

N° 1

DICEMBRE 2025 | Risorse per il territorio e la sostenibilità ambientale

GEOLOGI MARCHE

PERIODICO ORDINE DEI GEOLOGI DELLE MARCHE

LE RISORSE IDRICHE DELLA PROVINCIA DI PESARO-URBINO, MARCHE SETTENTRIONALI:

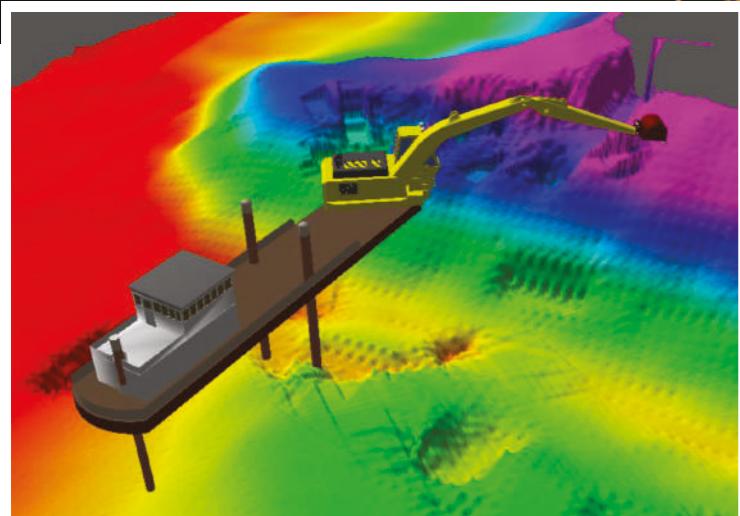
fattori naturali e antropici che ne
influenzano la qualità chimica.



ORDINE
geologi
MARCHE



Porti e coste



Strumenti ad alta tecnologia.
Anche a noleggio.

manutenzione porti

- > sistemi per il controllo del dragaggio
- > rilievo di opere sommerse ed emerse
- > ispezione strutture e calcestruzzi
- > rilievo morfologico dei fondali

monitoraggio costiero

- > rappresentazione dei fondali e delle coste
- > search & rescue

**Idrografia
Batimetria**

Seleziona
il link!



Codevintec rappresenta anche:

TELEDYNE MARINE
Everywhereyoulook

RBR

CODEVINTEC
Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare

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

Azienda certificata ISO 9001

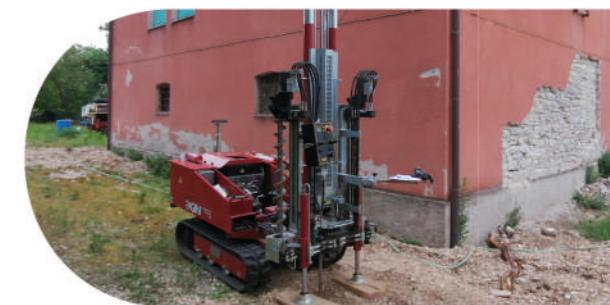


LABORATORIO AUTORIZZATO PROVE
SUI MATERIALI DA COSTRUZIONE

LABORATORIO AUTORIZZATO PROVE E CONTROLLI
SU STRUTTURE E COSTRUZIONI ESISTENTI

LABORATORIO TERRE E ROCCE

INDAGINI GEOLOGICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE



Geoin s.r.l.

Via 1° Maggio, 13/b - 62100 Macerata (MC) | tel. **0733.292819** - mob. **345.4864216**
info@geoin.eu - PEC: laboratoriogeoin.mc@pec.it

www.geoin.eu



Hai problemi di invarianza idraulica?

Noi di ECO-SISTEMI li trasformiamo in soluzioni

Siamo un'azienda marchigiana **specializzata nel trattamento e nella gestione delle acque**. Da anni progettiamo e realizziamo **sistemi innovativi** per l'infiltrazione delle acque meteoriche, studiati per garantire **efficienza, sostenibilità e piena conformità** alle normative vigenti (D.G.R. n. 53 del 27/01/2014).

Con le nostre soluzioni puoi ottenere:

- **Riduzione del rischio idrogeologico**
- **Protezione del territorio, ripristino delle falde acquifere**
- **Minori costi di manutenzione delle reti fognarie**
- **Totale conformità alle normative sull'invarianza idraulica**

Affrontiamo insieme il tema dell'invarianza idraulica con **tecnologia, esperienza e rispetto per l'ambiente**.

Eco-Sistemi
SISTEMI PER IL TRATTAMENTO E RECUPERO DELLE ACQUE

Eco Sistemi S.r.l.
Via Salaria Inferiore, 90
63100 Ascoli Piceno (AP)

0736.317974
info@eco-sistemi.net
www.eco-sistemi.net



SOMMARIO

- | | |
|--------|--|
| PAG 4 | Nota del curatore |
| PAG 6 | Editoriale
MICHELE GLIASCHERA |
| PAG 8 | Le risorse idriche della Provincia di Pesaro-Urbino (Marche settentrionali):
fattori naturali e antropici che ne influenzano la qualità chimica
MARCO TAUSSI, LORENZO CHEMERI, DAVIDE FRONZI, ALBERTO RENZULLI |
| PAG 18 | Gestione di una estesa rete di monitoraggio a controllo delle grandi frane:
l'esempio del centro regionale di monitoraggio di ARPA Lombardia
LUCA DEI CAS, NICOLA PETRELLA |
| PAG 24 | Dalle onde sismiche ai dati:
ITACA, ESM e REXELweb, le infrastrutture digitali che supportano la progettazione e la sicurezza sismica in Italia
LUZI L., BRUNELLI G. & ITACA-ESM WORKING GROUPS |
| PAG 30 | Dubbi Certi
FABIO LATTANZI |



DIRETTORE RESPONSABILE
Michele Gbiaschera
COORDINAMENTO EDITORIALE
Stefano Cardellini
CO-COORDINATORE
Fabio Lattanzi
COMITATO DI REDAZIONE
Fabio Bernardini
Morena D'Angelo
Alessandra Lenzi
Vincenzo Otera
Laura Pelonchini
Sara Prati
Fabrizio Raffaeli
UFFICIO E SEGRETERIA
Corso Garibaldi n. 28 - 60121 Ancona
Tel 071.2070930 / Fax 071.2070716
ordine@geologimarche.it
geologimarche@epap.it

GRAFICA, IMPAGINAZIONE E PUBBLICITÀ
Agicom Srl
agicom.it
STAMPA
Spadamedia Srl
Distribuzione ai Geologi iscritti all'Albo delle Marche, al Consiglio Nazionale ed ai Consigli Regionali dei Geologi, agli Ordini e Collegi Professionali delle Marche, agli Enti e Amministrazioni interessati
Gli articoli e le note firmate esprimono l'opinione personale dei loro Autori; gli articoli firmati impegnano pertanto soltanto le responsabilità degli Autori.

In copertina:
immagine fornita da Freepik
Immagini interne:
envato.com
Shutterstock.com
Freepik.com

Registrato al Tribunale di Ancona
con il n° 1564/2008 già 11/08 del 09/05/2008



Nota del curatore

Un saluto a tutti i colleghi,

questo è il primo numero della rivista che mi vede come coordinatore editoriale, in questa nuova consiliatura dell'Ordine dei Geologi delle Marche.

Sarà certamente un'esperienza ricca, parte di un gruppo di colleghi che si sono messi tutti al servizio in maniera propulsiva e con l'ambizione di arricchire gli approfondimenti sul territorio marchigiano e non solo.

Il confronto redazionale potrà, come è giusto che sia, avere momenti critici e qualche iniziativa editoriale potrà non avere il successo sperato, malacertezza che, oltre le questioni talvolta fatte di intreccio tra burocrazia e politica, si possa e si debba dare un contributo interessante, stimolante per i lettori, ci porta con entusiasmo ad avviare questo nuovo capitolo. Già da questo numero abbiamo cercato di andare nella direzione ipotizzata.

Troverete diversi approfondimenti.

Presentiamo un **primo articolo** legato al nostro territorio, uno studio dell'Università Di Urbino sulla disponibilità futura di risorse idriche, sulla loro tutela e gestione, come principali sfide nel contesto del cambiamento globale e della crisi climatica: 'Le risorse idriche della Provincia di Pesaro-Urbino (Marche settentrionali): fattori naturali e antropici che ne influenzano la qualità chimica'.

Per il **secondo articolo** abbiamo coinvolto ARPA Lombardia, come riflessione sul rischio frane e su come le opere strutturali possano rappresentare la maggior parte degli interventi per la riduzione del rischio.

Troverete poi un **terzo contributo** su un tema 'caldo' al nostro territorio: le infrastrutture digitali che supportano la progettazione e la sicurezza sismica in Italia.

Non potevamo rinunciare alla **rubrica** di Fabio Lattanzi ci porta sempre verso pensieri e mondi alternativi...

Colgo l'occasione per invitare i colleghi geologi, lettori, a mettersi a disposizione per collaborare alla redazione della Rivista condividendo una loro esperienza lavorativa peculiare, uno studio o una riflessione su un aspetto particolare della nostra professione (sismica, geotecnica, idrogeologia, geomorfologia, geo-archeologia, ecc) oppure partecipare con la propria passione (geo-excursionismo, arte varia, ecc....) o proposta!

Per l'invio delle proposte di articoli si prega di far riferimento ai seguenti recapiti:

ordine@geologimarche.it

Una buona lettura a tutti!

PROVE PENETROMETRICHE CPTU, DPSH, DM30

INDAGINI GEOFISICHE MASW, HVSR, GEORADAR, DOWN-HOLE Geolettrica 2D/3D, Tomografia sismica in onde P e S

PRELIEVO CAMPIONI Ambientali, DS-44, Shelby, saggi in fondazione

SONDAGGI GEOGNOSTICI

AB GEO snc di Alessandrini Andrea e Bassano Francesco
Via Dante Alighieri 1 | 62029 Tolentino (MC) | studiogeologico.abgeo@gmail.com
Alessandrini Andrea +39 335 81 64 581 | Bassano Francesco +39 380 25 11 024

4



Editoriale

a cura di **MICHELE GLIASCHERA**

Presidente Ordine dei Geologi delle Marche

Come presidente dell'Ordine dei Geologi delle Marche ho l'onore di guidare un gruppo di professionisti straordinari nel nuovo Consiglio Regionale 2025-2029. Insieme abbiamo costruito un programma che guarda al futuro con responsabilità, competenza e spirito di squadra. La nostra visione è chiara: rafforzare il ruolo del geologo nella società, promuovere lo sviluppo della professione e consolidare il dialogo con le istituzioni e le altre categorie tecniche.

Il nostro gruppo è composto da colleghi e colleghi che rappresentano bene il territorio marchigiano. Sara Prati, Vincenzo Otera, Alessandra Lenzi, Laura Pelonchini, Stefano Cardellini, Fabio Bernardini, Morena D'Angelo e Fabrizio Raffaeli: ognuno di loro porta con sé esperienze profonde e diversificate, sia in ambito tecnico sia nelle dinamiche relazionali con i colleghi.

Abbiamo costruito un'agenda che si articola in sei aree strategiche. La prima riguarda lo sviluppo professionale.

Vogliamo valorizzare il ruolo del geologo in settori chiave come: gli appalti pubblici e BIM. Dal 2025, il D.Lgs. 36/2023 impone l'uso del Building Information Modeling per gare sopra i 2 milioni di euro. Formare i geologi alla ricostruzione tridimensionale sarà una priorità.

Inoltre vogliamo esplorare nuove frontiere: sicurezza nei cantieri, microclima, amianto, Piano Ra-

don, energie rinnovabili, archeologia preventiva, cambiamento climatico e PRACC.

Tra le nostre priorità anche la formazione continua che sarà capillare attraverso corsi su software come HEC-RAS, HEC-HMS, GIS, modellazione idrologica e idraulica; focus sulla Protezione Civile, dove il geologo è figura centrale nei Piani di emergenza e aggiornamenti normativi e ambientali.

Nel nostro mirino anche la divulgazione scientifica. Riprenderemo quindi il progetto "La Terra vista da un professionista", portando le geoscienze nelle scuole con linguaggio semplice ma rigoroso.

Non mancherà la sinergia istituzionale, perché crediamo nella forza del dialogo.

Un rapporto che si potrà sviluppare rafforzando la Rete delle Professioni Tecniche per dare più peso alla nostra voce. È per questo che proporremo un Tavolo Tecnico Permanente con la Regione Marche e collaboreremo con il CNG e la Protezione Civile Nazionale per formare geologi qualificati per le emergenze.

Altro obiettivo è la ricostruzione post-sismica, continueremo a seguire da vicino i tavoli della ricostruzione, in continuità con il lavoro dei precedenti consigli. Infine, vogliamo dare attenzione al geoturismo e rapporti istituzionali. Dunque promuoveremo il geologo come guida ambientale, valorizzando il patrimonio geologico marchigiano attraverso collaborazioni con parchi e geoparchi. Realizzeremo

incontri periodici con CNG ed EPAP per condividere strategie e iniziative comuni.

Tutti noi marchigiani, possiamo essere orgogliosi di poter dire che le Marche sono ben rappresentate nel nuovo Consiglio Nazionale dei Geologi, presieduto da Roberto Troncarelli, con la presenza di Daniele Mercuri e Paola Pino D'Astore. Queste nomine testimoniano che il nostro Ordine regionale è una fucina di idee e di capacità tecniche.

Anche in EPAP, l'Ente Pluricategoriale di Previdenza e Assistenza, le Marche sono protagoniste con la nomina di Walter Borghi, che si occuperà della Cassa di previdenza sotto la guida del presidente Carlo Cassaniti.

Queste sinergie sono fondamentali. L'unità di intenti con EPAP e CNG ci permette di lavorare in modo coordinato, con programmi e valori condivisi. Le basi per un cammino comune ci sono tutte, e guardiamo al 2029 con la consapevolezza della responsabilità, della collegialità e della condivisione. Ritengo importante che tutta la categoria debba guardare con un occhio di riguardo ai giovani. Ai giovani geologi che si affacciano ora alla professione. Dobbiamo creare occasioni di crescita, formazione e confronto. Penso fermamente che dovremo creare percorsi di avviamento professionale, con strumenti concreti, corsi mirati, accesso facilitato alle risorse e opportunità di collaborazione con enti e imprese.

In circa dieci anni siamo scesi di circa 60 unità, abbiamo bisogno di nuove leve piene di energia, di

idee e di una nuova visione. La geologia ha bisogno di nuove voci, capaci di interpretare il cambiamento e di guidare la transizione verso un futuro sostenibile. Invito i giovani a partecipare attivamente alla vita dell'Ordine, a portare il loro contributo, a costruire insieme il futuro della categoria.

L'impegno del Consiglio sarà duplice: consolidare i risultati già ottenuti e innalzare l'asticella verso obiettivi più ambiziosi. Il rapporto con gli Ordini Regionali sarà essenziale, perché rappresentano il ponte con la base, in uno scambio vivo e ricco.

Solo unendo le forze, rafforzando il dialogo con le istituzioni e investendo nella formazione dei giovani, potremo costruire un futuro solido per la nostra professione. I temi della tutela ambientale, della prevenzione dei rischi, della transizione energetica e della pianificazione sostenibile saranno le nostre linee guida.

Tutto il Consiglio è pronto a mettersi al servizio dei colleghi e della società. Ma abbiamo bisogno del sostegno di tutti. La forza del gruppo sarà la coesione. Insieme possiamo costruire il futuro della nostra categoria.





LE RISORSE IDRICHE DELLA PROVINCIA DI PESARO-URBINO (Marche settentrionali): fattori naturali e antropici che ne influenzano la qualità chimica

a cura di: MARCO TAUSSI^a, LORENZO CHEMERI^a, DAVIDE FRONZI^b, ALBERTO RENZULLI^a

^aDipartimento di Scienze Pure e Applicate, Università degli Studi di Urbino Carlo Bo, Via Ca' Le Suore 2/4, 61029, Urbino Italia

^bDipartimento di Scienze e Ingegneria della Materia, dell'Ambiente e dell'Urbanistica, Università Politecnica delle Marche, Via Brecce Bianche 12, 60131, Ancona, Italia

1. INTRODUZIONE

Le risorse idriche e, in particolare, la loro tutela rappresentano oggi una delle principali sfide nel contesto del cambiamento globale e della crisi climatica. L'acqua non è soltanto un bene primario per la vita umana e per gli ecosistemi, ma anche un elemento strategico per la sicurezza alimentare, la produzione energetica e lo sviluppo economico del territorio. Tuttavia, il riscaldamento globale, l'aumento della variabilità climatica e la crescente pressione antropica stanno alterando la disponibilità e la qualità della risorsa idrica, amplificando fenomeni di siccità, alluvioni e inquinamento. In questo scenario, la preservazione delle risorse idriche diventa un aspetto cruciale e garantirne un uso sostenibile significa bilanciare i bisogni umani con la tutela degli ecosistemi, promuovere pratiche agricole e industriali meno impattanti, e rafforzare le strategie di adattamento e gestione integrata dei bacini idrografici.

Nel territorio provinciale di Pesaro-Urbino (PU), la maggior parte del fabbisogno idrico locale è sostenuto dai fiumi e dagli acquiferi carbonatici della dorsale appenninica. Tuttavia, negli ultimi anni varie criticità sono state osservate,

legate prevalentemente ad una graduale diminuzione del deflusso, impoverimento della qualità, all'aumento dei costi di trattamento e all'elevata domanda durante i periodi estivi a causa di siccità e turismo (Farina e Cavitolo, 2016). Nello specifico, l'approvvigionamento idrico si basa principalmente su tre fonti: la risorsa ospitata nella dorsale carbonatica del Catria-Nerone, gli acquiferi alluvionali e le acque del fiume Metauro. Ognuna di queste fonti, pur rappresentando un pilastro fondamentale per la disponibilità idrica locale, presenta alcune criticità e possibili rischi. In dettaglio, le acque sotterranee della dorsale del

Catria-Nerone si distinguono per la loro buona qualità complessiva e gli elevati volumi; tuttavia, esse risultano estremamente dipendenti dal regime delle precipitazioni e, in taluni casi, possono presentare elevati contenuti in sulfati, dovuti alla risalita di acque profonde che hanno interagito con le anidriti di Burano, che possono limitarne il loro utilizzo (Capaccioni et al., 2001; Chemeri et al., 2024). Gli acquiferi alluvionali, sebbene offrano disponibilità idrica significativa, risultano frequentemente esposti a vari tipi di contaminazione, tra cui spicca quella da nitrati riconducibili principalmente alle pratiche agricole intensive (Nanni, 1985; Nisi et al., 2022; Taussi et al., 2022, 2024; Farina e De Angelis, 2024). Infine, le acque del fiume Metauro, pur mantenendo generalmente una buona qualità, sono fortemente influenzate dalle variazioni stagionali e soggette a potenziali pressioni antropiche, in quanto il corso fluviale attraversa aree densamente abitate e caratterizzate dalla presenza di attività industriali, come nel territorio di Fano (Nisi et al., 2022; Taussi et al., 2024).

Dunque, in questo contesto, una conoscenza approfondita delle caratteristiche geochimiche, idrogeologiche e delle vulnerabilità di ciascuna fonte idrica risulta imprescindibile per supportare strategie di pianificazione e gestione integrata della risorsa. L'analisi combinata di disponibilità, qualità e pressioni antropiche consente infatti di migliorare l'equilibrio tra i diversi usi, ridurre i rischi di sovrasfruttamento o contaminazione e promuovere un modello di monitoraggio e gestione idrica orientato alla sostenibilità e alla resilienza nel lungo periodo.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

La provincia di Pesaro-Urbino si colloca nel settore settentrionale della Regione Marche, ed è caratterizzata da una complessa struttura geologica che riflette l'evoluzione tettonica e sedimentaria dell'Appennino Umbro-Marchigiano (e.g., Di Bucci et al., 2003; Conti et al., 2020). Il territorio è costituito principalmente da successioni Meso-Cenozoiche, deformate durante le fasi complessive appenniniche, e presenta una netta distinzione tra la dorsale carbonatica e le aree di pianura e fondo valle fluviale (Fig. 1).

L'assetto geologico è dominato dalla successione Umbro-Marchigiana, che si sviluppa dal Triassico al Miocene. La successione inizia con depositi triassici rappresentati dalla formazione evaporitica delle Anidriti di Burano del Trias superiore, seguite da calcari dolomitici e dolomie. A questi si sovrappongono i calcari giurassici, che comprendono il Calcare Massiccio e le formazioni calcareo-marnose del Giurassico medio-superiore, spesso con lo sviluppo di rilevanti processi carsici e fratturativi. Successivamente, durante il Cretaceo, la sedimentazione evolve verso fa-

cies pelagiche, rappresentate da calcari marnosi e marne, spesso ricchi in selce, che testimoniano condizioni di deposizione in bacini profondi. L'Oligocene e il Miocene inferiore sono invece caratterizzati da depositi torbiditici e marne, con progressiva transizione a facies più clastiche e terrigene. Nel Miocene medio-superiore si sviluppano le potenti successioni di flysch e le argille marnose, che segnano l'avanzamento del cuneo appenninico e l'instaurarsi di bacini di avanfossa. Le deformazioni tettoniche legate all'orogenesi appenninica hanno pertanto determinato un assetto strutturale complesso, con pieghe e sovrascorimenti che interessano l'intera successione. La zona della dorsale Catria-Nerone rappresenta uno degli elementi morfostrutturali principali, dove le sequenze carbonatiche mesozoiche affiorano estesamente, mentre verso le aree vallive e costiere prevalgono depositi più recenti di età pliocenico-quaternaria, spesso in facies continentale e alluvionale (Conti et al., 2020 e referenze incluse).

Fig.1

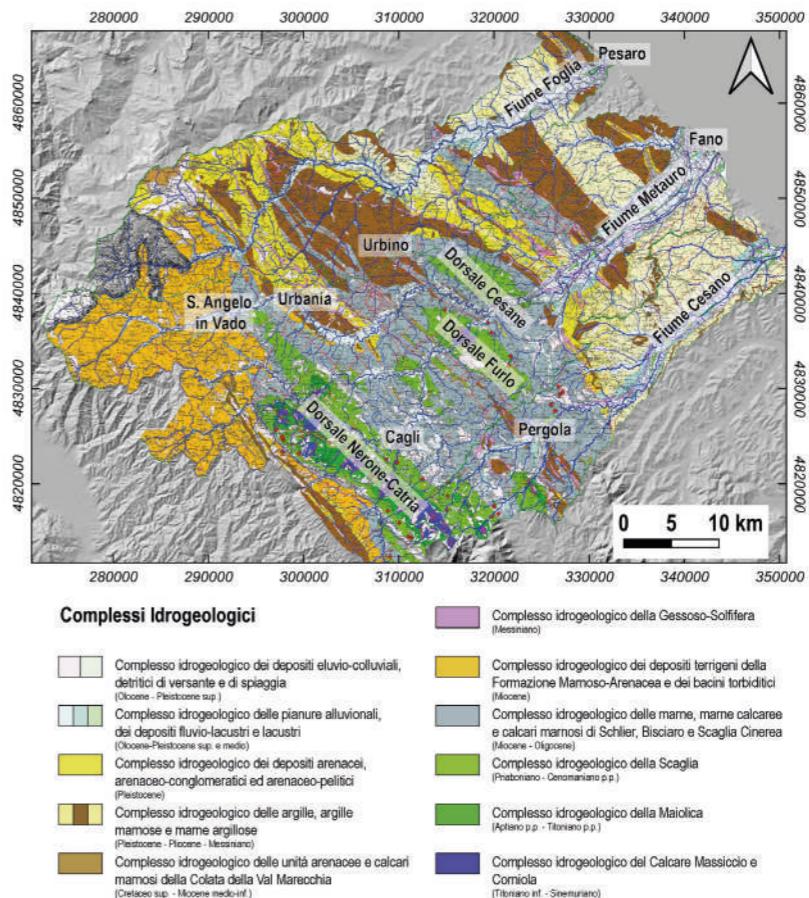


Fig. 1. Carta dei complessi idrogeologici della porzione settentrionale della Regione Marche. Modificata dal Piano di Tutela Acque della Regione Marche (2002).

Le caratteristiche idrogeologiche della Provincia di Pesaro-Urbino dipendono da fattori stratigrafici e tettonici: le sorgenti si localizzano presso contatti litologici e lineamenti strutturali (Mastrorillo e Petitta, 2014; Mammoliti et al., 2023). L'Acquifero Basale (Fig. 2), sovrastante all'aquiclude Triassico delle Anidriti di Burano, è ospitato nelle formazioni carbonatiche del Calcare Massiccio, della Corniola, e del Gruppo del Bugarone, altamente permeabili per carsificazione (Banzato et al., 2013; Fronzi et al., 2025). Sono presenti anche l'Acquifero della Maiolica e quello della Scaglia Calcarea (Valigi et al., 2020; Fronzi et al., 2022; D'Antonio et al., 2024), separati da complessi aquicli (Fig. 2). Sopra di essi, le successioni miocene e plio-pleistoceniche possono ospitare acquiferi locali (Nanni e Vivalda, 2005; Mammoliti et al., 2023), mentre i depositi quaternari di fondovalle ospitano acquiferi alluvionali generalmente in condizioni freatiche, lungo le direttrici dei corsi d'acqua

principal (Taussi et al., 2024; Farina e De Angelis, 2024) (Fig. 2). Faglie e pieghe condizionano la circolazione idrica (Nanni e Vivalda, 2005; Fronzi et al., 2021; Cambi et al., 2022; Mammoliti et al., 2022). La ricarica avviene principalmente per precipitazioni, con contributi nivali nelle aree montane (Tamburini e Menichetti, 2020; Fronzi et al., 2020). Le sorgenti carbonatiche, che erogano fino a decine di l/s, garantiscono deflussi significativi grazie all'estensione e alla fratturazione degli acquiferi (Capaccioni et al., 2001), mentre quelle dei sistemi locali hanno portate ridotte e talvolta regime stagionale. I sistemi carbonatici mostrano tempi di residenza lunghi, ma in presenza di carsismo sviluppato anche flussi rapidi, rendendo così i sistemi altamente vulnerabili (Bisiccia et al., 2012; Aquilanti et al., 2016). L'eterogeneità dal punto di vista idrogeologico, unitamente al crescente impatto del cambiamento climatico richiedono pertanto, per l'areale della Provincia di Pesaro-Urbino,

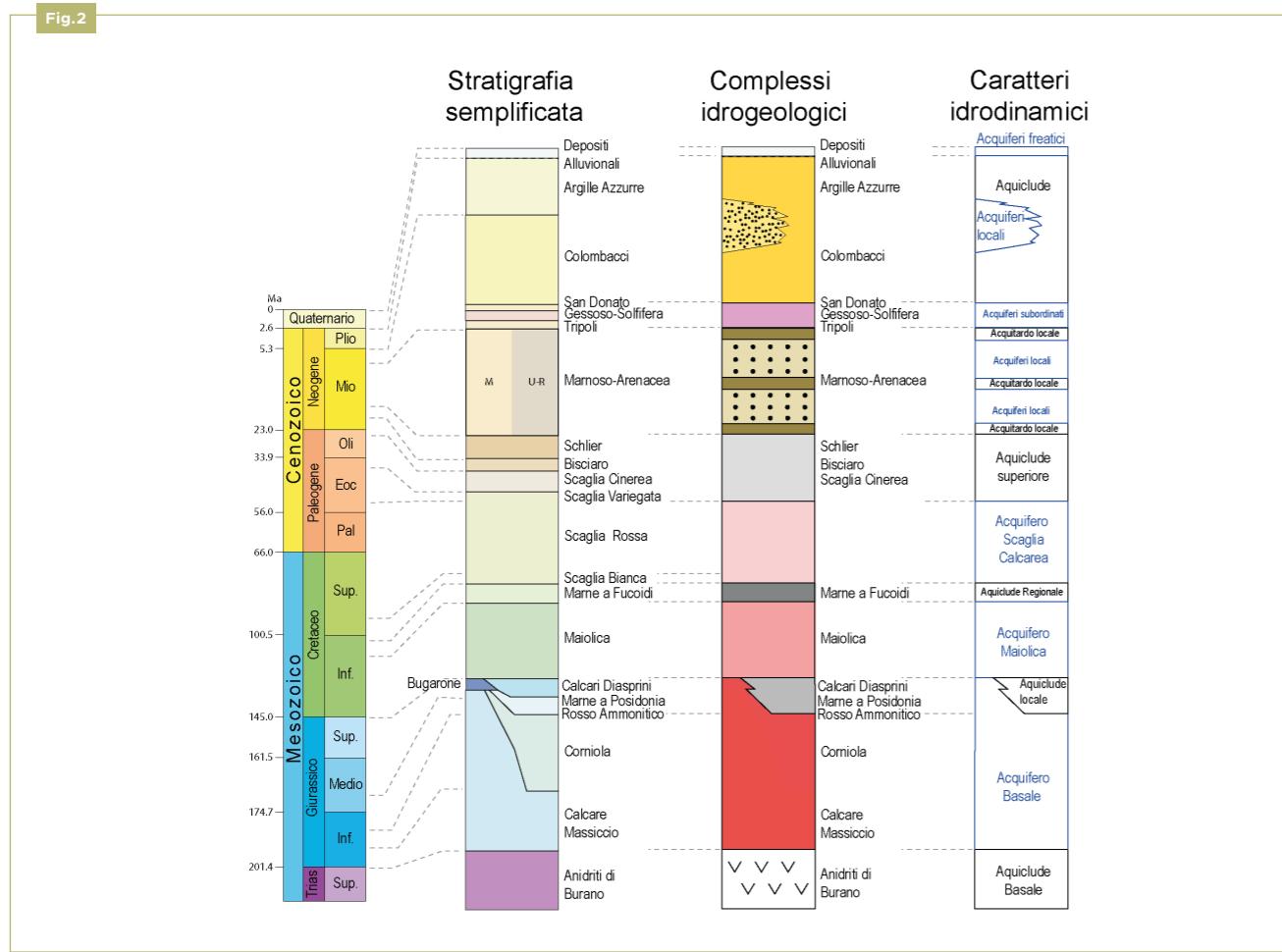


Fig. 2. Relazioni semplificate tra stratigrafia, complessi idrogeologici e relative caratteristiche idrodinamiche (modificato da Chemeri et al., 2025)

studi e approfondimenti scientifici che siano a supporto della migliore gestione delle risorse idriche. Le zone montane e collinari del territorio provinciale di Pesaro-Urbino sono dominate da aree boschive, con un'ampia copertura forestale (Fig. 3) che ha registrato un significativo aumento negli ultimi anni (Farina e Cavitolo, 2016; Murgia et al., 2024). Queste zone sono inoltre caratterizzate da una bassa densità abitativa, con un'economia locale basata prevalentemente su attività artigianali.

Spostandosi verso Est e prevalentemente nelle zone costiere si registra un significativo aumento della densità di popolazione e, di conseguenza, anche la percentuale di suolo destinato ad attività antropiche rappresentate in prevalenza da agricoltura, attività vivaistica e industrie (Fig. 3). I principali centri urbani del territorio sono rappresentati dalle città costiere di Fano (circa 60.000 abitanti) e Pesaro (circa 96.000) (ISTAT, 2023) e dalla città di Urbino che conta circa 14.000 abitanti, ma oltre 200.000 visitatori annui.

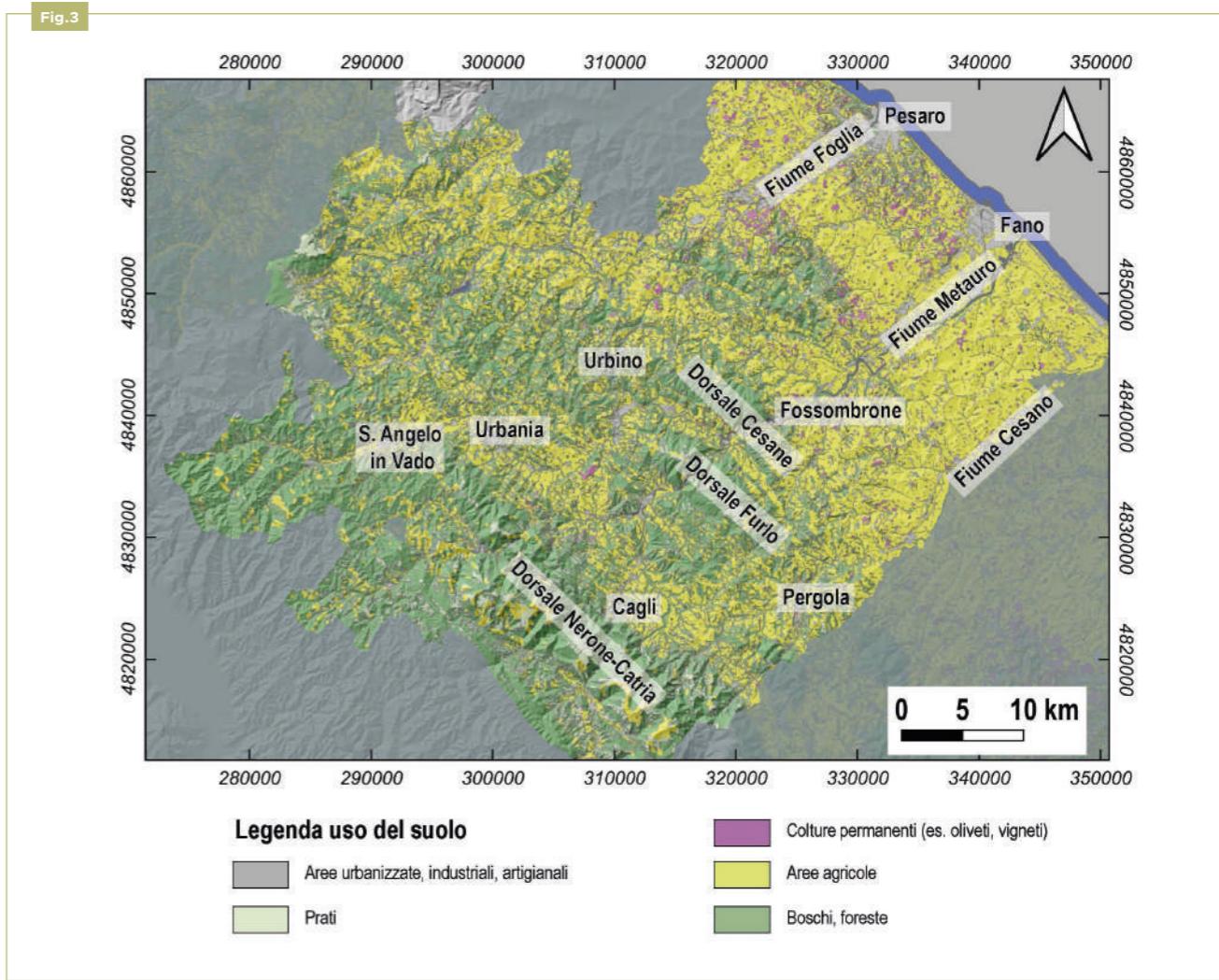


Fig. 3. Carta dell'uso del suolo della Provincia di Pesaro-Urbino. Modificata da Regione Marche (2007).

Il quadro idrologico della provincia di Pesaro-Urbino è stato rivisitato da Farina e Cavitolo (2016) tramite l'analisi di 26 stazioni pluviometriche (1980-2010), evidenziando precipitazioni medie annue tra 1500 mm/anno sull'Appennino e 700 mm/anno lungo la costa, con massimi in autunno-inverno e in primavera, ed estati secche. Dal punto di vista climatico, il territorio presenta una varietà di microclimi in funzione dell'altitudine e della vicinanza al mare: le temperature medie annue sono di circa 15 °C lungo la costa e 11 °C nelle aree interne, con valori mensili di 3-4 °C in inverno e 20-25 °C in estate (Farina e Cavitolo, 2016). Negli ultimi anni si è registrata una riduzione significativa delle piogge, con un calo del deflusso superficiale intorno al 12%, in particolare nei bacini a bassa permeabilità, a causa sia dei cambiamenti climatici sia del rimboschimento delle aree montane che ha aumentato intercettazione, evapotraspirazione e ritenzione

idrica del suolo. Tuttavia, tali criticità risultano mitigate dai consistenti volumi d'acqua immagazzinati negli acquiferi carbonatici del Calcare Massiccio e della Maiolica, con deflussi naturali dell'ordine di $50 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$ (Nanni e Vivalda, 2005; Farina e Severini, 2013), come confermato dalla stabilità del flusso di base del fiume Candigliano e dai volumi erogati da idrostrutture minori come la Dorsale del Furlo (Fatone et al., 2025). Va sottolineato ad ogni modo che gli studi scientifici specifici su queste aree risultano ancora limitati; la bibliografia disponibile riguarda soprattutto i caratteri idrogeologici a scala regionale, con approfondimenti spesso concentrati nelle porzioni meridionali della dorsale Umbro-Marchigiana, mentre le conoscenze dirette sul settore settentrionale, e in particolare sulla provincia di Pesaro-Urbino, rimangono parziali e frammentarie.

3. RISULTATI E CLASSIFICAZIONE GEOCHIMICA DELLE ACQUE PROVINCIALI

Per questo studio, sono stati presi in esame 318 campioni raccolti da fiumi, sorgenti e pozzi da vari lavori già pubblicati (Caldarella, 2017; Chemeri et al., 2024, 2025; Taussi et al., 2024; Molari, 2025). Le acque sono state classificate mediante il diagramma quadrato di Langelier-Ludwig sulla base della composizione ionica dominante e si suddividono nei seguenti gruppi (Fig. 4): (a) acque a composizione bicarbonato-calcica ($\text{Ca}-\text{HCO}_3$), che includono la maggior parte dei campioni analizzati; (b) acque bicarbonato-calcio-

che, ma con importanti arricchimenti in solfato ($\text{Ca}-\text{HCO}_3-\text{SO}_4$) fino a oltre 200 mg/L; (c) acque a composizione solfato-calcica ($\text{Ca}-\text{SO}_4$), che presentano anche i più elevati valori di salinità (TDS, *Total Dissolved Solids*); (d) acque carbonato-sodiche ($\text{Na}-\text{HCO}_3$), caratterizzate inoltre dai più alti valori di pH misurati (superiori a 8.8); (e) acque con un leggero carattere clorurato-sodico ($\text{Na}-\text{Cl}$) e/o composizione mista, che si collocano al centro del diagramma quadrato.

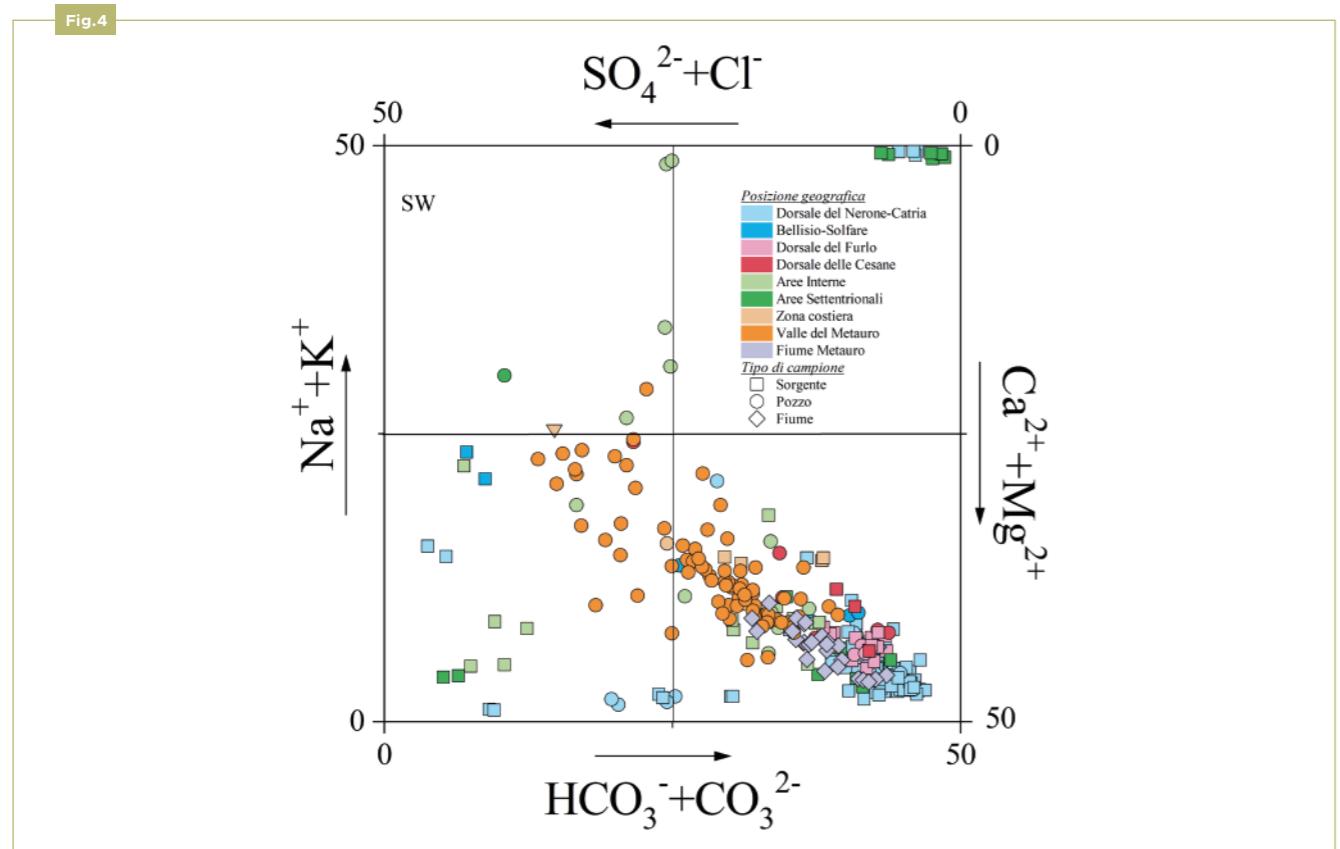


Fig. 4. Composizione chimica delle acque analizzate per la Provincia di Pesaro-Urbino, classificate tramite il diagramma quadrato di Langelier e Ludwig (1942).

4. DISCUSSIONE

Le acque circolanti nella provincia di Pesaro-Urbino presentano un'ampia variabilità compositiva (Fig. 4) che riflettono processi e dinamiche di alimentazione da diversi sistemi idrologici che coinvolgono formazioni rocciose distinte (Fig. 1 e 2), ai quali si possono sommare i possibili impatti derivanti dall'attività antropica, come l'agricoltura e l'industria, che sono in grado di modificare ulteriormente la composizione chimica delle acque. Nello specifico, le acque bicarbonato-calciche ($\text{Ca}-\text{HCO}_3$), caratterizzate generalmente da valori di TDS medio-bassi (<800 mg/L), sono riconducibili a processi di dissoluzione congruente di litologie carbonatiche, principalmente calcaree e in modo minore dolomitiche, che sono ampiamente diffuse nell'area di studio (Fig. 1) e che presentano una maggiore

solubilità. Tuttavia, è presente anche un contributo minore legato all'interazione con rocce silicate che giustifica i leggeri eccessi di sodio rispetto al contenuto in cloro (Fig. 4). Dalla zona interna verso la piana alluvionale del Metauro e la zona costiera, si osserva un aumento dei valori di TDS e più elevate concentrazioni di sodio, cloro, potassio e, soprattutto, in nitrato (Fig. 5). Il nitrato rappresenta un inquinante a livello globale ed è rigidamente normato (limite di legge 50 mg/L) in quanto il consumo di acqua con elevate concentrazioni in NO_3 può causare danni alla salute umana e agli ecosistemi. La presenza di NO_3 in soluzione è generalmente legata alle pratiche agricole e all'impatto degli scarichi domestici ed industriali. In Figura 5 viene riportato il valore della salinità (TDS) rispetto al rapporto molare

tra specie carbonatiche, prese come composti di riferimento di natura geogenica (es., interazione acqua-roccia carbonatiche), e specie carbonatiche più nitrato. La diminuzione di tale rapporto può essere ricondotta a un incremento del contributo antropico (NO_3), testimoniando un maggior grado di contaminazione. In questo contesto, i pozzi ubicati nella bassa valle del Fiume Metauro sono quelli che mostrano le più elevate concentrazioni in nitrato (Fig. 5), fino ad oltre 400 mg/L, riflettendo così una contaminazione persistente e di lunga durata riconducibile all'attività vivaiistica e agricola molto diffusa in quest'area del territorio provinciale (Fig. 3; Taussi et al., 2024). Tale contaminazione da nitrato è evidente soprattutto nel tratto terminale della vallata dove la destinazione d'uso del suolo, muovendosi dalla zona delle Cesane verso costa, diventa marcatamente adibita ad attività agricole (Fig. 3). Analoghe situazioni di elevati contenuti in nitrato, si riscontrano anche nelle vallate alluvionali del Foglia (Caldarella, 2017) e del Cesano (Martarelli, 2020), caratterizzate da acquiferi freatici fortemente vulnerabili alla contaminazione antropica. Studi recenti condotti sull'acquifero della bassa valle del Metauro, hanno tuttavia mostrato come negli ultimi anni le pratiche di ricarica artificiale (MAR, *Managed Aquifer Recharge*) della falda tramite iniezione di acqua fluviale, e la limitazione degli input di azoto nei suoli (D.Lgs. 152/99) abbiano portato ad una graduale riduzione nel contenuto

in nitrati nei pozzi monitorati (Taussi et al., 2022), evidenziando quindi un miglioramento nello stato qualitativo di queste acque soggette ad elevato impatto antropico, e definendo una possibile strategia migliorativa di queste risorse vulnerabili, ma quantitativamente molto consistenti (Nanni, 1985). Anche le acque del Fiume Metauro sono caratterizzate da una composizione bicarbonato-calcica, come atteso per un fiume che drena un bacino idrologico prevalentemente caratterizzato da litologie carbonatiche. In questo caso, le acque presentano generalmente un'ottima qualità chimica, con bassi contenuti in nitrati, solfati e cloruri (Molari, 2025). L'analisi dei campioni prelevati lungo tutta l'asta fluviale testimonia infatti come i nitrati si attestino quasi sempre a valori inferiori a 6 mg/L, con una tendenza di crescita nel tratto a valle di Fossombrone (Fig. 6), dove le attività agricole e le aree urbane risultano più impattanti e persistenti (Fig. 3). Tuttavia, le concentrazioni rimangono ampiamente al di sotto dei limiti di legge, garantendo la sicurezza dell'approvvigionamento idrico per gli usi previsti. È interessante notare come il fiume Candigliano, che drena un bacino litologicamente a predominanza carbonatica e con una antropizzazione limitata, gioca un ruolo importante nel contesto qualitativo delle acque superficiali, immettendo infatti nel Metauro acque a basso contenuto di NO_3 (Fig. 6).

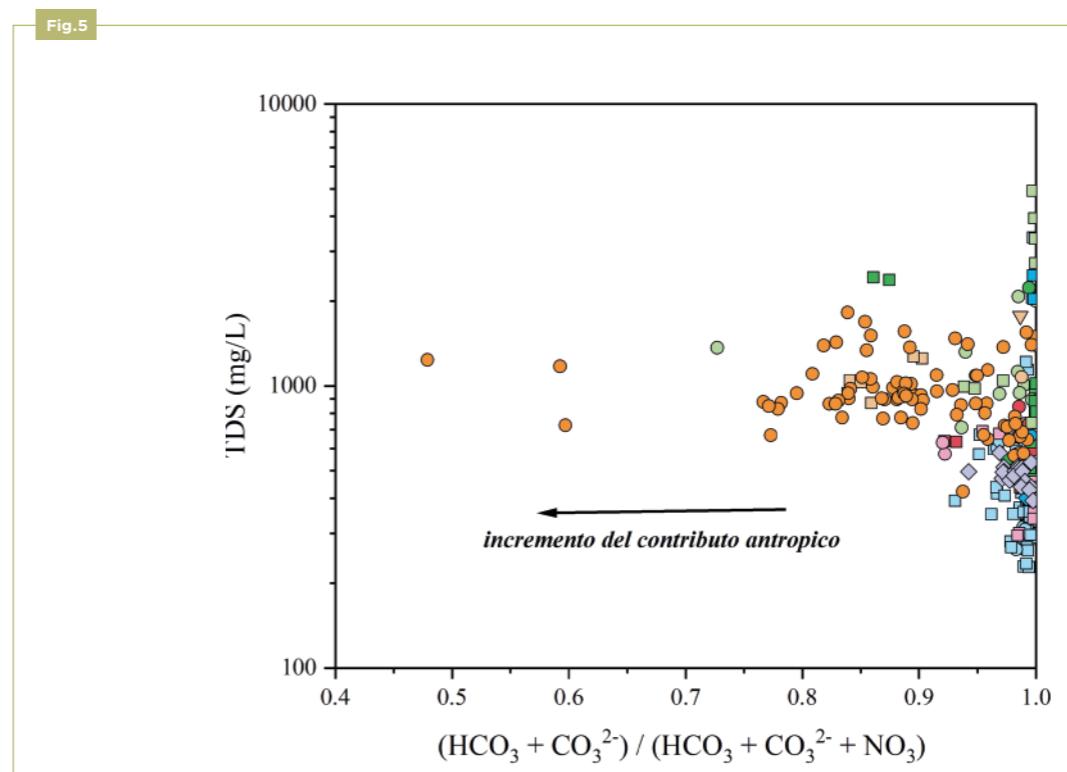


Fig. 5. Composizione chimica delle acque analizzate per la Provincia di Pesaro-Urbino, classificate tramite il diagramma quadrato di Langelier e Ludwig (1942).

Fig.6

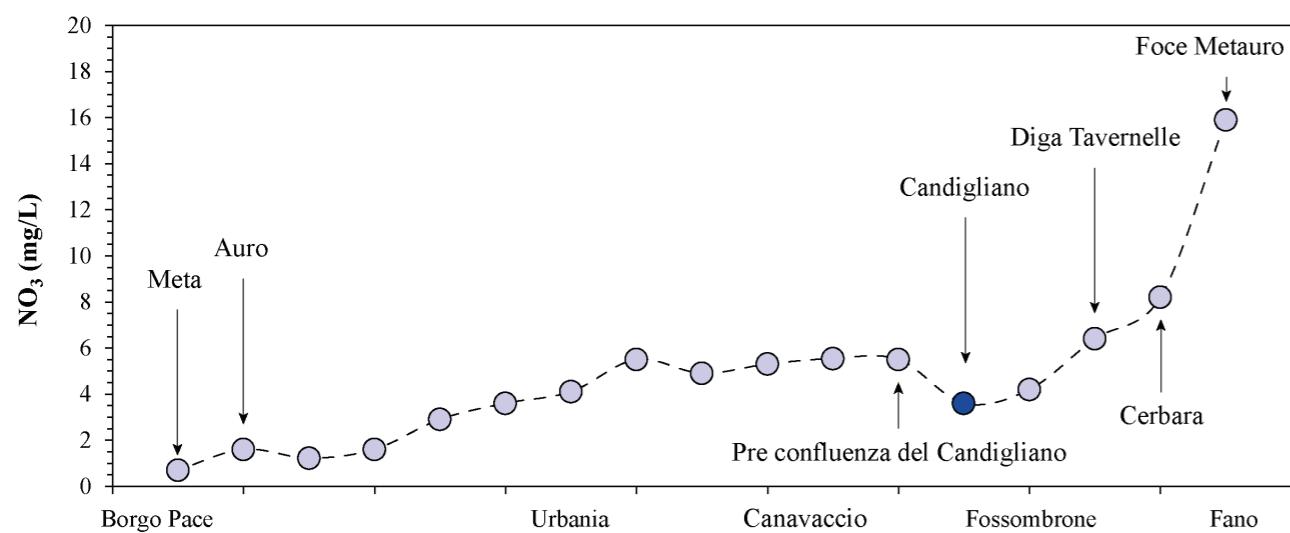


Fig. 6. Andamento delle concentrazioni di nitrato misurate lungo lo sviluppo del fiume Metauro nel dicembre 2024.

Le acque a composizione bicarbonato-solfato-calcica sono localizzate nella dorsale del Catria-Nerone e nella valle del Burano e presentano arricchimenti variabili in SO₄ che talvolta superano anche le concentrazioni delle specie carbonatiche. La loro genesi è riconducibile all'interazione più o meno spinta con la formazione delle Anidriti di Burano, costituita da gessi e anidriti. Anche se non affiorante nell'area di studio, la presenza di questa formazione alla base della successione umbro-marchigiana è diffusa e ben documentata nel sottosuolo (VIDEPI, 2009). Infatti, il tetto della formazione delle Anidriti di Burano si ritrova a circa 600 m e 1500 m di profondità rispettivamente nella gola del torrente Burano e in prossimità di Fossombrone, così come individuato dalle perforazioni per la ricerca di idrocarburi nei pozzi Burano e Fossombrone 001 (VIDEPI, 2009). Queste evidenze indicano quindi che le acque Ca-HCO₃-SO₄, la cui risalita in superficie è probabilmente favorita dalla presenza di faglie (Capaccioni et al., 2001; Chemeri et al., 2024), sono soggette a percorsi di circolazione lunghi e in grado di raggiungere (e interagire) con la formazione delle Anidriti di Burano in profondità, come suggerito da recenti indagini isotopiche (Chemeri et al., 2025). Nonostante le acque contenute nella dorsale Catria-Nerone presentino generalmente ottime caratteristiche chimiche e una disponibilità quantitativa significativa (Tamburini, 2016), la presenza di acque arricchite in sulfato può costituire un potenziale punto di attenzione in caso di sovrasfruttamento o pompaggio eccessivo e prolungato della risorsa. In tali condizioni, infatti, è possibile che il richiamo di acque profonde post-interazione con la formazione delle Anidriti di Burano possa portare all'aumento dei contenuti in sulfato e causare il possibile deterioramento della qualità complessiva della risorsa idrica. Questo evidenzia l'importanza di condurre studi mirati e specifici per ottemperare ad una gestione prudente e sostenibile degli acquiferi carbonati-

ci, e per evitare, da ultimo, impatti negativi derivanti dall'eventuale emungimento eccessivo. Infine, le acque sulfato-calciche (Ca-SO₄), bicarbonato-sodiche (Na-HCO₃) e quelle con un leggero carattere cloruro-sodico (Na-Cl) rappresentano generalmente dei casi meno frequenti a livello provinciale e la loro presenza è riconducibile a condizioni idrogeologiche e strutturali locali e peculiari (Nanni e Vivalda, 1999; Farina et al., 2012; Chemeri et al., 2024). Le acque Ca-SO₄ si formano in seguito a processi di interazione con rocce evaporitiche che possono essere rappresentate dalla Formazione delle Anidriti di Burano o dalla Formazione della Gessoso Solifera, a seconda della posizione geografica e litologia predominante (Chemeri et al., 2025). In particolare, le acque sulfato-calciche che emergono nella zona del Catria-Nerone sono soggette a circuiti idrologici paragonabili a quelli delle acque Ca-HCO₃-SO₄, ma l'interazione con la formazione delle Anidriti di Burano risulta più intensa e duratura (Capaccioni et al., 2001; Chemeri et al., 2024). Le acque bicarbonato-sodiche (Na-HCO₃) sono invece il risultato di interazione prolungata tra acque di origine meteorica e rocce silicate ricche in sodio (contenenti albite), in quanto l'alterazione dei silicati determina una relazione di idrolisi alcalina che permette il rilascio in soluzione di sodio (da cui ne deriva l'arricchimento) e ioni OH- (giustificandone l'elevato pH) (Chemeri et al., 2024). Infine, le acque a carattere Na-Cl sono da considerarsi il risultato di processi di mixing tra acque superficiali e/o meteoriche con acque connate ad alta salinità, la cui presenza all'interno dei sedimenti argillosi di avanfossa è ben documentata (Nanni e Vivalda, 1999). Le sorgenti e i pozzi appartenenti a questi tre gruppi di acque presentano elevate concentrazioni in sodio, cloro e sulfato e per questo motivo non fanno parte del network acquedottistico provinciale, non essendo adatte né al consumo umano né per scopi agricoli (o industriali). Queste vengono gene-

ralmente utilizzate in stabilimenti termali per cure idroterapiche o per uso personale. Tali acque sono però anche caratterizzate da contenuti medio-alti in elementi minori come boro, stronzio e litio (Chemeri et al., 2024), i quali rivestono un ruolo critico dal punto di vista economico e tecnologico. Tuttavia, per valutare appieno il potenziale di queste acque come fonte di elementi relazionabili a "matiere prime critiche", sono necessari ulteriori studi volti a quantificarne le concentrazioni reali, la variabilità spaziale e temporale e la fattibilità tecnica ed economica di un'e-

ventuale estrazione sostenibile, nel rispetto della qualità della risorsa idrica e della tutela ambientale.

Le conoscenze idrogeologiche sulla provincia di Pesaro-Urbino, infatti, derivano principalmente da studi a carattere regionale. Tale limitata disponibilità di dati specifici rende complesso delineare un quadro esaustivo delle dinamiche idriche locali e suggerisce la necessità di future ricerche dedicate, che permettano di integrare le osservazioni regionali con evidenze più puntuali sul settore settentrionale del dominio Umbro-Marchigiano.



Le sfide poste dai cambiamenti globali e dalle crescenti pressioni antropiche richiedono un approccio di gestione sostenibile ai fini di preservare la risorsa e garantire la sicurezza idrica. In questo contesto, il miglioramento della qualità e dell'equilibrio nell'uso delle risorse idriche richiede l'adozione di strategie multidisciplinari, integrate e innovative.

5. CONCLUSIONI PROVINCIALI

La disamina relativa alle risorse idriche della provincia di Pesaro-Urbino denota come esse siano caratterizzate da una marcata eterogeneità geochimica e da vulnerabilità connesse sia a fattori naturali sia a pressioni antropiche. Le principali fonti di approvvigionamento – fiume Metauro, dorsale carbonatica del Catria-Nerone, e acquiferi alluvionali – mostrano buone potenzialità sia in termini quantitativi che qualitativi, ma sono anche soggette a criticità specifiche (Taussi et al., 2024; Chemeri et al., 2024; Farina e De Angelis, 2024). La classificazione geochimica ha permesso di distinguere diversi gruppi compostizionali (Ca-HCO₃, Ca-HCO₃-SO₄, Ca-SO₄, Na-HCO₃ e Na-Cl), la cui distribuzione riflette i differenti circuiti idrogeologici e le interazioni con le litologie del substrato. L'analisi ha inoltre messo in luce l'impatto delle attività antropiche (agricole e industriali), che in particolare nelle vallate del Metauro, Cesano e del Foglia hanno determinato valori elevati di nitrati, seppure con una graduale riduzione progressiva delle concentrazioni grazie ad interventi di ricarica artificiale della falda e all'attuazione della normativa sui nitrati. Tuttavia, le sfide poste dai cambiamenti globali e dalle crescenti pressioni antropiche richiedono un approccio di gestione sostenibile ai fini di preservare la risorsa e garantire la sicurezza idrica (Fatone et al., 2025). In questo contesto, il miglioramento della qualità e dell'equilibrio nell'uso delle risorse idriche richiede l'adozione di strategie multidisciplinari, integrate e innovative, tra le quali si suggeriscono: (i) il consolidamento (e ampliamento) delle pratiche di mo-

nitoraggio idro-geochimico e l'adozione di misure volte a prevenire e limitare l'impatto antropico, (ii) lo svolgimento di indagini di carattere regionale finalizzati a una migliore definizione della circolazione idrica sotterranea, nonché a una quantificazione aggiornata delle risorse idriche sotterranee nelle principali dorsali carbonatiche (e.g., Catria-Nerone), (iii) il potenziamento di studi di dettaglio finalizzati a una maggiore comprensione delle interazioni falda-fiume in modo da comprendere i processi di ricarica, il bilancio idrico e la resilienza del sistema. Infine, dovrebbe essere valutata l'implementazione della Managed Aquifer Recharge (MAR) tradizionale o con nuovi sistemi volti all'incremento della ricarica artificiale per la mitigazione dei rischi di sovrasfruttamento. Per tali ricariche artificiali degli acquiferi andrebbe altresì valutato il riutilizzo delle acque meteoriche e il possibile sviluppo di infrastrutture per la raccolta e l'impiego delle acque piovane.

BIBLIOGRAFIA

1. Aquilanti L., Clementi F., Nanni T., Palpacelli S., Tazioli A., Vivalda P.M., 2016. DNA and fluorescein tracer tests to study the recharge, groundwater flowpath and hydraulic contact of aquifers in the Umbria-Marche limestone ridge (central Apennines, Italy). *Environ. Earth Sci.*, 75, pp. 1-17, 10.1007/s12665-016-5436-5.
2. Banzato F., Mastrorillo L., Nanni T., Palpacelli S., Petitta M., Vivalda P.M., 2013. L'acquifero Carbonatico Fratturato Delle Sorgenti Del Fiume Aso (parco Nazionale Dei Monti Sibillini): Valutazioni Sulla Risorsa Rinnovabile e Sull'area Di Alimentazione. Frabosa Soprana, Italia.
3. Bisiccia C., Burattini A., Donatelli U., Forti P., Gaudio A., Lani L., Magnoni M., Mancinelli L., Tramontana M., Sacchi E.M., Savelli D., Tiberi V., Zanarelli L., 2012. Carta della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi del Monte Nerone - Pollution vulnerability map for the aquifers of Monte Nerone (Marche - Italy). Argalia Editore, Urbino (PU), Italia. Disponibile in: <https://www.gsurbinospleo.it/pubblicazioni/cavita-naturali/carta-di-vulnerabilita-allinquinamento-degli-acquieri-di-monte-nerone/>.
4. Caldarella M.B., 2017. Database geografico delle acque sotterranee della provincia di Pesaro-Urbino (ASPU). Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Urbino Carlo Bo.
5. Cambi C., Mirabella F., Petitta M., Banzato F., Beddini G., Cardellini C., Fronzi D., Mastrorillo L., Tazioli A., Valigi D., 2022. Reaction of the carbonate Sibillini Mountains Basal aquifer (Central Italy) to the extensional 2016-2017 seismic sequence. *Sci. Rep.*, 12 (1), p. 22428, 10.1038/s41598-022-26681-2
6. Capaccioni B., Didero M., Paletta C., Salvadori P., 2001. Hydrogeochemistry of groundwaters from carbonate formations with basal gypsum layers: an example from the Mt. Catria-Mt. Nerone ridge (Northern Apennines, Italy). *J. Hydrol.*, 253, pp. 14-26, 10.1016/S0022-1694(01)00480-2.
7. Chemerri L., Taussi M., Cabassi J., Capecciacci F., Randazzo A., Tassi F., Renzulli A., Vaselli O., 2024. Groundwater and dissolved gases geochemistry in the Pesaro-Urbino province (northern Marche, central Italy) as tool for seismic surveillance and sustainability. *Sustainability*, 16 (2024), p. 5178, 10.3390/su1625178.
8. Chemerri L., Taussi M., Cabassi J., Venturi S., Delgado-Huertas A., Granados A., Agostini S., Fronzi D., Renzulli A., Vaselli O., 2025. Water-rock interaction processes and hydrogeological pathways in seismically active areas as revealed by a multi-isotopic (C, S, O, H, B, Sr) approach. *J. Hydrol.*, 661 (Part A) (2025), Article 133533.
9. Conti P., Cornamusini G., Carmignani L., 2020. An outline of the geology of the northern Apennines (Italy), with geological map 1:250.000 scale. *Ital. J. Geosci.*, 139 (2020), pp. 149-194.
10. D'Antonio L., Fronzi D., Mammoliti E., Palpacelli S., Ianni C., Tonelli M., Tazioli A., 2024. Hydraulic conductivity estimation through the use of tracers tests and geomechanical survey: preliminary outcomes from the Montagna dei Fiori carbonate aquifer (Central Italy). *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, (special Issue, 1) (2024), pp. 85-93, 10.4408/IJEGE.2024-01.S-10.
11. Di Bucci D., Mazzoli S., Nesci O., Savelli D., Tramontana M., De Donatis M., Borraccini F., 2003. Active deformation in the frontal part of the Northern Apennines: Insights from the lower Metauro River basin area (northern Marche, Italy).
12. Farina D., Cavatolo P., 2016. Climate and land use changes as origin of the water cycle variations and sediment transport in Pesaro Urbino province, central and eastern Italy. *Acque Sotter.-Ital. J. Groundw.*, 2016 (5) (2016), pp. 23-31.
13. Farina D., De Angelis S., 2025. Groundwater in the city of Pesaro (Marche, Italy): anthropic impact and interference with the urban environment. *Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater*, 13(3). <https://doi.org/10.7343/as-2024-773>.
14. Farina D., Bisiccia C., Severini A., 2012. Hydrogeology of the "Maiolica" and "Scaglia" carbonatic aquifers in the northeastern flank of the Mt. Paganuccio (Furlo Mountains, Marche, Italy). Flowpath - Percorsi di Idrogeologia, Bologna, 20-22 June 2012.
15. Farina D., Severini A., 2013. Towards a more sustainable use of water resources through an integrated management of surface water and groundwater. *IAH International Congress* 2013, Perth.
16. Fatone F., Eusebi A. L., Darvini G., Tazioli A., Fronzi D., 2025. Piano di azione per una gestione adattiva della risorsa contro siccità e scarsità idrica. In rapporto tecnico-scientifico, Università Politecnica delle Marche, AATO1, Marche Multiservizi e ASET. Luglio 2025.
17. Fronzi D., Di Curzio D., Rusi S., Valigi D., Tazioli A., 2020. Comparison between periodic tracer tests and time-series analysis to assess mid- and long-term recharge model changes due to multiple strong seismic events in carbonate aquifers. *Water*, 12 (11), p. 3073, 10.3390/w12113073.
18. Fronzi D., Mirabella F., Cardellini C., Caliro S., Palpacelli S., Cambi C., Valigi D., Tazioli A., 2021. The role of faults in groundwater circulation before and after seismic events: insights from tracers, water isotopes and geochemistry. *Water*, 13 (11) (2021), p. 1499, 10.3390/w13111499.
19. Fronzi D., Gaiolini M., Mammoliti E., Colombani N., Palpacelli S., Marcellini M., Tazioli A., 2022. Groundwater-surface water interaction revealed by meteorological trends and groundwater fluctuations on stream water level. *Acque Sotteraneo-Italian Journal of Groundwater*, 11 (2), pp. 19-28, 10.7343/as-2022-574.
20. Fronzi D., Cambi C., Fiorucci F.M., Liso L.S., Manucci A., Mazzocca M., Mirabella F., Parise M., Tazioli A., Valigi D., 2025. Updating of Traditional Groundwater Budget and Recharge Assessment by Using the APLIS Method for the Karst Scirca Spring (Central Italy). In: Fiorillo, F., Parise, M., Petitta, M., Leone, G., Liso, I.S., Lorenzi, V. (eds) *Eukarst 2024. Eurokarst 2024. Advances in Karst Science*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-84338-9_4.
21. ISTAT, 2023. Censimento permanente della popolazione nelle Marche. Anno 2023.
22. Langelier W.F., Ludwig H.F., 1942. Graphical methods for indicating the mineral character of natural waters. *Journal of the American Water Works Association*, 34 (3), pp. 335-352.
23. Mammoliti E., Fronzi D., Cambi C., Mirabella F., Cardellini C., Paracchini E., Tazioli A., Caliro S., Valigi D., 2022. A holistic approach to study groundwater-surface water modifications induced by strong earthquakes: the case of the Campiano catchment (Central Italy). *Hydrology*, 9 (6), p. 97, 10.3390/hydrology9060097.
24. Mammoliti E., Pepi A., Fronzi D., Morelli S., Volatili T., Tazioli A., Francioni M., 2023.
25. Martarelli T., 2020. Studio idrogeologico nella piana alluvionale della bassa Valle del Fiume Cesano: evoluzione dal 2008 al 2020. Tesi di Laurea Magistrale, Università degli Studi di Urbino Carlo Bo.
26. Mastrorillo L., Petitta M., 2014. Hydrogeological conceptual model of the upper Chienti River basin aquifers (Umbria-Marche Apennines). *Ital. J. Geosci.*, 133 (3) (2014), pp. 396-408, 10.3301/IJG.2014.12.
27. Molari L., 2025. Studio geochemico delle acque del Fiume Metauro (Marche Settentrionali): impatto antropico e qualità della risorsa idrica. Tesi di Laurea Triennale, Università degli Studi di Urbino Carlo Bo.
28. Murgia I., Vitali A., Giadrossich F., Tonelli E., Baglioni L., Cohen D., Schwarz M., Urbinati C., 2025. Effects of Land Cover Changes on Shallow Landslide Susceptibility Using SlideforMAP Software (Mt. Nerone, Italy). *Land*, 13(10):1575. <https://doi.org/10.3390/land13101575>.
29. Nanni T., 1985. Le falde di subvalico delle Marche: inquadramento idrogeologico, qualità delle acque (ed) elementi di neotettonica. *Materiali per la programmazione 2*, vol. 112, Regione Marche, Ancona, Italy.
30. Nanni T., Vivalda P., 1999. Le acque salate dell'avanfossa marchigiana: origine, chimismo e assetto strutturale delle zone di emergenza. *Boll. Soc. Geol. It.*, 118, pp. 191-213.
31. Nanni T., Vivalda P., 2005. The aquifers of the Umbria-Marche Adriatic region: relationships between structural setting and groundwater chemistry. *Boll. Soc. Geol. It.*, 124, pp. 523-542.
32. Nisi B., Vaselli O., Taussi M., Doveri M., Menichini M., Cabassi J., Raco B., Botteghi S., Mussi M., Masetti G., 2022. Hydrogeochemical surveys of shallow coastal aquifers: a conceptual model to set-up a monitoring network and increase the resilience of a strategic groundwater system to climate change and anthropogenic pressure. *Appl. Geochim.*, 142, article 105350, <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2022.105350>.
33. Regione Marche, 2002. Piano di Tutela delle Acque. Disponibile in: <https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Ambiente/Tutela-delle-acque/PTA#Documentazione>.
34. Regione Marche, 2007. Carta Uso del Suolo Della Regione Marche "ADS40 2007". Disponibile in: <https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Paesaggio-Territorio-Urbanistica/Cartografia>.
35. Tamburini A., Menichetti M., 2020. Groundwater circulation in fractured and karstic aquifers of the Umbria-Marche Apennine. *Water*, 12 (4), p. 1039, 10.3390/w12041039.
36. Tamburini A., 2016. Structural characterization of a carbonate hydrostructure in the Umbria-Marche Apennines. *Rend. Online Soc. Geol. It.*, Vol. 41, pp. 88-91, 10.3301/ROL.2016.100.
37. Taussi M., Gozzi C., Vaselli O., Cabassi J., Menichini M., Doveri M., Romei M., Ferretti A., Gamboli A., Nisi B., 2022. Contamination assessment and temporal evolution of nitrates in the shallow aquifer of the Metauro River plain (Adriatic Sea, Italy) after remediation actions. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19(19), 12231; <https://doi.org/10.3390/ijerph191912231>.
38. Taussi M., Vespasiano G., Chemerri L., Boni R., Nisi B., Vaselli O., Delgado-Huertas A., Apollaro C., Tardani D., Farina D., Renzulli A., 2024. Assessing anthropogenic and natural influences on water quality in a critical shallow groundwater system: insights from the Metauro River Basin (Central Italy). *Groundwater for Sustainable Development*, vol. 27, 101361, <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101361>.
39. Valigi D., Fronzi D., Cambi C., Beddini G., Cardellini C., Checcucci R., Mastrorillo L., Mirabella F., Tazioli A., 2020. Earthquake-induced spring discharge modifications: the Pescara di Arquata spring reaction to the August-October 2016 Central Italy earthquakes. *Water*, 12 (3) (2020), p. 767, 10.3390/w12030767.
40. VIDEPI, 2009. Visibilità dei Dati afferenti all'attività di Esplorazione Petrolifera in Italia. Disponibile in: <https://www.videpi.com/videpi/videpi.asp>.



GESTIONE DI UNA ESTESA RETE DI MONITORAGGIO A CONTROLLO DELLE GRANDI FRANE: l'esempio del centro regionale di monitoraggio di ARPA Lombardia

a cura di: LUCA DEI CAS (*), NICOLA PETRELLA(*)

(* Arpa Lombardia U.O. Centro Regionale Monitoraggio Frane e Disseti - Corresponding author: l.deicas@arpalombardia.it

1. LA PROBLEMATICA FRANE

A partire da quanto contenuto nelle banche dati dei differenti Servizi Geologici europei, recenti pubblicazioni (Herrera, G. et al. 2018) hanno censito in 849.543 il numero complessivo dei fenomeni franosi presenti in Europa.

All'interno di questa macroarea continentale, la penisola italiana è il territorio europeo più soggetto alla problematica del dissesto idrogeologico e delle frane. Nel catalogo Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI), progetto curato da ISPRA con il contributo di Regioni e Province autonome, vengono infatti censiti oltre 636.000 fenomeni (ISPRA Progetto IFFI 2025). Il catalogo IFFI è realizzato secondo modalità standardizzate e condivise, quali il censimento, la raccolta dei dati storici e d'archivio, l'analisi del territorio tramite l'aereofotointerpretazione e i rilevamenti di terreno (Trigila A. et al. 2007).

Pur consapevoli che censimenti ed analisi di tal tipo scontano disomogeneità, si pensi alle differenti scale utilizzate per il rilevamento e semplificazioni impossibili da eliminare in assenza di una unica modalità di classificazione, è però del tutto evidente che l'Italia rappresenta da sola la Nazione ove è presente il maggior numero di frane dell'intero continente europeo.

Entrando nel dettaglio del territorio italiano (Trigila A., et al. 2018) è possibile visualizzare, grazie alla mosaicità effettuata da ISPRA, i settori che rappresentano le aree a pericolosità da frana come individuate nei Piani di Assetto Idrogeologico – PAI.

Il rapporto evidenzia come l'8,4% del territorio nazionale, pari ad oltre 25.000 Km², sia soggetto a pericolosità da frana elevata o molto elevata. Con questi termini si intendendo le aree dove sono consentiti esclusivamente inter-

venti minimali di manutenzione sull'edificato esistente. In queste aree è stata effettuata una stima della popolazione a rischio di danni da frane intersecando, in ambiente GIS, le aree a pericolosità da frana (PAI) con le aree unitarie in cui è stato suddiviso il territorio nazionale. Il risultato è stato quello di stimare un 2,2% di popolazione nazionale, pari ad oltre **1,2 milioni di abitanti**, come soggetta a rischio frane. In Lombardia il numero di abitanti residente in aree a rischio frane elevato o molto elevato è di poco superiore ai 44.000 (0,5% del totale dei residenti), mentre in altre regioni raggiunge valori molto più elevati sia in percentuale che in valore assoluto (140.000 in Toscana ed oltre 300.000 in Campania). Questa forte differenza è, anche in questo caso, in parte da ricondurre a modalità non omogenee tenute dalle differenti Autorità di bacino cui vanno ricondotte le carte PAI.

L'importanza del fenomeno franoso, oltre che dai dati soprattutto, è evidenziata anche dal numero delle vittime per eventi franosi che, negli ultimi 50 anni, è stato di 1085 con oltre 1.400 feriti (Salvati P. et al. 2021). L'indice di mortalità annuo a causa delle frane, ossia il numero di morti ogni 100.000 abitanti, varia a seconda delle aree geografiche da 0 (Molise) a 0,73 in Trentino Alto Adige. In Lombardia tale indice è pari a 0,025. In termini di vite umane sappiamo che nel mondo, in un intervallo di 3 anni (gennaio 2004 – dicembre 2006), 4.862 eventi franosi hanno causato 55.997 morti (Froude e Petley 2018).

Tenuto conto di ciò è importante ricordare come nella parte di mondo tecnologicamente più sviluppata, alla quale appartiene l'Italia e specificatamente la Lombardia, la richiesta di sicurezza rispetto ai fenomeni naturali è sempre

più elevata (Macchiotta et al., 2016), tanto che per mitigare il rischio, derivante da fenomeni quali le frane, negli ultimi decenni vi sono stati forti investimenti sia per **interventi strutturali che non strutturali**. A tal proposito si pensi che nel Piano per la Difesa del Suolo ed il riaspetto idrogeologico, di cui alla Legge 102/90, furono previsti, nella sola Lombardia, oltre 400 milioni di Euro per interventi di difesa del suolo sui versanti e circa 16 milioni di Euro furono stanziati per installazione e funzionamento di sistemi di monitoraggio geologico nel territorio alpino della Lombardia (D.G.R. 14 ottobre 2019).

Le **opere strutturali** rappresentano la maggior parte degli interventi per la riduzione del rischio e sono anche le più conosciute, non fosse altro per la visibilità territoriale. Bisogna però tener conto che non sempre è possibile intervenire con tale modalità sia tecnicamente, si pensi a fenomeni che vedono coinvolti decine o centinaia di milioni di metri cubi di materiale, che economicamente, su tutti i 636.000 fenomeni franosi censiti.

Sul fronte degli interventi non strutturali si deve considerare che alcune tipologie, quali ad esempio le delocalizzazioni, hanno spesso fortissime controindicazioni in termini sociali. Anche legislativamente operazioni di delocalizzazioni per rischio frane quali quelle consentite da leggi come la 445 del 9 luglio 1908, emessa dal Re d'Italia "per grazia di Dio e per volontà della Nazione", non troverebbero più i presupposti.

In relazione a ciò fra le opere di difesa non strutturale, per la mitigazione e gestione dei rischi naturali, nell'ultimo decennio in Lombardia sono state fortemente sviluppate ed incrementate le tecniche legate al monitoraggio geologico delle frane (Dei Cas et al., 2021).

Ciò è avvenuto all'interno di una specifica struttura pubblica, il Centro Regionale Monitoraggio Frane e Disseti (d'ora in poi CRMFD), già Centro di Monitoraggio Geologico, che ha avviato le proprie attività successivamente all'evento franoso della frana di Val Pola avvenuta nel luglio del 1987 (Govi M. et al. 2002).



Fig 1: la frana della Val Pola in Valtellina, Luglio 1987

Il CRMFD di ARPA Lombardia rappresenta la struttura ove si concentrano le attività di progettazione, installazione e controllo dei sistemi di monitoraggio afferenti a tutti i fenomeni franosi ritenuti di importanza regionale.

Un sistema di monitoraggio per il rischio frana è componente essenziale, anche se non sufficiente, di un più articolato sistema di Early Warning System (EWS) che, secondo la definizione di United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR 2009) è *"l'insieme delle capacità necessarie per emettere e disseminare tempestivamente e significativamente comunicazioni di allerta che permettano agli individui, alle comunità e alle organizzazioni presenti in zona di pericolo di prepararsi e di agire appropriatamente ed in tempo sufficiente per ridurre la possibilità di danno o perdita"*. Un Early Warning System deve perciò comprendere quattro elementi: la conoscenza del rischio, i servizi di monitoraggio e allerta, la diffusione/comunicazione nonché la capacità di risposta (UNISDR, 2006).

I sistemi di monitoraggio frane con finalità di allertamento (LESW) hanno lo scopo di individuare significativi cambiamenti nel comportamento della frana tali da far presagire, sulla base di predefinite soglie (es di spostamento, di velocità o di accelerazione), un comportamento che anticipa l'evento di frana. L'intervallo di tempo che si prevede intercorra fra il momento in cui scatta la soglia ed il fenomeno parossistico deve necessariamente essere maggiore/uguale del tempo necessario per consentire ai gestori del LEWS di valutare la situazione/dati e mettere in atto le azioni di chiusura od evacuazione dell'area potenzialmente coinvolta nel franamento.

Affinchè sia possibile gestire in maniera ottimale un LEWS è indispensabile che, oltre ad una accurata progettazione ed installazione del sistema di monitoraggio, lo stesso sia mantenuto in vita da uno staff tecnico, afferente ad apposita Sala Operativa o di Protezione Civile, all'interno del quale il ruolo e le competenze del geologo sono centrali.

Le misure eseguite dagli strumenti automatici vengono acquisite dai datalogger e trasmesse ai sistemi informatici di ARPA mediante rete mobile, rete satellitare o modem radio, in modo da avere per ogni misura eseguita due differenti media trasmissivi e garantire così la ridondanza del dato. La manutenzione delle reti viene curata da aziende specializzate in grado di intervenire h24 sui siti di monitoraggio, al fine di garantire la continuità del servizio in qualsiasi condizione, 7 giorni su 7. Gli interventi di manutenzione programmata e le richieste di manutenzione in caso di malfunzionamenti vengono gestite dagli operatori tramite gli apparati informatici del Centro. La gestione di quella che in Italia è, senza dubbio, la più grande e complessa rete regionale per il monitoraggio dei dissesti vive sulle gambe di uno staff tecnico costituito da

un geologo responsabile della struttura, 10 tecnici (8 geologi e 2 geometri) ed 1 impiegato amministrativo.

Con questo numero di tecnici è possibile, oltre alla gestione ordinaria dell'attività di ufficio e sul campo, anche avere tecnici in grado di coprire i turni di reperibilità h24 (due operatori di cui almeno uno geologo) così da poter operare, sia in sala operativa che sul campo, durante le situazioni di emergenza.

Tabella 1: strumentazione automatica

46	DISSESTI MONITORATI
17	STAZIONI METEOROLOGICHE
109	DATALOGGER
15	TELECAMERE A CONTROLLO REMOTO
42	PLUVIOMETRI
49	TERMOMETRI
18	NIVOMETRI
3	IDROMETRI
16	tra BAROMETRI, IGROMETRI, DIR. VENTO, RADIOMETRI

8	RADAR DA TERRA GBInSAR
38	CAPOSALDI GPS/GNSS AUTOMATICI
4	STAZIONI TOTALI AUTOMATICHE CON 139 MIRE OTTICHE

2. L'ESPERIENZA LOMBARDA

Come detto a partire dal 1987 in Lombardia si è sviluppato un complesso sistema di monitoraggio delle grandi frane. Attualmente i fenomeni monitorati sono 46 (Fig.2) e la maggior parte di questi sono dotati di soglie, scenari d'evento e piani di emergenza (LEWS).

Per il controllo di questi fenomeni sono installati a campo 1072 strumenti automatici (Tabella 1) che con frequenza

di trasmissione variabile fra i 10 minuti e le 3 ore (in funzione dello strumento) garantiscono l'acquisizione di oltre 30 milioni di dati annui (pari a circa 1 dato al secondo). La qualità del dato da processare è fondamentale. Ciascuna rete deve rispondere a criteri di robustezza degli apparati e continuità trasmissiva come specificato nelle Linee Guida SNPA sul monitoraggio delle frane (Dei Cas et al., 2021).

Fig.2

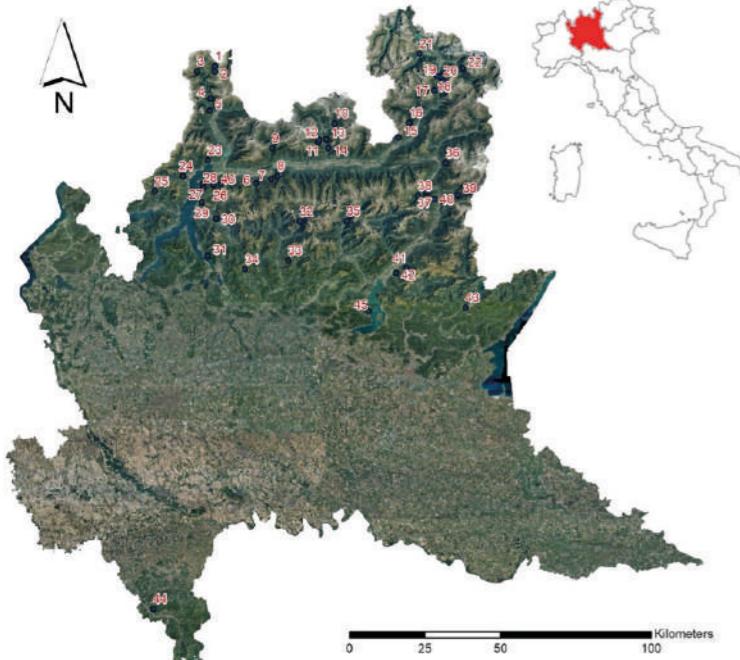


Fig.2: dissesti monitorati da ARPA Lombardia

N.	Nome Frana	N.	Nome Frana
1	CRESTA EMET	24	CATASCO
2	M. MATER	25	SAN NAZZARO
3	VAL FEBBRAIO	26	BEDOLESSO
4	GALLIVAGGIO	27	MONTE PIAZZO
5	VAL GENASCA	28	MONTE LETÈ
6	BEMA	29	NOCENO
7	SAN GIORGIO	30	BINDO-ROSSIGA
8	LA PRUNA	31	TORRIONI DI RIALBA
9	SCAIUN	32	IL PIZZO
10	CAMPO FRANCIA	33	DOSSENA
11	MASONI	34	PAGAFONE
12	TORREGGIO A	35	TEZZI
13	DAGUA	36	PAL
14	SPRIANA	37	PAISCO
15	M. MASSUCCIO	38	GRUMELLO
16	ARLATE	39	VALLE
17	VAL POLA	40	ZINVILL
18	SUENA	41	VAL VEDETTA
19	BOERO	42	RONCAGLIA
20	OUTOIR	43	IDRO
21	SEMOGO	44	VIGNOLA
22	RUINON	45	TAVERNOLA
23	GERA LARIO	46	CANARGO



Fig.3: la frana della Val Pola in Valtellina, Luglio 1987

I compiti dei geologi presso la sala operativa del Centro Regionale di Monitoraggio sono molteplici e vengono di seguito sintetizzati.

- Raccolta, validazione ed archiviazione dei dati provenienti dalle reti di monitoraggio. Le attività di controllo comportano la verifica quotidiana del flusso dei dati e della loro significatività, effettuando analisi giornaliere corredate da appositi report per ogni singola area.
- Esecuzione di campagne di misura manuali. I dati raccolti direttamente in situ integrano i dati forniti dagli strumenti automatici e verificano il funzionamento delle reti di monitoraggio. Sono attivi 783 punti di misura (tabella 2), costituiti da prismi topografici, caposaldi GPS/GNSS, basi distometriche, tubi inclinometrici, cavi coassiali TRN, estensimetri, fessurimetri, tubi piezometrici. I dati raccolti annualmente dagli operatori del CRMFD assistiti da Guide Alpine appositamente formate sono circa 58450.
- Per i monitoraggi con finalità di allertamento, i tecnici reperibili, attivi h24/7/7, ricevono l'avviso di sopraggiunte situazioni di criticità, che è possibile analizzare da remoto con l'ausilio di appositi device. In caso di conferma dei superamenti di soglia vengono attivate le procedure di gestione delle criticità, che possono comprendere le segnalazioni a Regione Lombardia dell'avvenuto superamento di soglia, l'esecuzione di sopralluoghi in situ, la pianificazione di campagne di misura manuali per la verifica degli spostamenti in atto. In situazioni di criticità la Sede del Centro Regionale Monitoraggio Frane e Dissesti viene aperta con orario prolungato.
- Redazione di relazioni di analisi dell'evoluzione di dissesti o della funzionalità della strumentazione di monitoraggio esistente, da installare o dismettere. Comunica-

294	LINEE DISTOMETRICHE
9	FESSURIMETRI
13	ESTENSIMETRI PROFONDI
65	TUBI INCLINOMETRICI
76	TUBI PIEZOMETRICI
155	CAPOSALDI TOPOGRAFICI
130	CAPOSALDI GPS/GNSS
41	CAVI TDR

Tabella 2: misure manuali

Fig.4



Fig 4: attività a campo e in ufficio dei tecnici CRMFD1987

Il personale che esegue i compiti sopra elencati svolge sia lavoro di ufficio che sul campo. È quindi necessario che i tecnici vengano adeguatamente formati alle attività di monitoraggio in sicurezza in ambiente montano, anche nel periodo invernale. Anche per questo tutti i tecnici sono formati sulle attività di autosoccorso in montagna, compresa l'eventualità di intervento in caso di valanga. Per le attività con maggiore esposizione è previsto che i tecnici raggiungano i siti con l'ausilio di Guide Alpine professioniste.

Negli ultimi 20 anni (2005-2024) al Centro Regionale di monitoraggio Frane e Dissesti sono state segnalate 115 situazioni che hanno innescato il superamento di almeno una soglia di criticità (moderata o elevata), per le quali è stato necessario effettuare una serie di segnalazioni alla Sala

Possono essere ricordate le seguenti emergenze:

- Criticità legata all'area del Santuario del Gallivaggio nei mesi di aprile e maggio 2018, culminata con il crollo della parete rocciosa il 29 maggio. La strumentazione di monitoraggio ha evidenziato una ripresa dei movimenti già nell'autunno del 2017, proseguita nei mesi successivi fino a una accelerazione nell'aprile 2018 che ha portato all'evacuazione dei residenti e chiusura della SS 36. I movimenti del versante sono stati monitorati costantemente dal personale CRMFD fino all'ultima comunicazione alla Protezione Civile alle ore 16 del 29/05/2018 nella quale si avvisava dell'imminenza del crollo, avvenuto 35 minuti dopo. La criticità ha comportato 31 giorni di presidio h24 del CRMFD.
- Criticità legata all'area del Ruinon nei mesi da maggio a dicembre 2019 e da giugno a ottobre 2020. Il dissesto, uno dei più attivi e pericolosi dell'arco alpino, viene costantemente monitorato con strumenti nel corpo di frana e Radar GBInSAR. Sia nel 2019 che nel 2020 i movimenti delle masse detritiche sono stati dell'ordine delle centinaia di metri con caduta di blocchi rocciosi e seri rischi di incolumità per la popolazione, oltre ai disagi legati alla chiusura della sottostante SP 29. La criticità ha comportato 183 giorni di presidio h24 nel 2019 e 109 giorni di presidio h24 nel 2020 del CRMFD.

II

Testo o citazione dell'autore:

Est veliquam nonsed etur sed ut aut re veni demporio inverumque cum fuga. Obis sintibus dolupta quassi conem ellesum et.

3. CONCLUSIONI

L'esperienza ultradecennale lombarda nella gestione di numerose reti di monitoraggio delle grandi frane in una struttura pubblica dedicata e con una pluralità di tecnici evidenzia aspetti positivi ed innovativi ma anche alcuni limiti. **Fra gli aspetti positivi si possono senza dubbio annoverare:**

- la possibilità di specializzare i tecnici addetti all'analisi dei dati impegnandoli quotidianamente sulle attività di gestione della rete;
- la capacità di ottimizzare i costi di monitoraggio (sia in termini di risorse umane che strumentali) facendo confluire in un'unica struttura la progettazione, realizzazione, manutenzione e gestione di decine di reti;
- la possibilità di strutturare un sistema integrato di tutti le reti di monitoraggio regionale che permetta la condivisione dei dati;
- la continuità nella gestione determinata dall'aver istituzionalizzato lo stanziamento di bilancio necessario per il funzionamento della struttura;
- la garanzia di gestire, grazie ad una rotazione dei turni di reperibilità fra il personale appositamente formato, con tempestività ed in ogni momento dell'anno eventuali situazioni di criticità;
- la possibilità, grazie alla massa critica di situazioni monitorate, di individuare la strumentazione e le metodologie più adeguate anche sperimentando nuove tecnologie.

Sul fronte opposto non si possono però sottacere anche alcuni aspetti negativi determinati principalmente dall'effettuare la gestione delle reti di monitoraggio in una numerosa e compartmentata struttura pubblica. **Si possono menzionare:**

- una dilatazione delle tempistiche, necessarie per espletare gare- affidamenti- acquisti- lavori, che a volte determinano intervalli di anni fra la programmazione dell'intervento e la realizzazione dello stesso;
- come in tutto il mondo della Pubblica Amministrazione italiana, le note questioni della rigidità degli stipendi, della motivazione/premialità del proprio personale, degli ipertrofici formalismi spesso a discapito della sostanza del lavoro, sono alla base dei problemi di reclutamento di personale qualificato o della successiva mobilità dello stesso verso l'esterno.

BIBLIOGRAFIA

- 1.D.g.r. 14 ottobre 2019 - n. XI/2268 Relazione al parlamento sull'attuazione della legge 102/90 («Legge Valtellina») – anno 2018
- 2.Dei Cas Luca, Pastore Maria Luisa, Pavan Andrea, and Petrella Nicola (2021) "Geological monitoring networks for risk management close to large rock cliffs: the case history of Gallivaggio and Cataeggio in the Italian Alps" Geogr. Helv., 76, 85–101, 2021 <https://doi.org/10.5194/gh-76-85-2021>
- 3.Dei Cas L., Trigila A., Iadanza C. (eds) Linee Guida per il monitoraggio delle frane. Linee Guida SNPA 32/2021- ISBN: 978-88-448-1071-9
- 4.Herrera, G., Mateos, R.M., García-Davalillo, J.C. et al. (2018) Landslide databases in the Geological Surveys of Europe. Landslides, DOI: 10.1007/s10346-017-0902-z
- 5.ISPRA/APAT: Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia). Sito istituzionale: <https://www.progettoiffi.isprambiente.it/>
- 6.Govi Mario, Gullà Giovanni, Nicoletti Pier Giorgio (2002): "Val Pola rock avalanche of July 28, 1987, in Valtellina (Central Italian Alps)" GSA Reviews in Engineering Geology 15:71-89 DOI:10.1130/REG15-p71
- 7.Macciotta, R., Martin, C.D., Morgenstern, N.R., Cruden, D.M.: Quantitative risk assessment of slope hazards along a section of railway in the Canadian Cordillera — a methodology considering the uncertainty in the results, Landslides, 13(1), 115–127, doi:10.1007/s10346-014-0551-4, 2016
- 8.Trigila A. et al.- Rapporto sulle frane in Italia – Il Progetto IFFI: Metodologia, risultati e rapporti regionali. APAT (2007) Rapporti 78/2007
- 9.Trigila A., Iadanza C., Bussetti M., Lastoria B. (2018) Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio - Edizione 2018. ISPRA, Rapporti 287/2018
- 10.Salvati Paola e Bianchi Cinzia (gennaio 2021): "Rapporto Periodico sul Rischio posto alla Popolazione italiana da Frane e Inondazioni – Anno 2020" CNR-IRPI DOI: 10.30437/report2020
- 11.Froude MJ, Petley D (2018) Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. Nat Hazards Earth Syst Sci 18:2161–2181
- 12.UNISDR (2006): Developing an early warning system: a checklist. The Third International Conference on Early Warning (EWC III). <https://www.unisdr.org/2006/ppew/info-resources/ewc3/checklist/English.pdf>.
- 13.UNISDR (2009) Terminology on disaster risk reduction. <https://www.unisdr.org/publication/2009-unisdr-terminology-disaster-risk-reduction>.



DALLE ONDE SISMICHE AI DATI: ITACA, ESM e REXELweb, le infrastrutture digitali che supportano la progettazione e la sicurezza sismica in Italia

a cura di: LUZI L., BRUNELLI G. & ITACA-ESM WORKING GROUPS

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni la gestione e l'analisi dei dati sismici hanno assunto un ruolo centrale nella progettazione in zona sismica. L'Italia, per la sua dinamica geologica complessa, rappresenta un laboratorio naturale di straordinaria importanza per lo studio dei terremoti.

In questo contesto, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha sviluppato e mantiene alcune delle più importanti banche dati di registrazioni accelerometriche a livello nazionale ed internazionale: **ITACA** (Italian Accelerometric Archive; <https://itaca.mi.ingv.it>; Felicetta et al., 2023) ed **ESM** (Engineering Strong-Motion database; <https://esm-db.eu>; Luzi et al. 2016; 2020).

Questi archivi mettono a disposizione della comunità scientifica e dei professionisti del settore forme d'onda accelerometriche e metadati relativi a eventi e stazioni sismiche. All'interno di tali banche dati è disponibile lo strumento online REXELweb per la ricerca di combinazioni di registrazioni accelerometriche, compatibili - in media - con uno spettro obiettivo o target. Insieme, queste risorse costituiscono un'infrastruttura digitale avanzata a supporto della progettazione antisismica, della microzonazione sismica, della pianificazione territoriale e della mitigazione del rischio sismico.



2. ITACA: la memoria accelerometrica del territorio italiano

La banca dati ITACA rappresenta il principale archivio nazionale di registrazioni accelerometriche italiane. Raccoglie forme d'onda processate manualmente e i metadati relativi a stazioni ed eventi sismici di magnitudo pari o superiore a 3.0, avvenuti in Italia e nelle regioni limitrofe a partire dal 1972.

La banca dati viene aggiornata annualmente, a seguito di una revisione manuale e sistematica delle registrazioni e dei relativi metadati, per garantire elevati standard di qualità. L'attuale versione, ITACA 4.0, include oltre 43.000

forme d'onda riferite a più di 2.500 eventi e l'ultimo aggiornamento effettuato ad aprile 2025 ha integrato le nuove registrazioni degli eventi sismici avvenuti nel 2024.

Le registrazioni archiviate in ITACA provengono prevalentemente dalla Rete Accelerometrica Nazionale (RAN), gestita dal Dipartimento della Protezione Civile (DPC), e dalla Rete Sismica Nazionale (RSN), gestita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

All'archivio contribuiscono inoltre reti internazionali, regionali e temporanee (ad esempio installate in occasione delle principali sequenze sismiche) gestite da diverse istituzioni. Ogni segnale rappresenta un frammento di storia sismica italiana: dal terremoto del Friuli 1976-1977, che ha fornito circa 100 forme d'onda, a quello dell'Irpinia 1980, fino ai più recenti eventi dell'Aquila 2009 e del Centro Italia 2016-2017, che hanno prodotto oltre 10.000 segnali. Anche il 2024 ha contribuito all'archivio con circa 2.000 nuove

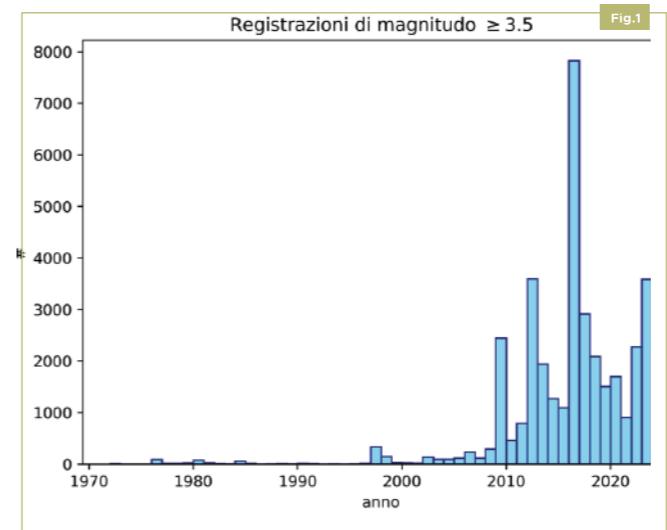


Fig. 1: Evoluzione temporale del numero di registrazioni accelerometriche archiviate in ITACA dal 1972 al 2024.

registrazioni relative a 150 eventi di magnitudo superiore a 3.0. Tra questi, il più significativo è stato il terremoto di Pietrapaola (CS), di magnitudo Mw 5 e profondità 24 km, avvenuto il 1° agosto 2024 alle ore 21:43:19 (ora italiana). Inoltre, a partire dalla fine del 2023 è in corso una sequenza sismica nei Campi Flegrei, il cui evento di maggiore magnitudo (Md 4.4) si è verificato il 20 maggio 2024 alle ore 20:10:03 (ora italiana).

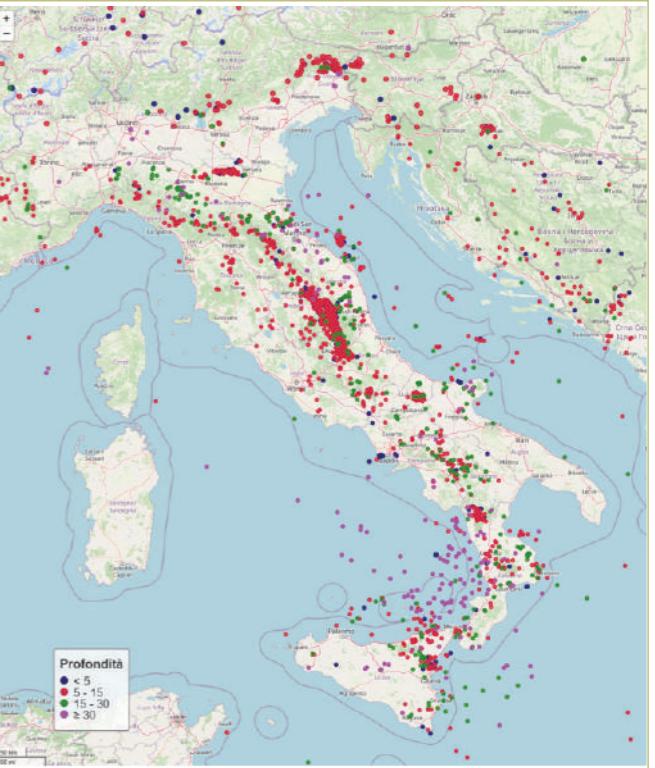
La **Figura 1** mostra l'evoluzione temporale del numero di registrazioni presenti nel database: un aumento esponenziale a partire dai primi anni 2000, grazie alla digitalizzazione delle stazioni accelerometriche e all'estensione della rete di monitoraggio.

La **Figura 2** mostra la distribuzione spaziale dei principali eventi registrati (Mw ≥ 3.5): la sismicità si concentra prevalentemente lungo l'Appennino e nel settore nord-orientale.

Le registrazioni in campo vicino (entro una distanza paragonabile alla lunghezza della faglia) rappresentano una risorsa fondamentale per lo studio dello scuotimento in prossimità della sorgente. In ITACA sono disponibili oltre 150 registrazioni in campo vicino di eventi con magnitudo Mw ≥ 5.5, provenienti principalmente dalle sequenze del Centro Italia 2016, della Pianura Padana 2012, dell'Aquila 2009, dell'Umbria-Marche 1997 e del Friuli 1976. Tra tutti, il terremoto dell'Irpinia 1980 (Mw 6.9) resta l'evento più energetico documentato nel database ed è stato registrato da 8 stazioni in campo vicino.



Fig. 2: Distribuzione geografica degli eventi registrati in ITACA con magnitudo ≥ 3.5. A sinistra le principali sequenze sismiche italiane, a destra la profondità ipocentrale degli eventi.



3. STRUTTURA DEL DATABASE ITACA E ANALISI DEI PARAMETRI DI SCUOTIMENTO

L'interfaccia web della versione 4.0 di ITACA è pensata per agevolare la consultazione dei dati da parte di ricercatori e professionisti. Le informazioni sono suddivise in tre sezioni principali: stazioni, eventi e forme d'onda.

Stazioni

Per ogni sito di registrazione sono disponibili le coordinate geografiche, la classificazione di sito (secondo la normativa EC08 o NTC2018), la velocità media delle onde di taglio nei primi 30m di sottosuolo (Vs30), informazioni topografiche, geologiche e litologiche, oltre ad eventuali analisi geofisiche e sismologiche ed alla documentazione fotografica o tecnica. Attualmente, circa il 30% delle stazioni ha un profilo di velocità delle onde S stimato con indagini geofisiche.

Eventi

Ogni terremoto registrato in ITACA è descritto tramite i parametri sismologici fondamentali (coordinate epicentrali, profondità focale, magnitudo e meccanismo focale). Per gli eventi principali, il database include anche mappe di scuotimento (ShakeMaps - Wald *et al.* 1999; 2005; Michelini *et al.* 2008) che rappresentano la distribuzione spaziale dei valori di PGA (Peak Ground Acceleration - accelerazione massima al suolo), PGV (Peak Ground Velocity - velocità massima al suolo) e delle ordinate spettrali in accelerazione (SA) per i periodi 0.3, 1.0 e 3.0 secondi.

Forme d'onda

Le registrazioni accelerometriche possono essere visualizzate e scaricate in diversi formati sismologici standard (ASCII, MSEED, SAC) sia in termini di accelerazione che di velocità e spostamento. È inoltre disponibile un file riassuntivo (flat-file) che raccoglie per ogni record i metadati principali e le misure di intensità, utile per analisi statistiche e confronti tra eventi.

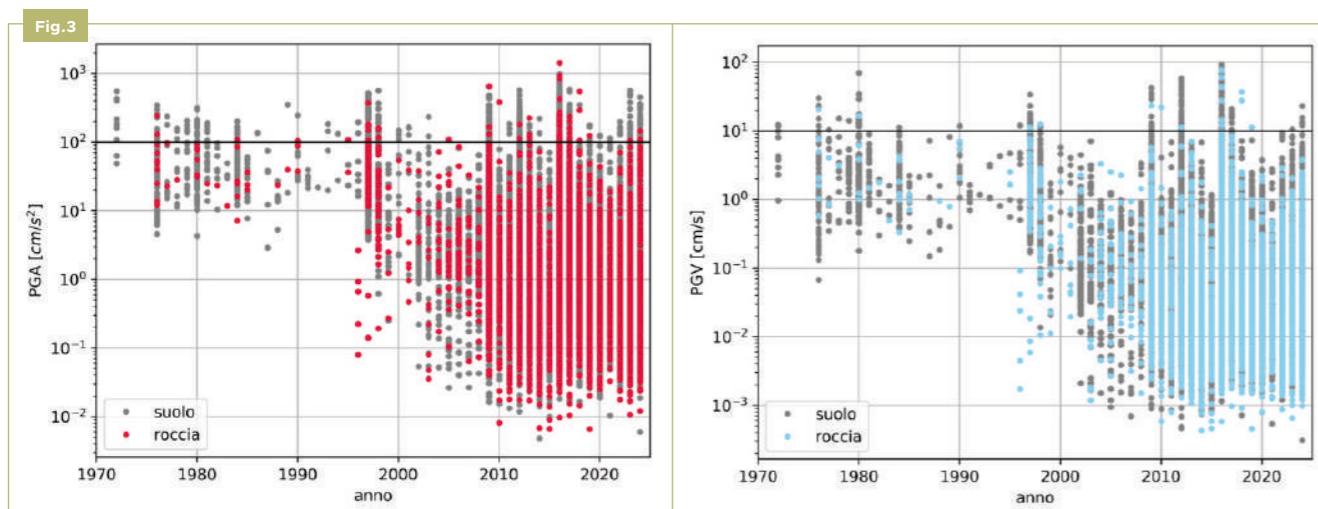


Fig. 3: Distribuzione della PGA (Peak Ground Acceleration) e della PGV (Peak Ground Velocity). In rosso e in azzurro sono evidenziate le registrazioni su roccia (classe A) rispettivamente per PGA e PGV.

Infine, ITACA integra strumenti interattivi come REXELweb, che attinge direttamente al database accelerometrico italiano per la selezione di registrazioni compatibili con le forme spettrali di normativa (o con spettri definiti dall'utente), nonché un'interfaccia dedicata al processamento e al download dei segnali.

Il picco di velocità (PGV) e quello di accelerazione (PGA) in un segnale sismico forniscono informazioni complementari sulla distribuzione dell'energia durante un terremoto. Entrambi i parametri sono fondamentali per descrivere in modo sintetico ma efficace il contenuto energetico di un evento sismico.

Nel complesso, la banca dati ITACA include:

- 647 forme d'onda con accelerazione di picco orizzontale (PGA) superiore a 100 cm/s²;
- 215 forme d'onda con velocità di picco orizzontale (PGV) superiore a 10 cm/s.

Come mostrato nella **figura 3**, i valori di picco più elevati si riscontrano prevalentemente nei siti su suolo, confermando il ruolo dell'amplificazione locale nell'influenzare l'intensità del moto sismico. In ben 32 stazioni sono state registrate accelerazioni superiori a 500 cm/s², concentrate soprattutto nel Centro Italia, mentre 18 siti hanno registrato velocità superiori a 50 cm/s, localizzate tra Centro Italia e Pianura Padana.

L'analisi spaziale dei valori massimi di PGA e PGV evidenzia le principali aree colpite dalle sequenze sismiche italiane (**Fig. 4**).

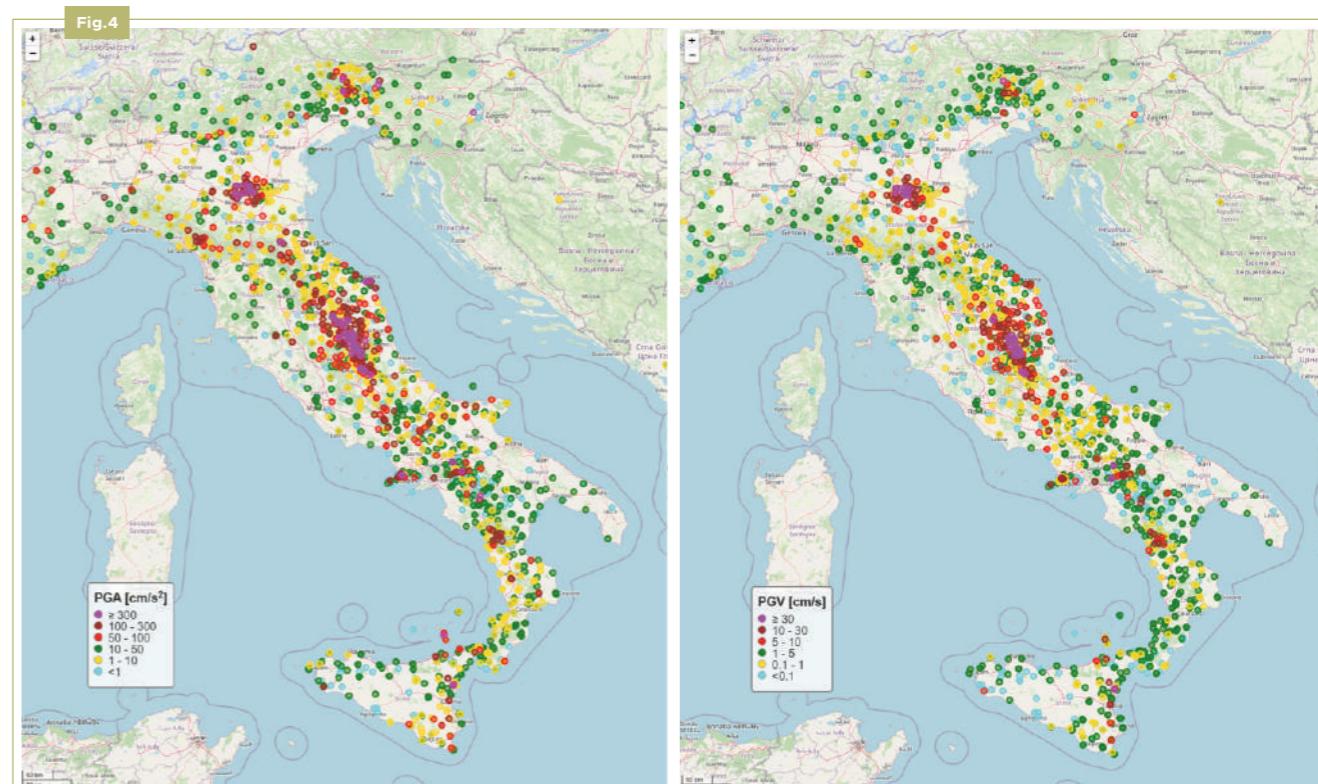


Fig. 4: Distribuzione spaziale dei valori di PGA (a sinistra) e PGV (a destra) degli eventi di magnitudo ≥ 3.5 archiviati in ITACA. I valori rappresentano i massimi registrati delle componenti orizzontali per ciascuna stazione.

4. ESM: Il database Europeo

A partire dall'esperienza maturata con ITACA, è stata creata la banca dati accelerometrica a scala europea ESM (Engineering Strong-Motion), sviluppata e gestita dal Working Group ESM dell'INGV sotto il coordinamento dello Strong-Motion Management Committee del consorzio ORFEUS (*Observatories & Research Facilities for European Seismology*, <https://www.orfeus-eu.org/>), che integra registrazioni provenienti da numerosi Paesi del continente, dal bacino euro-mediterraneo fino al Medio Oriente.

Analogamente ad ITACA, attraverso il **portale** www.esm-db.eu, è possibile selezionare, scaricare e analizzare i dati di moto del suolo e i relativi metadati. Le forme d'onda contenute nel database si riferiscono a eventi con magnitudo pari o superiore a 4.0, registrati da reti accelerometriche distribuite nelle regioni europee e mediterranee. ESM, come ITACA, si distingue per un approccio rigoroso alla standardizzazione e qualità del dato, basato su:

- Aggiornamento dinamico delle forme d'onda e revisione dei metadati associati;
- Omogeneizzazione dei formati secondo gli standard della Federation of Digital Seismograph Networks (FDSN);
- Interoperabilità con altri archivi e software open-source, come ObsPy;
- Documentazione completa e strumenti specifici per l'applicazione in sismologia ingegneristica e progettazione sismica.

I dati presenti nel portale provengono da fonti online e archivi offline, e ogni forma d'onda riporta i provider originali dei dati (reti sismiche) e gli intermediari, come EIDA – European Integrated Data Archive (*federazione europea che assicura l'archiviazione e l'accesso ai dati sismici* – <https://eida.ingv.it/>) o gli archivi nazionali, includendo anche le informazioni di licenza per l'utilizzo dei dati.

Da circa un decennio, la banca dati ESM fa parte dell'infrastruttura europea EPOS (*European Plate Observing System*, <https://www.epos-eu.org>), che raccoglie e distribuisce i dati di geofisica della Terra solida.



5. REXELWEB: uno strumento per la selezione di registrazioni sismiche spettro-compatibili

REXELweb è l'applicazione web, progettata per selezionare combinazioni di accelerogrammi registrati compatibili con assegnate forme spettrali, di normativa (es. NTC2018, *Eurocodice 8*) o personalizzate, sfruttando la piena integrazione con i portali ITACA/ESM (*Sgobba et al. 2019; 2021*). Esso rappresenta la naturale evoluzione del software standalone REXEL (*Iervolino et al., 2010*), sviluppato dall'Università degli Studi Federico II di Napoli. L'integrazione del tool all'interno delle banche dati ITACA ed ESM consente di accedere ad un ampio insieme di registrazioni sismiche di elevata qualità, manualmente processate, incrementando notevolmente la possibilità di ottenere combinazioni spettro-compatibili.

La selezione avviene attraverso tre fasi principali:

1. Definizione dello spettro obiettivo: l'utente può scegliere lo spettro di riferimento tra diverse opzioni: spettri di normativa (*Italiana, NTC18 o Europea EC8*), oppure spettri derivati da studi di pericolosità sismica locali o da modelli ufficiali come MPS04 (*Stucchi et al. 2011*) per l'Italia o ESHM13 (*Giardini et al. 2014; Woessner et al. 2015*) per l'Europa (Fig. 5).
2. Ricerca delle registrazioni candidate alla spettro-compatibilità: la selezione delle registrazioni potenzialmente compatibili avviene sulla base di criteri quali magnitudo, distanza epicentrale, classe di suolo o parametri di scuotimento (Fig. 6).
3. Verifica della spettro-compatibilità: questa fase consiste nel confronto degli spettri delle registrazioni selezionate con quello obiettivo, individuando le combinazioni che soddisfano i limiti di tolleranza previsti (Fig. 7).

I risultati vengono restituiti sotto forma di grafici interattivi e tabelle, che riportano magnitudo, distanza e parametri delle registrazioni selezionate. Gli accelerogrammi spettro-compatibili possono essere scaricati direttamente dai portali ITACA/ESM nei formati standard (ASCII o HDF5), insieme a un file in formato JSON di riepilogo dell'analisi.

Grazie alla sua interfaccia semplice e intuitiva, **REXELweb** è oggi uno strumento molto utilizzato da chi si occupa di progettazione sismica e analisi di risposta sismica locale.

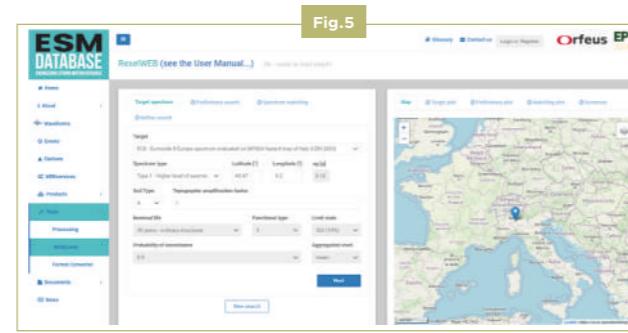


Fig. 5: Pannello di REXELweb per la definizione dello spettro obiettivo (<https://esm-db.eu/#/rexel>).



Fig. 6: Pannello grafico di REXELweb per l'inserimento dei criteri di selezione e visualizzazione degli spettri (<https://esm-db.eu/#/rexel>).

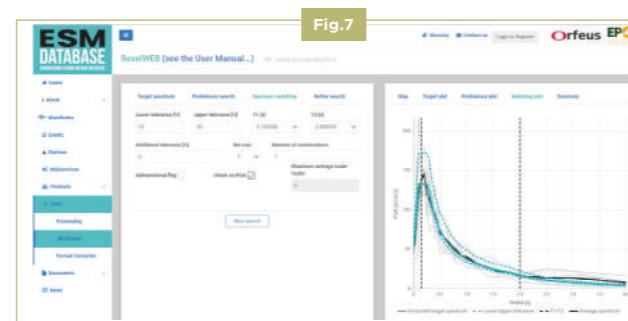


Fig. 7: Pannello grafico di REXELweb per l'inserimento dei criteri di spettro-compatibilità e restituzione grafica di un esempio di combinazione (<https://esm-db.eu/#/rexel>).

6. DALLA RICERCA ALLA PRATICA PROFESSIONALE

ITACA, ESM e REXELweb costituiscono un sistema digitale unico nel panorama europeo, frutto della sinergia tra ricerca scientifica, tecnologia e applicazione professionale, offrendo alla comunità un accesso diretto a migliaia di registrazioni sismiche di elevata qualità e trasformando la conoscenza in uno strumento operativo.

BIBLIOGRAFIA

EC8 - CEN (Comité Européen de Normalisation) 2004 Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance-Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings, Comité Européen de Normalisation Brussels 2004.

Felicetta C., Russo E., D'Amico M., Sgobba S., Lanzano G., Mascandola C., Pacor F., Luzi L. (2023) Italian Accelerometric Archive v4.0 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Dipartimento della Protezione Civile Nazionale. doi: 10.13127/itaca.4.0

Felicetta C., Lanzano G., Luzi L., Mascandola C., Pacor F., Russo E., Sgobba S. (2025) 50 anni di terremoti in Italia analizzati con la banca dati ITACA. <https://ingterremoti.com/2025/05/19/50-anni-di-terremoti-in-italia-analizzati-con-la-banca-dati-itaca/>

Giardini, D., J. Woessner, L. Danciu (2014) Mapping Europe's Seismic Hazard. EOS, 95(29): 261-262

Iervolino, I., Galasso, C., Cosenza, E. (2010) REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. Bulletin of Earthquake Engineering 8: 339-362.

Luzi L., Puglia R., Russo E., D'Amico M., Felicetta C., Pacor F., Lanzano G., Çeken U., Clinton J., Costa G., Duni L., Farzanegan E., Gueguen P., Ionescu C., Kalogerias I., Özener H., Pesaresi D., Sleeman R., Strollo A., Zare M. (2016) The Engineering Strong-Motion Database: A Platform to Access Pan-European Accelerometric Data. Seismological Research Letters; 87 (4): 987-997. doi:<https://doi.org/10.1785/0220150278>

Luzi L., Lanzano G., Felicetta C., D'Amico M. C., Russo E., Sgobba S., Pacor, F., & ORFEUS Working Group 5 (2020) Engineering Strong Motion Database (ESM) (Version 2.0). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/ESM.2>

Michelini, A., Faenza, L., Lauciani, V. and Malagnini, L., 2008. ShakeMap implementation in Italy. Seismological Research Letters, 79(5), pp.688-697.

NTC 2018, Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14/01/2008, Gazzetta Ufficiale n. 29-4 febbraio 2008. Suppl. Ordinario n. 30. Capitolo 3 Azioni sulle costruzioni [in Italian].

Sgobba, S., Puglia, R., Pacor F., Luzi, L., Russo, E., Felicetta, C., Lanzano, G., D'Amico, M., Baraschino, R., Baltzopoulos, G., Iervolino, I. (2019) REXELweb: a tool for selection of ground-motion records from the Engineering Strong Motion database (ESM). 7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (ICEGE) 17 - 20 June 2019, Roma, Italy.

Sgobba, S., C. Felicetta, E. Russo, M. D'Amico, G. Lanzano, F. Pacor, L. Luzi, R. Baraschino, G. Baltzopoulos, I. Iervolino The online graphical user interface of REXELweb for the selection of accelerograms from the engineering strong motion database (ESM). Atti del 39° convegno online GNGTS 22-24 giugno 2021.

Stucchi, M., Meletti, C., Montaldo, V., Crowley, H., Calvi, G.M. and Boschi, E., 2011. Seismic hazard assessment (2003-2009) for the Italian building code. Bulletin of the Seismological Society of America, 101(4), pp.1885-1911.

Wald, D.J., Quitoriano, V., Heaton, T.H., Kanamori, H., Scrivner, C.W. and Worden, C.B., 1999. TriNet "ShakeMaps": Rapid generation of peak ground motion and intensity maps for earthquakes in southern California. Earthquake Spectra, 15(3), pp.537-555.

Wald, D.J., Worden, B.C., Quitoriano, V. and Pankow, K.L., 2005. ShakeMap manual: technical manual, user's guide, and software guide (No. 12-A1).

Woessner, J., L. Danciu, D. Giardini and the SHARE consortium (2015), The 2013 European Seismic Hazard Model: key components and results, Bull. Earthq. Eng., doi:10.1007/s10518-015-9795-1.



Rubrica Dubbi Certi

a cura di FABIO LATTANZI

LIBRI PER LIBRI...LIBRI AL QUADRATO

Nell'anno 2024 sono stati pubblicati più di 85.000 nuovi libri, un numero ragguardevole, spaziando dalla narrativa alla letteratura d'intrattenimento, dai ricettari alla poesia, dai libri per bambini ai saggi filosofici e scientifici...una giungla...Come districarsi ?

Tra le nuove uscite magari, di autori esordienti, riuscire a capire tra un buon libro e un cattivo libro, trovare il discrimine, delle volte è molto difficile...Certo ci sono le riviste specializzate o il passaparola (ma chi ha tempo per certe cose).

Io personalmente in genere per la narrativa mi rivolgo ai classici...difficilmente compro cose attuali, non che non ci siano bravi autori, ma preferisco non rischiare, in questo campo sono alquanto conservatore, diversamente per la saggistica scientifica ovviamente le ultime uscite sono o perlomeno dovrebbero essere quelle migliori, almeno dal punto di vista dell'aggiornamento dell'informazione.

Però in ultima analisi penso che il tempo sia il vero discrimine della bontà di un'opera letteraria.

Portando un esempio con la musica, i dischi dei Beatles sono ancora (a distanza della loro ultima incisione avvenuta quasi 55 anni fa) tra i primi cento dischi più venduti al mondo.

Ognuno poi ha il suo punto di vista riguardo ai libri; ricordo ai tempi dell'università di un signore di una certa età, che abitava sotto il mio appartamento con cui mi intrattenevo ogni tanto a casa sua a parlare di libri, una volta discutendo di Dante mi disse che il Paradiso era un'ottima opera letteraria indicandomi simultaneamente con l'indice la sua credenza dove il Paradiso di Dante sorreggeva egregiamente lo spigolo destro del mobile, lui mi disse che quel

libro era stato scritto per servire a quello...in effetti la sua considerazione non era poi così sbagliata.

Citando Italo Calvino che diceva che un classico è *"un'opera che non finisce mai di dire"*, aveva ragione da vendere, un buon libro ci deve sempre trasmettere qualcosa o meglio, preciserei dicendo che un libro ci deve arricchire o con le sensazioni o con la conoscenza, insomma dopo che lo abbiamo letto dobbiamo essere persone migliori.

L'editore Valentino Bompiani diceva *"un uomo che legge ne vale due"*, questo perché ovviamente la lettura ci arricchisce, ci fa riflettere, espande il nostro universo di comprensione è come se vivessimo più vite contemporaneamente.

Umberto Eco sosteneva che *"i classici sono i best-sellers dell'antichità"*, questa interpretazione del libro classico apre rispetto i classici stessi una visione che in effetti non si era mai considerata fino in fondo, ovvero se i best-seller sono i libri più letti non sono però necessariamente i migliori... Quindi i "Classici" quelli con la C maiuscola quelli greci e latini che tanto si fanno studiare ai nostri licei che sono a noi pervenuti grazie alla certosina pazienza dei monaci copisti e per altre rocambolesche vie non rappresenterebbero la migliore letteratura dei tempi passati ma semplicemente quelli che erano i più venduti/piaciuti e copiati... E qui cade d'obbligo un'amara riflessione...pensate se ci fossero per venuti tutti gli altri...Che ricchezza abbiamo perso.

Pensate all'influenza che hanno avuto gli scritti di Platone e di Aristotele, che con le loro idee hanno fondato la nostra società occidentale.

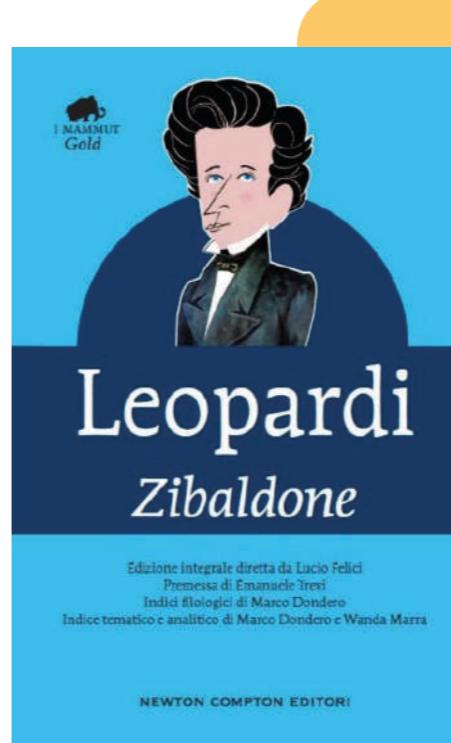
Dopo questa prolissa premessa con permesso passerò ai libri. Quindi basta alle ciance...rullo di tamburi e via!

Ora parliamo di libri...considerando che quando arriverà la rivista e voi la sfoglierete...saremmo arrivati quasi a Dicembre e Dicembre porta Natale e Natale porta i doni e che cosa regaliamo a Natale?...Libri...Ovvio no ?

Quindi in questa parte della rubrica sarò il vostro consigliere.

Propongo qui sotto una "scaterbata" di titoli a cui voi potete attingere a piene mani per le vostre strenne natalizie anche in maniera ossessiva compulsiva o psicotica, l'importante è acquistare e regalare.

Premetto che farò la recensione solo del primo libro, degli altri metterò soltanto la foto, poi cercate voi l'edizione e/o l'editore che più vi agrada (ormai siete grandi...qualcuno ha già tolto il pannolino...qualche altro ha messo il pannolone...)



Questo libro è il libro più sottovalutato di tutta la storia letterario-filosofica del mondo...non so perché...e non voglio saperlo...ormai sono anni che me lo godo centellinando giorno dopo giorno il suo contenuto che è immenso.

In Italia Giacomo Leopardi ce lo fanno studiare a scuola con le sue poesie e ci dicono qualcosa della sua vita...e basta.

Io penso che le sue poesie, ovvero il suo impegno per scriverle corrisponda all'impegno che metteva Diego Armando Maradona quando scendeva in campo 5 minuti prima dell'inizio della partita e faceva per riscaldamento quei palleggi che per lui erano un semplice gioco di abilità mentre per i giocatori dell'intero globo era una cosa impossibile da fare e tutti lo guardavano a bocca aperta gridando al miracolo.

Poi c'era il fischio d'inizio e cominciava il Maradona Show.

Giacomo si scaldava con i versi in rima poi a muscoli sciolti scriveva tutto il resto...Il mondo ancora deve scoprire la grandezza della sua letteratura e della sua filosofia...Schopenhauer lo considerava come il «fratello spirituale italiano»...Nietzsche lo ammirava e rispettava il suo pensiero.

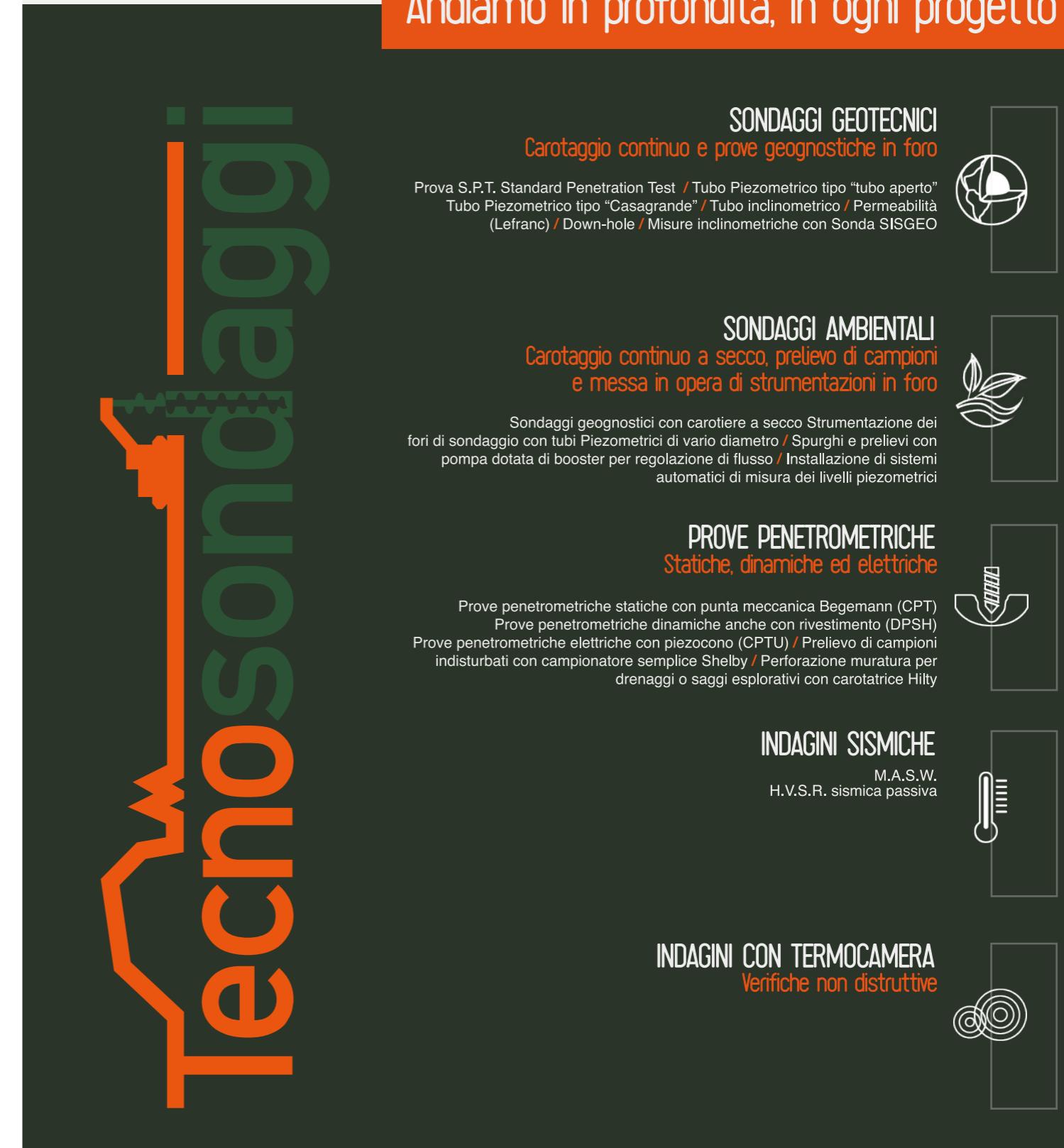
Comprate questo libro...è un ordine !

Editore: Newton Compton Editori

Lunghezza stampa: 964 pagine

ISBN-10: 8854197750

ISBN-13: 978-8854197756



Andiamo in profondità, in ogni progetto

SONDAGGI GEOTECNICI

Carotaggio continuo e prove geognostiche in foro

Prova S.P.T. Standard Penetration Test / Tubo Piezometrico tipo "tubo aperto" / Tubo Piezometrico tipo "Casagrande" / Tubo inclinometrico / Permeabilità (Lefranc) / Down-hole / Misure inclinometriche con Sonda SISGEO



SONDAGGI AMBIENTALI

Carotaggio continuo a secco, prelievo di campioni e messa in opera di strumentazioni in foro

Sondaggi geognostici con carotiere a secco Strumentazione dei fori di sondaggio con tubi Piezometrici di vario diametro / Spurghi e prelievi con pompa dotata di booster per regolazione di flusso / Installazione di sistemi automatici di misura dei livelli piezometrici



PROVE PENETROMETRICHE

Statiche, dinamiche ed elettriche

Prove penetrometriche statiche con punta meccanica Begemann (CPT) / Prove penetrometriche dinamiche anche con rivestimento (DPSH) / Prove penetrometriche elettriche con piezocono (CPTU) / Prelievo di campioni indisturbati con campionatore semplice Shelby / Perforazione muratura per drenaggi o saggi esplorativi con carotatrice Hilti



INDAGINI SISMICHE

M.A.S.W.
H.V.S.R. sismica passiva



INDAGINI CON TERMOCAMERA

Verifiche non distruttive



Via Abbadia, 39 - 60027 - Osimo (AN) - Italia
tel. +39 335 6686573 - fax 071 781840
tecnosondaggi@katamail.com

Azienda certificata ISO 9001

www.tecnosondaggi.it





Servizi Geologici & Indagini Sismiche

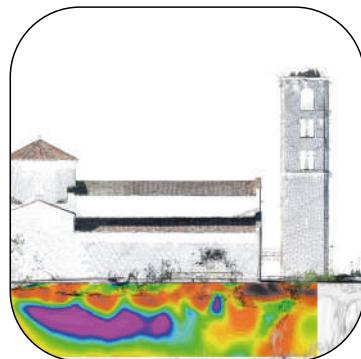
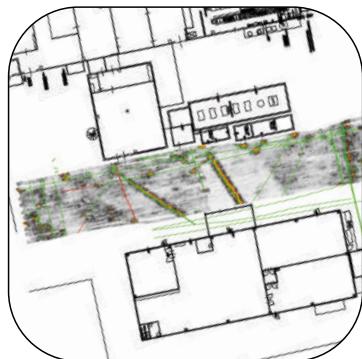
★ Nuova Strumentazione di Geofisica e Geoelettrica ★

GEORADAR MULTICANALE STREAM DP DELLA IDS



**GEORADAR STREAM DP
MULTIFREQUENZA A 30
CANALI CON
RESTITUZIONE AREALE
3D GEOREFERENZIATA!!!**

GEORESISTIVIMETRO SISCAL TERRA SWITCH 20 CANALI - 96 ELETTRODI DELLA IRIS INSTRUMENT



**DOPPIO
GEORESISTIVIMETRO
SISCAL TERRA PER
TOMOGRAFIE
ELETTRICHE 2D E 3D.
GRAZIE ALLA
TECNOLOGIA GPS
INTEGRATA I
GEORESISTIVIMETRI
SONO IN GRADO DI
LAVORARE SENZA
CABLAGGIO DIRETTO
SUPERANDO OGNI
OSTACOLO FISICO!!!**

- > Sondaggi a carotaggio continuo ed a distruzione di nucleo con prove in foro
- > Indagini Ambientali
- > Prove penetrometriche DPSH-CPT-CPTE-CPTU-DLM
- > Sondaggi e prelievo di campioni con tecnica Geoprobe
- > Prove di emungimento su pozzi e piezometri
- > Prove di carico su pali, micropali
- > Prove di trazione, a sfilamento e pull out

- > Sismica a rifrazione, riflessione Down Hole, Cross Hole
- > MASW, SASW, MASW 2D
- > Sismica passiva: REMI, HVSR, ESAC, SPAC
- > Analisi di risposta sismica locale 1D - 2D
- > Geoelettrica SEV, SEO, FLV
- > Tomografia Elettrica 2D e 3D polarizzazione indotta
- > Rilievi Georadar
- > Log geofisici in foro

- > Monitoraggio frane e versanti (Inclinometri, estensimetri, ecc...)
- > Monitoraggi idrogeologici e strumentali (piezometri elettrici, misuratori di portata ecc..)
- > Monitoraggi ambientali (stazione meteoclimatiche, sonde soil gas sensori fisico-chimici, campi elettromagnetici)
- > Monitoraggio strutturale (fessurimetri, clinometri, estensimetri, assestimetri, celle di carico ecc..)
- > Video ispezioni di tubature e pozzi
- > Rilievi fotogrammetrici

Geco Srl Servizi Geologici & Indagini Sismiche
Via Osoppo, 38 / 60015 Falconara Marittima (AN)