato di profili.

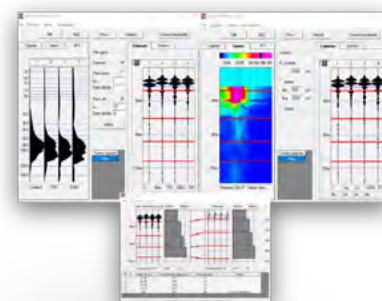
MASW



MARW



SSV



[www.sara.pg.it](http://www.sara.pg.it)

Via Angelo Morettini, 11 06128

+39 075 5051014



# Atlante: l'Italia dei terremoti. L'azzardo sismico delle città

## Atlas: Italy, earthquake country. Seismic hazard of Italian cities

**Emanuela Guidoboni** | Centro EEDIS - Eventi Estremi e Disastri, e INGV - Dipartimento Terremoti, Roma  
**Gianluca Valensise** | INGV - Dipartimento Terremoti, Roma



**Termini chiave:** Atlante, terremoti, città storiche, rischio sismico

**Keywords:** Atlas, earthquakes, historical cities, seismic risk

### Abstract

**The Atlas: Seismic hazard of Italian cities** is a large effort dedicated to informing and developing an awareness of the threat posed by earthquakes. It was promoted and funded by the Fondazione Consiglio Nazionale degli Ingegneri (CNI), and implemented in two volumes: the first devoted to the South of Italy, published in 2022, the second devoted to the Center and North of Italy and published in 2023. The Atlas is a tool for exploring the many facets of seismic hazard and risk in Italy, starting with the cities. It also provides guidelines that may be used to disseminate state-of-the-art knowledge for professionals operating in the field of construction and environmental safety.

### Riassunto

**L'Atlante L'azzardo sismico delle città** è un'opera innovativa di divulgazione e di orientamento sul tema sismico, progettata dagli Autori, finanziata e promossa dalla Fondazione del Consiglio Nazionale degli Ingegneri (CNI). Con questa scelta il CNI ha aperto un dialogo con diversi settori di ricerca per fare conoscere e favorire la comprensione della pericolosità e del rischio sismico nelle aree urbane. La parte riguardante le città del Sud è stata pubblicata nel

2022; quella riguardante il Centro e del Nord, nel 2023. L'Atlante è uno strumento di consultazione e di esplorazione del problema sismico in Italia, partendo dalle principali città. Presenta inoltre delle linee guida utili a diffondere conoscenze aggiornate nell'ambito delle professioni del costruire e della sicurezza ambientale.

### 1. Una premessa: che cosa è l'Atlante

L'ATLANTE è uno strumento di consultazione e di esplorazione del problema sismico in Italia, partendo dalle città e dai loro territori comunali. È un'opera innovativa e multidisciplinare, che punta a chiarire e a stimolare la comprensione del problema sismico, rendendo facilmente disponibili diverse tipologie di dati di base, di informazioni e di conoscenze aggiornate, in grado di aumentare consapevolezza e responsabilità. Si rivolge non solo ai professionisti dell'abitare – ingegneri, architetti, geometri e geologi – ma anche agli amministratori, ai docenti della formazione, ai residenti e a tutti coloro che desiderano *saperne di più* (Fig. 1).

L'ATLANTE è (per ora) un testo cartaceo, strutturato in due parti: il **Sud**, pubblicato nel 2022, e il **Centro e il Nord**, pubblicato nel 2023. L'opera è stata realizzata con una struttura modulare, dai contenuti stratificati e dilatati nel tempo, riguardanti la sismologia storica (con dati sugli

effetti dei terremoti dal mondo antico ai nostri giorni), la geologia locale, la sismotettonica e l'urbanistica. L'ATLANTE contribuisce a fare meglio comprendere i caratteri essenziali del rischio sismico in Italia, potenzialmente

stimolando iniziative culturali e azioni concrete volte a realizzare una concreta mitigazione degli effetti dei futuri terremoti.

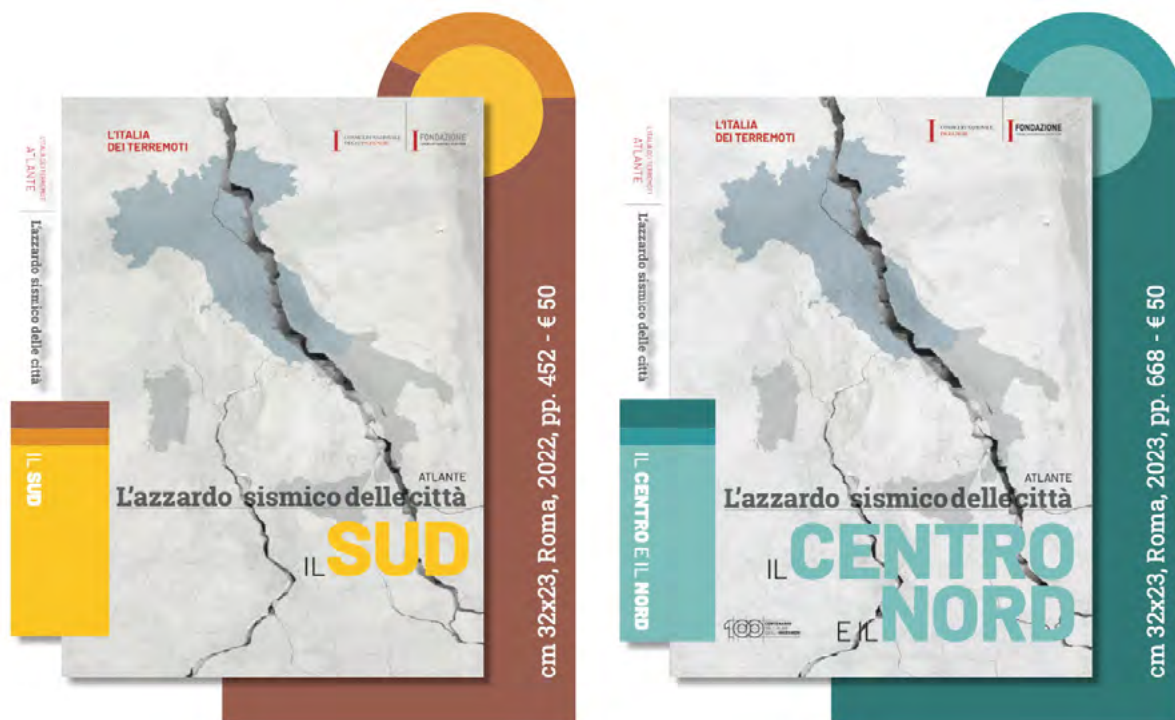


Fig. 1 - Copertine dell'ATLANTE: a sinistra, *Il Sud*, pubblicato nel 2022; a destra, *Il Centro e il Nord*, pubblicato nel 2023.  
 Fig. 1 – Frontpage of the Atlas. Left, *South Atlas*, published in 2022; right, *Centre and North Atlas*, published in 2023.

## 2. Perché il termine 'azzardo'

Abbiamo usato il termine 'azzardo' anziché 'pericolosità', consapevoli che quest'ultimo non è normalmente percepito in una dimensione probabilistica, e che l'attuale modello non è sempre ben compreso. La *pericolosità sismica* è un concetto o un numero? Cosa si cela dietro questi termini, usati quotidianamente dai professionisti?

Il termine 'azzardo' deriva dall'arabo *a-zahr* e indica il gioco dei dadi, in cui la sorte – in questo caso l'accadimento dei terremoti – non è nota né programmabile, e gli esiti sono del tutto incerti. Quello che invece possiamo prevedere è la *risposta dell'edificato*, pur con margini di incertezza, grazie ai saperi tecnici e alla conoscenza di cosa è già successo in passato.

Questo ATLANTE non propone nuovi parametri, ma apre una finestra inequivocabile sui danni già causati dai terremoti

nelle CITTÀ e nei loro territori, sulle travagliate e lunghe ricostruzioni e sulle tante riparazioni, più o meno affrettate e povere. E fornisce innumerevoli esempi sia su quegli elementi antropici che hanno concorso e che concorrono tuttora all'aumento della vulnerabilità del costruito urbano, sia sulla progressiva erosione dei tantissimi beni culturali e identitari dell'Italia.

Le CITTÀ, con i loro territori comunali, sono una realtà viva e indispensabile per la vita economica, sociale e culturale del Paese. Tuttavia, la loro storia sismica è quasi sempre ignorata dai residenti, dagli amministratori e perfino dai professionisti dell'abitare, ed è sostanzialmente assente nella cultura diffusa: sia i danni causati dai terremoti del passato – anche recente – sia le successive ricostruzioni sono fatti dimenticati, o mai del tutto compresi.

Oggi, come e forse più che in passato, in tessuti urbani molto

vulnerabili e densamente abitati quali sono quelli italiani, anche terremoti locali di bassa magnitudo o risentimenti di forti terremoti lontani possono causare nelle città effetti gravi. Sappiamo che la prevenzione non è stata e non è ancora un pilastro della cultura e della *governance* del Paese; ma è ora che nuove strategie trasformino la consapevolezza della pericolosità sismica e della vulnerabilità delle nostre città in una vera *cultura del rischio e della sicurezza*, quindi in un motore economico e sociale a vantaggio di tutti i centri abitati e delle future generazioni.

L'ATLANTE contiene nel suo insieme delle vere e proprie *Linee Guida* per riempire questo vuoto informativo, migliorare la progettazione e nel contempo sviluppare nuove sensibilità nei confronti della salvaguardia dei cittadini e della conservazione delle nostre città.

### 3. I contenuti dell'Atlante in sintesi

L'ATLANTE si articola in diverse sezioni, strutturate secondo uno schema lineare e identico per i due volumi. Di seguito riportiamo i contenuti complessivi dell'opera.

- **Contesti regionali:** 64 mappe regionali tematiche commentate (di cui 20 relative al Sud e 44 al Centro e al Nord), riguardanti la localizzazione dei terremoti del passato, le aree sismogenetiche, la franosità e le frane sismoindotte, i maremoti, la distribuzione dei terremoti registrati dalle reti strumentali negli ultimi quarant'anni.
- **Città selezionate** dai 30.000 abitanti in su (con alcune significative eccezioni), che hanno già subito almeno una grave distruzione, ossia a partire dal grado **VIII** della scala Mercalli-Cancani-Sieberg, o MCS: **61** del Sud e **56** del Centro e del Nord (se ne veda l'elenco delle città [E1](#)). Gli effetti dei terremoti, e per alcune città del Sud anche delle eruzioni, sono descritti sulla base di fonti contemporanee agli eventi e valutati in modo quantitativo, dal mondo antico al XXI secolo.
- **Centinaia di monumenti** descritti con i danni subiti, spesso per effetto di più terremoti in epoche diverse: episodi di una progressiva erosione del nostro patrimonio artistico, che sollecita nuove consapevolezze e

#### il pensiero degli esperti sui più urgenti temi legati al rischio sismico

Articoli tematici pubblicati nella INTRODUZIONE dei due volumi (in ordine alfabetico degli Autori)

- La Microzonazione Sismica: principi e obiettivi fondamentali  
*Teresa Crespellani*
- Le preziose città: edilizia abitativa e beni culturali. Il ruolo della cultura degli ingegneri per la conservazione e la sicurezza  
*Salvatore D'Agostino*
- Ricostruzioni: scelte, (dis)orientamenti e prassi nel Centro e nel Nord d'Italia dal 1976 al 2016  
*Roberto De Marco ed Emanuela Guidoboni*
- Il rischio sismico 'accettabile': un processo cognitivo-decisionale. Riflessioni sul rapporto fra area tecnico-scientifica e società  
*Elisa Guagenti*
- Lezioni dalla storia. I disastri sismici del Sud negli ultimi quattro secoli  
*Emanuela Guidoboni*
- L'accidentato percorso della classificazione sismica in Italia dal 1909 al 2021: criteri, norme, evoluzione  
*Emanuela Guidoboni e Gianluca Valensise*
- Rischi a cascata e sistemici: il ruolo delle vulnerabilità  
*Gianluca Pescaroli*
- Vulnerabilità e rischio sismico del patrimonio edilizio industriale. La lezione dei terremoti emiliani del maggio 2012  
*Antonio M. Tralli*
- **Forma urbis:** terremoti e caratteri urbanistici delle città del Sud  
*Francesca Valensise*
- L'incognita della vulnerabilità dimenticata  
*Gianluca Valensise*
- La prevenzione mancata: perché in Italia il rischio sismico continua a crescere  
*Gianluca Valensise*
- Dove nascono i terremoti: la sismogenesi nel Sud dell'Italia  
*Paola Vannoli*
- Dove nascono i terremoti: la sismogenesi dell'Italia centrale e settentrionale  
*Paola Vannoli*

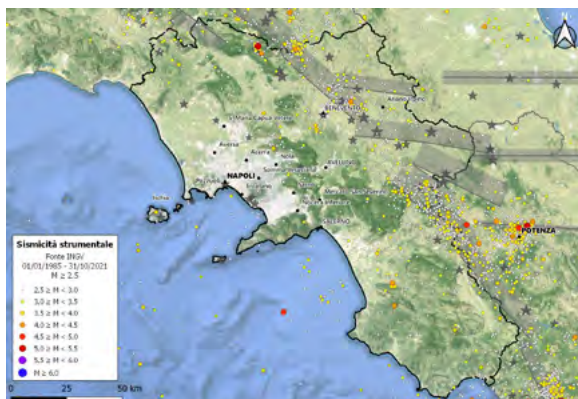
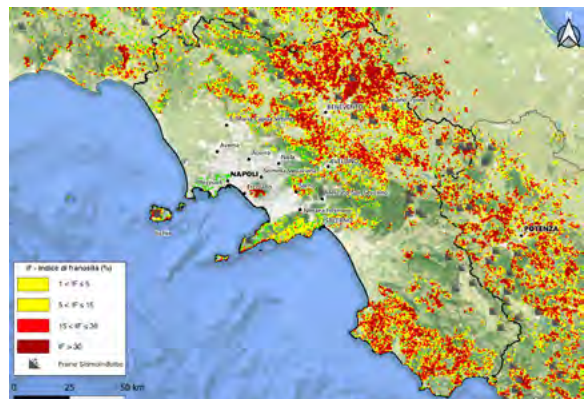
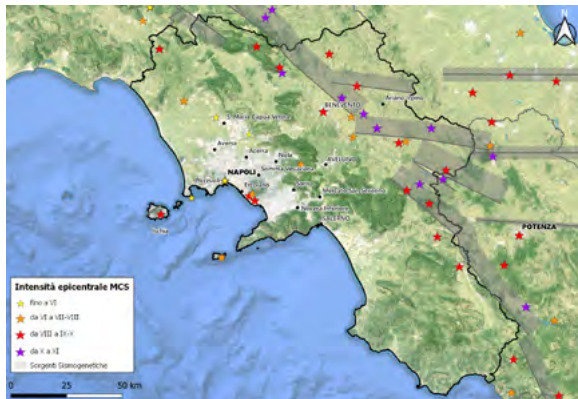


**Fig. 2** – Alcune delle preziose immagini storiche presenti nell'ATLANTE. (In alto) Napoli vista dal mare, nella cosiddetta Tavola Strozzi, attribuita a Francesco Rosselli e datata 1472-1473; appena 16 anni dopo il terremoto del 5 dicembre 1456, che aveva avuto gravi effetti in città (Atlante, *Sud*, pag. 80); (in basso a sinistra) Roma, raffigurata nella Volta dei Quattro Evangelisti, grande affresco di Cimabue del 1288-1290, nella Basilica Superiore di San Francesco ad Assisi; (in basso a destra) Amatrice all'inizio del XVI secolo: dettaglio dell'affresco della *Madonna in trono con bambino* nella chiesa di Santa Maria delle Grazie, poco lontano dalla stessa Amatrice (le due immagini b e c si trovano nell'Atlante, *Centro e Nord*, rispettivamente alle pag. 108 e 523). Le immagini documentano il prestigio e il carattere delle antiche città, talora idealizzandole.

**Fig. 2** – A selection of the precious historical images reported in the Atlas. (Top) Naples seen from the sea in the so-called Strozzi Table, attributed to Francesco Rosselli and dated 1472-1473; it was drawn only 16 years after the 5 December 1456 earthquake, which had caused extensive damage in the city (South Atlas, page 80); (bottom left) Rome, portrayed in the vault of the Four Evangelists, a large fresco by Cimabue from 1288-1290, located in the Upper Basilica of Saint Francis in Assisi; (bottom right) Amatrice at the beginning of the 16th century: detail of the fresco of the Madonna enthroned with child found in the church of S. Maria delle Grazie, not far from Amatrice itself (the two images below are from the Centre and North Atlas, respectively at page 108 and 523). The images document the prestige and character of the ancient cities, sometimes idealizing them.

dialoghi multidisciplinari.

- **Oltre un centinaio di terremoti a partire da  $M_w$  6,0** (in alcuni casi di poco minore): 49 nel Sud e 68 nel Centro e nel Nord, quasi sempre ignorati nella cultura diffusa e perfino dai professionisti dell'abitare; sono eventi che hanno profondamente segnato la storia dell'Italia. I dati sono prevalentemente tratti dal *Catalogo di Forti Terremoti in Italia* – CFTI5Med versione 2018 (Guidoboni et al., 2018), con numerose elaborazioni e aggiornamenti.
- **Analisi sismotettonica:** una carrellata sui progressi e sui problemi ancora aperti della ricerca più avanzata su cause, caratteri di ricorrenza ed effetti dei terremoti.
- **Le ricostruzioni post-sisma:** un carattere italiano di lungo periodo, un nodo storico per lo più ignorato dall'urbanistica. Dopo l'abitato temporaneo e la 'città provvisoria', nuove piante urbane, piani regolatori e tecniche edilizie emergenti hanno proposto nel tempo



**Fig. 3** - Mappe di sintesi riguardanti cinque temi fissi, disponibili per ogni regione dell'Atlante: qui il caso della Campania. Da sinistra, in alto: 1. Principali terremoti; 2. Intensità macrosismiche massime osservate e sorgenti sismogenetiche; 3. Frane sismoindotte e maremoti associati ai forti terremoti; 4. Franosità; 5. Sismicità strumentale dal 1985 al 2021 (Atlante, Sud, pagg. 76-78).

**Fig. 3** – Summary maps available for each Italian region: the case of Campania. From top left: 1. Main earthquakes; 2. Maximum observed macroseismic intensities and seismogenic sources; 3. Landslides and tsunamis associated with strong earthquakes; 4. Landslides; 5. Instrumental seismicity 1985-2021 (South Atlas, pages 76-78)

nuove visioni della città. Le distruzioni causate dai terremoti sono state sempre tragiche, ma talvolta hanno portato opportunità e stimoli nuovi per l'edilizia e per la sismologia. Come si è ricostruito in passato? Come si sta ricostruendo oggi? Una visione del futuro basata sulla conoscenza di quanto è già accaduto nei secoli

passati contribuisce a progettare e a realizzare piani di prevenzione in grado di limitare concretamente gli effetti dei prossimi terremoti.

- **Dati di pericolosità sismica e dati statistici:** per ogni città è fornita una scheda fuori testo che sintetizza la pericolosità di base espressa in termini di Peak Ground Acceleration (PGA) e di spettri a pericolosità uniforme, sulla base di dati ufficiali INGV-NTC08. La stessa scheda riassume inoltre l'andamento demografico, l'entità e l'età del costruito dall'inizio del Novecento e il suo stato medio di conservazione – da dati ISTAT.

- **Articoli tematici** inseriti nelle rispettive *Introduzioni* dei due volumi: sono 13 contributi di esperti del settore, che trattano temi relativi al rischio sismico abitativo e industriale, alla valutazione degli effetti dei terremoti, al loro impatto sulle vicende urbanistiche demografiche ed economiche dei luoghi colpiti, alle modalità delle ricostruzioni attraverso le epoche, alla protezione e cura del patrimonio monumentale, alla valutazione della variabilità del moto del suolo atteso, all'evoluzione della normativa antisismica e come questa abbia efficacia sulla mitigazione del rischio sismico.
- **Apparato grafico e iconografico:** l'ATLANTE contiene un esteso e dettagliato apparato di immagini (Fig. 2): foto satellitari zenitali per ogni città, mappe tematiche, planimetrie urbane dopo forti terremoti, immagini storiche e contemporanee di effetti di terremoti, maremoti e frane sismoindotte.

Concludono l'ATLANTE un **GLOSSARIO**, che include la definizione di termini geologici e sismologici usati nel testo, e una **BIBLIOGRAFIA** generale.

## 4. Le tre sezioni dell'Atlante

### 4.1. Introduzione

Come accennato sopra, questa parte include una serie di approfondimenti tematici generali, scritti da esperti nell'intento di declinare, da diversi punti di vista disciplinari e in modo sintetico, aspetti centrali del problema sismico (si veda finestra fuori testo).

### 4.2. Le Città e la loro storia sismica nei contesti regionali

La storia sismica delle città selezionate descrive gli aspetti più rilevanti dei danni, delle distruzioni subite e delle ricostruzioni, utilizzando dati rigorosamente basati su fonti scritte autorevolmente reperite, selezionate e analizzate. Ognuna delle 16 regioni italiane dell'ATLANTE, di cui 5 al Sud e 11 nel Centro e Nord, è preceduta da cinque **MAPPE TEMATICHE A SCALA REGIONALE** (Fig. 3), riguardanti aspetti basilari dell'azzardo sismico.

Per ogni città è fornita una sintesi grafica degli effetti subiti (Fig. 4), espressi in termini di intensità macrosismica; tale sintesi favorisce anche una visione d'insieme sulle conoscenze disponibili e facilita la consultazione di quanto direttamente fornito nello stesso ATLANTE.

Per alcune città selezionate i dati storici sugli effetti dei terremoti iniziano dal mondo antico, per altre invece sono disponibili solo per gli ultimi tre, quattro secoli. Gli effetti sono comunque sempre descritti e discussi utilizzando le

fonti originali. La diversa disponibilità di dati va messa in relazione con l'età di ciascun insediamento, con la distribuzione dei terremoti intorno ad esso e con l'insieme delle vicende storiche e culturali che hanno contraddistinto il territorio circostante: questi elementi possono avere effetti pratici non trascurabili. Infatti, la brevità della storia sismica, o la presenza di ampi vuoti informativi, si riflette negativamente sulla valutazione statistica della pericolosità sismica, anche in considerazione della relativa rarità dei forti terremoti italiani. Per questa ragione è sempre importante che l'analisi storica sia supportata da un'analisi di tipo sismotettonico, in grado di fornire evidenze geologiche sulla sismicità attesa anche in assenza di chiare testimonianze dal passato.

Riguardo agli effetti dei terremoti, per diverse città sono disponibili mappe di distribuzione dei danni per singoli terremoti (Fig. 5): sono elaborati preziosi, risultato di studi autorevoli già pubblicati, ma spesso dispersi nella letteratura sismologica, e qui raccolti per facilitare l'uso di tali conoscenze.

Una particolare attenzione è stata posta agli effetti dei terremoti sul patrimonio architettonico-storico. Quando lo stato delle ricerche lo ha consentito, sono state sviluppate anche le vicende riguardanti le **ricostruzioni**; sempre difficili, ma talvolta innovative, e spesso occasione sia di nuove riflessioni sulle aree urbane, sia di nuove soluzioni architettoniche per rendere gli edifici in grado di resistere meglio ai terremoti. Le vicende delle ricostruzioni forniscono inoltre una chiave di lettura indiretta dell'attuale diffusa e persistente **vulnerabilità** del patrimonio architettonico storico, evidenziando in particolare quella delle chiese, vere vittime della maggior parte dei crolli e anche oggi sempre a rischio di chiusure e abbandoni.

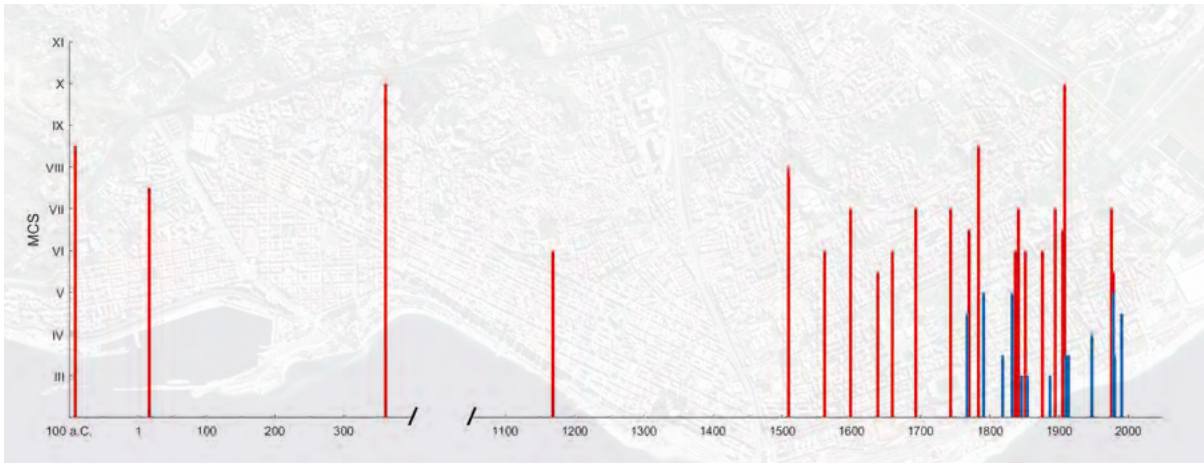
### 4.3. I grandi terremoti dal mondo antico al XXI secolo

Per ragioni legate al metodo di calcolo utilizzato, sviluppato negli anni '60 del secolo scorso in California per descrivere una sismicità molto diversa da quella italiana, i modelli di pericolosità sismica ignorano deliberatamente l'accadimento di sequenze sismiche con più scosse distruttive di dimensioni confrontabili. In questo modo si finisce per valutare per difetto l'impatto complessivo di futuri forti terremoti. L'ATLANTE descrive moltissime sequenze sismiche storiche, presentando quadri territoriali che mettono in luce il peggioramento degli effetti nel giro di giorni, settimane o mesi, e che dovrebbero servire da modello per la gestione delle crisi sismiche future.

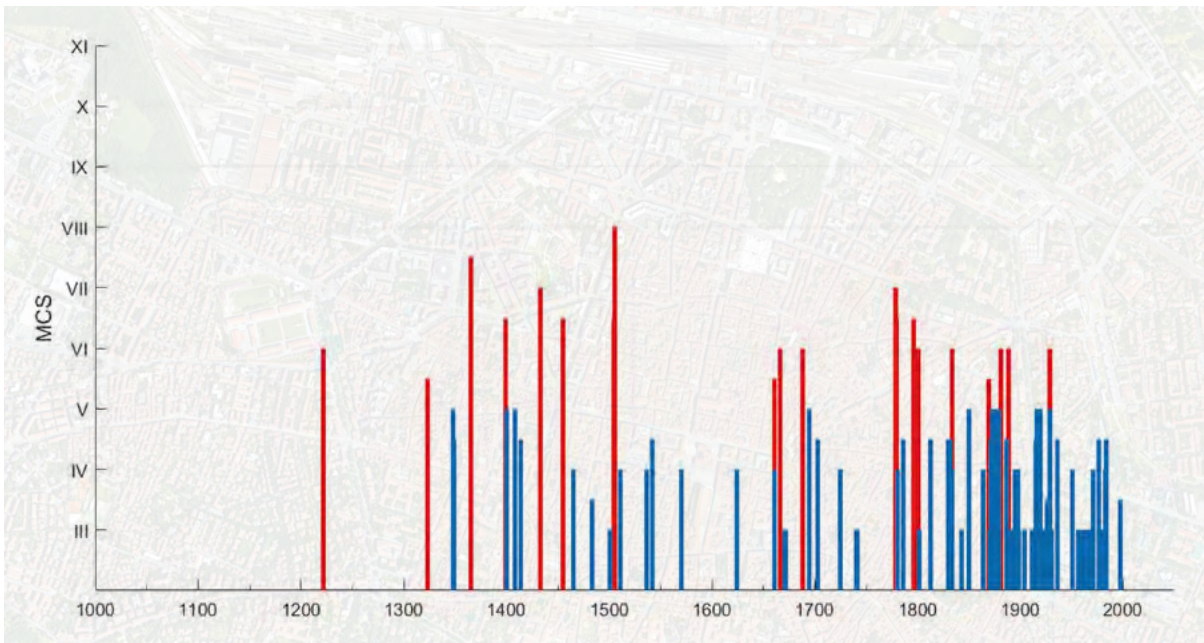
Nell'ATLANTE sono descritti e valutati i terremoti più forti



## storia sismica di Reggio Calabria

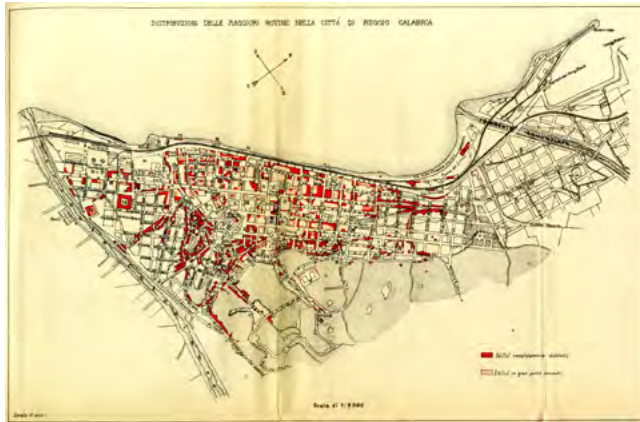


## storia sismica di Bologna



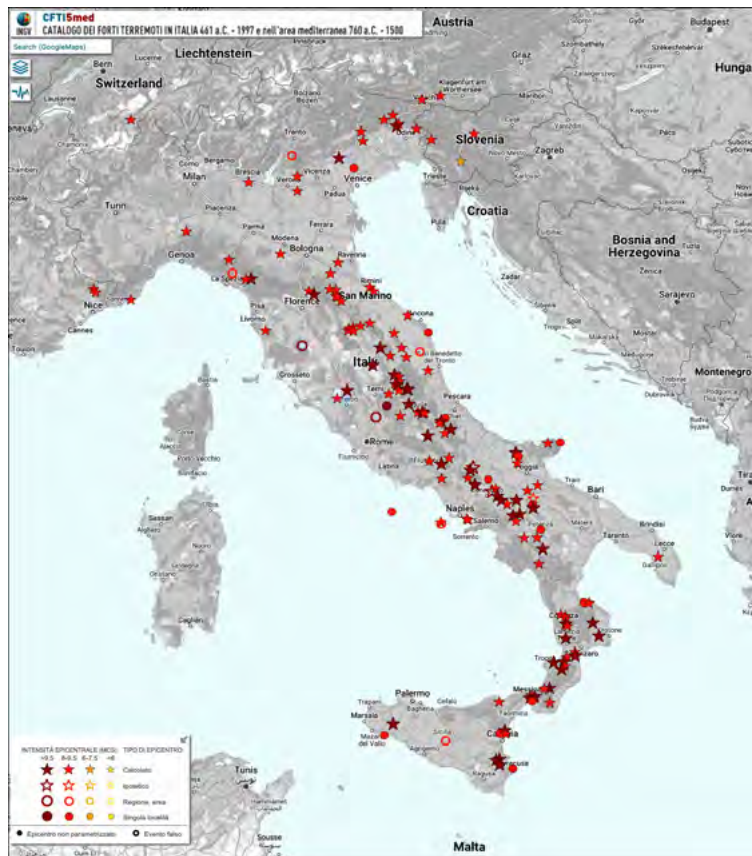
**Fig. 4** – Alcuni esempi dei grafici che sintetizzano la storia sismica delle città dell'Atlante: *sopra*, Reggio Calabria (Atlante, *Sud*, pag. 211) e *sotto*, Bologna, (Atlante, *Centro e Nord*, pag. 322). Si noti la differenza nella scala orizzontale, la quale indica che Bologna ha una storia ben documentata a partire dal XIII secolo, mentre per Reggio Calabria esistono fonti storiche e archeologiche che documentano forti terremoti già nel I secolo a.C. e poi nel I e nel IV secolo d.C. Quest'ultimo terremoto, accaduto fra il 361 e 362 d.C., è stato identificato come un possibile predecessore del grande terremoto dello Stretto di Messina del 28 dicembre 1908.

*Fig. 4* – Diagrams summarizing the seismic history of Reggio Calabria, above (South Atlas, page 211) and Bologna, below (Centre and North Atlas, page 322). Notice the difference in the horizontal scale of the two diagrams, indicating that Bologna has a well-documented history starting from the 13th century, but also that for Reggio Calabria there exist historical and archaeological sources documenting strong earthquakes in the 1st century BC and then in the 1st and 4th centuries AD: this latter earthquake was identified as a possible predecessor of the great 28 December 1908, Messina Straits earthquake.



**Fig. 5** - Esempi di distribuzione dei danni in aree urbane causati da forti terremoti: *a sinistra*, Reggio Calabria, danneggiata dal grande terremoto del 28 dicembre 1908, in una mappa elaborata da Mario Baratta e pubblicata nel 1910 (Atlante, *Sud*, pag. 214); *a destra*, localizzazione dei danni causati dalla sequenza sismica del 1504-1505 entro la cerchia urbana di Bologna (Atlante, *Centro e Nord*, pag. 315; da Boschi e Guidoboni, 2003). In entrambi i casi la distribuzione del danneggiamento può essere ricondotta a una combinazione di amplificazioni del moto del suolo e a variazioni della vulnerabilità degli edifici colpiti.

**Fig. 5** - Examples of damage patterns associated with strong earthquakes in Italian urban areas. (left) Reggio Calabria, damaged by the 28 December 1908, Messina Straits earthquake, in a map drawn up by Mario Baratta and published in 1910 (South Atlas, page 214); (right) location of the damage caused within the urban area of Bologna by earthquake sequence that occurred in 1504-1505 (Centre and North Atlas, page 315; from Boschi e Guidoboni, 2003). In both cases, the distribution of damage can be traced back to a combination of ground motion amplifications with the distribution of the vulnerability of the affected buildings.

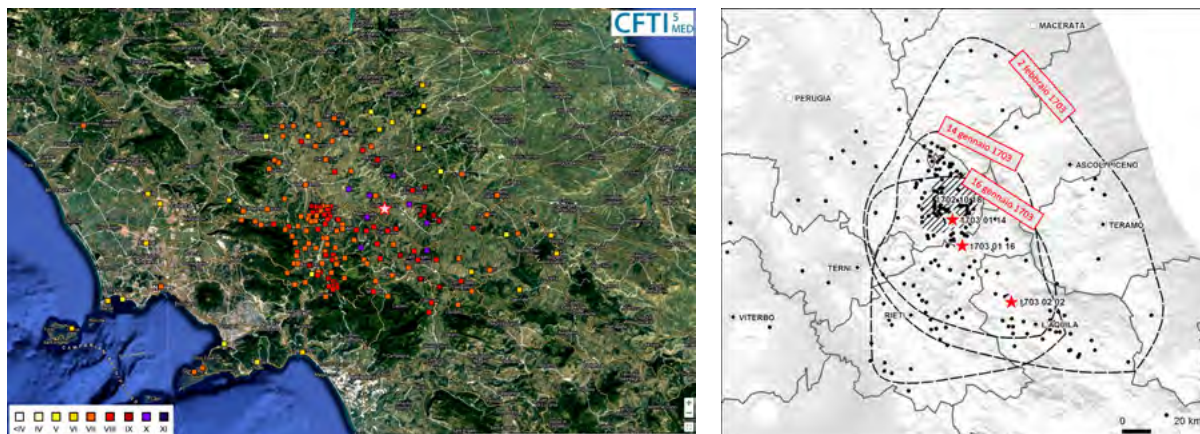


**Fig. 6** - Localizzazione dei forti terremoti dal mondo antico al XXI secolo analizzati nell'ATLANTE: sono 49 eventi nel Sud e 68 nel Centro e Nord, tutti di magnitudo  $\geq M_w 6,0$ , con poche eccezioni (dati CFTI5Med). I terremoti potenzialmente disastrosi si concentrano lungo l'asse dell'Appennino centro-settentrionale, centrale e meridionale, in Calabria e in Sicilia orientale, ma colpiscono anche le porzioni più esterne dell'Appennino settentrionale, il margine padano-veneto delle Alpi meridionali e la Liguria occidentale.

**Fig. 6** - Location of strong earthquakes analyzed in the Atlas, from the Antiquity to the XXI century: 49 of these events occurred in the South, 68 in the Centre and North, and all have  $M_w \geq 5.8$  (data from CFTI5Med). Potentially damaging earthquakes concentrate along the axis of the central-northern, central and southern Apennines, in Calabria and in eastern Sicily, but also affect the outermost portions of the northern Apennines, the eastern margin of the southern Alps and western Liguria.

con le loro sequenze: sono eventi di magnitudo  $M_w \geq 6,0$ , e solo in qualche caso di poco inferiore (Fig. 6). Oltre ai loro impatti territoriali complessivi, sono delineati importanti e ricorrenti aspetti economici e sociali delle distruzioni e delle ricostruzioni.

Sono descritti oltre un centinaio di forti terremoti che hanno segnato la storia del Paese. Per *terremoto* nell'ATLANTE si



**Fig. 7** - Esempi di mappe con la rappresentazione degli effetti dei forti terremoti adottata nell'ATLANTE. *A sinistra*, distribuzione delle intensità osservate per il terremoto del 29 novembre 1732,  $M_w$  6,6; fu una scossa che ebbe effetti distruttivi ma non fu preceduta né seguita da altri forti terremoti (Atlante, *Sud*, pag. 370). *A destra*, sintesi delle aree maggiormente colpite dai terremoti del 14 gennaio, 16 gennaio e 2 febbraio 1703: questa fu una lunga sequenza sismica che portò distruzione in una vasta area dell'Appennino centrale, danneggiando anche Roma, e fu molto più ampia di quella colpita dai terremoti del 2016-2017 (Atlante, *Centro e Nord*; pag. 537). In Italia il verificarsi di *terremoti multipli*, ovvero caratterizzati da più scosse disastrose ravvicinate nello spazio e nel tempo, è un fenomeno che riguarda circa due terzi di tutte le sequenze sismiche: un carattere comune al nord, al centro e al sud del paese, e che deve essere attentamente valutato nel programmare gli interventi in emergenza subito dopo l'accadimento di un forte terremoto.

**Fig. 7** - Examples of how the geographic distribution of the effects of strong earthquakes are shown in the Atlas. (Left) Distribution of intensities observed for the earthquake of 29 November 1732,  $M_w$  6.6. This shock had destructive effects but was neither preceded nor followed by other strong earthquakes (South Atlas, page 370). (Right) Summary of the areas most affected by the earthquakes of 14 January, 16 January and 2 February 1703: a long seismic sequence that caused destruction over a vast area of the central Apennines, including Rome, and was globally much more severe than affected the 2016 -2017 earthquakes (Centre and North Atlas; page 537). Two thirds of Italian earthquakes come as multiple shocks, i.e. sequences characterized by several disastrous shocks close in space and time: a characteristic shared by the whole country, that must be carefully evaluated when planning emergency interventions immediately after the occurrence of a strong earthquake.

intende una sequenza sismica completa, che in molti casi include anche più scosse gerarchicamente confrontabili. La scheda relativa a ogni terremoto si apre con una mappa degli effetti territoriali espressi in termini di intensità macrosismiche e con la localizzazione dell'epicentro calcolato, seguita da una stringa che riassume i parametri sismologici riportati nel CFTI5Med: nel frequente caso di terremoti multipli, le diverse scosse sono differenziate per magnitudo e localizzazione (Fig. 7). Ogni terremoto è descritto nei suoi contorni geografici e nel suo impatto sociale ed economico, mettendo anche in evidenza le successive fasi di ricostruzione e di modificazione della rete insediativa territoriale. Tutte queste informazioni sono basate sul CFTI5Med, e sono spesso integrate da approfondimenti e immagini specificamente selezionate per l'ATLANTE, che migliorano la comprensione dell'impatto complessivo del terremoto sul costruito e sull'ambiente. Una specifica sezione di ogni scheda è dedicata agli **effetti ambientali**, già contenuti nel CFTI5Med ma qui ulteriormente dettagliati, quando possibile, e talvolta anche illustrati con immagini contemporanee agli eventi (Fig. 8). I fenomeni sismo-indotti quali le frane, i maremoti, gli effetti di liquefazione e di fratturazione del suolo,

aggiungono informazioni rilevanti sull'azzardo sismico delle aree in cui si trovano città e centri storici.

### 5. Pericolosità sismica: tra dati di base, modelli e prescrizioni normative

In una sezione della scheda che conclude la descrizione di ogni città sono forniti alcuni dei parametri di pericolosità sismica previsti dalla normativa vigente per la relativa area comunale. Tutte le informazioni presentate sono ricavate dalla banca dati denominata "I dati online della pericolosità sismica in Italia" (<http://esse1.mi.ingv.it>), avviata e gestita dall'INGV per garantire la disseminazione dei dati del modello di pericolosità sismica per l'Italia prodotto dallo stesso Istituto tra il 2004 e il 2006 (Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006, in G.U. n.108 del 11/05/06 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"). Va ricordato che il 4 febbraio 2008 sono state pubblicate in Gazzetta Ufficiale le nuove *Norme Tecniche per le Costruzioni* (NTC08), elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, il cui Allegato A prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione sia



**Fig. 8** - Effetti del terremoto del 7 settembre 1920 a Febbio (Reggio Emilia), oggi nota meta turistica nell'Appennino reggiano. Il paese fu estesamente danneggiato e si attivò una grande frana, che fece inclinare paurosamente il campanile della chiesa (Atlante, Centro e Nord, p. 608).

**Fig. 8** - Effects of the 7 September 1920 earthquake in Febbio (Reggio Emilia), a well-known tourist destination in the Reggio Emilia Apennines. The town was extensively damaged and a large earthquake-induced landslide caused the church bell tower to tilt frighteningly (Atlas, Center and North, p. 608)

definita sulla base dei valori di pericolosità sismica forniti dalla citata banca dati dell'INGV. Questi valori sono stati successivamente elaborati dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per ottenere i parametri che determinano la forma dello spettro di risposta elastica.

Nell'ATLANTE viene però sottolineato in più punti che le NTC08 sono diventate cogenti solo a partire dal 1° giugno 2009, data che va dunque considerata come un punto di svolta nell'approccio alla prevenzione sismica in Italia. Le NTC08 sono state in seguito aggiornate dalle NTC18, che mantengono però l'impianto del corpus normativo precedente e, in particolare, non modificano il quadro dei

dati di pericolosità sismica.

Le NTC08 hanno introdotto diverse novità importanti, sia dal punto di vista strettamente tecnico, sia dal punto di vista procedurale. Tra queste ultime innovazioni va certamente ricordato l'abbandono del precedente concetto di classificazione, che legava le norme da seguire in ciascun comune al suo inserimento in una di quattro classi di pericolosità. Oggi al progettista viene richiesto di valutare la pericolosità *di base* dell'area in cui deve essere costruito, ricostruito o modificato un immobile, avvalendosi della citata banca dati "I dati online della pericolosità sismica in Italia" e prescindendo completamente dalla classificazione sismica del comune in cui ricade il sito di interesse; tale classificazione è rimasta in uso solo per decisioni di carattere amministrativo quali concessioni di sussidi, priorità nell'accesso a finanziamenti ecc.

Alla pericolosità *di base*, ovvero quella stimata assumendo che il sito di interesse sia fondato su suolo rigido non soggetto ad amplificazioni locali, deve essere poi applicato un fattore moltiplicativo che rende conto della natura dei terreni di fondazioni e della loro presumibile risposta, basandosi sia sulle indagini di microzonazione che sono state condotte in Italia a partire dal 2009, sia su eventuali indagini *ad hoc*. In questa fase il professionista può corroborare le proprie valutazioni sulla risposta sismica attesa avvalendosi delle dettagliate storie sismiche fornite nell'ATLANTE.

Nelle schede elaborate per ciascuna delle località trattate l'ATLANTE riporta un estratto del modello di pericolosità sismica *di base* centrato sul capoluogo comunale. La mappa è espressa in termini di PGA (Peak Ground Acceleration), ovvero il valore di picco dell'accelerazione orizzontale del suolo, definita anche come  $a(g)$  nelle NTC08/NTC18, a sua volta espressa in termini di  $g$ , vale a dire dell'accelerazione di gravità, corrispondente a  $9.8 \text{ m/sec}^2$ . Più in particolare la mappa riporta il valore della PGA che ha una probabilità del 10% di essere superato in un intervallo di 50 anni, corrispondente a un tempo di ritorno di 475 anni per quel dato livello di scuotimento: tale valore è quello normalmente usato nella progettazione delle civili abitazioni, ma nella citata banca-dati online sono forniti valori per ulteriori otto livelli di probabilità di superamento (da 2% a 81%, corrispondenti a tempi di ritorno variabili tra 2.475 e 30 anni), talora richiesti per la progettazione di opere speciali.

Accanto alla mappa in PGA è riportato un diagramma che esprime l'accelerazione in funzione del periodo di vibrazione, o SA (dal termine *Spectral Acceleration*,

o accelerazione spettrale, definito  $Se(T)$  nelle NTC08/NTC18) per tutti i nove valori di probabilità di superamento. Il diagramma, che è anche definito *spettro a pericolosità uniforme*, fa riferimento al capoluogo comunale, ma la banca-dati online consente di ottenere lo stesso parametro per qualunque altro punto del territorio nazionale. Per ulteriori dettagli si rimanda al sito INGV [zonesismiche.it](http://zonesismiche.mi.ingv.it) (<http://zonesismiche.mi.ingv.it>) e al sito della banca-dati online (<http://esse1.mi.ingv.it>).

Per ognuna delle località trattate nell'ATLANTE il lettore più attento potrà trarre numerosi spunti dal confronto tra gli effetti dei terremoti del passato, dall'efficacia delle ricostruzioni e dalle modificazioni che queste possono aver indotto sul tessuto urbanistico e sociale di quella località, dall'evoluzione delle norme antisismiche che la riguardano, dal suo trend demografico e dallo stato attuale del costruito, così come fotografato periodicamente dall'ISTAT.

## 6. Il turning point del problema sismico in Italia: la prevenzione mancata

In aggiunta alla narrazione dettagliata della storia delle città e dei terremoti che le hanno colpite, e alla messa a disposizione di informazioni di carattere normativo e statistico su ciascuno dei centri considerati, l'ATLANTE tenta di rispondere alle domande che quasi certamente si pone qualunque professionista, amministratore, studioso o semplice cittadino che ha a cuore le sorti dell'Italia: quali conseguenze ci possiamo aspettare dai terremoti che inevitabilmente la colpiranno nei prossimi decenni? Conosciamo nel dettaglio l'impatto dei terremoti del passato su città più piccole di quelle odierne e sul costruito storico, ma quale sarà la risposta delle città moderne e dell'edilizia del dopoguerra? Stiamo attuando una prevenzione utile a mitigare il rischio sismico, ovvero a scongiurare il ripetersi dei numerosi disastri che hanno colpito l'Italia attraverso i secoli? Le risposte a queste domande vengono fornite sia attraverso gli articoli tematici delle sezioni di Introduzione dei due volumi, sia attraverso la cruda elencazione degli effetti dei terremoti del passato e del loro frequente accanirsi negli stessi luoghi e persino sugli stessi manufatti, sia attraverso la narrazione dei successivi sforzi di ricostruzione: ciascuna delle città trattate nell'ATLANTE ha una storia più o meno virtuosa da raccontare.

In Italia purtroppo si parla poco di prevenzione: forse perché la si dà per scontata, o perché non si capisce come funziona, o perché tradizionalmente politici e amministratori antepongono ad essa altre priorità, o addirittura

per una forma di deleterio fatalismo che non risparmia neppure le persone più informate e attente ad altri aspetti dell'evoluzione della società.

L'Italia è stata la prima nazione al mondo a predisporre una normativa antisismica, il pilastro fondamentale della prevenzione. Ma le norme hanno una loro inerzia, sia nell'essere concepite ed eventualmente aggiornate, sia nell'essere concretamente applicate; ma soprattutto sono pensate "guardando al futuro", ovvero per la progettazione di edifici che ancora non esistono. Infatti, a differenza di quello che qualche commentatore scrive ogni volta che accade un forte terremoto, in nessun modo tali normative intervengono anche sull'edificato esistente, se non in occasione di drastici interventi di ristrutturazione. Questa circostanza è abbastanza paradossale per qualunque nazione esposta al rischio terremoto, ma lo è a maggior ragione per l'Italia: un paese ad alta densità abitativa, dove si vive anche in centri storici che possono vantare secoli di storia (se non addirittura millenni), e dove ci sarà sempre meno bisogno di progettare nuove costruzioni, se non come sostituzione di quelle esistenti.

Tra le diverse circostanze per cui in Italia il cammino della prevenzione e della mitigazione degli effetti dei terremoti è così difficile c'è la grande **vulnerabilità del costruito**: una condizione che non nasce solo dalla diffusa presenza di edifici storici nelle nostre città, e neppure dalla presenza di un numero enorme di beni monumentali e identitari, ma da una serie di cause e concause che sono discusse in modo approfondito in diverse parti dell'ATLANTE.

Quella che nell'immaginario collettivo viene considerata la prima causa di vulnerabilità del costruito italiano è l'onnipresente abusivismo edilizio (Fig. 9): un fenomeno che accomuna alcune tra le aree a maggior pericolosità sismica dell'Italia. Ma ci sono cause molto più insidiose del semplice abusivismo, come la diffusione di edifici costruiti con imperizia, negligenza o dolo: si stima che delle circa 300 vittime del forte terremoto che ha colpito L'Aquila e il suo circondario il 6 aprile 2009, quasi la metà siano perite a causa di crolli motivati da queste circostanze.

Ci sono poi cause che chiamano in causa non i singoli cittadini "indisciplinati", ma direttamente le istituzioni: non quelle attuali, ma quelle che si sono succedute nei decenni, e particolarmente negli anni del boom edilizio. Un caso particolarmente preoccupante è quello del D.M. 3 marzo 1975 "Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche", il quale stabilì che «... *Qualora i solai siano avvallati o comunque deteriorati, essi devono essere sostituiti con solai in acciaio o cemento*



**Fig. 9** – Bilancio dell'incidenza dell'abusivismo edilizio nelle diverse regioni italiane, elaborazione di dati BES-ISTAT (Benessere Equo e Sostenibile in Italia). I colori indicano una incidenza variabile tra le poche unità %, in giallo, a quasi la metà degli edifici, in blu (Atlante, Centro e Nord, pag. 45, in Valensise, 2023).

**Fig. 9** - Summary of the incidence of illegal building ("abusivismo edilizio") in the various Italian regions, based on BES-ISTAT data (Fair and Sustainable Wellbeing in Italy). The colors indicate a variable incidence between a few %, in yellow, to almost half of the buildings, in blue (Centre and North Atlas, page 45, in Valensise, 2023).

armato efficacemente incassati ed ancorati alle estremità nei cordoli o travi di perimetro. Potranno usarsi solai in legno solo ove sia richiesto da particolari esigenze architettoniche...». Questa prescrizione, che per il legislatore doveva servire al **miglioramento sismico** degli edifici in zone ad elevata pericolosità sismica, legittimava la prassi già diffusa di utilizzare tetti spingenti rigidi in cemento armato anche su edifici in muratura di antica fattura, addirittura imponendola con la forza della norma; con il risultato che in caso di forte terremoto l'edificio subiva il "martellamento" delle pareti perimetrali, che spesso aveva come esito il loro crollo totale (*effetto pancake*, Fig. 10).

La norma iniziò ad essere applicata solo nelle singole aree colpite da forti terremoti (Friuli, 1976; Valnerina, 1979; Irpinia, 1980; Parmense, 1983), e divenne poi nazionale con il D.M. 24 gennaio 1986, punto C.9.8 "Interventi tecnici di miglioramento per gli edifici in muratura ordinaria": fu così

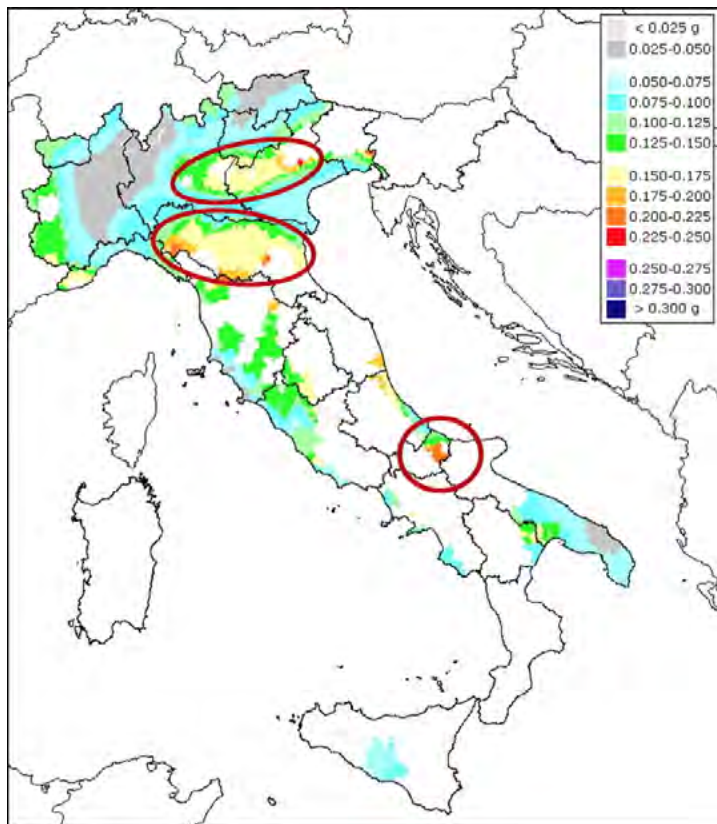


**Fig. 10** - Un esempio di applicazione della normativa del 1975 su edifici tradizionali: Villa San Lorenzo e Flaviano, frazione di Amatrice (Rieti), dopo il terremoto del 24 agosto 2016. L'immagine mostra il collasso totale di una casa in muratura con solai in cemento armato, rimasti quasi intatti (Atlante, Centro e Nord, pag. 67, in De Marco e Guidoboni, 2023).

**Fig. 10** - An example of the application of the 1975 antiseismic provisions on traditional masonry buildings: Villa San Lorenzo e Flaviano, a small village near Amatrice (Rieti), following the 24 August 2016 earthquake. The picture shows the total collapse of a traditional masonry building with reinforced concrete floors, which remained almost intact (Centre and North Atlas, page 67, in De Marco and Guidoboni, 2023).

estesa anche alle zone classificate sismiche per la prima volta tra il 1981 e il 1984. Quanti edifici in muratura sono stati "migliorati" con questo sistema, e quanti di essi ricadono in zone sismiche non colpite da terremoti negli ultimi quattro decenni? Questi edifici costituiscono un enorme *vulnus* che si manifesterà solo dopo il prossimo forte terremoto, se non adeguatamente curato.

È certamente delle istituzioni anche la responsabilità della lentezza con cui vengono recepite e applicate le nuove norme. La Fig. 11, che mostra in termini di "deficit di PGA" la differenza nei requisiti progettuali antisismici tra la normativa pre-2003 e quella attuale, documenta uno dei casi più eclatanti di questa lentezza. La sismologia italiana fortunatamente gode di buona salute, e soprattutto dal terremoto dell'Irpinia del 1980 in poi è stato possibile ridisegnare in modo molto più accurato la reale pericolosità delle diverse aree del paese. Ma questo ha comportato ampie revisioni nella distribuzione dei comuni nelle zone a diversa pericolosità, anche a parità di norme tecniche. Queste revisioni erano state ampiamente anticipate in un elaborato presentato al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nel 1998, ma mai trasformato in norma: come già ricordato, si è dovuto aspettare il 2009 perché la distribuzione della pericolosità rivista alla luce della evoluzione delle conoscenze diventasse il fondamento di una normativa finalmente



**Fig. 11** - Variazione della pericolosità sismica dei comuni italiani non classificati fino al 2003 (da Stucchi e Meletti, 2013, leggermente modificata); da nord a sud le tre aree evidenziate da un circolo rosso corrispondono all'area delle Prealpi Lombarde e Venete, alla quasi totalità dell'Emilia-Romagna, e all'estremità orientale del Molise, in cui ricade San Giuliano di Puglia, colpita dal terremoto di  $M_w$  5,8 del 31 ottobre 2002 (Atlante, Centro e Nord, pag. 47).

**Fig. 11** - Seismic hazard of Italian municipalities that were unclassified until 2003 (from Stucchi and Meletti, 2013, slightly modified); from north to south, the three highlighted areas correspond to the area of the Lombard and Venetian Prealps, to nearly all of the Emilia-Romagna administrative region, and to the eastern end of Molise, the locus of the 31 October 2002,  $M_w$  5.8, San Giuliano di Puglia earthquake (Centre and North Atlas, page 47).

cogente. Solo allora quindi è stata mandata definitivamente in pensione la normativa precedente, datata 1981-1984 e decisamente superata sia dal punto di vista sismologico, sia dal punto di vista tecnico.

Una dimostrazione plastica delle conseguenze dello stato di cose appena descritto è il caso dei crolli degli edifici produttivi – principalmente capannoni industriali, ma anche idrovore e centrali elettriche – a seguito dei terremoti del 20 e 29 maggio 2012 nella bassa modenese: eventi da tutti ricordati come “i terremoti dei capannoni crollati” e dei lavoratori morti sotto di essi

(Fig. 12).

Dati pubblicati dalla regione Emilia-Romagna mostrano che degli oltre 2.000 edifici privati ad uso produttivo che sono stati ispezionati, solo il 27% è risultato agibile, mentre quasi il 50% è stato giudicato totalmente inagibile. È ormai accertato che i crolli sono stati causati dall'assenza di norme antisismiche all'epoca della costruzione di tali edifici: un vuoto normativo che ha portato a scelte progettuali che sarebbero state impensabili in un'area nota come frequentemente soggetta a terremoti più o meno forti. Ma la Pianura Emiliana, la cui pericolosità era stata rivista al rialzo già dal 1998, è stata classificata come zona sismica 3 (bassa pericolosità) solo dal 2003; un'indicazione recepita dalla regione Emilia-Romagna a partire dal 2005, e diventata norma cogente solo nel 2009. Per contro, circa tre capannoni su dieci sono stati costruiti dopo il 1990. Si sono così create le premesse per un esito ancora più disastroso dei terremoti del 2012; norme più celeri unite a una maggiore sensibilità di cittadini ed istituzioni, a fronte di un quadro della pericolosità sismica regionale così



**Fig. 12** - Terremoti del 20 e 29 maggio 2012 nella bassa modenese: ribaltamento dei tamponamenti di facciata e della copertura in capannoni a Dosso di Sant'Agostino (Ferrara) (Atlante, Centro e Nord, pag. 642, in Tralli, 2023). La maggioranza dei capannoni della zona sono stati progettati prima che la bassa modenese fosse inserita nella normativa antisismica.


**Fig. 12** - Effects of the 20 and 29 May 2012 earthquakes in the Modena area: overturning of façade infills and roofing in a warehouse near Dosso di Sant'Agostino (Ferrara) (Centre and North Atlas, page 642, in Tralli, 2023). The majority of these warehouses were designed before the enforcement of anti-seismic regulations in the area.

radicalmente mutato, avrebbero potuto fare la differenza, attraverso un oculato *retrofitting* degli edifici industriali più vulnerabili.

Quello dei “terremoti dei capannoni crollati” è stato un caso particolarmente sfortunato; un caso che però deve costituire anche un forte richiamo ad aumentare la vigilanza e ad attuare interventi di *retrofitting* ovunque, e soprattutto nelle aree che solo recentemente sono state inserite nella normativa antisismica.

Aumentare la consapevolezza sulla ineluttabilità dei terremoti nelle diverse aree del Paese, sulla diversa “storia” delle normative e sullo stato del costruito è uno dei principali obiettivi che l'ATLANTE si prefigge.

#### Bibliografia

- BARATTA M. (1910), La catastrofe sismica calabro-messinese. 28 dicembre 1908, Relazione alla Società Geografica Italiana, voll. 2, Roma.
- BOSCHI E., GUIDOBONI E. (2003), I terremoti a Bologna e nel suo territorio dal XII al XX secolo, INGV-SGA, Bologna, pp. 595.
- DE MARCO R., GUIDOBONI E. (2023), Ricostruzioni: scelte, (dis)orientamenti e prassi nel Centro e nel Nord d'Italia dal 1976 al 2016, Atlante, Azzardo sismico delle città, Centro e Nord, 65-76.
- GUIDOBONI E., FERRARI G., MARIOTTI D., COMASTRI A., TARABUSI G., SGATTONI G., VALENSISE G. (2018), CFTI5Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), doi: 10.6092/ingv.it-cfti5.
- STUCCHI M., MELETTI C. (2013), I terremoti in Pianura Padana Emiliana del maggio 2012 e la pericolosità sismica dell'area: che cosa è stato sottostimato? INGVterremoti, 29 marzo 2013, <https://ingvterremoti.com/2013/03/29/> .
- TRALLI M. A. (2023), Vulnerabilità e rischio sismico del patrimonio edilizio industriale. La lezione dei terremoti emiliani del maggio 2012, Atlante, Azzardo sismico delle città, Centro e Nord, 51-57.
- VALENSISE G. (2023), La prevenzione mancata: perché in Italia il rischio sismico continua a crescere, Atlante, Azzardo sismico delle città, Centro e Nord, 41-50.



**CLICCA**  
per l'elenco completo  
delle città

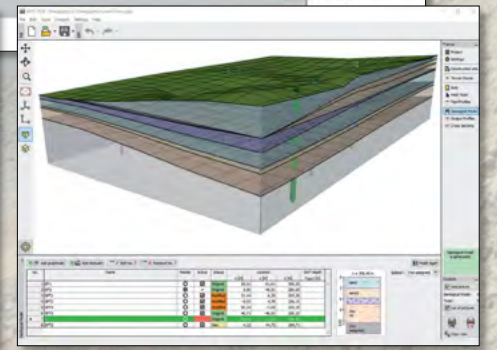
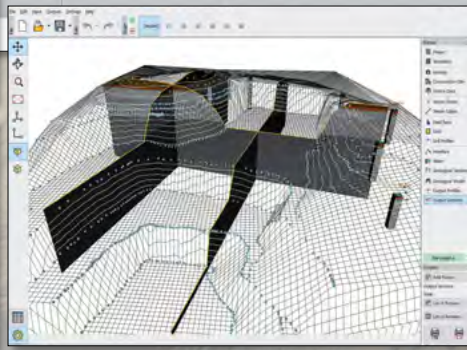
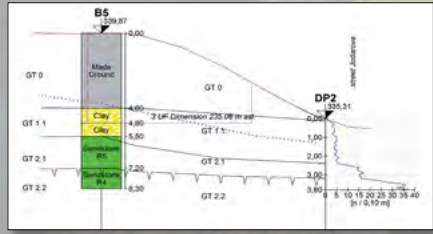
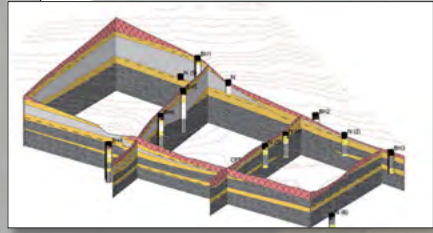
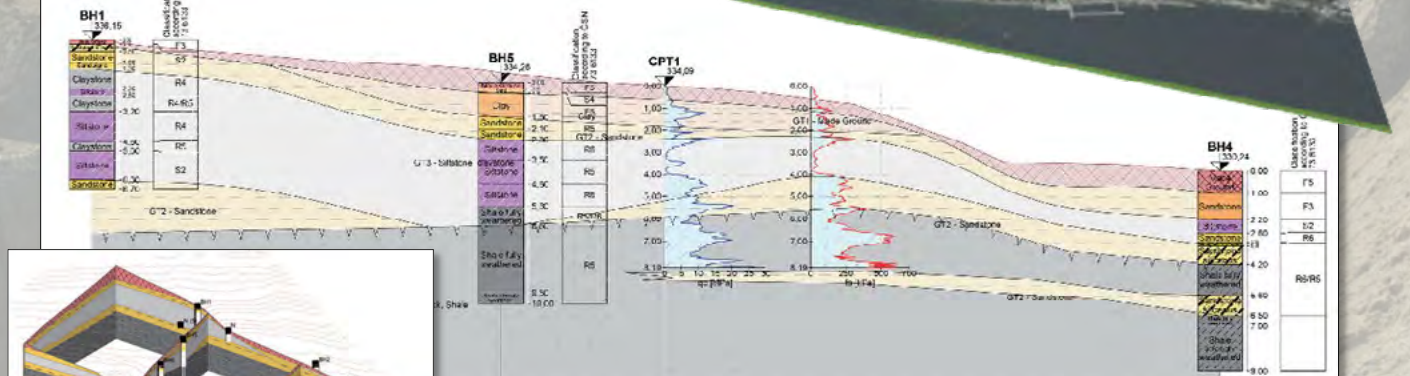
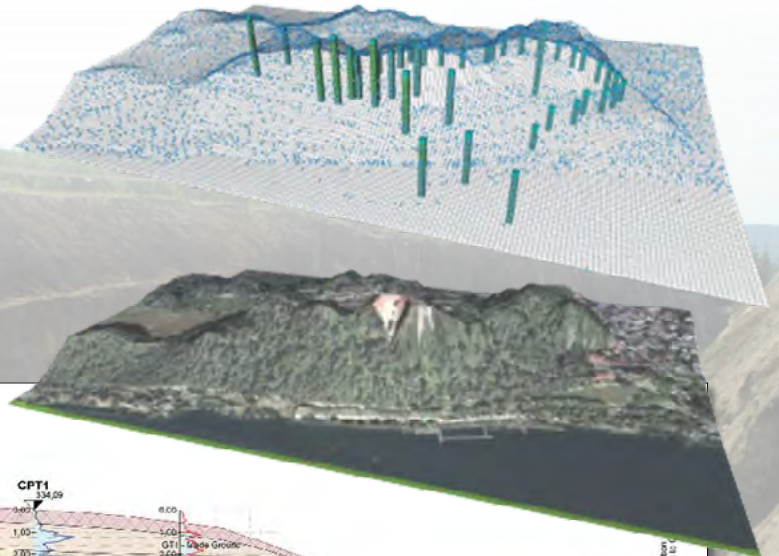
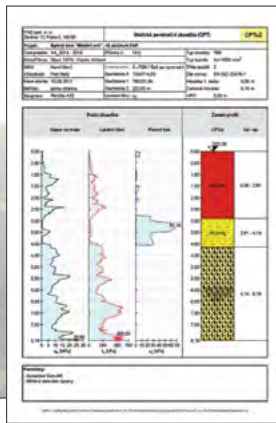


# **GE05**

## Il Software per la GEOLOGIA

- Modellazione 3D del terreno
- Importazione Nuvole di Punti
- Creazione Sezioni Stratigrafiche

Stratigrafia osservata in situ			
Profondità (m)	Intervallo (m)	Descrizione	Profilo
0.00 - 0.50	0.50	Argilla scura	1
0.50 - 1.00	0.50	Argilla scura	1
1.00 - 1.50	0.50	Argilla scura	1
1.50 - 2.00	0.50	Argilla scura	1
2.00 - 2.50	0.50	Argilla scura	1
2.50 - 3.00	0.50	Argilla scura	1
3.00 - 3.50	0.50	Argilla scura	1
3.50 - 4.00	0.50	Argilla scura	1
4.00 - 4.50	0.50	Argilla scura	1
4.50 - 5.00	0.50	Argilla scura	1
5.00 - 5.50	0.50	Argilla scura	1
5.50 - 6.00	0.50	Argilla scura	1
6.00 - 6.50	0.50	Argilla scura	1
6.50 - 7.00	0.50	Argilla scura	1
7.00 - 7.50	0.50	Argilla scura	1
7.50 - 8.00	0.50	Argilla scura	1
8.00 - 8.50	0.50	Argilla scura	1
8.50 - 9.00	0.50	Argilla scura	1
9.00 - 9.50	0.50	Argilla scura	1
9.50 - 10.00	0.50	Argilla scura	1



Richiedi la versione DEMO dei software

SCONTO RISERVATO



PER I LETTORI

**EISEKO**  
Software for building

EISEKO COMPUTERS S.R.L.

Viale del Lavoro, 17

37036 - San Martino Buon Albergo (VR)

informazioni@eiseko.it

www.eiseko.it

+39 045 8031894

# AMBRGEO

Strumenti per Geofisica

- SISMOGRAFI
- HVSR
- TOMOGRAFIA ELETTRICA
- GEORESISTIVIMETRI
- ENERGIZZATORI SISMICI
- IDROFONI



Seismograph  
ECHO 48/2014 Seismic Unit - 24bit



Seismograph  
ECHO 24/2010 Seismic Unit - 24bit



ECHO Tromo HVSR3 - 24bit



Mangusta MC 24-120E  
Geoelectrical Tomography Equipment



Resistivity Meter Datares-10



3D/5D - 3D Twin Borehole Geophone



P/S Wave Borehole Energy Source



Borehole Deviation Probe



MANGUSTA SYSTEM  
MC 96/E

AMBRGEO

BIELLA - ITALY  
www.ambrogeo.eu

# IL SOIL PROFILING: determinazione del profilo stratigrafico con le prove CPT

Piergiuseppe Frolidi | Ingegnere e Geologo, libero professionista



**Termini chiave:** prova CPT, profilo stratigrafico, tecniche di profilazione stratigrafica

**Keywords:** CPT test, soil profiling, soil profiling techniques.

## Riassunto

La determinazione del profilo stratigrafico lungo una verticale d'indagine (Soil Profiling) è un'operazione imprescindibile e cruciale per una corretta e affidabile modellazione geologico-geotecnica, alla base delle verifiche richieste dalle norme (NTC 2018).

Laddove si disponga di prove penetrometriche statiche tipo CPTm e CPTu, tale determinazione è assistita da affidabili e diffuse correlazioni tra parametri dedotti da quelli rilevati e comportamento geotecnico del terreno (Soil Behaviour Type), tradotto in termini di tipi litologico-granulometrici. L'approccio alla suddivisione della verticale d'indagine in strati omogenei è spesso ancora basato su criteri empirici e soggettivi, non sempre in grado di garantire la determinazione di un'affidabile profilo stratigrafico.

Nel presente lavoro, dopo l'illustrazione dei principali metodi e relative tecniche riferite nella bibliografia scientifica internazionale, vengono illustrate alcune procedure finalizzate alla creazione logica e oggettiva del profilo stratigrafico.

## Introduzione

Con la coppia di termini anglosassoni “Soil Profiling” (SP, talora declinata in Stratigraphic Profiling), che

potrebbero tradursi in forma ragionata con l'equivalente “Profilo Stratigrafico”, s'intende la determinazione della successione stratigrafica lungo una verticale geognostica, investigata in genere con prove geotecniche di tipo continuo, quali le DCPT (Dynamic Cone Penetration Test) e le CPT (Cone Penetration Test).

Il Soil Profiling lungo le verticali d'indagine costituisce la base imprescindibile della **modellazione geologica** nell'ambito del **volume significativo** richiesta dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018).

La **modellazione geotecnica** che ne discende (NTC 2018), traspone in termini geotecnici la struttura del modello geologico, eventualmente integrandone i dettagli ma mai disconoscendone la struttura; sul modello geotecnico si sviluppano i calcoli geotecnici e strutturali delle opere interagenti con il terreno.

Per modello geotecnico di sottosuolo s'intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-mecanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico (NTC 2018).

Pertanto, il Profilo Stratigrafico rappresenta, in analogia con quello istituito a scopi sismici (con l'uso del parametro geofisico Vs) e introdotto dalle NTC 2018, la rappresentazione idealizzata in verticale della stratigrafia locale.

Il processo di creazione del Profilo Stratigrafico comporta la suddivisione verticale di dettaglio in strati o livelli che possano essere ritenuti sufficientemente omogenei e/o significativi per gli scopi specifici a cui sono dedicati (Uzielli, 2022); la suddivisione è necessaria per controllare, mitigare e quindi “modellare” la consueta variabilità verticale delle caratteristiche rilevate con l’indagine (es.:  $q_c$ ,  $S_f$ ,  $R_f$ ,  $I_c$ , ecc.).

L’approccio scientifico e metodologico al Soil Profiling è **molteplice e variegato**; esso può distinguersi, in via preliminare, in funzione:

- a. del **parametro** utilizzato per l’analisi
- b. dei **criteri di analisi** utilizzati per la “profilazione” (useremo questo termine per sintesi nello sviluppo successivo).

Sulla base del parametro utilizzato (a), possono distinguersi, in via di principio, due tipologie principali di approccio, riscontrabili nella prassi progettuale corrente:

1. la prima prevede una suddivisione (più o meno analitica) effettuata su basi meramente geotecniche ovvero su parametri di resistenza direttamente ricavati nel corso della prova quali, per esempio, i valori di  $N_c$  ( $N_c$  = cone dynamic resistance = numero di colpi per l’avanzamento standard nelle prove DCPT) e di  $q_c$  (per le prove CPT);
2. la seconda prevede una suddivisione effettuata su basi “*tipologico-comportamentali*”, operata con parametri derivati dall’elaborazione dei parametri ricavati dall’indagine (quali  $R_f$  e  $I_c$ ), applicabile nel solo caso della prova CPT essendo l’unica prova, tra quelle oggetto della presente analisi, a ricavare almeno due parametri nel corso della prova.

Sulla base dei criteri di analisi (b), possono distinguersi molte tecniche di profilazione (Facciorusso & Uzielli, 2004, Froidi, 2023), tra le quali:

- I. **tecniche visive**: basate sulle esperienze e competenze dell’operatore, permettono di profilare il log di dati originali in modo empirico-soggettivo. Possono essere assistite da elaborazioni e analisi statistiche di clusters isolati dall’operatore;
- II. **tecniche random**: basate sulla generazione casuale di strati in successione, in numero arbitrario e sufficiente per potere isolare le sequenze con il migliore fitting nei confronti di un parametro statistico predefinito (es.: COV sintetico e complessivo della successione, denominato COV medio ponderato o Weighted COV);

III. **tecniche di cluster analysis**: basate sull’osservazione, eventualmente automatizzata, di clusters (gruppi) e della analisi delle loro proprietà statistiche significative (es.: determinazioni del T ratio con tecniche di “*moving window*”, come da Damika, 1989);

IV. **tecniche fuzzy logic (Facciorusso & Uzielli, 2004), intelligenza artificiale**, ecc.

Le tecniche illustrate possono essere applicate anche congiuntamente esaminando i risultati ottenuti e selezionando quelli giudicati come più affidabili.

### Le tecniche di Soil Profiling: stato dell’arte

Come caso particolare trattato nel presente lavoro, le tecniche di Soil Profiling, a partire dalle prove penetrometriche statiche continue (vedi Fig. 1 da FHWA, 2002) tipo CPTm (a punta meccanica tipo Begemann) e CPTu (a punta elettrica con piezocono), sono pressoché sconosciute alla comunità professionale operante nel settore; in genere la suddivisione stratigrafica di un log CPT avviene sostanzialmente con l’approccio visivo della resistenza di punta  $q_c$  (approccio tipo 1), cercando di determinare empiricamente una stratigrafia che riesca a rappresentare correttamente l’omogeneità interna degli strati.

Tale approccio è in larga parte non corretto per almeno due motivi legati prevalentemente al parametro di valutazione, che avviene:

1. con un parametro di resistenza non normalizzato e quindi fortemente soggetto alle condizioni al contorno in termini di tensione di confinamento orizzontale;
2. con un parametro non completamente coerente con la genesi geologica del terreno, in termini di granulometria e tessitura, poiché influenzato da molteplici fattori quali i processi di cementazione, compattazione, invecchiamento, ecc.;
3. con criteri soggettivi largamente influenzati dalle attitudini e capacità dell’operatore.

Solo normalizzando il parametro di analisi si perverrebbe alla possibilità di una corretta profilazione “stratigrafica” (vedi ad esempio: Tolia, 1977, Froidi, 2023), la quale però richiede l’utilizzo di tecniche come quelle prima illustrate (vedi punti II, III, IV) per concludersi affidabilmente.

Ne consegue che i risultati ottenuti dal semplice approccio visivo dipendono fortemente dalla capacità ed esperienza dell’operatore e non possono quasi mai garantire un’oggettiva modellazione geologica; per tale ragione da molto tempo nella prassi internazionale il Soil Profiling

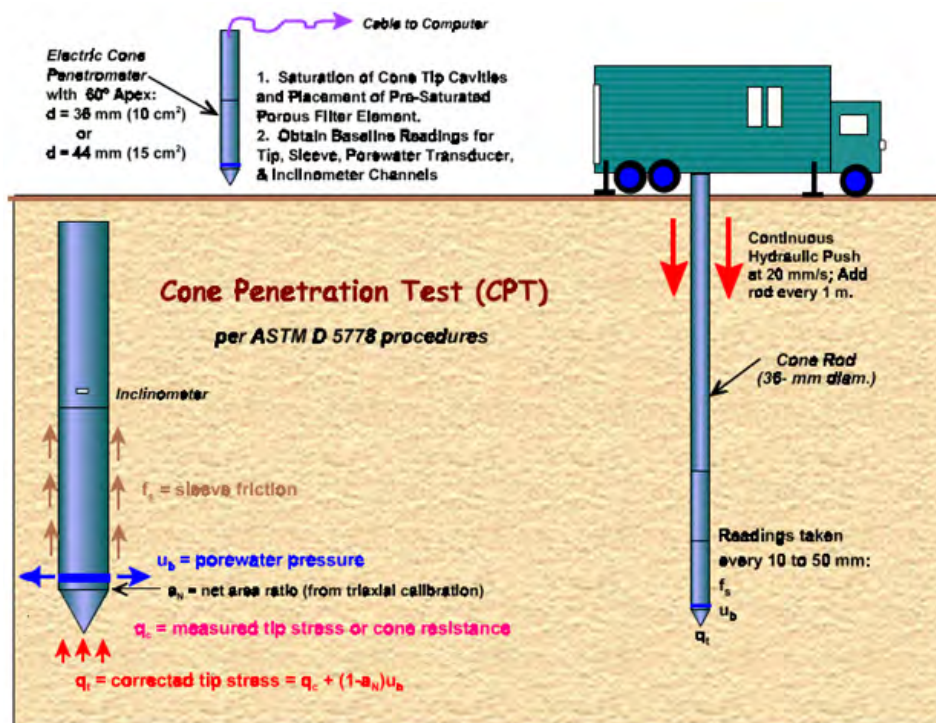


Fig. 1 – Illustrazione della procedura e componenti della prova CPT (tratta da FHWA, 2002)

con le CPT è effettuato con l'ausilio dei parametri derivati, quali l' $R_f$  per le CPT<sub>M</sub> e l' $I_c$  per le CPT<sub>U</sub>, che determinano il cosiddetto SBT (Soil Behaviour Type) (Robertson et Alii, 1986; Campanella & Robertson, 1988; Robertson & Wride, 1998; **Fellenius & Eslami, 2000**; Facciorusso & Uzielli, 2004; **Schneider et Alii, 2008**; **Lo Presti et Alii, 2009**; Robertson, 2010; **Lo Presti et Alii, 2010**; ecc.).

Analisi ancora più raffinate (Schneider et Alii, 2008) sono state proposte più recentemente per ottimizzare l'uso, in determinate situazioni, del parametro  $u_b$  (pressione interstiziale rilevata dal piezocono), proponendo ulteriori parametri di controllo (es.: Q) organizzati in classificazioni differenti da quella di Robertson; all'epoca del lavoro citato (2008) le tecniche di Soil Profiling risultavano ancora largamente basate sui parametri  $R_f$  e  $I_c$  (vedi anche Lo Presti et Alii, 2009).

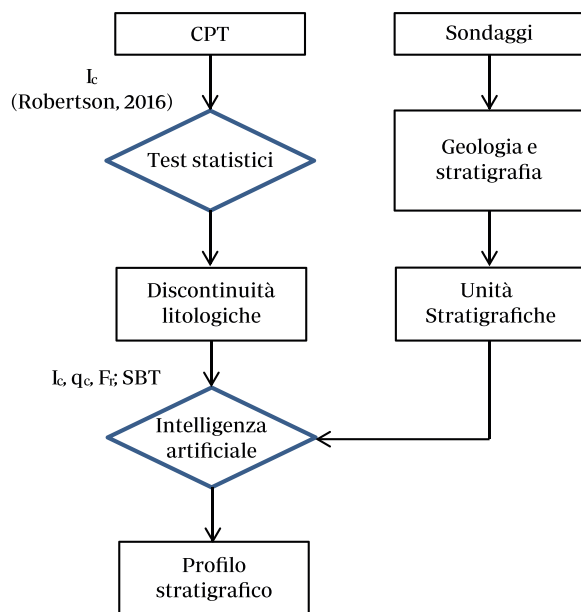
In generale inoltre è stato osservato (Lo Presti et Alii, 2009), e ancora è osservabile, come tali tecniche siano basate su parametri di correlazione (SBT) sostanzialmente empirici, ottenuti da database geognostici di riferimento specificatamente localizzati (sito specifici), che ne richiedono un attento e ragionato utilizzo; ciononostante rappresentano ancora un valido punto di partenza per la

profilazione stratigrafica.

Per superare le limitazioni connesse al database di riferimento, è possibile utilizzare tecniche più complesse (**Spacagna et Alii, 2022**) che fanno uso congiunto di metodi di SP statistici (analisi di T ratio e  $\rho$ ) basati sull'istituzione di Unità Stratigrafiche (strati statisticamente omogenei) sito specifiche ottenute con tecniche di Intelligenza Artificiale (AI) processanti con Reti Neurali (Artificial Neural Network); gli algoritmi sono adeguatamente "allenati" con coppie di dati CPT - Sondaggi, spazialmente correlabili, estratti da campagne geognostiche sito specifiche nell'area in cui viene sviluppata la correlazione. La metodologia proposta da Spacagna et Alii è rappresentata concettualmente dallo schema di flusso della Fig. 2.

Si potrebbe ancora continuare a citare ulteriori tecniche di SP introdotte nella bibliografia scientifica internazionale, spesso molto complesse e articolate, ma occorre osservare che detti metodi, per quanto raffinati e puntuali, non trovano, se non in minima parte, applicazione concreta nella pratica progettuale.

Solo in alcuni codici software commerciali di elaborazione dati si rinvengono tecniche di SP; a tale proposito però



**Fig. 2** – Schema concettuale del metodo di Spacagna et Alii (rielaborato da Spacagna et Alii, 2022)

è opportuno osservare che, frequentemente, l’uso acritico di codici di calcolo commerciali (noto con il termine di “*black box*” approach) può introdurre, sia nella fase di SP sia in quella successiva di caratterizzazione geotecnica con l’uso di correlazioni, incorrette interpretazioni e elaborazioni (Powell & Dhimitri, 2022).

### Il metodo proposto per il Soil Profiling: basi teoriche, criteri e finalità

Nel solco investigativo prima illustrato, cioè quello che considera come “*markers*” (li chiameremo così) classificativi della stratigrafia i parametri (secondari) ricavati dalle prove CPTm ( $R_f$ ) e CPTu ( $I_c$ ), si situa l’approccio illustrato nel presente lavoro, il quale si basa sui seguenti assiomi:

- tali parametri, e le loro istanze statistiche, sono rappresentativi dell’omogeneità interna dello strato e della sua unicità stratigrafica, in quanto riflettono (anche se indirettamente) la “composizione granulometrica principale” (intesa come media e non come distribuzione) espressa, in nomenclatura, come “tipi di terreno” e “SBT” rispettivamente per le CPTm e per le CPTu;
- la composizione granulometrica principale rappresenta idealmente anche le caratteristiche genetiche (in termini di energia di trasporto) dell’ambiente

deposizionale in cui si è depositato il sedimento, al netto delle altre caratteristiche che determinano una facies deposizionale (grain size grain shape, grain surface texture, grain fabric, sedimentary structures, composition (siliciclastic; carbonate, evaporite, coal, chert), fossils (body fossils, trace fossils), stratification sequence sediment-body geometry, ecc.);

- la variazione di tali parametri lungo la verticale d’indagine, rappresenta la fluttuazione stocastica di maggior interesse per la determinazione del Profilo Stratigrafico; essa risponde a leggi di variabilità di natura geologica, sedimentologica e deposizionale, oltre che da fattori collaterali di natura tettonica, geochemica ecc.

Ne discende un quadro d’insieme che potenzialmente si dovrebbe innestare in modo compiuto e organico sui filoni di ricerca inerenti la *variabilità spaziale (in verticale e in orizzontale)* dei terreni a partire dalle conoscenze geologico/sedimentologico/deposizionali dell’area; tutt’altra cosa rispetto agli approcci puramente geotecnici avulsi dalle pertinenti materie appena richiamate.

In questo senso, a scopo esemplificativo, vanno recenti lavori (Bertolini et Alii, 2022; Campo et Alii, 2023) che classificano, sull’analisi sedimentologica di 20 carotaggi (prof. 20÷36 m) eseguiti in prossimità (distanza < 20 m) di prove CPTu (prof. 30÷35 m), 12 facies sedimentarie di ambiente costiero e alluvionale mettendole in relazione a campi di valori dei parametri ricavati dalle prove CPTu, nella fattispecie: resistenza alla punta non normalizzata ( $Q_c$ ), resistenza di attrito laterale ( $F_s$ ), pressione interstiziale ( $U$ ) e rapporto d’attrito ( $F_r$ ).

Considerando la variabilità verticale (monodimensionale) dei parametri denominati markers, trascurando per semplicità d’approccio gli errori di misura e delle trasformazioni, le caratteristiche di “*soil variability*” suddivise in “*trend*” e “*Scale Of Fluctuation*” (SOF, Phoon & Kulhawy, 1999), dovrebbero leggersi come risultato dei fenomeni deposizionali in un quadro organico e articolato, e non solamente come proprietà stocastiche completamente casuali.

La variabilità verticale deve considerare trend differenziati, diverse scale di fluttuazione (Uzielli, 2022) e possibili macro-discontinuità che possono rilevarsi, con adeguate tecniche, dalle prove CPT; anche altri parametri dovrebbero essere considerati (“*sensing distance*” e “*development distance*”).

In Fig. 3 sono illustrate le componenti della variabilità

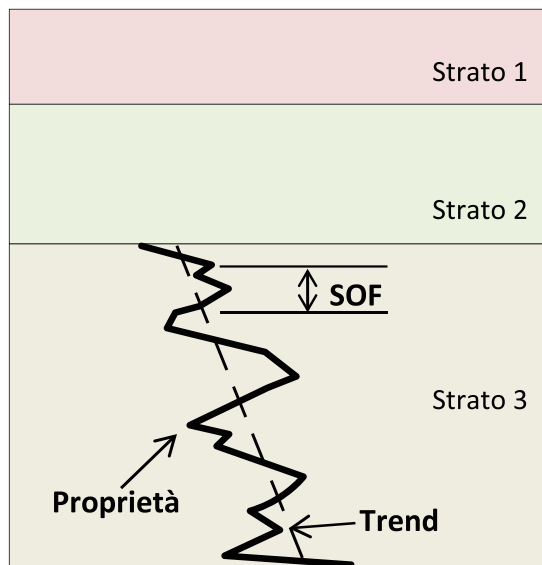


Fig. 3 – Componenti della variabilità stocastica di un parametro (rielaborato da Phoon & Kulhawy, 1999)

stocastica dei parametri lungo una verticale di indagine. Con questa chiave di lettura e basandosi sugli assiomi prima enunciati, si può osservare che:

- A. ogni strato individuato con la tecnica SP rappresenta un'Unità Stratigrafica (o strato, layer) univocamente determinabile, espressione di un evento sedimentologico univoco;

- B. il suo trend rappresenta una tendenza granulometrica verticale tipo "fining" o "coarsening" (con polarità upward o downward);
- C. le SOF all'interno dello strato rappresentano la variabilità stocastica insita nella fenomenologia dell'evento deposizionale;
- D. la successione ordinata degli strati rappresenta una sequenza deposizionale, più o meno ciclica, interrotta o no da gap deposizionali o di altra natura individuabili dai log dei markers con altre tecniche da definire, appartenente ad una o più facies e ad uno o più ambienti deposizionali.

Ovviamente quanto enunciato dovrebbe trovare adeguato riscontro all'interno dei criteri della stratigrafia sequenziale e relativa terminologia (ISPRA, 2004).

Come esempio di quanto esposto si riportano in Fig. 4 (da Conti, 2022) alcune sequenze con passaggi di diversa natura, Unità Stratigrafiche e relativi trend differenti (arenarie, linee in rosso; terreni misti, linee in verde; argilliti, linee in blu; tratteggi: trend).

Individuata la procedura di SP prima descritta, il presente lavoro si sviluppa con l'approccio internazionalmente riconosciuto che individua il valore del COV (dei parametri sopra citati) come migliore indicatore dell'omogeneità degli strati, così da pervenire a una suddivisione la più possibile oggettiva (a scopo esemplificativo: Phoon & Kulhawy, 1999; Ceccato et Alti, 2022).

Tale approccio (Froldi, 2023) si sviluppa nella direzione

*fining upward*

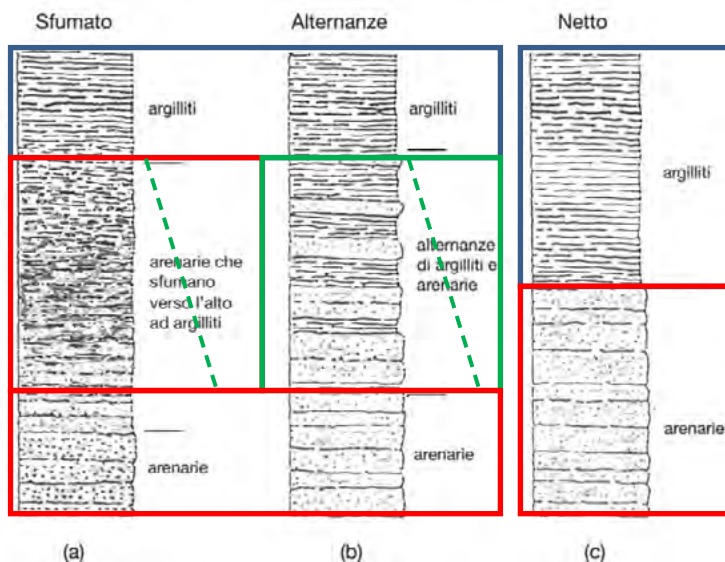


Fig. 4 – Esempio di sequenze e passaggi verticali tra diverse litologie (rielaborato, pubblicazione permessa da Conti, 2022)

del cosiddetto processo progettuale probabilistico, a fronte dell'attuale unico percorso deterministico.

Allo stadio attuale dello sviluppo l'approccio metodologico in oggetto non considera tecniche di filtraggio dati e di determinazione dei cosiddetti strati sottili "thin layers".

Tra i parametri statistici significativi, il COV (**Coefficient Of Variation**), definito come il **rapporto tra la deviazione standard e il valore medio** della popolazione di dati, è una misura in grado di esprimere l'entità della variabilità in frazione o in percentuale del valore medio; è quindi una proprietà statistica normalizzata con i vantaggi che ne conseguono.

La sua configurazione facilita il confronto di dati provenienti da diversi campioni, perché mentre la media e la deviazione standard tendono a variare (insieme) in valore assoluto nel set esaminato, il COV dovrebbe rimanere, in campioni statisticamente confrontabili come dispersione, sufficientemente costante.

Questa caratteristica rende il COV, applicato ai parametri definiti markers, un ottimo parametro indicatore (sintetico) per un'analisi stratigrafica automatizzata.

Il campo dei valori del COV dipende dalla proprietà misurata; valori consueti secondo alcune regole semplificate (**Harr, 1987**) sono:

COV ≤ 10 % ⇒ valori bassi

COV = 15 ± 30 % ⇒ valori moderati

COV > 30 % ⇒ valori alti.

Partendo da questo presupposto, se si considera una successione di spessore totale S, composta da N strati, in cui ogni strato "n" ha spessore pari a Sp<sub>n</sub>, è efficace poterne definire un parametro normalizzato di dispersione statistica media ponderata (COV medio ponderato o Weighted COV) come segue:

$$COV_W = \frac{\sum_{n=1}^N Sp_n * COV_n}{S}$$

Senza necessità di ulteriori spiegazioni si può affermare che le successioni virtuali di strati che presentano i valori di COV<sub>w</sub> più bassi sono quelle che rappresentano meglio la successione reale, ovvero tendono a rappresentare il best fitting della stessa (migliori omogeneità interne degli strati).

Il metodo nel concreto consiste nel calcolare il parametro COV all'interno di clusters (set campionario o sub-log) di dati, isolati all'interno dell'intera popolazione (intero log),

differentemente in funzione della tecnica utilizzata; il valore minimo del COV sottintende una ottimale omogeneità interna del campione e prelude alla determinazione dello strato del Profilo Stratigrafico.

È utile ricordare che il valore del parametro COV, altrimenti conosciuto come Normalized Root-Mean-Square Deviation (NRMSD, Deviazione Standard, σ normalizzata sulla media, μ), è ricavabile attraverso la seguente formula:

$$COV = \frac{\sigma}{\mu}$$

Dove:

μ = media aritmetica dell'insieme dei dati

σ = deviazione standard del campione (come sottoinsieme della popolazione) o dell'intera popolazione di dati; esprime la misura totale della variazione o dispersione di un set di dati.

La deviazione standard a sua volta può essere calcolata per un campione (come sottoinsieme della popolazione, σ<sub>c</sub> = deviazione standard campionaria) o per l'intera popolazione di dati (σ<sub>p</sub> = deviazione standard della popolazione), ovvero con nota conoscenza dei termini:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N - 1}}$$

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}}$$

Se si adotta la correzione di Bessel sopra illustrata, il discrimine tra campione e popolazione è, agli scopi pratici, posizionabile a 30 dati.

I clusters (sub-set) si determinano con differenti modalità, anche utilizzando la tecnica *Moving Window* (**MW**) (Damika, 1989; **Berenguer et Alii, 2022**; Ceccato et Alii, 2022), rispettando le seguenti condizioni predisponenti a un'adeguata suddivisione stratigrafica (*best possible differentiation*):

1. due strati adiacenti devono avere visivamente valori medi dei campioni isolati con la tecnica adottata (per es.: MW) sufficientemente differenti, ovvero la differenza tra i valori medi deve essere massimizzata;



2. ogni strato isolato dovrebbe avere una varianza sufficientemente bassa, ovvero il valore della varianza (e nella fattispecie il COV, come prima detto) per ogni strato deve essere minimizzato.

Le tecniche di determinazione degli “strati” proposte nel presente metodo sono:

- I. **critério visivo statisticamente assistito:** con questo criterio l’operatore esplora progressivamente (senza ausilio di procedure automatiche: MW manuale) i diversi possibili strati analizzandone i parametri statistici (con o senza procedure automatiche); lo strato ottimale è quello che minimizza il valore del COV;
- II. **critério casuale o Random:** con questo criterio si esplora l’intero log generando “n” strati con modalità random (generazione di numeri casuali per la generazione casuale di spessore e posizione dello strato di analisi: MW casuale); la successione ottimale è quella, nel complesso del set generato, che minimizza il valore del COV medio ponderato (Weighted COV);
- III. **critério di scansione progressiva del log (Progressive Scan):** con questo criterio si esplora l’intero log scansionandolo in modalità sequenziale con una MW progressiva; lo strato ottimale è quello che minimizza il valore del COV per ogni scansione successiva.

La prima tecnica è ancora affrontabile con l’ausilio di un foglio di calcolo elettronico, seppur sia molto tediosa e laboriosa.

Le altre due tecniche non possono ragionevolmente essere affrontate con un foglio di calcolo, ma esigono un codice automatico dedicato.

Con tutte le tecniche è possibile determinare, per ogni strato “omogeneo” della successione, il trend interno del parametro marker a mezzo di una semplice interpolazione lineare, per verificare l’andamento “fining upward” o “coarsening upward”.

Determinata la linea di trend, automaticamente saranno disponibili, sia analiticamente sia graficamente, le “fluttuazioni” e le relative scale.

L’intero metodo è concettualmente rappresentato in forma sintetica nello schema di Fig. 5.

**Il compendio software del metodo proposto e delle sue tecniche**

Le tecniche prima descritte sono state compendiate nel codice di calcolo automatico **GeoStratEx** (Froldi, 2022) ideato, sviluppato e testato dallo scrivente.

La denominazione **GeoStratEx** deriva dal parziale acronimo di Geotechnical Stratigraphic Examinations; il codice è uno strumento di analisi di un log di dati acquisiti a

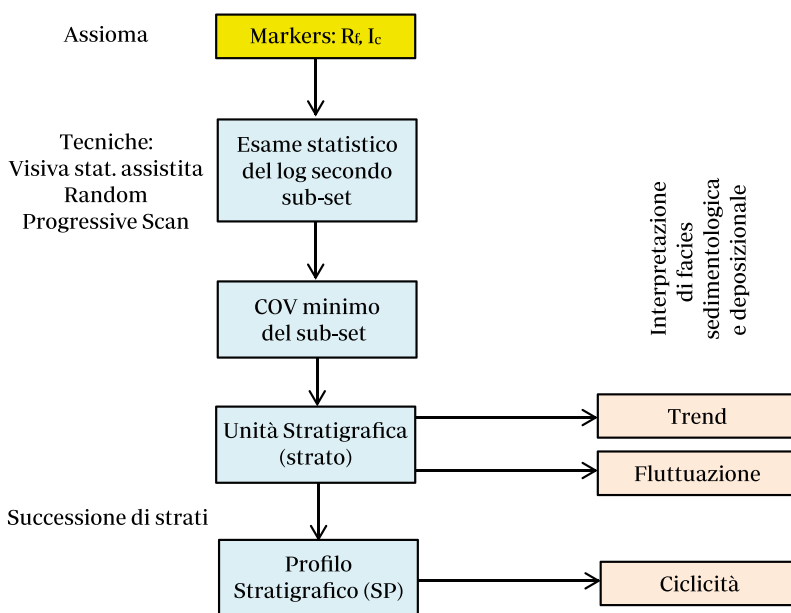


Fig. 5 – Schema concettuale del metodo proposto (Froldi, 2023)

intervalli costanti lungo (generalmente) la profondità di un'indagine nel sottosuolo (es.: prove CPTm, CPTu, SCPT, ecc.).

Il codice è in grado di superare i limiti di una normale elaborazione, fatta con un foglio elettronico, in termini di velocità di calcolo, che avviene in tempo reale, il che consente di rappresentare i risultati contestualmente alla variazione manuale (o automatica) dell'intervallo di dati. Sebbene sia pensato specificatamente per scopi di analisi geotecnica, quindi per l'analisi di dati in profondità nel sottosuolo (tipicamente per prove continue tipo CPT o SCPT), il codice è applicabile a qualsiasi set di dati disposti lungo una scan-line reale, sia essa verticale sia essa disposta in una qualsiasi direzione, anche non necessariamente fisica (scan-line virtuale); in quest'ultimo caso il vincolo (relativo) è dato dalla dimensione della scan-line che, possibilmente, deve essere, come per le prove geotecniche, di ordine metrico o pluri-metrico.

Con GeoStratex si può importare un set di dati grezzi o i risultati di una correlazione ottenuti direttamente dal rilievo strumentale o dall'elaborazione con altri software, per concentrarsi sulla sua analisi e ottenere, in tempo reale, per esempio, i principali parametri statistici appartenenti:

- a tutta la scan-line della prova (valori massimo, minimo, medio, Standard Deviation, Skewness, Coefficiente Of Variation, Kurtosis, valore modale, ecc.);
- a un determinato intervallo di profondità, per esempio nel volume significativo al di sotto di una fondazione superficiale, sulla superficie di uno scavo, ecc.;
- agli strati di una discretizzazione operata dall'utente (modello geologico o geotecnico), sulla base dei suggerimenti forniti dal software, per un numero di strati stabilito dall'utente, in grado di ottimizzare i parametri statistici riducendo la variabilità parametrica inter-strato;
- ecc.

Il software è realizzato con strumenti Microsoft® freeware (nella fattispecie con tecnologia VB.net), pertanto gira su piattaforma Windows®; esso è stato realizzato per la versione Windows® 8.1 (versione 2013), per la quale è stato testato con il relativo framework.

Allo stato attuale di sviluppo il software contiene le routine di sviluppo delle tre tecniche prima descritte (I, II, III) nell'ambito del metodo complessivamente illustrato.

### La tecnica visiva statisticamente assistita

Nella routine di calcolo "visivo" statisticamente assistito, una volta caricato il file da analizzare (log del parametro

marker), il codice calcola e rappresenta in tempo reale:

1. le principali proprietà statistiche del set di valori complessivo e il suo istogramma (General Histogram) in frequenza normalizzata rispetto al numero delle ricorrenze; i dati statistici sono esportabili su tabella;
2. le analoghe proprietà (dati statistici e Specific Histogram, in questo caso solo se il numero dei dati supera i 10) di cui al punto precedente, riferite però ad un intervallo (Layer) scelto a discrezione dell'utente (con la tecnica MW manuale), i cui risultati saranno rappresentati in apposita finestra grafica (Interval Analysis); anche in questo caso la tabella dati è esportabile;
3. il parametro ponderato Weighted COV dell'intera successione.

La procedura descritta è funzionale a una suddivisione stratigrafica (SP) manuale, fatta sulla base dell'osservazione dei dati statistici (quelli classificativi delle prove CPTm e PTCu, ossia rispettivamente  $R_f$  e  $I_c$ ) da parte dell'operatore, che discrezionalmente isolerà diversi strati nell'ambito dell'intero log di dati con i criteri prima descritti.

La procedura manuale può essere descritta con il seguente diagramma di flusso.

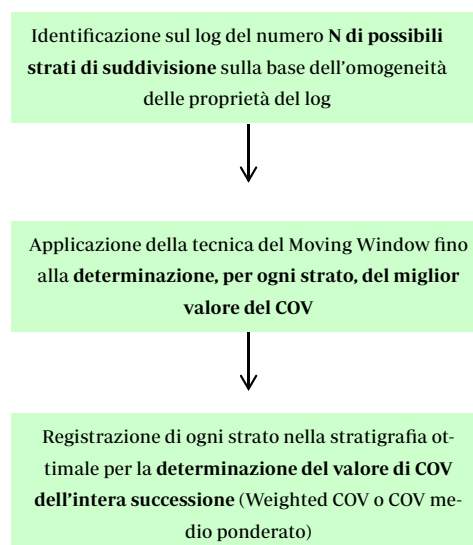


Fig. 6 – Schema concettuale del metodo "visivo" statisticamente assistito (Froldi, 2023)

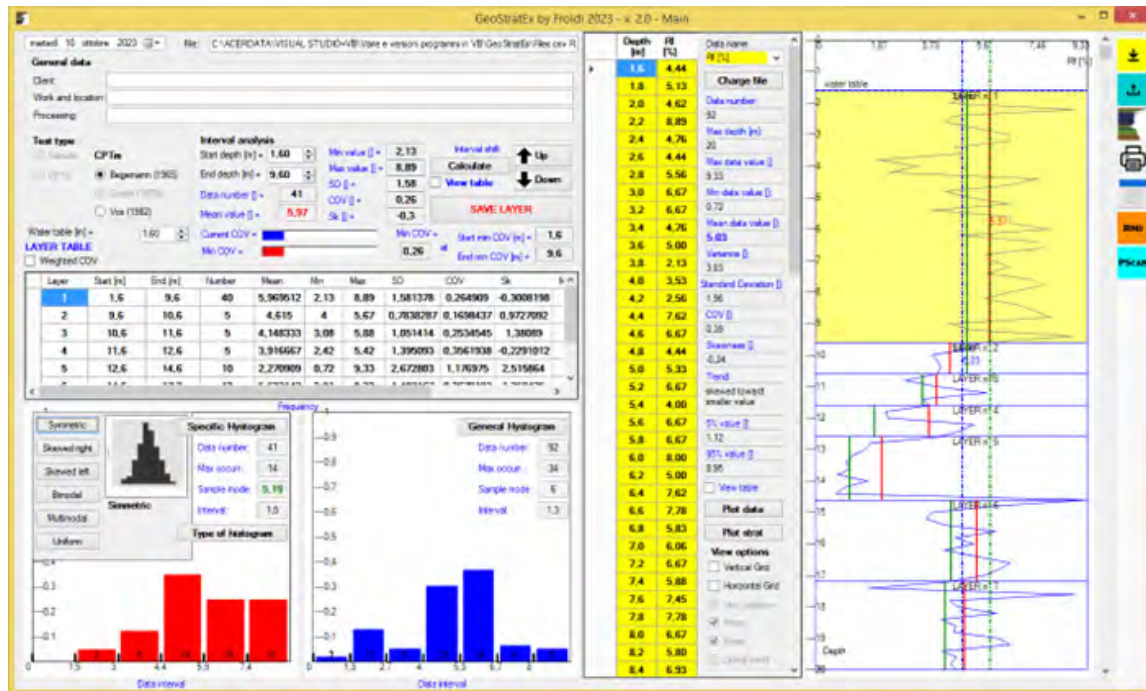


Fig. 7 – Schermata del software nell'applicazione del metodo “visivo”

Nella successiva Fig. 7 è illustrata la schermata dell'applicazione “visiva” per un log CPTm di profondità 20 suddiviso con i criteri prima illustrati in una successione di 7 strati.

### La tecnica Random

La creazione del Profilo Stratigrafico (SP) può avvenire anche in base a criteri logici implementati in forma semi-automatizzata o automatizzata nel software (**Automatic Stratigraphy o Auto Layer Boundary Detection**).

Nella tecnica qui utilizzata si esegue una generazione casuale di strati in successione in numero arbitrario e sufficiente; in seguito la successione ottimale è quella che presenta il miglior parametro statistico complessivo (es.: COV sintetico e complessivo della successione, denominato COV medio ponderato o Weighted COV; nulla vieta di utilizzare anche un altro valore statistico medio ponderato).

Il programma, nell'utilizzo di questa tecnica, opera con i seguenti passaggi successivi:

1. importazione manuale dei dati del log nello spessore totale  $S$  [m] in esame
2. impostazione manuale del numero di strati  $N$  (arbitrario, su una prima stima visiva o con i criteri della

suddivisione “manuale”) in cui deve essere suddivisa la stratigrafia

3. impostazione manuale dello spessore minimo (**min** [m]), in funzione del problema geotecnico, dello strato di tentativo “random”; è suggerito sia:  $\min = S/N$
4. impostazione manuale del numero di tentativi automatici (*trial number*) di calcolo
5. calcolo automatico dello spessore massimo (**max** [m]), dello strato di tentativo “random”, con  $\max = S - (N-1) \cdot \min$
6. calcolo automatico (con attivazione della procedura “random”), con i vincoli sopra citati, di  $N$  strati di spessore casuale contenuto nell'intervallo  $\min$ - $\max$
7. calcolo automatico, per ogni successione generata casualmente, dei valori statistici di interesse (media, deviazione standard, COV, ecc.) per ogni singolo strato “random”
8. calcolo automatico, per ogni successione generata casualmente, del valore Weighted COV della successione
9. determinazione manuale del/dei miglior/i trial/s (successione/i ottimale/i, *best trial*) per ogni start (attivazione del codice) di cui al punto 6)
10. graficizzazione automatica del log e della relativa successione ottimale.

Per ogni attivazione della procedura automatica (punto 6) il programma calcola e ottiene un certo numero di successioni complete (FLC = *Full Layers Count*), sempre inferiore al numero di tentativi impostati, in ragione di diverse cause:

- a. il raggiungimento della profondità massima del log prima del raggiungimento del numero di strati impostati (generazione di una successione con numero di strati < N);
- b. altri errori di generazione;
- c. ecc.

Il valore di N massimo supportato dal codice è pari a 10. Nella determinazione degli spessori minimo e massimo della successione, oltre alle osservazioni empiriche che si possono fare direttamente sul log di dati, occorre considerare la seguente funzione **Rapporto di Spessore  $R_s$**  (dimostrabile con pochi passaggi analitici):

$$\frac{\max}{\min} = R_s = \frac{S}{\min(N - 1)}$$

A parità di S e N, un valore di  $R_s$  elevato comporta la previsione di una successione molto disuniforme con alternanze di strati di spessore molto differente; al contrario un valore di  $R_s$  basso individua una successione di strati con spessore più paragonabili. Il numero delle successioni complete calcolate aumenta con l'aumentare del valore di  $R_s$ .

La determinazione del valore ottimale (quello minore =  $COV_{w(\min)}$ ) del Weighted COV (della successione ideale) dipende dal numero di generazioni "random"; a sua volta il numero di tentativi (*trial number*) impostato per ogni generazione dipende dalla complessità del log e dal numero N degli strati in cui si vuole modellare la successione; per un valore di N contenuto ( $\leq 3$ ) in genere è sufficiente lanciare qualche decina di trial per ottenere i valori di profondità in cui è suddivisibile la successione "ottimale". Il numero dei trial da generare per ottenere una successione ottimale aumenta più che linearmente con il numero degli strati in cui si vuole suddividere la successione.

Nell'immagine successiva (Fig. 8) si evidenziano i risultati ottenuti con il metodo random sviluppato sulle impostazioni (prove) a) e b) per un'unica successione di S = 20 m (CPTm, marker:  $R_t$ ) da suddividere in N=3 strati e con un *trial number* pari a 100; si evince che la percentuale di produzione di successioni valide (*Full Layers Count*,

vedi numerosità delle linee marroni a destra del grafico) aumenta con l'aumentare del rapporto  $R_s$ , così, come di conseguenza, il *fitting* statistico della successione ( $COV_w$ ).

Prova	Min [m]	Max [m]	$R_s$ [ ]	Full Layers Count [%]	$COV_w$ [ ]
a	1	16,4	16,4	58	0,224
b	4	10,4	2,6	5	0,412

A titolo di esempio, la variazione del FLC e del  $COV_{w(\min)}$  in funzione del  $R_s$  è illustrata rispettivamente nelle successive Figg. 9a e 9b per le generazioni secondo i seguenti parametri:

S [m] =	20
N [ ] =	4
Min [m] =	variabile
Trial number [ ] =	100

### La tecnica Progressive Scan

Oltre al metodo "random" appena descritto, il terzo approccio alla suddivisione stratigrafica ottimale implementato sul programma, è quello che denomineremo "**Progressive Scan**" (PS).

Esso si caratterizza per la sua peculiarità di sottoporre l'intero log alla valutazione statistica di clusters di dati successivi (in progressione con la profondità) in parte sovrapponibili, caratterizzati da intersezioni (si rammenta che si chiama intersezione di due insiemi A e B, e si indica con  $A \cap B$ , l'insieme formato da tutti quegli elementi che appartengono sia ad A che a B) degli insiemi analizzati non sempre vuote.

Il metodo, classificabile come una "**cluster analysis**", si basa sulle seguenti fasi consequenziali (detto  $\Delta y$  l'intervallo dei dati in esame, e.g.:  $\Delta y = 20$  cm per le CPTm):

1. si stabilisce un **valore minimo dello spessore degli strati da determinare** ( $Sp_{\min} = i_{\min} \cdot \Delta y$ );
2. partendo dalla profondità iniziale di analisi, si calcolano i valori del COV ( $COV_z$ ) per i corrispondenti insiemi (set di dati), a, via via crescenti con la profondità ( $z \cdot \Delta y$ ), costituenti lo strato in analisi progressiva

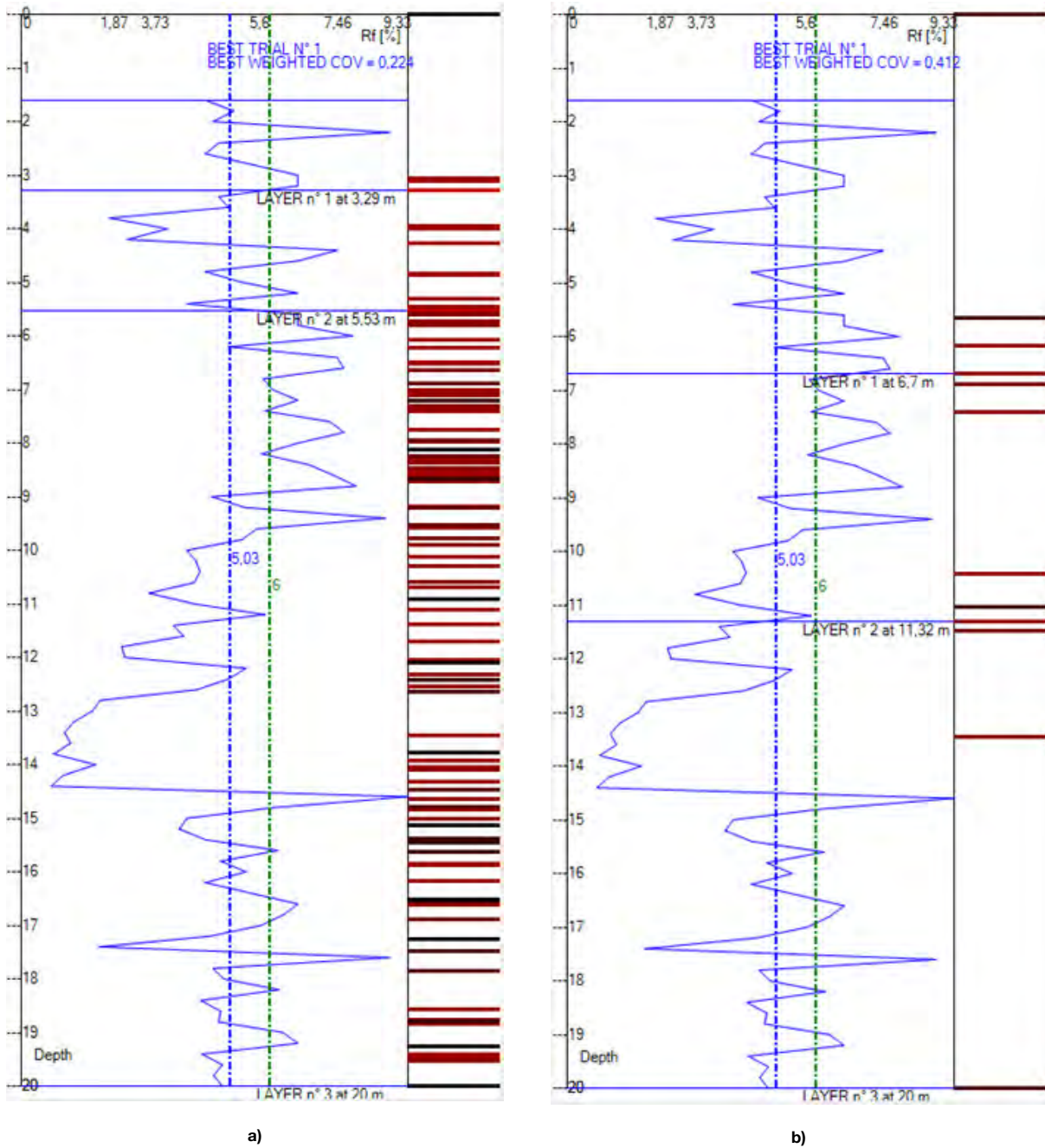


Fig. 8 – Confronto di generazioni random con diversi valori di RS; a sx prova a), a dx prova b)

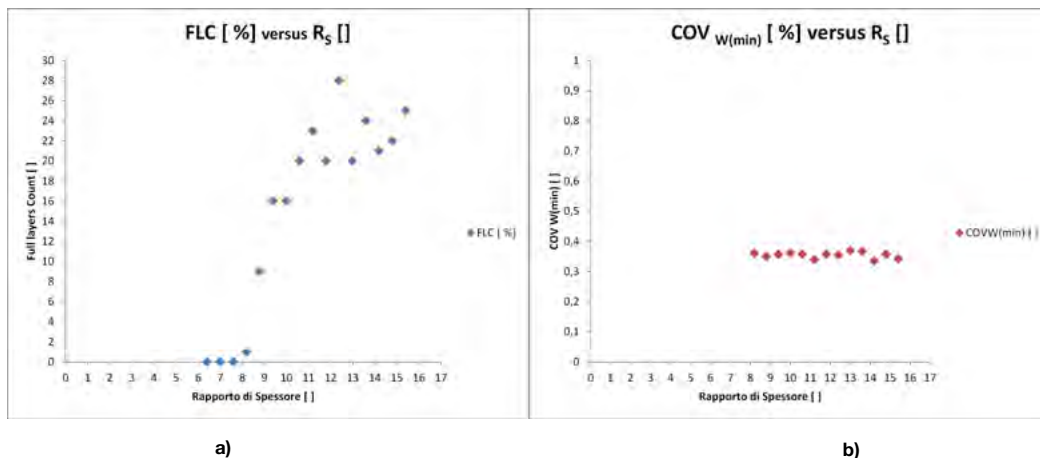


Fig. 9 – Variazione dei parametri FLC e  $COV_{w(min)}$  con RS

(*progressive scan*), fino a descrivere numericamente la funzione seguente (che può essere graficizzata):

$$COV_z(n) = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=i_{min}}^z (x_i - \mu_z)^2}{N - 1}}}{\mu_z}$$

Il numeratore della radice può essere sostituito da N (caso di dati molto numerosi). Il simbolo (n) designa l'ennesimo strato in analisi;

- determinato il minimo assoluto della funzione appena calcolata (con procedura numerica o grafica), il relativo valore della profondità è il nuovo inizio dell'insieme successivo; si reitera la procedura fino ad esaurimento del log di dati, determinando un numero N di strati non quantificabile a priori e il relativo  $COV(n)$ . Il valore minimo della funzione  $COV(n)$ , oltre che per via grafica, può essere determinato per via numerica attraverso la seguente:

$$COV(n)_{min} = \min(R)$$

Dove R è l'insieme dei numeri reali costituenti il set dei dati analizzati con pedice variabile da  $i_{min}$  a z.

Nel codice di calcolo GeoStratEx la procedura di cui sopra è automatica e genera, numericamente e graficamente, un numero N di curve di COV in funzione della profondità (*COV curves*) e relativo valore di minimo. Il valore di N massimo supportato dal codice è pari a 10 e non è determinabile a priori.

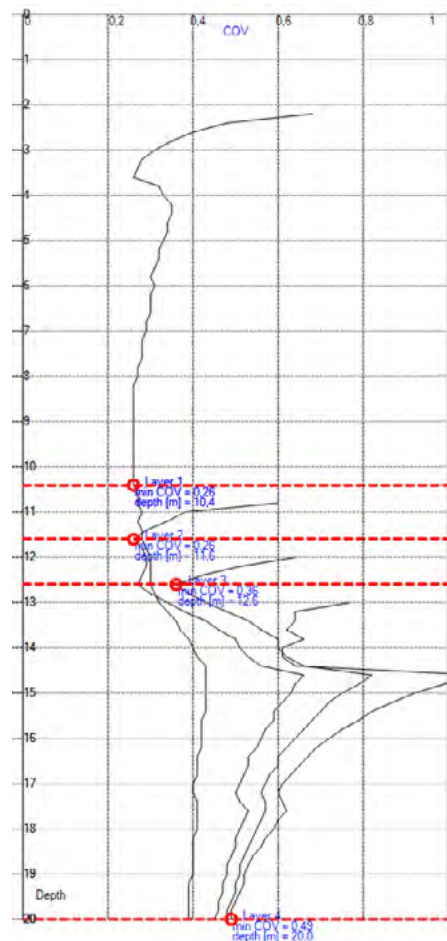


Fig. 10 – Curve del COV generate nell'applicazione del metodo "Progressive Scan"

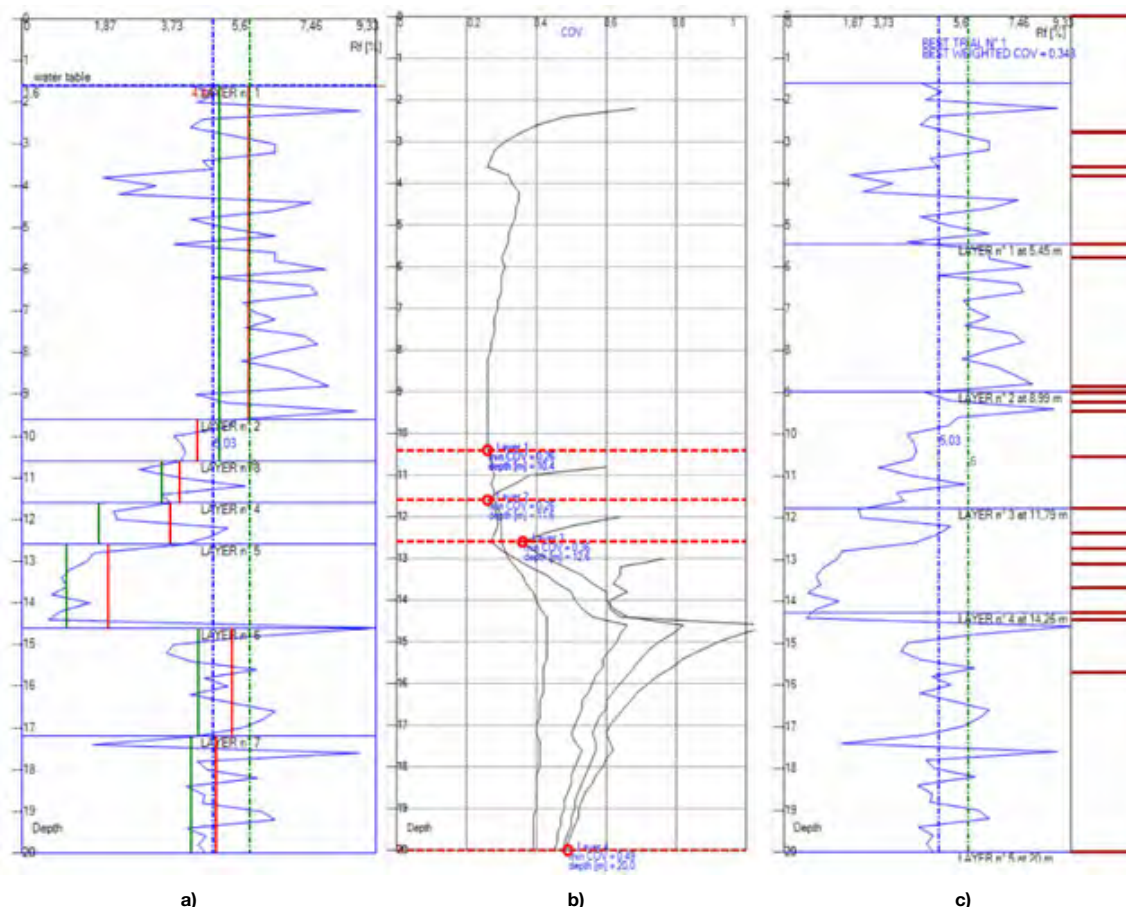


Fig. 11 – Confronto fra le diverse tecniche di Soil Profiling; a) visiva, b) Progressive Scan, c) Random

Al termine della procedura si avranno a disposizione  $N$  funzioni grafico-numeriche dei valori  $COV(n)$ .

Ogni insieme, come detto può comprendere un sub-set di dati dell'insieme precedente; l'essenziale è determinare per via grafica e/o numerica (per es. con codice automatico) un valore minimo del  $COV(n)$  per ogni strato, la cui profondità determinata rappresenta l'interfaccia tra strato sovrastante e il successivo, fino ad esaurimento della successione di dati del log.

L'implementazione del metodo nel codice GeoStratEx è fatta sulla base dei seguenti vincoli:

1. impostazione di un valore di offset in partenza (*offset first layer*) =  $n^\circ$  di intervalli iniziali del log che viene saltato nei calcoli del 1° strato sommitale
2. impostazione di un valore di offset in chiusura (*offset from bottom*) =  $n^\circ$  di intervalli finali del log che viene saltato nei calcoli dell'ultimo strato finale.

Le curve di COV tendono a “raggrupparsi” verso il fondo del log.

Nella successiva Fig. 10 è illustrata la schermata dell'applicazione PS per un log CPTm di profondità 20 suddiviso con i criteri prima illustrati in una successione di 4 strati.

**Confronto fra le tecniche**

A scopo esemplificativo nell'immagine di Fig. 11 si riportano i risultati di un'analisi di Soil Profiling per una prova penetrometrica CPTm; vi compaiono, da sx a dx rispettivamente: la suddivisione con tecnica visiva assistita, quella con Progressive Scan (e relative COV curves) e quella Random.

I risultati ottenuti con le tre diverse tecniche sono differenti, ma tutti con confrontabile valore del COV medio ponderato ( $COV_w$ ); evidenziano quindi suddivisioni

a simile affidabilità e dimostrano che l'uso congiunto e ragionato delle tre tecniche permette di pervenire a una modellazione ottimale e oggettiva.

I metodi proposti quindi, nonostante siano suscettibili di ulteriori approfondimenti e affinamenti, si confermano come un valido ausilio all'esperienza e competenza dell'operatore.

La tecnica **SOIL PROFILING** introdotta con la denominazione **"Progressive Scan"** (PS) evidenzia notevoli margini di miglioramento. Considerando l'esempio già pubblicato (Froldi, 2023) si può intravedere che, nella funzione del **COV<sub>z</sub>(n)** (parametro marker = Coefficient Of Variation funzione della profondità = z), visualizzata con le relative curve costruite con il PS, possono esistere, nel dominio di analisi ( $D_{COV}$  = intervallo finito di numeri  $\in R$ , che rappresentano il dominio in scansione), più punti di **"minimo relativo"**, ma solo un **"punto di minimo assoluto"**.

Il punto di minimo relativo, nel sottodominio  $SD_{COV}$  (o

codominio  $\in D_{COV}$  compreso tra la "x d'inizio della scansione" e la "z di fine scansione"), potrebbe rappresentare convenientemente lo strato ricercato; la scansione può essere limitata al primo "minimo", non necessariamente estremante (assoluto), a partire dalla profondità (z) di inizio della scansione e procedendo verso il basso della verticale.

I valori di minimo relativo e assoluto sono da ricercare con tecniche numeriche, essendo le "N" funzioni **COV<sub>z</sub>(n)** casuali e non analiticamente rappresentabili (non si possono quindi applicare le regole del calcolo differenziale tipo il teorema di Fermat della derivata prima e seconda); l'estensione del codominio  $SD_{COV}$  può essere agevolmente ottenuta limitando la scansione ad uno spessore massimo  $SP_{max}$  definito dall'utente a partire dal valore "z d'inizio della scansione". Si portano come esempi i punti di minimo relativo della prima e quarta funzione, rispettivamente **COV<sub>z</sub>(1)** e **COV<sub>z</sub>(4)**, segnalati sul grafico con pallini azzurri e relativa suddivisione di strato.

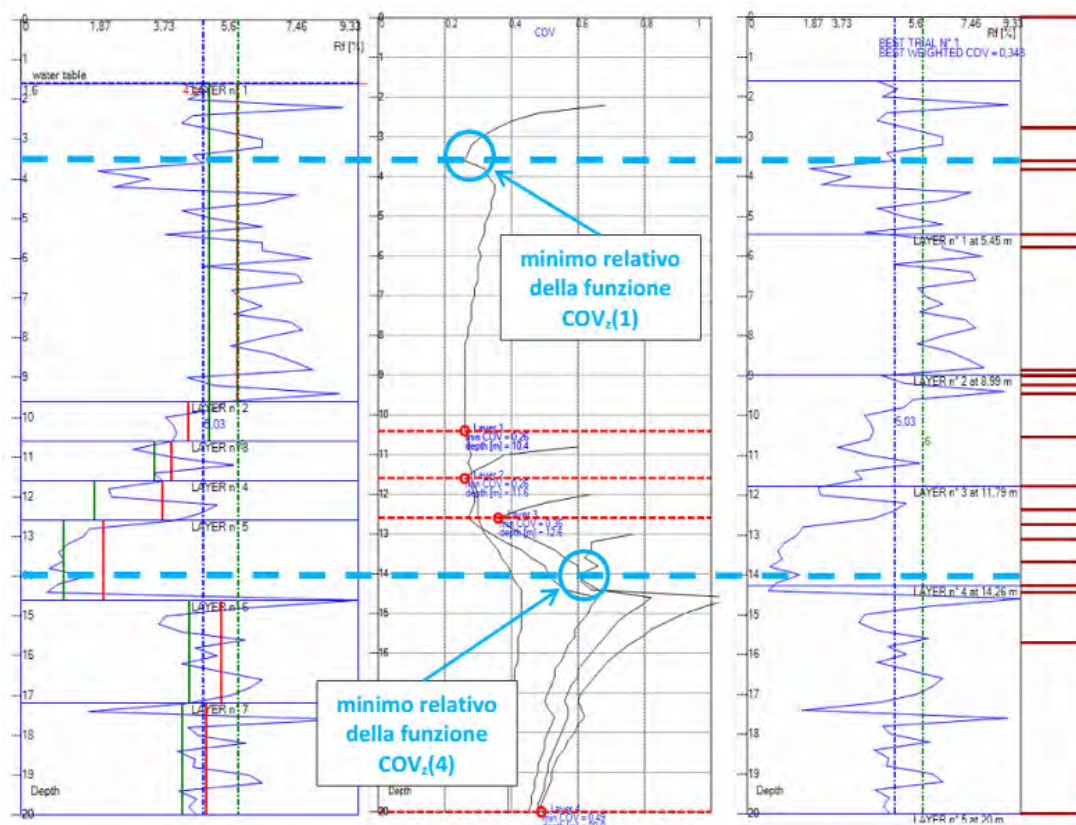


Fig. 12 – Determinazione di valori di "minimo relativo" nelle funzioni COV<sub>z</sub>(1) e COV<sub>z</sub>(4)



## BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- Begemann, H.K. (1965): The Friction Jacket Cone as an Aid in Determining the Soil Profile. Proc. Of the 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, IICSMFE, Montreal, September 8-15, Vol. 2, pp. 17-20.
- Berenguer, L. T. B. & Kanitz, M. (2022): Automatic interpretation and statistical evaluation of soil conditions for preliminary design of offshore foundations using the cone penetration test
- Bertolini, I., Marchi, M., Tonni, L., Gottardi, G., Bruno, L., Amorosi, A. (2022): CPT data interpretation for an improved characterization of the paleosol stratigraphy in the Po River Valley, Italy. Cone Penetration Testing 2022 – Gottardi & Tonni (eds).
- Campo, B., Bruno, L., Amorosi, L. (2023): Sedimentary facies characterization through CPTU profiles: An effective tool for subsurface investigation of modern alluvial and coastal plains. *Sedimentology*(2023)70, 1302-1327.
- Ceccato, F., Uzielli, M., Simonini, P. (2022): Characterization of geotechnical spatial variability in river embankments from spatially adjacent SCPT. Cone Penetration Testing 2022 – Gottardi & Tonni (eds).
- Collico, S., Arroyo, M., DeVincenzi, M., Rodriguez, A. & Deu, A. (2022): Probabilistic delineation of soil layers using Soil Behavior Type Index. Cone Penetration Testing 2022 – Gottardi & Tonni (eds).
- Conti, P. (2022): Geologia del Sedimentario e Principi di Geologia Stratigrafica. UniSi. Centro di GeoTecnologie. Università degli Studi di Siena.
- Damika, S.W. (1989): Statistical characterization of soil profiles using in situ tests. PHD Thesis, The University of British Columbia.
- Denilson José Ribeiro Sodré (2022): Cone penetration index for soil behaviour type prediction. Scientific reports. Faculty of Civil Engineering, Federal University of Pará, UFPA, Belém, Pará, Brazil. email: dsodre@ufpa.br
- Eslami, A., and Fellenius, B. H. (1997): Pile capacity by direct CPT and CPTu methods applied to 102 case histories. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 34, No. 6, pp. 880 - 898.
- Facciorusso, J. & Uzielli, M. (2004): Stratigraphic profiling by cluster analysis and fuzzy soil classification from mechanical cone penetration tests. Proceedings ISC-2 on Geotechnical and Geophysical Site Characterization, Viana da Fonseca & Mayne (eds.), Rotterdam.
- Facciorusso, J., Madiai, c., Vannucchi, G. (2011): Indagini in sito. Capitolo 12. Università degli studi di Firenze-Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale-Sezione geotecnica.
- Fellenius, B.H & Eslami, A. (2000): Soil profile interpreted from CPTu data. Years 2000 Geotechnics. Geotechnical Engineering Conference, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, November 27-30, 2000, 18 pp.
- Froldi, P. (2023): Le prove CPT e CPTu: stato dell'arte, generalità, normativa e interpretazione. *Ingenio Web* 4 settembre 2023. <https://www.ingenio-web.it/articoli/le-prove-cpt-e-cptu-stato-dell-arte-generalita-normativa-e-interpretazione/> ④
- Froldi, P. (2023): Le prove CPT e CPTu: interpretazione stratigrafica assistita con il SOFTWARE GEOSTRATEx. *Ingenio Web* 11 settembre 2023. <https://www.ingenio-web.it/articoli/le-prove-cpt-e-cptu-interpretazione-stratigrafica-assistita-grazie-ad-un-software/> ④
- Hammer, H.B., Nordal, S., L'Heureux, J.-S. & Skrede, H. (2022): Thin-layer detection from the cone resistance rate of change. Cone Penetration Testing 2022 – Gottardi & Tonni (eds).
- Harr, E. M. (1987): Reliability-based design in civil engineering. Department of Civil Engineering, School of Engineering, North Carolina State University.
- ISPRA (2004): Guida Italiana alla classificazione e alla terminologia stratigrafica – Altre tecniche in stratigrafia. Quaderni, Serie III, n° 9 – Codice italiano di stratigrafia.
- Lo Presti, D., Meisina, C., Squeglia, N. (2009): Applicabilità di prove penetrometriche statiche nella ricostruzione del profilo stratigrafico. *Rivista Italiana di geotecnica*. 2/2009.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2018): Decreto 17 Gennaio 2018: Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- National Highway Institute Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation Washington, D.C. (2002): Subsurface Investigations- Geotechnical Site Characterization. Reference Manual.
- Phoon, K. K. & Kulhawy, F.H. (1999): Characterization of geotechnical variability. *Canadian Geotechnical Journal*, 36/1999.
- Powell, J.J.M. & Dhimitri, L. (2022): Watch out for the use of global correlations and “black box” interpretation of CPTu data. Cone Penetration Testing 2022 – Gottardi & Tonni (eds).
- Robertson, P.K. (2010): Soil Behaviour Type from the CPT: an update. 2nd International Symposium on cone Penetration testing, Huntington Beach, CA, USA.
- Robertson, P.K. e Kabal, K.L. (2014): Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering. Gregg Drilling & Testing, Inc.
- Saftner, D. et alii (2018): Cone Penetration Test Design Guide for State Geotechnical Engineers. Minnesota Department of Transportation Research Services & Library.
- Schneider, J.A., Randolph, M.F., Mayne, P.W., Ramsey, N.R. (2008): Analysis of factors influencing Soil Classification using normalized piezocone tip resistance and pore pressure parameters. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. ASCE. Novembre 2008.
- Searle, I. W. (1979): The interpretation of Begemann friction jacket cone results to give soil types and design parameters. Proceedings of 7th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, ECSMFE, Brighton, Vol. 2, pp. 265 - 270.
- Senneker, K. Et alii (1989): Evaluation of soil parameter from Piezocone test. Transportation research Record 1235.
- Spacagna, R.L., Baris, A., Paoletta, L., Modoni, G. (2022): Data-driven soil profile characterization using statistical methods and artificial intelligence algorithms. Cone Penetration Testing 2022 – Gottardi & Tonni (eds).
- Stacul, S., Giusti, I., Lo Presti, D. (2017): CPT PaGE. USER'S MANUAL – CPT Interpretation and use. International Conference of Civil Engineering, 2017-ICCE, 12-14 October 2017, Polytechnic University of Tirana, Albania.
- Tolia, D. S. (1977): Interpretation of dynamic cone penetration test with particular reference to Terzaghi and Peck's chart. *Ground Engineering*.
- Uzielli, M. (2022): Non-deterministic interpretation and applications of CPT testing data. Cone Penetration Testing 2022 – Gottardi & Tonni (eds).
- Vos, J. D. (1982): The practical use of CPT in soil profiling. Proceedings of the Second European Symposium on Penetration Testing, ESOPT-2, Amsterdam, May 24 - 27, Vol. 2, pp. 933 - 939.

**BEYOND  
COMFORT**

# BEYOND COMFORT

**12-15 . 03 . 2024**

**43<sup>^</sup> MOSTRA CONVEGNO EXPOCOMFORT  
fieramilano**

# UTILIZZO DI SURFATTANTI

## PER LA BONIFICA DI SITI CONTAMINANTI DA IDROCARBURI CON PRESENZA DI FASE LIBERA

Ing. Claudio Sandrone, Ing. Andrea Campi - BAW s.r.l.

La Ivey-sol® Surfactant Technology è una tecnologia brevettata, che utilizza una specifica formulazione di surfattanti non ionici biodegradabili in grado di desorbire in maniera selettiva dalla matrice solida i contaminanti di interesse (adsorbiti e/o assorbiti) e rendere miscibili in fase liquida i Non-Aqueous Phase Liquids (NAPL), aumentando pertanto la disponibilità di tali contaminanti per i successivi trattamenti fisici, chimici e/o biologici. Tale tecnologia è in grado di trattare un'ampia gamma di contaminanti LNAPL (idrocarburi di origine petrolifera) così come DNAPL (es. solventi clorurati), applicando diverse formulazioni di Ivey-sol®.

La particolare composizione chimica dei surfattanti Ivey-sol® (ideati da Ivey International e distribuiti in Italia da BAW s.r.l.) permette di operare a valori ben al di sotto della concentrazione micellare critica (CMC) grazie alla formazione di micelle "parziali" che sono in grado di desorbire selettivamente il contaminante evitando di inglobarlo completamente. In questo modo il contaminante viene reso disponibile per i successivi trattamenti.

Questa particolare modalità di azione dei surfattanti Ivey-sol® comporta un minor consumo di surfattante, conseguentemente minori costi ed un ridotto impatto ambientale (già basso dal momento che il composto è biodegradabile) rispetto ai tensioattivi tradizionali.

L'applicazione dei prodotti Ivey-sol® avviene generalmente con la tecnica denominata Push-Pull®, con lo scopo di rimuovere la contaminazione assorbita sulla matrice solida, disciolta nell'acquifero e presente in frangia capillare. Il prodotto viene miscelato con acqua in proporzioni che variano in base alla contaminazione presente nel sito (il rapporto Ivey-sol® / Acqua varia in

genere da 1:50 a 1:25) e l'immissione avviene per gravità in piezometri fenestrati alle profondità in corrispondenza delle quali occorre effettuare l'intervento.

La fase di pompaggio viene avviata generalmente dopo 12-24 ore in base alle caratteristiche sito-specifiche. L'obiettivo del pompaggio è la rimozione della massima parte del tensioattivo iniettato, unitamente ai contaminanti che, grazie all'azione del tensioattivo stesso, sono stati resi più miscibili all'acqua di falda e quindi più disponibili per la rimozione.

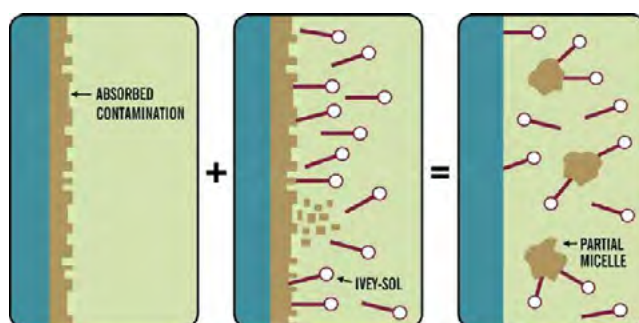


Figura 1 - Desorbimento del contaminante dal terreno da parte del tensioattivo Ivey-sol® e formazione delle micelle parziali, che rendono il contaminante più disponibile per trattamenti successivi.

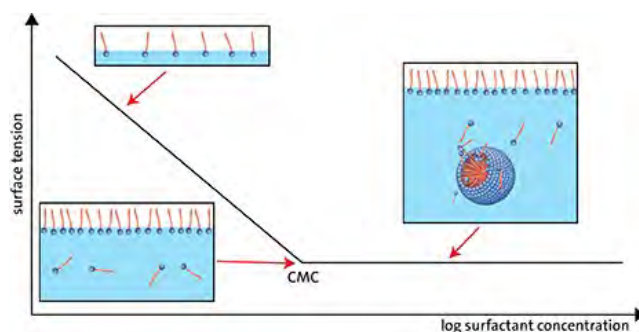


Figura 2 - Concentrazione Micellare Critica.



**KELLER**

# KELLER UNPLUGGED!

LEVEL & GROUNDWATER MONITORING

**KOLIBRI**  
DESKTOP



## KELLER ADT1-TUBE

- Remote data transmission unit with logger function
- Measured values: barometer, temperature and moisture sensor, real-time clock (RTC), battery capacity / voltage
- For installation in 2" tubes
- Robust stainless steel metal housing
- Long-life battery enables autonomous operation for up to 5 years
- Software KOLIBRI DESKTOP included
- ADT1-Box available for wall installation