



▶
**OPERA DI PRESA,
LA FONTACCIA
CASTAGNETO C.CCI**

Foto di Antonio Muti

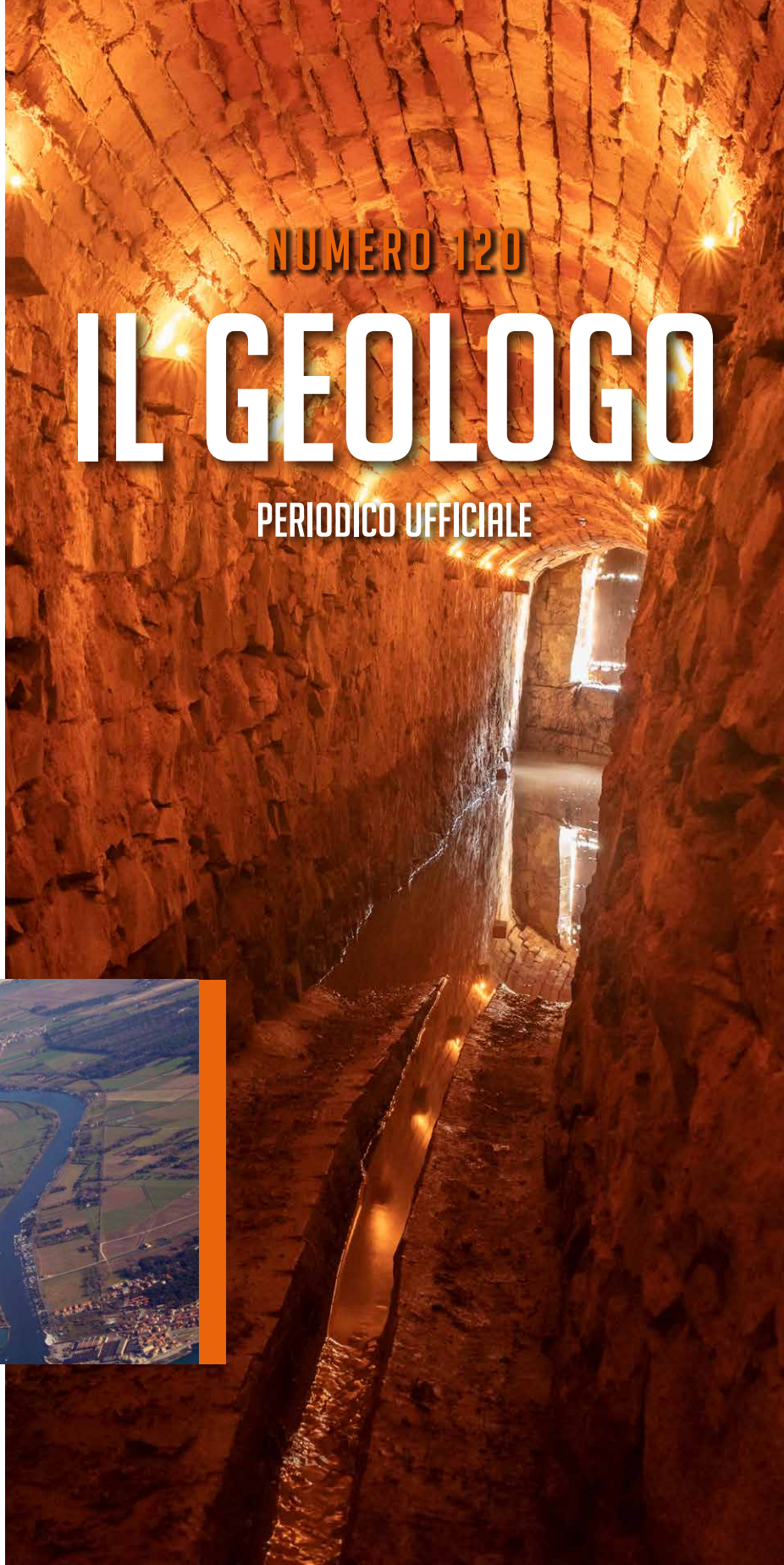
LA FOCE DELL'ARNO

Articolo a Pagina 24
▼



ogt

ORDINE del
GEOLOGI della
TOSCANA



NUMERO 120

IL GEOLOGO

PERIODICO UFFICIALE

Il viaggio delle acque
contaminate termina
sulla nostra tavola.

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

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



Sottocontrollo



ARES II/10 è un ottimo georesistivimetro multicanale: studi ambientali, ricerca di inquinanti, rilievi di cavità e archeologici...

Strumenti – anche a noleggio – per:

studio del sottosuolo

- > rilievi pre-scavo, ricerca inesplosivi OBI (UXO)
- > mappatura 3D di sottoservizi, cavità e scavarnamenti

gallerie, ponti viadotti

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

strade, autostrade, aeroporti

- > valutazione spessore delle pavimentazioni
- > analisi di grandi strutture e infrastrutture

studio di strutture subacquee e fondali

- > ispezione delle parti sommerse di ponti e dighe
- > rilievi in porti, bacini idroelettrici, cave...



Codevintec rappresenta anche:



CODEVINTEC

Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare

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



 KELLER

HYDROSTATIC PRESSURE MEASUREMENTS

WATER & FUELS



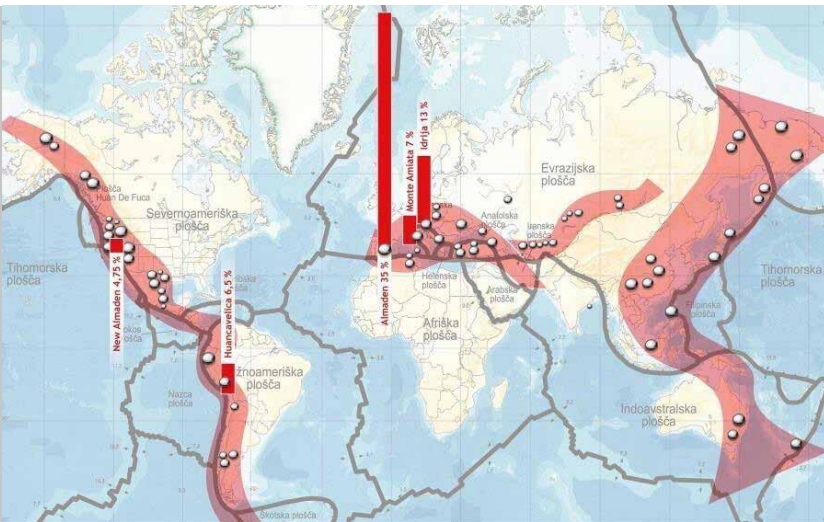
KELLER SERIES 26X

- For liquid level and fill level measurements
- Highly accurate measured values
- Excellent long-term stability
- Extended lightning protection available
- Analogue & digital interfaces can be combined
- Scalable analogue output (turn-down)
- Many years of maintenance-free operation

keller-pressure.com

N. 120

SOMMARIO



**DISTRIBUZIONE GLOBALE DEL HG LUNGO LE CINTURE METALLIFERE (ROSSO),
LE MINIERE (PALLINI GRIGI) E LA PRODUZIONE IN PERCENTUALE DELLE PRIME 5**

Foto CUDHg - Idrija



**LA FOCE DELL'ARNO; ACCANTO A ESSA MARINA DI PISA E,
IN LONTANANZA, SI SCORGE PISA**

Foto di I. Toksave (wikipedia)

07 EDITORIALE

RICCARDO MARTELLI
Presidente dell'ordine dei Geologi
della Toscana

09 DALLA REDAZIONE

ALESSANDRO DANESI
Coordinatore di redazione

10 PILLOLE DI GEOTECNICA

Oggi parliamo di prove triassiali

16 SCIENZA E RICERCA

Concentrazioni del mercurio in
prossimità dei rilevati stradali (A1)
e ferroviari nella zona di Orvieto
(Terni)

24 SCIENZA E RICERCA

Valutazione quantitativa del rischio
da frane a cinematica lenta nel
bacino del fiume Arno

32 IN MEMORIA DI

COMUNICATO STAMPA – II°/2023

LABORATORI GEOTECNICI AUTORIZZATI DELLA TOSCANA

IL SISTEMA DEI LABORATORI AUTORIZZATI PREVISTO DALLA NORMATIVA VIGENTE E' RAFFORZATO DALLA SENTENZA 5795 DEL CONSIGLIO DI STATO DEL 16/06/2023.

Facendo riferimento alle numerose Gare e Bandi indetti ultimamente, sia da stazioni appaltanti di grandi che di piccole dimensioni, con il presente comunicato riteniamo utile, ancora una volta, segnalare alcune importanti considerazioni che discendono, oltre che dalla lettura della normativa esistente, da una recente sentenza del Consiglio di Stato.

La Sentenza riguarda il ricorso che la società Geosystem, che gestisce un Laboratorio autorizzato dal MIT, rappresentata e difesa dall'Avv. prof. Salvatore Menditto supportato da **ALGI** (Associazione Laboratori Geotecnici Italiani), **ALIG** (Associazione Laboratori d'Ingegneria e Geotecnica), **ALPI** (Associazione Laboratori e Organismi di Certificazione e Ispezione), **MASTER** (Associazione Materials and Structures, Testing and Research), aveva promosso contro la sentenza del TAR del Lazio che, pur riferendosi a specifiche attività di prelievo sulle strutture esistenti, andava a mettere in discussione il più ampio sistema delle autorizzazioni ministeriali.

Tale pronuncia oltre a dare, nello specifico, necessaria chiarezza riguardo competenze e qualifiche per operare nel delicato settore dei controlli sulle strutture esistenti, riesce a porre una parola definitiva anche rispetto al complesso delle prerogative attribuite dalla norma ai laboratori autorizzati fornendo utili indicazioni proprio per i bandi e gli avvisi pubblici relativi a tali attività.

A tal proposito per ciò che concerne Prove di laboratorio ed indagini certificate, a maggior ragione dopo la sentenza del Consiglio di Stato n. 5795 del 16.06.2023, andrebbe precisato in ogni DISCIPLINARE DI GARA che esse devono essere eseguite e certificate dai Laboratori ufficiali o autorizzati dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. 380/2001, per ciascun ambito di competenza, evitando il sub-appalto e scorporando i vari settori di attività.

Di seguito si elencano i diversi settori previsti dal D.P.R.:

a) Prove sui materiali da costruzione.

Per questa tipologia di Laboratori esistono due distinte autorizzazioni disciplinate dalla Circolare 08 settembre 2010, n. 7617/STC "Criteri per il rilascio dell'autorizzazione ai Laboratori per l'esecuzione e certificazione di prove sui materiali da costruzione":

- Settore A) comprendente le prove sui seguenti materiali "Calcestruzzi - Acciai - Laterizi - Leganti idraulici";
- Settore B) comprendente le prove sui seguenti materiali "Legno massiccio - Legno lamellare -Pannelli a base di legno".

c) Prove di laboratorio su terre e rocce.

Per questa tipologia di Laboratori esistono due distinte autorizzazioni disciplinate dalla Circolare 08 settembre 2010, n. 7618/STC "Criteri per il rilascio dell'autorizzazione ai Laboratori per l'esecuzione e certificazione di prove su terre e rocce":

- Settore A) comprendente le prove sulle terre;
- Settore B) Comprendente le prove sulle rocce.

c-bis) Prove e controlli su materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti".

Per questa tipologia di Laboratori esistono tre distinte autorizzazioni disciplinate dalla Circolare 03 dicembre 2019, n. 633/STC "Criteri per il rilascio dell'autorizzazione ai Laboratori per prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti":

- Settore A) comprendente le prove su strutture in calcestruzzo armato normale, precompresso e muratura;
- Settore B) comprendente le prove su strutture metalliche e strutture composte;
- Settore C) comprendente le prove dinamiche sulle strutture.

Per ogni tipologia di laboratorio a cura della Stazione Appaltante e della D.L. dovrà essere verificato il possesso dell'autorizzazione nello specifico settore e negli specifici metodi di prova.

La.G.A.Tos.



ogt
 ORDINE del
 GEOLOGI della
 TOSCANA

EDITORIALE

IL PUNTO



IL GEOLOGO | EDITORIALE

RICCARDO MARTELLI

PRESIDENTE DELL'ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA

Carissime colleghe e carissimi colleghi, l'evento che ha coinvolto l'Emilia-Romagna ed alcuni comuni dell'Alto Mugello nel maggio scorso, ha accelerato alcuni processi che stavamo portando avanti in modo paziente ed ostinato.

Uno di questi, diventato improvvisamente urgente, riguarda le attività condotte dal sistema di protezione civile, alle quali concorrono Ordini e Collegi, sulla base di quanto disposto dai codici di protezione civile nazionale e della Regione Toscana.

Già nel 2019 il nostro Ordine ha sottoposto al dipartimento regionale competente il testo di una convenzione per disciplinare

attività che le nostre iscritte e nostri iscritti possono svolgere in fase di emergenza e post-emergenza, oltre alle attività formative ed informative connesse. Dico subito che non è stato un percorso facile, a causa di una certa inerzia che abbiamo riscontrato, legata al fatto che in alcuni uffici regionali non si gradiva che solo una categoria professionale avviasse un percorso di quel tipo, senza dimenticare poi che nel frattempo c'è stato un cambio di legislatura, che si è portato dietro un naturale processo di riorganizzazione delle attività. Ad ogni buon conto, all'inizio del 2021 abbiamo finalmente inoltrato in via ufficiale un testo di convenzione, che però non ha avuto riscontro da parte

dell'assessorato competente e così abbiamo dovuto modificare la rotta tracciata inizialmente, coinvolgendo questa volta la Rete Toscana delle Professioni Tecniche. Nel corso del 2022, il nostro Ordine, che coordina la commissione protezione civile, ha proposto e successivamente elaborato il testo di un accordo quadro per le attività di protezione civile, una formula più ampia che ha trovato rapidamente la convergenza di tutti gli Ordini e Collegi. Questa iniziativa ha trovato il suo compimento nel maggio del 2023, quando è stato firmato il documento dalla Regione Toscana e dalla Rete Toscana delle Professioni Tecniche, un testo all'ombra del quale saranno successivamente disciplinati

accordi diretti fra Regione e Ordini e Collegi.

Accade poi che gli eventi, talvolta, siano più veloci della volontà delle persone e, pochi giorni dopo la firma dell'accordo quadro, si verifichi qualcosa di inedito. Due eventi meteo, classificati entrambi con tempi di ritorno almeno pluri-decennali, si manifestano nel medesimo areale e nell'arco di soli 14 giorni, provocando lutti e danni ingentissimi. Lasciando all'isteria dei mass-media e dei social il dibattito che riguarda le cause delle mutazioni climatiche che determinano questo genere di fenomeni, ci interessa posare la nostra attenzione sulla singolarità degli effetti e sulle attività di rilevamento che si sono rese necessarie a seguito del secondo di questi eventi meteo.

Dopo un cumulo di pioggia circa 600 mm caduti in 14 giorni, in tre comuni dell'Alto Mugello, Firenzuola, Marradi, Palazzolo sul Senio, si attivano centinaia di frane di varie dimensioni e cinematismi. Un disastro per la rete infrastrutturale in particolare, che per essere ripristinata ha l'immediata necessità di effettuare una valutazione diretta della natura, della consistenza e dello stato di attività dei fenomeni franosi.

Nelle ore seguenti, Regione Toscana contatta l'Ordine dei Geologi della Toscana per richiedere la disponibilità di professioniste e professionisti per eseguire queste fondamentali valutazioni. Dopo poche l'Ordine è in grado di fornire la disponibilità di tre iscritti, già formati in occasione degli eventi di Ischia, due dei quali il giorno seguente sono già sul campo ad operare. Viene successivamente inviata da parte dell'Ordine una richiesta di manifestazione di interesse a tutte le iscritte e iscritti per operare nei comuni interessati dalle frane, prevedendo una ulteriore richiesta da parte di Regione Toscana, che puntualmente arriva. Alla fine saranno una trentina le colleghe e

colleghe che avranno manifestato la disponibilità ed una decina quelli che avranno operato in Alto Mugello, con un'offerta di aiuto che è stata molto maggiore della richiesta avanzata dalle amministrazioni coinvolte negli eventi.

Un vanto per la nostra comunità, che ha risposto con il cuore ancor prima che con la propria competenza e professionalità, qualità queste che poi sono state ampiamente riconosciute da comuni e regionale: doppio vanto, quindi. Ma la vanità ha valore nullo, quello che è davvero importante e che resta è la consapevolezza della centralità del nostro ruolo anche nel settore della Protezione Civile, posizione che non abbiamo ricevuto per diritto divino, ma che abbiamo conquistato con un'evoluzione che siamo stati capaci di agevolare con le nostre specifiche qualità e conoscenze, con il lavoro quotidiano di colleghe e colleghi, con la loro capacità di adattare i nostri saperi ad un servizio che rendiamo alla collettività. In Alto Mugello le nostre colleghe e colleghi hanno lavorato a diretto contatto con altri professionisti dell'area tecnica, dando corpo, sul campo, ad un modello di organizzazione al quale ora dobbiamo tendere. Anche su invito della Regione Toscana, il nostro Ordine andrà presto a proporre alla Rete Toscana Professioni Tecniche un progetto per l'organizzazione di un vero e proprio corpo tecnico regionale, che dovrà integrarsi con la Struttura Tecnica Nazionale. Si tratterà di regolare, partendo col mettere nero su bianco le procedure che sono state adottate a maggio, le attività tecniche necessarie in condizioni di emergenza e nelle fasi post-emergenza, creare standard operativi, modalità di allertamento, criteri di formazione ed informazione. Questo era uno degli obiettivi che in nostro gruppo di lavoro aveva dichiarato fin dall'inizio, adesso siamo a metà di una percorso

difficile, ma siamo consapevoli della determinazione e della competenza di tante nostre colleghe e colleghi e questo ci dà garanzie per portarlo a compimento.

Intravediamo in questo settore un importante sbocco lavorativo negli anni a venire per la nostra categoria ed abbiamo il dovere di svilupparne tutte le potenzialità, agendo come promotori consapevoli di questa evoluzione, per non subire passivamente le scelte di altri.

Resta un punto aperto, tutt'altro che residuale: la forza effettiva che potrà avere la nostra categoria professionale ed il nostro Ordine nei prossimi anni, non tanto per le competenze, quanto per i numeri, ma di questo avremo modo di ragionare insieme già a settembre, quando ripartiremo con le riunioni delle commissioni territoriali.



ogt

ORDINE del
GEOLOGI della
TOSCANA



ALESSANDRO DANESI
COORDINATORE DI REDAZIONE

Care Lettrici, cari Lettori, in questo nuovo numero siamo orgogliosi di presentare altre due Tesi di Laurea che sono state premiate durante la manifestazione in ricordo di David Giuntini con il premio omonimo. Come abbiamo già avuto modo di scrivere queste Tesi sono una finestra sul mondo della ricerca e uno spunto per il mondo della professione, con argomenti innovativi o che potrebbero avere risvolti interessanti anche per la loro applicazione.

Nei prossimi numeri si intensificherà la edizione degli abstract delle Tesi sperando che questo possa essere da stimolo e da incoraggiamento per i giovani dottori in Scienze della Terra. La pubblicazione delle tesi vuole infatti inserirsi nel contesto della creazione di un circolo virtuoso che possa creare opportunità di crescita e confronto dei neo Dottori con il mondo professionale che rappresenta lo sbocco preferenziale per i giovani laureati che, sempre di più, costituisce il bacino di elezione per le iscrizioni ai

corsi di Laurea di Scienze della Terra. La nostra professione sta affrontando un periodo di grandi cambiamenti e una solida rete di collaborazione rappresenta una barriera resiliente che anche noi, nel nostro piccolo, cerchiamo di costruire e proteggere. Vi auguro una buona lettura.

TECNA Srl

CQOP SOA
CONSTRUTTORI QUALIFICATI OPERE PUBBLICHE
OS 21 : II OS 20-B : I
Attestazione : 65213 / 10 / 00

IMQ
CERTIFIED
QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
ISO 9001:2015

MORETTI

Via Achille Grandi, 51 - 52100 AREZZO - tel **0575 323501**, fax **0575 1979797**, cell: **335 1020000**, e-mail: **tecna@geognostica.it**
AUTORIZZAZIONE MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI AD EFFETTUARE E CERTIFICARE PROVE GEOTECNICHE SUI TERRENI N. 4542 DEL 13/04/2012

- Perforazioni a carotaggio continuo
- Perforazioni a distruzione di nucleo
- Carotaggio continuo di tipo ambientale
- Prove Penetrometriche statiche CPT
- Prove Penetrometriche statiche CPTE
- Prove Penetrometriche statiche CPTU
- Prove penetrometriche dinamiche SPT
- Prove penetrometriche dinamiche DPSH
- Prove con dilatometro piatto Marchetti DMT



Numero Verde
800 102000

- Micropali e pali di sottofondazione
- Tiranti a trefoli ed in barre, ancoraggi
- Prove scissometriche VBT

ANISIG
Associazione Nazionale
Imprese Specializzate
in Indagini Geognostiche

- Pozzi per acqua
- Prove permeabilità Lefranc
- Prove permeabilità Lugeon
- Prelievo campioni indisturbati
- Installazione tubi inclinometrici
- Installazione tubi per down-hole





PILLOLE DI GEOTECNICA

A CURA DEL PROF. PIERO FOCARDI

OGGI PARLIAMO DI PROVE TRIASSIALI

Le prove triassiali di laboratorio consistono nel determinare le deformazioni e la resistenza alla compressione assiale di provini sottoposti a prefissata pressione idrostatica.

I provini sono di forma cilindrica e hanno rapporto 3/2 tra altezza e diametro.

Per conferire la pressione idrostatica al provino, ricoperto da membrana impermeabile, è inserito in una cella che comunica con l'esterno per il suo riempimento con acqua a pressione controllata

I carichi verticali sono trasmessi al provino mediante pistone.

Nella parte superiore e inferiore del provino sono collocate pietre porose collegate all'esterno da condotti che possono essere tenuti aperti o chiusi. Vedi schema in figura 1.

Il sistema dispone delle seguenti apparecchiature:

- Sistema di carico verticale sul provino controllato da celle di carico o dinamometri.
- Sistema di misura delle deformazioni verticali del provino.
- Sistema idrico per immettere acqua nella cella e nell'interno del provino.
- Sistema di misura delle pressioni interstiziali.
- Sistema di misura delle variazioni volumetriche del provino attraverso la misura dell'acqua espulsa dal campione.

In definitiva con l'apparecchio triassiale standard è possibile:

- esercitare una pressione totale isotropa sul provino agendo sull'acqua contenuta nella cella;

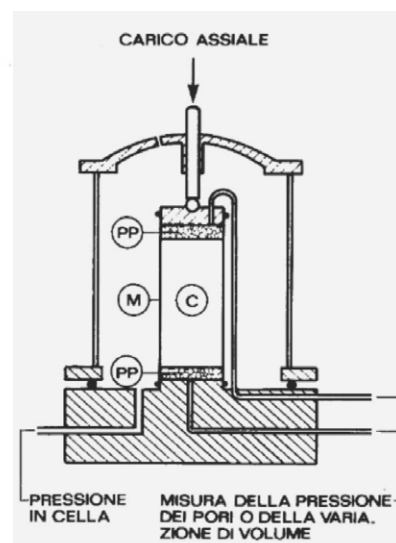
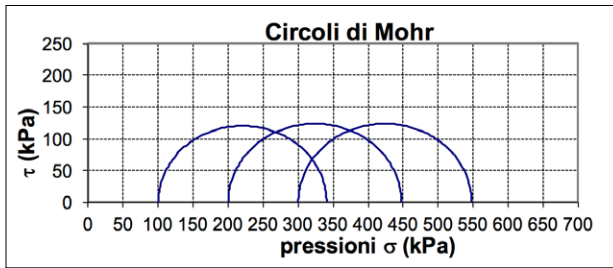


FIGURA 1

Disegno schematico della cella triassiale. C: campione; PP: pietre porose; M: guaina.



▲
FIGURA 2

Cerchi di Mohr in prova triassiale TxUU su terreno saturo.

- impedire il deflusso dell'acqua situata nell'interno del provino o favorirla controllando il processo di consolidazione del provino con la misurazione dell'acqua espulsa attraverso i tubi di drenaggio;
- deformare assialmente il provino a velocità costante fino ed oltre la rottura con deformazioni massime del 20 %.
- misurare il volume di acqua espulso o assorbito dal provino durante la compressione assiale a drenaggi aperti;
- misurare la forza durante la compressione assiale;
- -misurare la pressione dell'acqua nei condotti di drenaggio (che si suppone eguale alla pressione interstiziale uniforme nei pori del provino) quando la compressione, isotropa o assiale, avviene a drenaggi chiusi;
- immettere acqua in pressione nel provino in modo controllato per saturarlo (back pressure) o per eseguire test particolari.

Le prove triassiali standard sono condotte secondo tre modalità diverse.

A) Prova triassiale non consolidata non drenata (TxUU)

La prova simula le condizioni di un terreno di bassa permeabilità soggetto a sollecitazioni esercitate in tempi brevi rispetto a quelli che occorrono al terreno stesso per espellere l'acqua e annullare le sovrappressioni indotte dal carico.

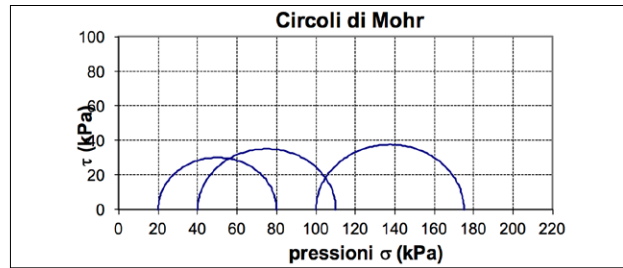
La prova consiste nell'applicare preventivamente la pressione idrostatica σ_3 in cella tenendo chiuso il drenaggio della base e della testa del provino.

Si procede successivamente all'incremento del carico verticale ($\sigma_1 - \sigma_3$) procedendo ad una velocità costante abbastanza alta ($v=0,5-1,0$ % /min) corrispondente a un tempo di prova di 20-40 minuti.

Durante la prova si misurano le forze e le deformazioni del provino fino alla rottura o al raggiungimento di deformazioni massime corrispondenti al 20% della lunghezza del provino. Dalle forze misurate dal sistema di carico si passa alla determinazione delle pressioni dividendo le forze per la sezione media del provino calcolata attraverso le variazioni di altezza.

I risultati della prova vengono rappresentati con i cerchi di Mohr con σ_3 pressione orizzontale equivalente alla pressione idrostatica iniziale in cella e $\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma$ pressione verticale a rottura (Fig. 2).

La figura 2 mostra i risultati di prove eseguite su 3 provini saturi sottoposti



▲
FIGURA 3

Cerchi di Mohr in prova triassiale TxUU su terreno non saturo.

alle pressioni in cella di 100, 200 e 300 kPa. I parametri di resistenza al taglio, espressi in termini di pressioni totali sono

$$\varphi_u = 0$$

$$c_u = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)$$

◀ [1]

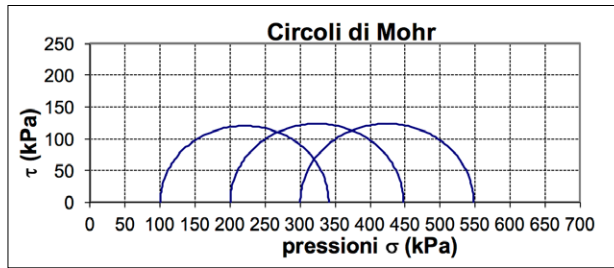
Nel caso di campioni non completamente saturi l'inviluppo grafico dei cerchi non è lineare ma assume un andamento curvilineo che tende comunque ad allinearsi parallelamente all'asse delle ascisse per i valori più alti di pressione (Figura 3).

B) Prova triassiale consolidata drenata (TxCD)

La prova è finalizzata a determinare i parametri di resistenza al taglio coesione e angolo di attrito interno espressi in termini di pressione effettica nella forma $\tau = c' + (\sigma - u)tg\varphi' = c' + \sigma'tg\varphi'$, procedendo nella prova in modo che la pressione neutra sia nulla ($u=0$)

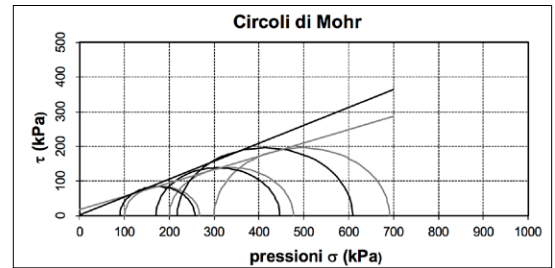
La prova si distingue in 2 fasi.

Il provino viene inizialmente sottoposto alla pressione idrostatica in cella durante la quale avviene il drenaggio dell'acqua contenuta nei pori. In questa prima fase vengono effettuate misurazioni del volume



▲
FIGURA 4

Esempio di rappresentazione della prova triassiale TxCd. Le pressioni



▲
FIGURA 5

Esempio di rappresentazione della prova triassiale TxCu. Le pressioni efficaci sono uguali a quelle totali.

di acqua espulsa. L'andamento della consolidazione è controllato da diagrammi che forniscono le variazioni del volume di acqua espulsa in funzione del tempo. Nel caso di campioni saturi il volume dell'acqua espulsa corrisponde alla variazione di volume del provino.

Quando si raggiunge il 90% della consolidazione, si procede alla seconda fase della prova consistente nel lento incremento del carico verticale con velocità basate sulla velocità di consolidazione. I tempi di prova dipendono dal coefficiente di consolidazione, e dalle condizioni di drenaggio verticale (da una o entrambe le estremità) e radiale mediante carta da filtro. I tempi di prova sono comunque lunghi e possono occorrere anche a 10-15 giorni per arrivare a rottura.

Per la determinazione delle pressioni la forza applicata viene divisa per la sezione media che viene calcolata tenendo conto delle variazioni di altezza e del volume corrispondente all'acqua espulsa durante la prova.

I risultati della prova vengono rappresentati con i cerchi di Mohr costruiti con la coppia di tensioni e σ_1 e σ_3 a rottura.

Vengono generalmente effettuate 3 prove con pressioni in cella diverse e i parametri di resistenza al taglio ϕ' e c' sono individuati tracciando la retta tangente ai cerchi. (Fig. 4)

Nei terreni normalconsolidati o debolmente sovraconsolidati $c'=0'$.

C) Prova triassiale Consolidata non drenata TxCU

Anche la prova TxCU è finalizzata a determinare la coesione e l'angolo di attrito interno in termini di pressioni efficaci.

Il provino viene sottoposto al consolidamento come nella prima fase della prova TxCd e si determina la sezione media a termine della consolidazione in relazione al volume di acqua espulso.

Terminato il consolidamento vengono chiusi i drenaggi e viene collocato in corrispondenza di una delle vie di uscita di acqua dal provino un trasduttore che consente di misurare la pressione neutra. Inizialmente la pressione neutra è nulla ma subisce variazioni nella seconda fase della prova nella quale viene applicato l'incremento del carico assiale fino al raggiungimento della rottura del provino o una deformazione massima del 20% della altezza del campione.

La prova deve essere abbastanza lenta in modo che le pressioni neutre indotte dal carico alle estremità del provino abbiano il tempo necessario per diffondersi nell'intero campione. I tempi di rottura sono generalmente contenuti in 1-2 giorni e pertanto assai inferiori a quelle necessari per le prove TxCd.

Le prove vengono condotte registrando i carichi, le deformazioni e le pressioni neutre.

Le coppie di tensioni con le quali è avvenuta la rottura consentono di tracciare i cerchi di Mohr sia per gli sforzi totali che per quelli efficaci e di conseguenza attraverso il tracciamento della retta tangente si possono determinare le coppie dei valori c' e ϕ (Fig. 5).

Le variazioni dello stato tensionale per tutto il percorso dall'inizio della compressione fino alla rottura possono essere rappresentate in un piano $t-s'$:

$$\begin{aligned} t &= 1/2(\sigma'_1 - \sigma'_3) \\ s' &= 1/2(\sigma'_1 + \sigma'_3) \end{aligned} \quad \blacktriangleleft \quad (2)$$

Dove t è la pressione deviatorica media che corrisponde al raggio del cerchio di Mohr ed s' è la tensione media e corrisponde alla distanza del centro del cerchio dall'origine.

Questa rappresentazione dei risultati della prova in alcuni casi può agevolare la ricerca dei valori della coesione e angolo di attrito in termini efficaci col tracciamento della retta tangente ai valori corrispondenti alla rottura. L'ordinata all'origine a' e α la tangente dell'angolo rispetto all'asse delle ascisse sono legate alla coesione e all'angolo di attrito interno con le seguenti relazioni.

$$\begin{aligned} a' &= c' \times \cos \phi' \\ \operatorname{tg} \alpha &= \operatorname{sen} \phi' \end{aligned} \quad \blacktriangleleft \quad (3)$$

Altro criterio adottato consiste di riportare su piano q-p' le grandezze:

$$q = \sigma_1 - \sigma_3$$

$$p' = 1/3(\sigma'_1 + 2\sigma'_3) \quad (4)$$

Dove q corrisponde al diametro del cerchio di Mohr e p' è la pressione media efficace agente sul provino. Le relazioni tra le pendenze e ordinate alle origini ottenibili dalle curve sul piano q-p' e l'angolo di attrito interno e coesione ottenuta dalla tangente ai circoli di Mohr sono espresse dalle relazioni:

$$M = \frac{6 \text{sen} \varphi'}{3 - \text{sen} \varphi'}$$

$$q_{p'=0} = c' \text{cot} \varphi' \times M \quad (5)$$

Se riportiamo sui piani t-s' e q-p' i valori misurati nella prova in termini di pressioni totali i punti si dispongono lungo una retta con pendenza 1/3. La configurazione degli stress path espressa in funzione delle pressioni efficaci dipende invece dai valori assunti dalla pressione neutra che in caso di terreni normal consolidati aumenta col crescere delle pressioni assiali mentre per terreni sovraconsolidati inizialmente cresce ma successivamente decresce all'approssimarsi della rottura fino ad assumere anche valori negativi in caso di argille con alto grado di sovraconsolidazione.

Nella figura 6 ripresa da Burghignoli A. 1995, sono riportati stress path tipici di argille NC e argille con diverso grado di sovraconsolidazione.

A titolo di esempio nella figura 7 sono riportati gli stress path nei piani t-s' e q-p' della prova triassiale rappresentata in figura 5.

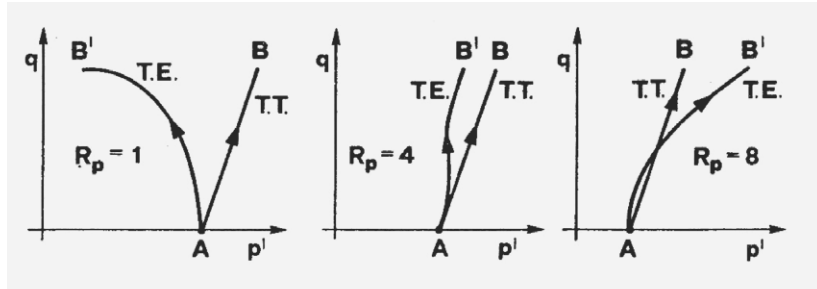


FIGURA 6

Percorsi delle tensioni in prove triassiali non drenate su campioni di argilla aventi diverso grado di sovraconsolidazione in termini di tensioni totali (TT) e efficaci (TE). AB= percorso delle tensioni totali; AB' = percorso delle pressioni efficaci; Rp = rapporto di sovraconsolidazione.

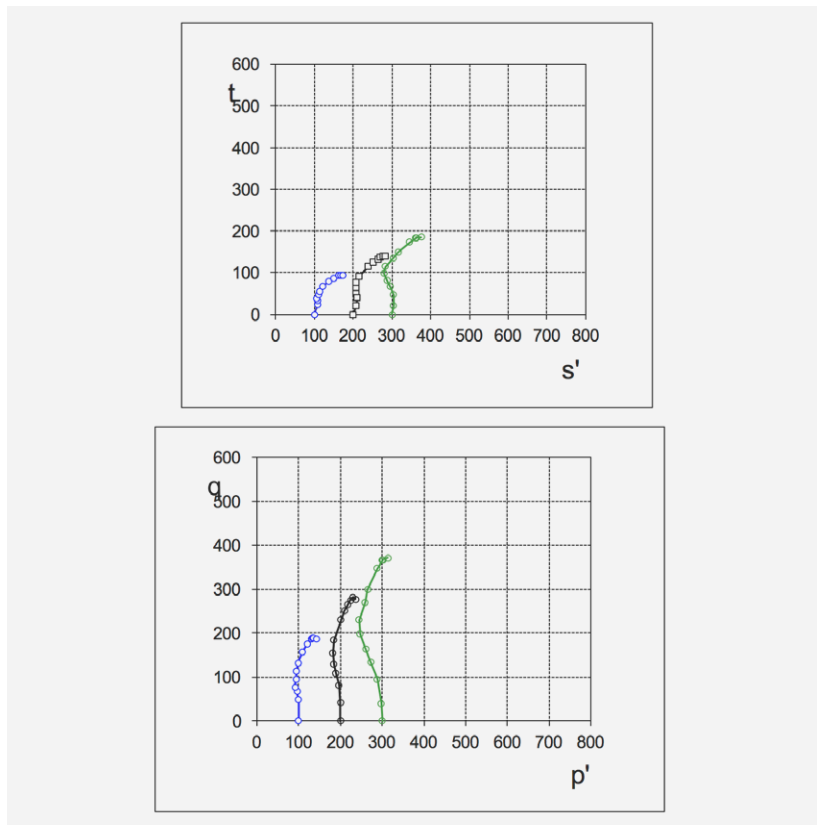


FIGURA 7

Esempi di stress path in termini di pressioni efficaci sui piani t-s' e q-p'.

RIEPILOGO DELLE TIPOLOGIE E DELLE PROVE TRIASSIALI

TxUU	Il drenaggio è impedito. La prova avviene a volume costante e in tempi brevi	La prova è finalizzata alla individuazione della resistenza in condizioni non drenate. In terreni saturi i cerchi di Mohr hanno diametro uguale	$\varphi = 0$ $c_u = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$
TxCD	Drenaggio aperto in fase di consolidazione e di rottura. Misurazione delle variazioni di volume in fase di consolidazione e di rottura. La prova avviene in tempi lunghi	La prova è finalizzata a determinare la resistenza in condizioni drenate. Essendo le pressioni neutre nulle, i cerchi di Mohr in termini di pressioni totali e efficaci coincidono	$\varphi' \neq 0$ $c' \neq 0$ <p>Nota: In terreni normal consolidati o debolmente sovra consolidati</p> $c' = 0$
TxCU	Drenaggio aperto in fase di consolidazione e chiuso in fase di sollecitazione assiale. con mantenimento del volume costante e misurazione delle pressioni neutre.	Cerchi di Mohr in termini di pressioni totali e efficaci ma la prova è finalizzata a determinare la resistenza in condizioni drenate. Stima sul grado di sovraconsolidazione attraverso i coefficienti di Skempton e tracciamento dei percorsi tensionali	$\varphi' \neq 0$ $c' \neq 0$ <p>Nota: In terreni normal consolidati o debolmente sovra consolidati</p> $c' = 0$



TABELLA 1

Burghignoli A. (1995) "Lezioni di meccanica delle terre" Masson S.p.A. Editoriale ESA, Milano.

Geognostica Medicea

indagini geologiche e ambientali

Geognostica Medicea opera nel settore delle indagini di sottosuolo, garantendo un servizio completo in ambito geognostico e ambientale. La notevole esperienza maturata negli anni in tutte le tematiche relative al sottosuolo e la rapidità di intervento, fanno di Geognostica Medicea un partner affidabile per i professionisti e le imprese che operano nel settore geologico e ambientale.



**GEOGNOSTICA
MEDICEA**

Sondaggi

Prove penetrometriche

Geofisica

Iniezioni in falda

Misure inclinometriche

Bonifiche e monitoraggio ambientale

Geognostica Medicea

Via del Botteghino 103

50018 – Scandicci (FI)

Daniele +39 349 6684494

Lorenzo +39 328 4896574

Email: info@geognosticamedicea.it

SCIENZA E RICERCA

CONCENTRAZIONI DEL MERCURIO IN PROSSIMITÀ DEI RILEVATI STRADALI (A1) E FERROVIARI NELLA ZONA DI ORVIETO (TERNI)

MASSINI ERMANNO

Università degli Studi di Firenze

RIASSUNTO

Dal 1860 fino al 1980 l'area del Monte Amiata è stata sfruttata per l'estrazione mineraria del cinabro (HgS). I giacimenti che compongono questa zona mineraria rappresentano il terzo distretto per produzione di mercurio al mondo. L'intensa attività dell'uomo nell'estrazione e lavorazione del minerale ha portato all'inquinamento dell'area mineraria. Il fiume Paglia che drena una parte importante del distretto minerario amiatino, presenta sedimenti fluviali (recenti ed antichi) in cui le concentrazioni di mercurio possono raggiungere alcune centinaia di mg/kg, ben oltre i limiti previsti dalle leggi italiane e comunitarie.

In questo lavoro sono state analizzate le concentrazioni di mercurio nei suoli in prossimità del rilevato stradale A1 (direttissima, 1964) e del rilevato ferroviario (ferrovia nuova, 1977 e ferrovia vecchia, 1874) nelle vicinanze di Orvieto. I risultati indicano che è presente un'anomalia in mercurio in buona parte dei campioni osservati.

Il distretto minerario amiatino ha prodotto, dal 1860 al 1980, oltre 100.000 tonnellate di mercurio (Hg)

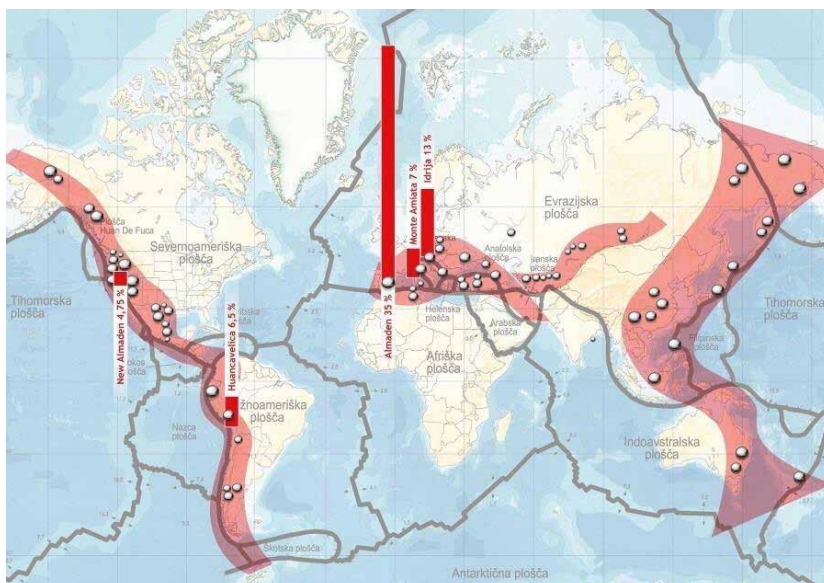


FIGURA 1.1

Distribuzione globale del Hg lungo le cinture metallifere (rosso), le miniere (pallini grigi) e la produzione in percentuale delle prime 5 (CUDHg - Idrija).

collocandosi al terzo posto al mondo per produzione di questo metallo (Strappa, 1977).

La zona orientale del Monte Amiata, ospita i giacimenti più importanti, quello più rilevante è Abbadia San

Salvatore, che è drenato dal fiume Paglia, uno degli affluenti principali del Tevere (Rimondi et al., 2012; Colica et al., 2019; Bacci et al., 1998).

Lo scopo è verificare se alcune opere realizzate lungo la valle del Paglia/

Tevere possano essere anomale in Hg a causa dell'utilizzo di terre da scavo ricavate dai sedimenti fluviali attuali o fossili di queste aste fluviali. La nostra attenzione si è focalizzata sui rilevati autostradali e ferroviari

presenti nella zona di Sferracavallo nei pressi di Orvieto. Le analisi condotte nel 2017 da Arpa Umbria (ArpaU), hanno evidenziato nel rilevato stradale della A1 una distinta anomalia in Hg. Si tratta, di

un campione isolato presente lungo uno dei transetti studiati da ArpaU. Lo scopo è appurare se nei terreni che costituiscono parte dei rilevati si riscontrano anomalie di Hg in modo sistematico.

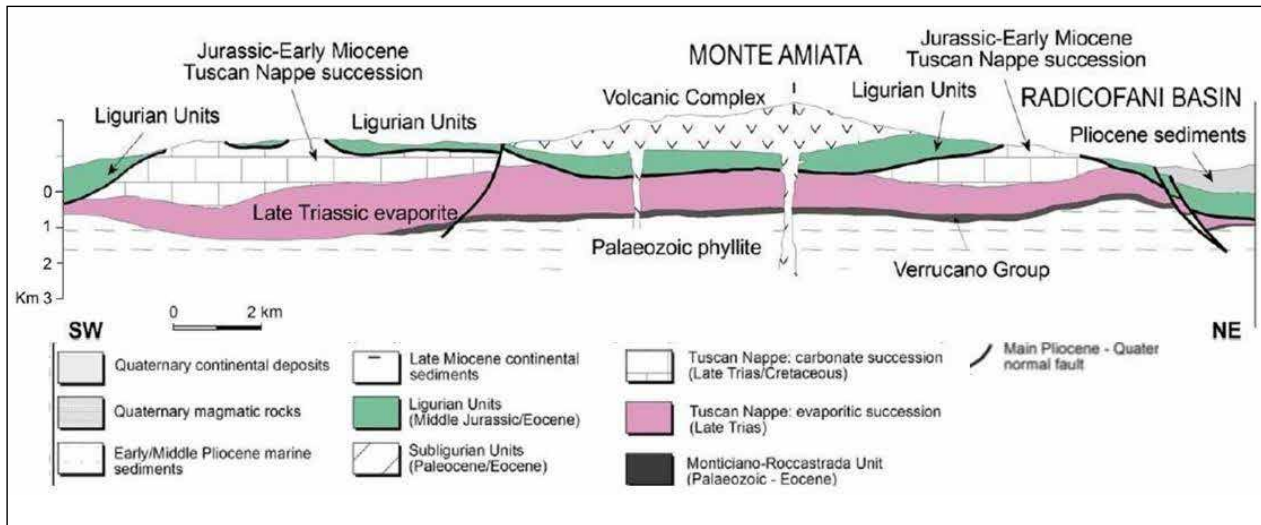


FIGURA 2.1

Rappresentazione la sezione del Monte Amiata (Rimondi et al., 2015).

Monte Amiata

Il Monte Amiata è situato nella parte più interna dell'Appennino settentrionale e la struttura geologica è legata all'orogenesi terziaria appenninica ed ai successivi eventi post collisione (Brogi, 2008; Molli, 2008).

Deve la sua origine alla fase estensionale post-collisionale iniziata verso la fine del Miocene inferiore, a cui è associata l'apertura del Bacino Tirrenico di retroarco (Elter & Trevisan, 1975). L'apertura del bacino ha portato ad un assottigliamento della crosta e all'istaurarsi di una camera magmatica a 6-7 km di profondità che, spingendo, ha sollevato la crosta e creato un vulcano con un'altezza stimata di 3000m, che oggi è il Monte Amiata che con i processi di erosione ha un'altitudine di 1738m s.l.m (Brogi & Liotta, 2008). L'attività vulcanica dell'Amiata è iniziata circa 300.000 anni fa e si è conclusa dopo circa 110.000 anni (Cadoux & Pinti, 2009). Durante la prima fase si osserva l'eruzione di un fuso silicatico cristallo, mentre nella seconda fase si ha la messa in posto di duomi e colate laviche massive alcali-potassiche provenienti dal mantello, seguite da due colate mafiche che segnano la fine del ciclo vulcanico. Questi ultimi eventi rappresentano le successioni vulcaniche e vulcanosedimentarie quaternarie (Marroni et al., 2015). Con la fine dei processi vulcanici, e con la conseguente mancanza della spinta della camera

magmatica, si osserva il collasso parziale della parte centrale del vulcano, dovuto al cedimento del substrato argilloso in seguito all'accumulo di materiale vulcanico al di sopra di esso (Ferrari, et al., 1996; Fig. 2.1)

La mineralizzazione a Hg del monte Amiata è collegata a sistemi idrotermali simili ai campi geotermici presenti nella regione (Klemm & Neumann, 1984). Sulla base di evidenze geologiche di campagna, la mineralizzazione a Hg nelle miniere di Abbadia San Salvatore è, almeno in parte, più giovane delle rocce vulcaniche (0,3 Ma) che caratterizzano il Monte Amiata (Rimondi, et al., 2015). Probabilmente i processi minerogenetici che hanno deposto la mineralizzazione sono tuttora in corso. Secondo Rimondi, et al., (2015), c'è un continuum nella deposizione dei giacimenti ad Hg che si estende fino ad oggi in quanto è noto che il Hg si trova in concentrazioni anomale anche nel vapore emesso dall'attuale campo geotermico dell'Amiata. Si stima che l'emissione di Hg da parte delle centrali geotermiche sia stata dell'ordine di 300-400 g/h fino alla fine del 1900 (Bacci, et al., 2000) ed è stata abbattuta dall'introduzione della tecnologia AMIS nei primi anni 2000 (Rimondi, et al., 2015). Si ipotizza che i fluidi idrotermali che hanno causato la mineralizzazione siano di bassa temperatura e di origine essenzialmente meteorica.

I depositi di HgS del distretto minerario sono solitamente in associazione ad una grande varietà di rocce come calcari, marne, calcareniti e arenarie. Queste rocce hanno una bassa permeabilità. Come nel caso di Abbadia San Salvatore, dove la mineralizzazione si trova tipicamente al tetto di formazioni permeabili al contatto con formazioni meno permeabili. Ciò accade tra le Marne a Posidonia che hanno una permeabilità secondaria maggiore rispetto ai sovrastanti Scisti Policromi, che sono meno fratturati, che fungono da blocco, facendo precipitare la mineralizzazione sotto forma di sacche di cinabro (HgS) (Tanelli & Lattanzi, 1983).

La mineralizzazione in Hg si osserva anche sotto forma di vene, con mineralizzazioni diffuse o con notevoli sostituzioni massive nella roccia ospite. La mineralizzazione è generalmente semplice e tipica dei depositi "Hg only" (cf., Rimondi et al., 2015). Il cinabro è l'unico minerale economico, mentre il metacinabro e l'Hg nativo sono piuttosto rari.

La giacitura delle vene a cinabro è controllata da strutture. Come osservato da Brogi et al. (2011), in uno studio strutturale sul giacimento del Morone, una delle principali miniere del distretto amiatino insieme ad Abbadia San Salvatore e quella del Siele, la circolazione idrotermale associata alla deposizione di minerali è controllata da una zona di taglio trans tensionale, caratterizzata da due sistemi paralleli di faglie strike-slip sinistre, collegate da una struttura pull-apart.

La parte superiore del bacino idrografico del fiume Paglia, si estende su una superficie di circa 720 km² a cavallo tra Toscana meridionale, Lazio settentrionale e Umbria centrale.

Il Paglia segue la direzione NNW-SSE del graben di Radicofani, per poi svoltare verso WNW-ESE nella parte meridionale del graben stesso. Questo cambio di direzione è condizionato dalla presenza dell'apparato vulcanico di Vulsini. Il fiume assume direzioni variabili (SW-NE, NW-SE, WSW-ESE) quando attraversa l'horst di Cetona. Nella parte finale scorre lungo il percorso NNW-SSE in direzione del graben Paglia-Tevere.

Il fiume Paglia ha origine pochi chilometri a est della vetta dell'Amiata, dalla confluenza dei torrenti Pagliola e Cacarello. Il primo scorre dal comune di Abbadia San Salvatore e drena tutta l'omonima area mineraria, mentre il secondo ha origine dall'area di Radicofani (Lattanzi, et al., 2017; Fig. 3.1).

A monte della confluenza del torrente Cacarello con il fiume Paglia, lo scarico dell'acqua è costante tutto l'anno, dove l'acqua della Galleria nuova Italia, che raccoglie le acque provenienti dalle gallerie della miniera di Abbadia San

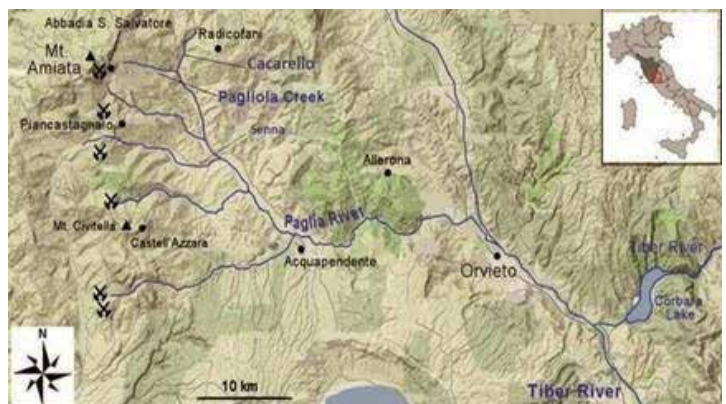


FIGURA 3.1

Reticolo idrografico del fiume Paglia e i suoi affluenti.



Schema geologico dell'area di studio (modifica della Carta geologica d'Italia, fogli 129 e 130, e Mancini et al., 2004). Il contorno bianco sottile delimita la parte superiore del bacino idrografico del fiume Paglia e indicato con la lettera "B" la confluenza con il Fiume Tevere.

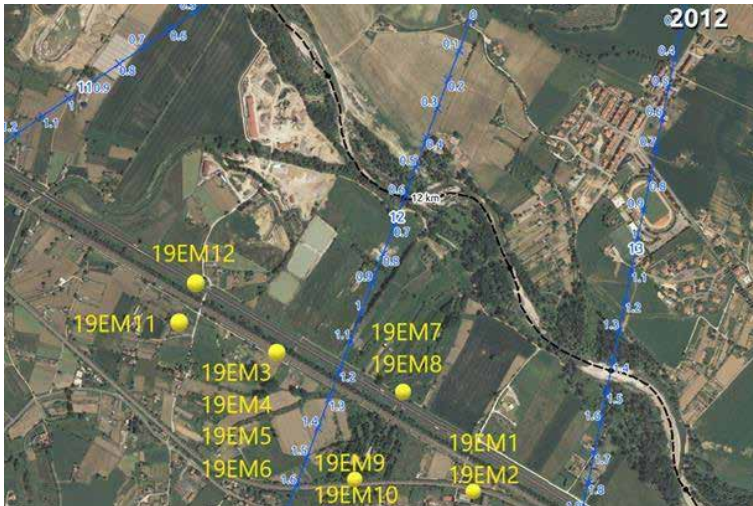


FIGURA 4.1

L'immagine rappresenta il transetto 12 studiato da Arpa Umbria e i siti dove sono stati raccolti i singoli campioni (19EM1-19EM12).

Misura	Località	Coordinate (UTM) 33T	Collocazione specifica	Quota dal piano di campagna
19EM1	Orvieto	4734783 N 0264072 E	A1 "corsia Nord"	1,7 m
19EM2	Orvieto	4734783 N 0264072 E	A1 "corsia Nord"	1,7 m
19EM3	Orvieto	4735164 N 0263429 E	ferrovia nuova	1,5 m
19EM4	Orvieto	4735164 N 0263429 E	ferrovia nuova	1,5 m
19EM5	Orvieto	4735164 N 0263429 E	A1 "corsia Sud"	1,6 m
19EM6	Orvieto	4735164 N 0263429 E	A1 "corsia Sud"	1,6 m
19EM7	Orvieto	4735016 N 0263835 E	A1 "corsia Nord"	1,8 m
19EM8	Orvieto	4735016 N 0263835 E	A1 "corsia Nord"	1,8 m
19EM9	Orvieto	4734731 N 0263663 E	ferrovia vecchia	2,0 m
19EM10	Orvieto	4734731 N 0263663 E	ferrovia vecchia	2,0 m
19EM11	Orvieto	4735330 N 0263200 E	ferrovia nuova	2,0 m
19EM12	Orvieto	4735353 N 0263144 E	A1 "corsia Sud"	4,0 m



TABELLA 4.1

la tabella indica le coordinate di campionamento di ogni singolo campione.

Salvatore, insieme a quella proveniente dalle fognature comunali costituisce il principale contributo idrico del torrente Pagliola (Rimondi, et al., 2014).

A valle della miniera di Abbadia San Salvatore, nei sedimenti del Pagliola-Paglia, si registrano concentrazioni di alcune decine di mg/kg di Hg (Colica, et al., 2019).

Area di campionamento

Il campionamento è stato effettuato nell'aprile del 2019, nella località Sfferracavallo (Orvieto). Sono stati raccolti campioni di suolo presso il riporto stradale dell'A1, che comprende il tratto Chiusi-Orvieto, iniziato nel 1956 e concluso nel 1964. Sono stati prelevati dei campioni in prossimità del rilevato ferroviario della ferrovia nuova del tratto Città della Pieve-Roma, iniziato nel 1970 e concluso nel 1977 e presso la ferrovia vecchia del tratto Orvieto-Orte iniziato nel 1866 concluso nel 1874, con l'obiettivo di verificarne il contenuto in Hg. La zona campionata è localizzata nella stessa zona indagata da Arpa Umbria per la determinazione di Hg in suoli e sedimenti fluviali (Fig. 4.1; tab 4.1).

Metodi di analisi

La fase di analisi in laboratorio è stata suddivisa nei seguenti passaggi:

- essiccazione;
- setacciatura;
- macinatura;
- attacchi acidi;
- analisi dei campioni.

Nel medesimo giorno di campionamento, i campioni sono stati posizionati in contenitori di alluminio e fatti essiccare a temperatura ambiente. Completata la fase di essiccazione di 2 settimane si è passati a quella di setacciatura. Dove è stato utilizzato un setaccio con una maglia di 2 mm, granulometria richiesta dalla normativa italiana, decreto legislativo

152/06. Prima di procedere alla setacciatura, gli agglomerati di suolo sono stati disaggregati con l'aiuto di un mortaio in porcellana, facendo attenzione a non macinare il campione. Il sopravaglio a 2 mm è stato conservato in appositi contenitori. Il passante a 2mm è stato ripulito manualmente. Questa procedura è stata

FIGURA 5.1

L'immagine rappresenta le concentrazioni nei diversi siti di campionamento.

- Rosso: A1
- Giallo: Ferrovia nuova
- Verde: Ferrovia vecchia



ripetuta per tutti i 12 campioni. I campioni sono stati macinati in mortai di agata e dopo attaccati con acqua regia in bombe di teflon, in accordo con le procedure US EPA, (2007, 2014, 2018). Per l'analisi dei campioni è stata effettuata mediante spettroscopia di emissione al plasma (ICP-EOS). Per misurare l'accuratezza, è stato preso come riferimento un campione standard caratterizzato da quantità note di Hg, il 2711a Montana II soil (7,4 mg/kg di Hg certificato). Per la determinazione della precisione analitica, sul campione di suolo

19EM1 le analisi sono state effettuate in doppio (vedi 19EM1 DOPPIO). Sono stati impiegati anche due bianchi (BIANCO1 e BIANCO2), analizzando i soli reagenti sottoposti alla stessa procedura di preparazione dei campioni di suolo. Questi "bianchi" sono stati utilizzati per la verifica della eventuale contaminazione delle analisi durante le procedure in laboratorio. Ogni bianco si riferisce ad un diverso "batch" di analisi. In particolare, il BIANCO 1 si riferisce ai campioni: 19EM1, 19EM3, 19EM4, 19EM5, 19EM6, 19EM7, 19EM8 e 19EM10, mentre il BIANCO 2 riguarda i campioni 19EM1 DOPPIO, 19EM2, 19EM11, 19EM12 e lo standard 2711a. I risultati dei "bianchi" sono stati successivamente sottratti ai risultati di laboratorio dei rispettivi campioni.

Nella tabella, tab.5.1, sono presentati i risultati analitici dei singoli campioni. I campioni riporto stradale, A1 (19EM1, 19EM2, 19EM5, 19EM6, 19EM7, 19EM8, 19EM12) e nel riporto ferroviario, ferrovia nuova (19EM3, 19EM4, 19EM11) presentano valori molto alti, addirittura superiori a quelli stabiliti secondo i limiti di legge, in base al decreto legislativo 152/2006, che prevede come limite 1 mg/kg nei suoli di verde pubblico, privato e residenziale, mentre 5 mg/kg per quelli ad uso commerciale e industriale. In particolare i campioni 19EM3, 19EM5, 19EM6, 19EM7 e 19EM8 la concentrazione è superiore a 5 mg/kg. I campioni del riporto della ferrovia vecchia (19EM9 e 19EM10)

campione	conc. Hg mg/kg	Collocazione
19EM1	2,92	
19EM2	3,79	
19EM3	5,82	ferrovia nuova
19EM4	4,89	ferrovia nuova
19EM5	8,18	
19EM6	9,18	
19EM7	7,65	
19EM8	6,50	
19EM9	0,33	ferrovia vecchia
19EM10	0,37	ferrovia vecchia
19EM11	2,66	ferrovia nuova
19EM12	1,36	
19EM1 DOPPIO	2,27	

TABELLA 5.1

Risultati analitici dei singoli campioni.

presentano concentrazioni più basse dei precedenti (0.33-0.37 mg/kg Hg), che sono sotto i limiti previsti dalla legge italiana (Fig.5.1).

Il protocollo di analisi usato nel presente lavoro ha previsto una verifica dell'accuratezza analitica, effettuata impiegando lo standard 2711a "Montana Soil" NIST. Lo standard è un suolo, che possiede una matrice analoga ai campioni prelevati. Il certificato analitico del 2711a mostra un valore medio di Hg pari a $7,4 \pm 0,1$ mg/kg, molto vicino alle concentrazioni di Hg misurate nei campioni prelevati. Il valore ottenuto nel presente

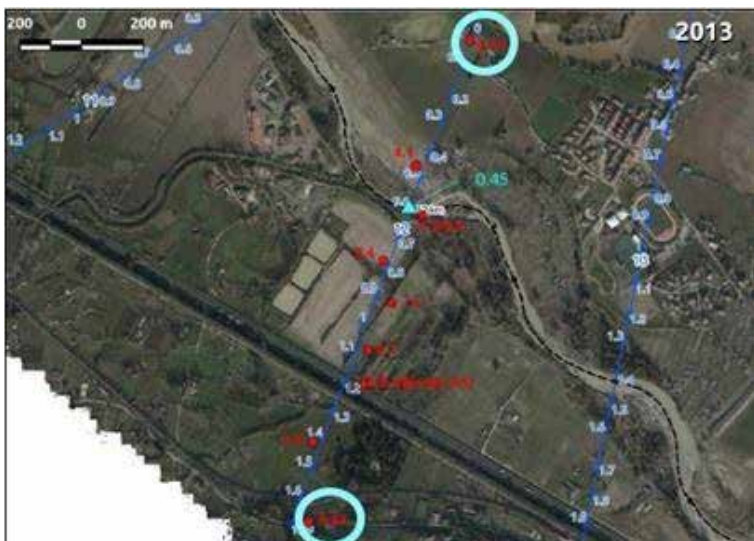


FIGURA 6.1

Foto aerea attuale (2013) del transetto 12 (ArpaU); i campioni di suolo sono indicati in rosso, in azzurro i sedimenti attuali del Tevere. Le concentrazioni di Hg (mg/kg) sono riportate a fianco del simbolo (cerchio per suolo, triangolo per sedimenti attuali).

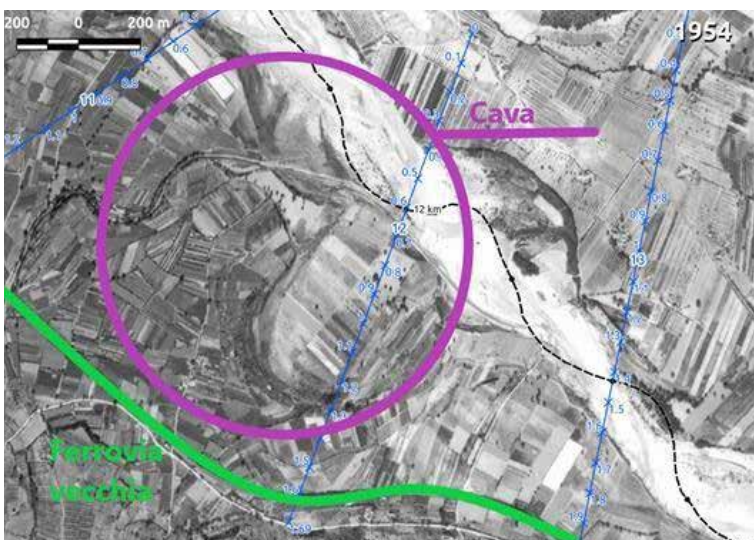


FIGURA 6.2

foto aerea dell'area campionata nel 1954.

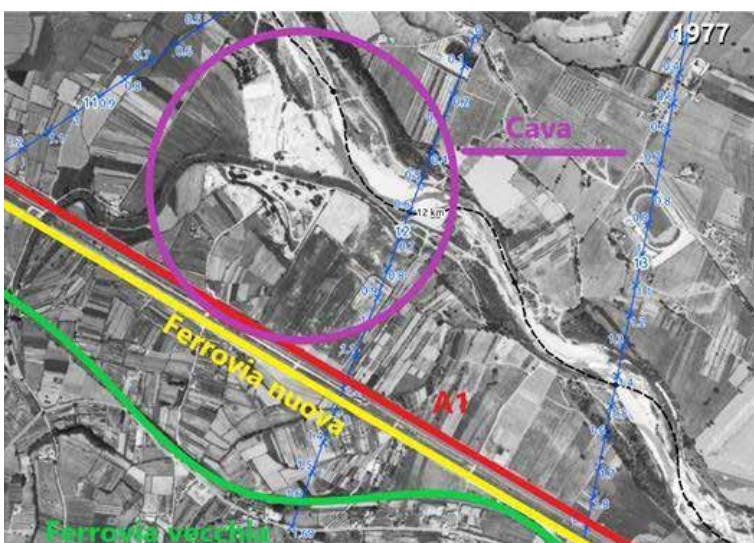


FIGURA 6.3

foto aerea dell'area campionata nel 1977.

studio per il 2711a è di 8.38 mg/kg di Hg, superiore al valore medio di circa il 13%, e di poco superiore al limite superiore (8.3 mg/kg) all'incertezza analitica riportata nel certificato dello standard.

L'anomalia di Hg riguarda i campioni prelevati nella zona del riporto stradale A1 e della ferrovia nuova.

I campioni della ferrovia vecchia risultano invece anomali rispetto al Clarke terrestre, che corrisponde a un valore di 0,08 mg/kg (Rudnick & Gao, 2003), ma di grandezza ai campioni presi da ArpaU agli estremi del transetto 12, i quali hanno valori di 0,13 mg/kg e di 0,44 mg/kg. I due campioni raccolti da ArpaU rappresentano campioni di terra prelevati al di fuori della piana alluvionale e quindi non influenzati dalla contaminazione di Hg da parte del fiume, perciò hanno valori inferiori rispetto a quelli raccolti all'interno della piana alluvionale. (Fig.6.1).

Le ragioni per le quali esiste questa anomalia nei rilevati studiati non sono chiare, anche se sia il tratto autostradale che quello ferroviario si localizzano nella valle alluvionale del Paglia, lungo la quale si evidenzia un'estesa anomalia di Hg (Colica et al., 2019; Rimondi et al., 2019). Non è da escludere che siano state utilizzate delle terre locali per la realizzazione dei rilevati studiati. Non è da escludere, che i rilevati risultati anomali in Hg siano stati costruiti con i sedimenti ripariali del Paglia, estratti delle cave di prestito,

per il prelievo di inerti. Come dimostrano le foto aeree (transetto 11 e 12; Fig.6.2 e Fig.6.3), le cave sono visibili a partire dalle riprese che risalgono al 1977. Al contrario, nella foto datata 1954, si osserva invece che l'autostrada e la ferrovia nuova mancano del tutto, così come la cava di prestito (Fig.6.2).

Come si constata dai risultati di laboratorio, i campioni della ferrovia vecchia, mostrano concentrazioni di Hg inferiori rispetto a quelli della ferrovia nuova e con valori approssimabili alle concentrazioni dei suoli circostanti alla piana alluvionale, in accordo con i risultati di ArpaU. Ciò è in accordo con la realizzazione della ferrovia vecchia che è stata costruita poco dopo l'apertura del distretto minerario del Monte Amiata.

L'autostrada e la ferrovia nuova sono state realizzate nella seconda metà dell'ultimo secolo, quando era già partita l'attività mineraria di Abbadia San Salvatore. Questo può far pensare che le differenti concentrazioni dei suoli e dei terreni locali, in particolare quelli collocati nella piana alluvionale del Paglia, siano causate dalla coltivazione delle miniere del Monte Amiata. A seguito di oltre 100 anni di sfruttamento, infatti, tali miniere hanno determinato un aumento della quantità di Hg trasportato dai fiumi, andando così ad arricchire i suoli della piana di Orvieto.



**Geognostica e
consolidamento terreni**

www.mappogeognostica.it

Mappo Geognostica srl

Loc. Biagioni 60 • 55010 Spianate LU • Tel. 0583 20799 • Fax 0572 930069

email: mappogeognostica@virgilio.it



CONCLUSIONI

I risultati delle analisi di laboratorio indicano concentrazioni di Hg molto elevate per quasi tutti i campioni, con eccezione di due di essi prelevati lungo la linea ferroviaria vecchia. Cinque campioni hanno concentrazioni che superano i valori consentiti per i suoli che si trovano in aree industriali. I campioni prelevati nella zona del

rilevato ferroviario della ferrovia vecchia presentano concentrazioni di Hg di 0,33 e 0,37 ppm.

È possibile ipotizzare che l'anomalia di Hg riscontrata nei rilevati sia conseguente all'impiego di terre locali e/o provenienti dai sedimenti fluviali o dai terrazzi alluvionali del Paglia. I sedimenti fluviali sia recenti che passati del fiume Paglia sono ricchi di

Hg. Non è da escludere che le cave di inerti collocate nelle zone ripariali del Paglia coltivino sedimenti anomali in Hg. I dati presentati in questa tesi suggeriscono di approfondire ed estendere il monitoraggio dei sedimenti e dei terrazzi alluvionali del Paglia e del Tevere iniziato dai ricercatori del DST.

BIBLIOGRAFIA

Bacci E., Gaggi C., Lanzillotti E. & Ferrozzi S. (1998) - Studio per l'individuazione dei residui di mercurio in forme mobili e della presenza di altri elementi in tracce di interesse ai fini della predisposizione di un progetto di bonifica dell'area di pertinenza della ex miniera di mercurio di Abbadia San Salvatore (SI). ENI S.p.A. - Divisione AGIP, Mining Italiana S.p.A. Roma, 17.

Bacci E., Gaggi C., Lanzillotti E., Ferrozzi S. & Valli L. (2000) - Geothermal power plants at Mt. Amiata (Tuscany ± Italy): mercury and hydrogen sulphide deposition revealed by vegetation. *Chemosphere*, 40, 907-911.

Brogi, A., 2008. The structure of the Monte Amiata volcano-geothermal area (Northern Apennines, Italy): Neogene-Quaternary compression versus extension. *Int. J. Earth Sci (Geol Rundsch)* 97, 677-703.

Brogi A., Fabbrini L. & Liotta D. (2011) - Sb-Hg ore deposit distribution controlled by brittle structures: The case of the Selvena mining district (Monte Amiata, Tuscany, Italy). *Ore Geol. Rev.*, 41, 35-48.

Brogi, A., & Liotta, D. (2008). Highly extended terrains, lateral segmentation of the substratum, and basin development: The middle-late Miocene Radicondoli Basin (inner northern Apennines, Italy). *Tectonics*.

Cadoux A. & Pinti D.L. (2009) - Hybrid character and pre-eruptive events of Mt. Amiata volcano (Italy) inferred from geochronological, petrogeochemical and isotopic data. *J. of Volcan. and Geother. Res.*, 179, 169-190.

Carta Geologica d'Italia - stralcio Foglio 130 "ORVIETO", redatta dal Servizio Geologico d'Italia.

Colica, A., Benvenuti, M., Chiarantini, L., Costagiola, P., Lattanzi, P., Rimondi, V., Rinaldi, M., 2019. From point source to diffuse source of contaminants: the example of mercury dispersion in the Paglia River (Central Italy). *Catena* 172, 488-500.

CUDHg - Idrija. <http://www.cudhg-idrija.si/it/la-seconda-piu-grande-miniera-di-mercurio-al-mondo/>

Elter P. & Trevisan L. (1975). Tensional and compressional areas in the recent (Tortonian to present) evolution of the Northern Apennines.

Ferrari, L., conticelli, S., Burlamacchi, L., & Manetti, P. (1996). Volcanological evolution of the Monte Amiata, Southern Tuscany: new geological and petrochemical data. *Acta Vulcanologica*, 41-56.

Klemm, D.D., Neumann, N., 1984. Ore-controlling factors in the Hg-Sb province of southern Tuscany, Italy. In: *Syngeneses and Epigenesis in the Formation of Mineral Deposits*. Springer, pp. 482-503.

Lattanzi, P., Rimondi, V., Chiarantini, L., Colica, A., Benvenuti, M., Costagiola, P., Ruggieri, G., 2017. Mercury dispersion through streams draining the Mt. Amiata district, southern Tuscany, Italy. *Procedia Earth Planet. Sci.* 17, 468-471.

Marroni, M., Moratti, G., Costantini, A., Conticelli, S., Benvenuti, M.G., Pandolfi, L., Bonini, M., Cornamusini, G., Laurenzi, M.A., 2015. Geology of the Monte Amiata region, Southern Tuscany, Central Italy. *Ital. J. Geosci.* 134, 171-199.

Molli, G., 2008. Northern Apennine-Corsica orogenic system: an updated review. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 298, 413-442.

Rimondi V., Gray J.E., Costagiola P., Vaselli O. & Lattanzi P. (2012).

Concentration, distribution, and translocation of mercury and methylmercury in mine-waste, sediment, soil, water, and fish collected near the Abbadia San Salvatore mercury mine, Mt. Amiata district, Italy. *Sci. Tot. Environ.*, 414, 318-327.

Rimondi, V., Costagiola, P., Gray, J.E., Lattanzi, P., Nannucci, M., Paolieri, M., Salvadori, A.,

2014b. Mass loads of dissolved and particulate mercury and other trace elements in the Mt. Amiata mining district, southern Tuscany (Italy). *Environ. Sci. Pollut. Res.* 21, 5575- 5585.

Rimondi, V., Chiarantini, L., Lattanzi, P., Benvenuti, M., Beutel, M., Colica, A., Costagiola, P., Di Benedetto, F., Gabbani, G., Gray, J.E., Pandeli, E., Pattelli, G., Paolieri, M., Ruggieri, G., 2015. Metallogeny, exploitation and environmental impact of Mt. Amiata mercury ore district (Southern Tuscany, Italy). *Ital. J. Geosci.* 134, 323-336.

Rimondi, V., Costagiola, P., Lattanzi, P., Morelli, G., Cara, G., Cencetti, C., Fagotti, C., Fredduzzi, A., Marchetti, C., Sconocchia, A., Torricelli, S., 2019. A 200 km-long mercury contamination of the Paglia and Tiber floodplain: Monitoring results and implications for environmental management, *Environmental pollution* 255, 113191

Rudnick R. L. & Gao S. (2003) - Composition of the Continental Crust. Table 9: Compositional estimates of the bulk continental crust.

Strappa O. (1977) - storia delle miniere di mercurio del M. Amiata. *L'industria mineraria*, 28, 252-259.

Tanelli G. & Lattanzi P. (1983) - Pyritic ores of southern Tuscany, Italy. *Geol. Soc. S. Afr. Spec. Publ.*, 7, 315-323.

US EPA, 2007. Method 3051A: Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils. Revision 1. Washington DC 30.

US EPA, 2014. Method 6020B (SW-846): Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. Revision 2. Washington, DC 33.

US EPA, 2018. Method 6010D (SW-846): Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry. Revisions 5. Washington DC 35.

CALECA FRANCESCO
Dottore in Scienze della Terra

SCIENZA E RICERCA

VALUTAZIONE QUANTITATIVA DEL RISCHIO DA FRANE A CINEMATICA LENTA NEL BACINO DEL FIUME ARNO

ABSTRACT

Questo studio si è focalizzato sulla valutazione quantitativa del rischio da frane a cinematica lenta attraverso una metodologia che fosse replicabile a scala nazionale.

La nuova procedura è stata applicata e testata a scala regionale, utilizzando come caso di studio il bacino del fiume Arno (Italia centrale). La valutazione quantitativa del rischio è stata incentrata sulla determinazione delle sue tre componenti principali: Pericolosità da frana (P), Vulnerabilità (V) ed Esposizione (E) degli elementi esposti. La principale difficoltà che la ricerca

ha presentato è stata evidenziata dall'acquisizione di dati che fossero omogenei su tutto il territorio nazionale, di modo che la procedura risultasse ripetibile in qualunque area della penisola italiana. L'area di applicazione è stata suddivisa in un grigliato con risoluzione spaziale di 1 km²; definendo per ogni cella di esso le tre componenti del rischio da frana. I risultati ottenuti da questo studio riportano valori di rischio, nel termine di perdite economiche attese agli immobili e all'uso del suolo, molto elevati; con un rischio totale che si attesta su circa 141 miliardi €. L'estremo valore di perdite

attese è principalmente imputabile all'approccio cautelativo impiegato e all'utilizzo di dati con risoluzione nazionale, che certamente ha enfatizzato il ruolo dei grandi centri urbani nella valutazione del rischio. Allo stesso tempo si deve evidenziare, dato l'ambizioso obiettivo prefissato, come tale ricerca possa costituire la base per studi futuri per un'applicazione a livello nazionale che non potrà prescindere da un'opportuna calibrazione di tutti i passaggi che costituiscono la metodologia proposta.

1 INTRODUZIONE

Le frane giocano un ruolo fondamentale nell'evoluzione della morfologia del terreno e rappresentano un serio pericolo in molte aree del mondo. In alcuni luoghi, i decessi e i danni economici causati dalle frane sono maggiori di quelli dovuti da altri pericoli naturali, inclusi terremoti, eruzioni vulcaniche e inondazioni (Guzzetti, 2006; Petley, 2012). Per quanto concerne l'Italia, essa è un paese dove l'esposizione al rischio di catastrofi idrogeologiche è particolarmente elevata. Le frane, estremamente diffuse sul territorio nazionale, sono le calamità naturali che si ripetono con maggiore frequenza e, dopo i terremoti, causano il maggior numero di vittime e di danni a centri abitati, infrastrutture, beni ambientali, storici e culturali. L'Italia è uno dei paesi europei maggiormente interessati da fenomeni franosi (Herrera et al., 2018), con 620.808 frane che interessano un'area di 23.700 km², pari al 7,9% del territorio nazionale. Tali dati, aggiornati al 2018, derivano dall'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI - <https://idrogeo.isprambiente.it/app/iffi>). Questi processi sono particolarmente diffusi sul territorio italiano principalmente per il fatto che esso per il 75% è montano-collinare. Il lavoro che è stato realizzato in questa tesi ha avuto come scopo la definizione di una procedura per la valutazione quantitativa del rischio da frana a cinematica lenta, in termini di danno atteso agli immobili e all'uso del suolo, teoricamente e tecnicamente applicabile a scala nazionale. La procedura è stata applicata e testata alla scala regionale, utilizzando come caso di studio il bacino del fiume Arno. Gli eventi franosi che caratterizzano il bacino del fiume Arno sono per circa il 90%, di cinematisimo lento (Catani et al., 2005; Rosi et al., 2018), ovvero scivolamenti e colamenti; mentre in minoranza si hanno quei fenomeni il cui cinematisimo è definito rapido, cioè crolli, colate rapide e in minima parte debris flow. Ogni procedura effettuata nell'elaborazione di ogni singola componente dell'equazione del rischio è stata realizzata in modo che essa avesse una validità e fosse ripetibile alla scala nazionale.

2 AREA DI STUDIO E DATI DI INPUT

Il territorio del bacino del fiume Arno interessa la Regione Toscana (98,4%) e la Regione Umbria (1,6%), il numero dei comuni che ricadono all'interno dei limiti amministrativi del bacino è di 166 e la sua superficie (L. 183/89) è circa 9116 km² (Figura 1). L'Arno ha origine dal versante meridionale del M. Falterona alla quota 1.385 m. sul mare. Dopo un primo tratto percorso con direzione prevalente Nord-Ovest-Sud-Est, l'Arno lascia il Casentino e, attraverso la stretta di S. Maria, sbocca nella piana di Arezzo. A circa 60 Km dalle sorgenti, nei pressi del bordo occidentale della piana, si congiunge con il Canale Maestro della Chiana. Entra quindi nel Valdarno Superiore dove scorre con direzione Sud-

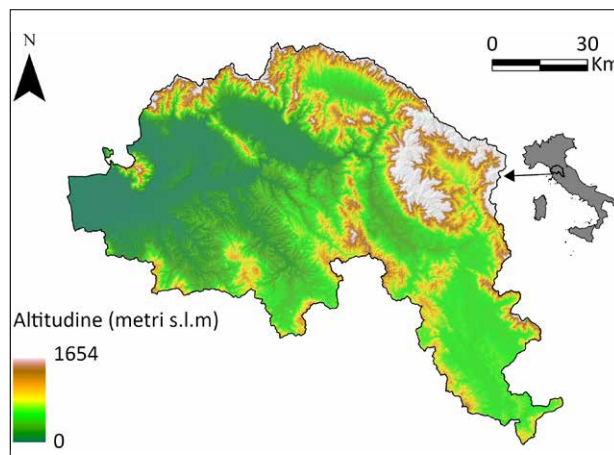


FIGURA 1
Inquadramento del bacino del fiume Arno.

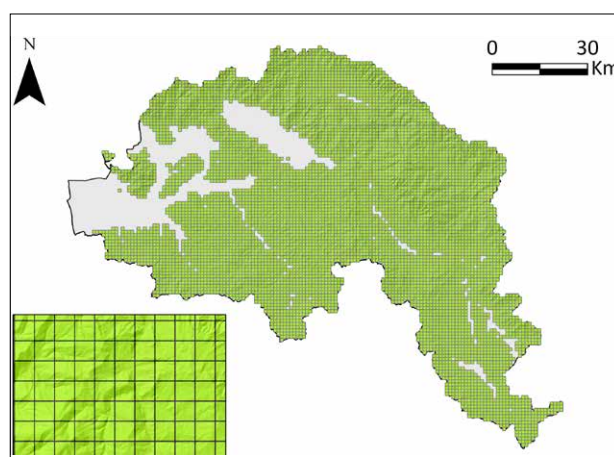


FIGURA 2
Grigliato di analisi dell'area di studio.

Est-Nord-Ovest sino a Pontassieve fino alla confluenza con la Sieve, suo principale affluente di destra. Da qui piega decisamente verso Ovest e mantiene tale direzione fino alla foce. Il bacino viene solitamente suddiviso in sei sottobacini: Casentino, Val di Chiana, Valdarno Superiore, Sieve, Valdarno Medio, Valdarno Inferiore. I dati di input impiegati sono tutti acquisibili gratuitamente e possiedono una copertura nazionale, come l'inventario IFFI o le sezioni censuarie ISTAT, in modo che la procedura ideata fosse ripetibile alla scala nazionale. La metodologia proposta in questo studio è strutturata su un grigliato con risoluzione spaziale pari a 1 km², concepito per poter escludere dal territorio di analisi tutte quelle aree (come le grandi pianure alluvionali) che da un punto di vista geomorfologico possono considerarsi a priori non interessate da fenomeni franosi, facilitando così i calcoli (Figura 2).

3 METODOLOGIA

3.1 Suscettibilità

La suscettibilità esprime la probabilità spaziale della pericolosità, cioè la determinazione della propensione di un'area all'innescarsi di un evento franoso (Brabb et al., 1972). Il parametro della suscettibilità in questo studio è stato impiegato per la valutazione della pericolosità nel calcolo del rischio, difatti quest'ultima è analizzata attraverso tre diverse probabilità: spaziale, temporale e areale. Tuttavia, i dati di input non permettono di poter definire la sfera temporale ed areale; pertanto la pericolosità è stata approssimata alla mera probabilità spaziale di accadimento. La valutazione di questo parametro è stata possibile utilizzando come dato di input la mappa di suscettibilità a livello nazionale resa disponibile da Trigila et al. (2013), applicando l'algoritmo di intelligenza artificiale "Random Forest" TreeBagger" (Catani et al., 2013).

I valori di suscettibilità di ogni singola cella del grigliato dell'area di studio sono stati ottenuti grazie ad analisi statistiche tra il grigliato e la mappa di suscettibilità, mediante il calcolo del valore medio di suscettibilità all'interno di ogni cella di 1 km². Tali valori sono espressi in una scala da 0 (nessuna probabilità di frana) a 1 (elevata probabilità di frana) (Figura 3).

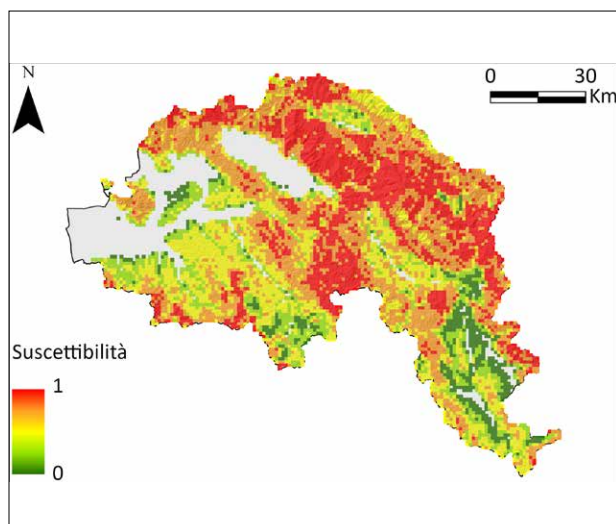


FIGURA 3

Mappa della pericolosità da frana nel bacino del fiume Arno.

3.2 Intensità di frana

L'intensità è una misura della gravità di un evento in termini di potenza distruttiva, essa è difficile da determinare per il fatto che risulta complicato ottenere informazioni predittive sui volumi che verranno coinvolti e le velocità che verranno raggiunte (Catani et al., 2005). La valutazione dell'intensità nel bacino del fiume Arno è stata realizzata attraverso due dati di input: il database IFFI e i dati interferometrici da satellite acquisiti con la tecnica PSInSAR (Ferretti et al., 2000). Il primo dato ha reso possibile suddividere le celle del grigliato dell'area di studio in quattro classi di "franosità". Queste classi sono state definite attraverso la valutazione, per ogni singola cella, dell'indice di franosità, che altro non è che una percentuale della densità di area in frana nel territorio. I valori di indice di franosità delle diverse celle sono stati suddivisi, con l'algoritmo Natural Breaks (Jenks), in quattro intervalli a cui sono stati fatti corrispondere le classi di franosità (Tabella 1).

L'impiego dei dati PS ha permesso di stimare la velocità media di spostamento del terreno in ogni singola cella. I dati PS sono stati trasformati in clusters e successivamente classificati in: clusters che non segnalano un movimento importante e che quindi possono essere definiti stabili e infine, quelli che segnalano un movimento non trascurabile e che sono stati definiti in movimento (Tabella 2).

INTERVALLI INDICE DI FRANOSITÀ (%)	CLASSI DI FRANOSITÀ
$I = 0$	A0
$0,0004 \leq I \leq 12,69$	A1
$12,69 < I \leq 39,29$	A2
$39,29 < I \leq 100$	A3



TABELLA 1

Tabella in cui si mostra la corrispondenza tra gli intervalli dei valori percentuali dell'indice di franosità e le relative classi di franosità.

INTERVALLI VELOCITÀ	CLASSE CLUSTERS
$ v < 2 \text{ mm/yr}$	STABILI
$ v \geq 2 \text{ mm/yr}$	MOVIMENTO



TABELLA 2

Tabella in cui si mostra la classificazione dei clusters in stabili e movimento.

TABELLA 3

Matrice di contingenza per la definizione delle classi di Intensità (da I0 a I4).

CLASSE DI FRANOSITÀ	CLUSTER STABILE	CLUSTER (2mm/anno < vel < 16mm/anno)	CLUSTER (vel ≥ 16mm/anno)	NO CLUSTER
A0	I0	I1	I2	I0
A1	I1	I2	I3	I1
A2	I2	I3	I4	I2
A3	I3	I4	I4	I3

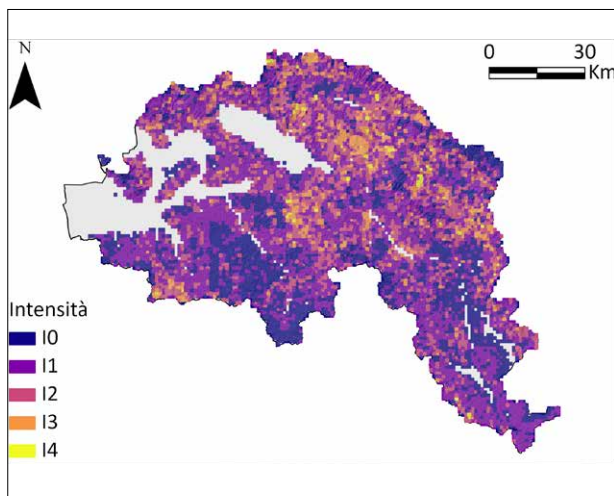


FIGURA 4

Mapa dell'intensità di frana nel bacino del fiume Arno.

INTERVALLI VALORI R_{str} CELLA	CLASSE DI RESISTENZA STRUTTURALE
0	R n.d.
0.000577 - 0.319009	R1 (BASSA)
0.319010 - 0.558030	R2 (MEDIO - BASSA)
0.558030 - 0.670869	R3 (MEDIO - ALTA)
>0.670869	R4 (ALTA)

TABELLA 4

Definizione delle classi di resistenza strutturale.

Una volta ottenuti questi parametri è stato possibile definire, attraverso una matrice di contingenza, quattro classi di intensità da attribuire ad ogni cella di 1 km² (Tabella 3). Le colonne riferite ai cluster in movimento sono rappresentate da dei limiti di velocità, che sono stati definiti tramite la classificazione dei fenomeni franosi in base al tasso di movimento proposta da Cruden and Varnes (1996).

3.3 Vulnerabilità

La vulnerabilità è il grado di perdita di un elemento, espressa in una scala da 0 (nessuna perdita) a 1 (perdita totale), coinvolto in un evento franoso di una data intensità (Fell, 1994; Leone et al., 1996; Corominas et al., 2014). Dato l'obiettivo prefissato di stimare il rischio sia per edifici che per uso del suolo, la vulnerabilità è stata valutata separatamente per le due categorie di elementi a rischio.

3.3.1 Vulnerabilità degli edifici

La vulnerabilità degli edifici è stata realizzata attraverso diverse operazioni basate sui dati delle sezioni censuarie del 2011 fornite da ISTAT.

Le procedure svolte possono essere articolate in diverse fasi: una prima in cui è stato realizzato il calcolo della resistenza strutturale per ogni sezione censuarie del bacino del fiume Arno; tale calcolo è avvenuto attraverso l'applicazione dei principi proposti da LI, et al. (2010):

$$R_{str} = (\epsilon_{sty} \times \epsilon_{smn} \times \epsilon_{sht})^{1/3} \quad [1]$$

L'equazione 1 mostra il calcolo della resistenza strutturale dove: ϵ_{sty} indica il fattore di resistenza della tipologia di struttura; ϵ_{smn} indica il fattore di resistenza dello stato di conservazione.; ϵ_{sht} indica il fattore di resistenza relativo all'altezza dell'edificio. Tutti i precedenti parametri sono stati calcolati sulla base delle informazioni ricavabili dalle sezioni censuarie ISTAT e utilizzando i valori caratteristici dei fattori sopra-elencati suggeriti da Li et al. (2010). Nella seconda fase è stata determinata la resistenza strutturale di ogni cella del grigliato attraverso la media ponderata delle resistenze strutturali delle sezioni presenti all'interno della cella di riferimento, in seguito tali valori medi sono stati suddivisi in cinque intervalli; a tali intervalli sono state fatte corrispondere cinque classi di resistenza strutturale con cui suddividere le celle (Tabella 4).

Infine, nell'ultima fase sono stati definiti i valori di vulnerabilità degli edifici con cui suddividere le celle di 1 km² attraverso l'impiego di una matrice di contingenza, che ha permesso di relazionare le classi di resistenza strutturale con quelle dell'intensità di frana (Tabella 5, Figura 5).

3.3.2 Vulnerabilità dell'uso del suolo

L'elaborazione della vulnerabilità dell'uso del suolo è stata basata sulle informazioni fornite dall'inventario CORINE-Land Cover del 2012 (www.isprambiente.gov.it/attivita-suolo-e-territorio/suolo/copertura-del-suolo/corine-land-cover). Tale database è stato riclassificato definendo cinque classi di uso del suolo:

Classi secondo livello CLC 2012	Riclassificazione
2.1 - 2.3 - 2.4	1 = AREE AGRICOLE
2.2	2 = COLTURE PERMANENTI
3.1	3 = BOSCHI
3.2 - 3.3	4 = PRATI E SPAZI APERTI
4 - 5	5 = ACQUA



TABELLA 6

Riclassificazione dell'inventario CLC 2012.

Ad ogni nuova classe di uso del suolo è stato poi assegnato un valore, da 0 a 1, di vulnerabilità in funzione della classe di intensità di frana presente nella cella. Infine, per ogni cella è stato calcolato il valore medio ponderato di vulnerabilità presente. I valori di vulnerabilità che sono stati assegnati ad ogni classe di uso del suolo, si sono basati su un precedente studio del rischio da frana nel bacino del fiume Arno (Tofani, 2006).

CLASSI	V(I0)	V(I1)	V(I2)	V(I3)	V(I4)
1 (Aree agricole)	0	0.005	0.3	0.5	0.7
2 (Colture permanenti)	0.2	0.005	0.5	0.7	0.9
3 (Boschi)	0.2	0.005	0.2	0.4	0.6
4 (Prati)	0.2	0.005	0.1	0.3	0.5
5 (Acqua)	0	0.005	0.1	0.3	0.6



TABELLA 7

Valori di vulnerabilità assegnati ad ogni classe di uso del suolo.

CLASSI	I0	I1	I2	I3	I4
R4	0.2	0.4	0.4	0.8	0.8
R3	0.2	0.4	0.6	0.8	1
R2	0.2	0.6	0.8	0.8	1
R1	0.2	0.6	0.8	1	1
R N.D.	0	0	0	0	0



TABELLA 5

Matrice di contingenza per la definizione dei valori di vulnerabilità degli edifici.

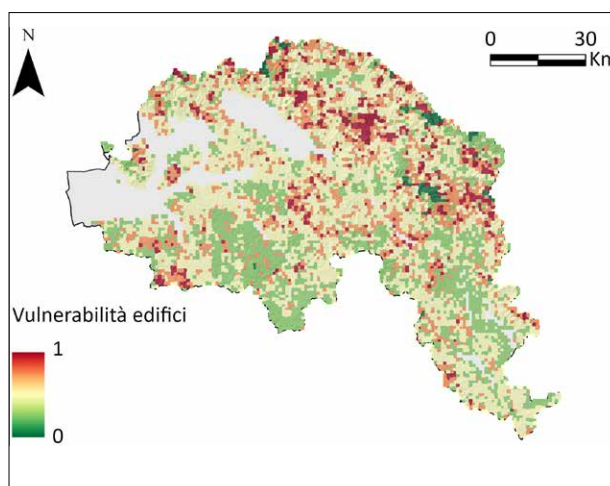


FIGURA 5

Mappa della vulnerabilità degli edifici nel bacino del fiume Arno.

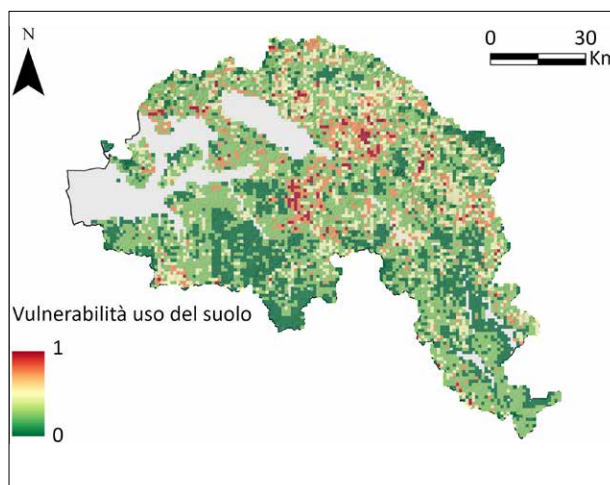


FIGURA 6

Mappa della vulnerabilità dell'uso del suolo nel bacino del fiume Arno.

3.4 Esposizione

L'esposizione è la componente nella valutazione del rischio che esprime o il numero di vite esposte o il valore economico degli elementi a rischio. Così come per la vulnerabilità, anche l'esposizione è stata valutata separatamente per le due categorie a rischio dell'analisi condotta.

3.4.1 Esposizione degli edifici

Il calcolo dell'esposizione relativa agli edifici è stato possibile tramite l'impiego delle quotazioni immobiliari del secondo semestre del 2019 e al database riguardante il consumo di suolo in Italia nel 2018, acquisibili gratuitamente dal sito dell'Agenzia dell'Entrate (www.agenziaentrate.gov.it) e di ISPRA (www.isprambiente.gov.it/it/attivita/suolo-e-territorio/suolo/il-consumo-di-suolo) rispettivamente. Le quotazioni immobiliari hanno permesso di calcolare per ogni cella un valore medio di compravendita degli edifici espresso in €/m²; mentre il database sul consumo di suolo ha permesso di definire la distribuzione spaziale dell'edificato all'interno di ogni singola cella. Pertanto, attraverso il prodotto tra il valore medio di compravendita e l'area edificata all'interno di ogni cella sono stati definiti i valori d'esposizione degli edifici delle singole celle (Figura 7).

3.4.2 Esposizione dell'uso del suolo

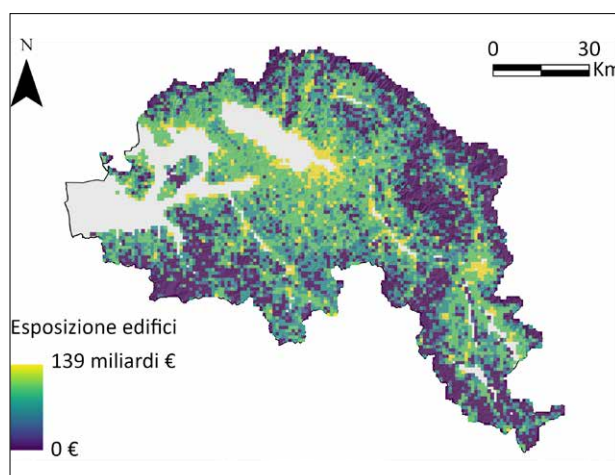
Il calcolo dell'esposizione relativa all'uso del suolo è stato realizzato attraverso l'utilizzo dei Valori Agricoli Medi (VAM), anch'essi acquisibili gratuitamente dal sito dell'Agenzia dell'Entrate. In questi database, ogni provincia è suddivisa in Regioni Agrarie e per ognuna di esse sono espressi i valori medi in €/ha delle varie tipologie di colture presenti. Le operazioni realizzate hanno avuto come obiettivo il calcolo del VAM medio di ogni classe di uso del suolo, dai quali è stato poi elaborato un valore medio, in €/m², da attribuire ad ogni singola cella del grigliato, che in seguito è stato riportato ad un valore esprimente l'intera superficie della cella, ovvero 1 km² (Figura 8).

3.5 Valutazione del rischio

La valutazione quantitativa del rischio da frana a cinematica lenta è stata eseguita applicando la seguente equazione che viene proposta in letteratura (Corominas et al., 2014):

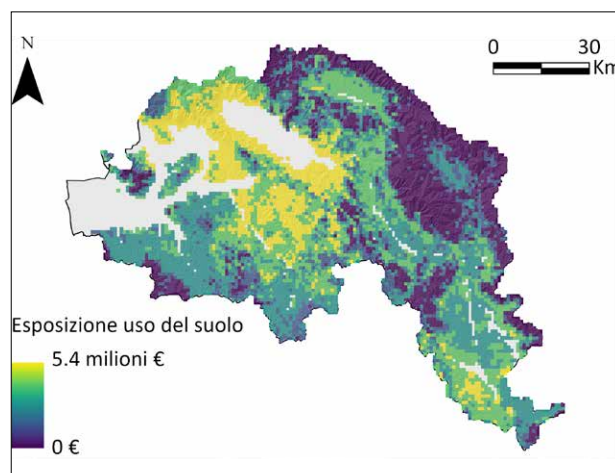
$$R = P \times V(I) \times E \quad (2)$$

Dove il rischio da frana (R) è definito dalla pericolosità da frana (P), dalla vulnerabilità (V) dell'elemento esposto in funzione dell'intensità dell'evento (I), e dall'esposizione (E). Come già discusso nelle sezioni precedenti, la pericolosità è stata approssimata alla sola probabilità spaziale di occorrenza delle frana data la mancanza di dati per poter valutare la pericolosità nella sua totalità. La valutazione del rischio è stata realizzata, così come lo sono stati i calcoli



▲
FIGURA 7

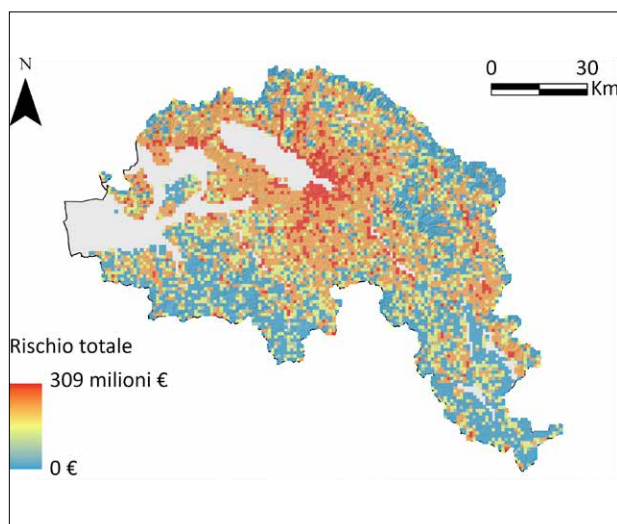
Mappa dell'esposizione degli edifici nel bacino del fiume Arno.



▲
FIGURA 8

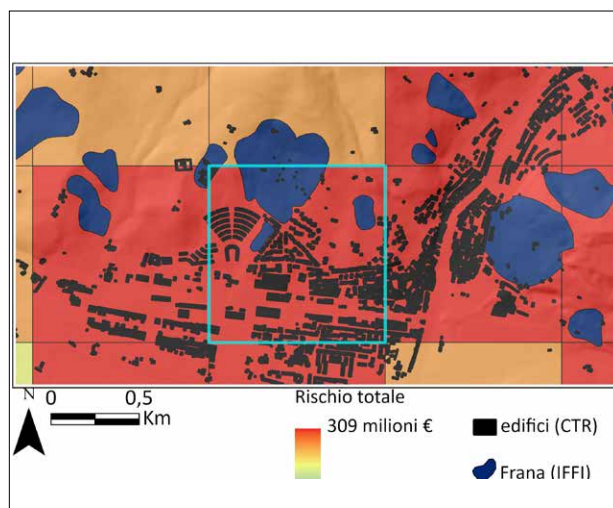
Mappa dell'esposizione dell'uso del suolo nel bacino del fiume Arno.

della vulnerabilità e dell'esposizione, separatamente per le due tipologie di elemento a rischio considerate (edifici e uso del suolo), in seguito sommando i due distinti valori di rischio è stato possibile ottenerne uno totale per ogni singola cella del grigliato di analisi. I valori di rischio sono espressi in € e rappresentano le possibili perdite economiche nel caso in cui all'interno di ogni singola cella, al verificarsi di una frana ogni singolo elemento venga impattato.



▲
FIGURA 9

Mappa del rischio totale nel bacino del fiume Arno.



▲
FIGURA 10

Dettaglio della cella con il rischio totale più elevato.

4 RISULTATI E DISCUSSIONI

L'analisi dei risultati di rischio ottenuti e la loro discussione è stata strutturata attorno ad analisi statistiche condotte sui valori acquisiti. Per quanto concerne il valore massimo del rischio da frane a cinematica lenta nel bacino del fiume Arno, esso è circa 309 milioni, tale valore si trova in una cella del comune di Pontassieve (FI). Analizzando i vari parametri che caratterizzano tale cella si può osservare come l'elevato valore sia principalmente dovuto all'alta esposizione degli

edifici dato che la cella in esame si trova nel centro della cittadina di riferimento; in aggiunta si può osservare come in tale cella siano presenti diversi poligoni di frana e che la classe d'intensità a cui essa appartiene corrisponde a "12", allo stesso tempo il valore della suscettibilità è circa 0,57 (57% di probabilità che si inneschi una o più frane). Tramite i parametri geomorfologici si può osservare che la cella è caratterizzata da una pendenza media di circa 7° e da una pendenza massima di 33°, quest'ultimo dato conferma la validità dei metodi utilizzati, non escludendo difatti la possibilità dell'innescio di un evento franoso che, studiando l'inventario IFFI, si evidenzia come si siano già verificati in tale zona (Figura 10). Certamente il fatto che si abbia un rischio elevato in una zona prettamente cittadina è anche dovuto alla risoluzione a 1 km² adottata. Per quanto concerne il valore minimo di rischio è pari a 0 euro e si ritrova in circa l'0,82% delle celle che compongono il grigliato di analisi. Il valore medio del rischio si attesta su circa 18 milioni di euro, mentre il valore totale corrisponde a circa 141 miliardi di euro.

Tale valore risulta essere estremamente elevato e ciò è sicuramente frutto della risoluzione spaziale e dell'approccio cautelativo con cui è stata condotta la metodologia. Tuttavia la metodologia presenta svariati punti di forza e novità nell'ambito della valutazione del rischio. Tra queste, la sua ripetibilità a scala nazionale, difatti tutte le procedure realizzate hanno avuto come scopo la possibile riproduzione ad una scala molto più ampia di quella regionale. In aggiunta, è doveroso sottolineare come non sia presente ancora a livello nazionale uno studio sul rischio da frana, che permetta di utilizzare i medesimi dati e metodologie in ogni zona del territorio italiano. Un ulteriore vantaggio è stato la capacità e la possibilità di usufruire di dati completamente gratuiti, per la maggior parte dei quali è stato adottato un approccio quantitativo, ad eccezione di quei parametri i cui dati di input ne hanno permesso una caratterizzazione solo in termini semi-quantitativi, come ad esempio l'intensità di frana o la vulnerabilità degli edifici. Su quest'ultima è incentrata un'ulteriore novità introdotta da questo studio, poiché la metodologia oltre che essere esportabile alla scala nazionale, costituisce un'innovazione dato che, generalmente, nel calcolo del rischio a scale molto ampie è di solito prassi, al fine di facilitare i calcoli, impostare la vulnerabilità pari a 1, ovvero massima, seguendo così un approccio eccessivamente cautelativo. Allo stesso tempo alcune limitazioni sono state evidenziate: la principale riguarda la reperibilità di dati ad alta risoluzione che siano omogenei sul territorio italiano; un chiaro esempio è la mancanza di omogeneità delle carte tecniche regionali (CTR), le quali avrebbero certamente migliorato la valutazione della vulnerabilità e dell'esposizione. Un'altra problematica è stata rappresentata dalla mancanza di una robusta calibrazione e validazione della metodologia proposta, la quale permetterebbe di affinare le varie procedure impiegate.

5 CONCLUSIONI

Le conclusioni che sono state tratte evidenziano come i valori di rischio ottenuti risultano essere molto elevati e ciò è stato sicuramente dovuto al fatto che la metodologia proposta ha avuto un'impronta volutamente cautelativa, portando ad una sovrastima dei valori di rischio finale, che comunque potranno essere resi più veritieri in futuro tramite opportune procedure di calibrazione dei singoli passaggi che compongono la metodologia. Certamente, la sovrastima dei valori finali di rischio è stata influenzata

anche dalla risoluzione adottata, che vista la prospettiva di applicabilità al territorio nazionale è stata impostata ad 1 km². Tuttavia, i risultati ottenuti possono essere considerati soddisfacenti nonostante l'ambizioso obiettivo prefissato e le limitazioni scaturite. In conclusione, tale studio deve essere considerato come una base di partenza, a cui dovranno fare seguito dei miglioramenti, per lo sviluppo di studi inerenti al rischio da frana su tutto il territorio nazionale.

BIBLIOGRAFIA

- Brabb, E. E., Pampeyan, E. H. and Bonilla, M. G. (1972) Landslide susceptibility in SanMateo County, California. Technical report, US Geological Survey.
- Catani, F., Casagli, N., Ermini, L., Righini, G. and Menduni, G. (2005) Landslide hazard and risk mapping at catchment scale in the Arno River basin. *Landslides* 2, 329-342.
- Catani, F., Lagomarsino, D., Segoni, S. and Tofani, V. (2013) Landslide susceptibility estimation by random forests technique: sensitivity and scaling issues. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13(11), 2815-2831.
- Corominas, J., van Westen, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J.-P., Fotopoulou, S., Catani, F., Van Den Eeckhaut, M., Mavrouli, O., Agliardi, F. et al. (2014) Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of engineering geology and the environment* 73, 209-263.
- Cruden, D. M. and Varnes, D. J. (1996) Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3-Landslide types and processes. Transportation research board special report (247).
- Fell, R. (1994) Landslide risk assessment and acceptable risk. *Canadian Geotechnical Journal* 31(2), 261-272.
- Ferretti, A., Prati, C. and Rocca, F. (2000) Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing* 38(5), 2202-2212.
- Guzzetti, F. (2006) Landslide hazard and risk assessment. Ph.D. thesis, Universitäts- und Landesbibliothek Bonn.
- Herrera, G., Mateos, R. M., García-Davalillo, J. C., Grandjean, G., Poyiadji, E., Maftai, R., Filipciuc, T.-C., Jemec Auflîc, M., Je'z, J., Podolski, L. et al. (2018) Landslide databases in the Geological Surveys of Europe. *Landslides* 15, 359-379.
- Leone, F., Ast'è, J. and Leroi, E. (1996) Vulnerability assessment of elements exposed to mass- movement: working toward a better risk perception. *Landslides-Glislements de Terrain*. Balkema, Rotterdam pp. 263-270.
- Li, Z., Nadim, F., Huang, H., Uzielli, M. and Lacasse, S. (2010) Quantitative vulnerability estimation for scenario-based landslide hazards. *Landslides* 7, 125-134.
- Petley, D. (2012) Global patterns of loss of life from landslides. *Geology* 40(10), 927-930.
- Rosi, A., Tofani, V., Tanteri, L., Tacconi Stefanelli, C., Agostini, A., Catani, F. and Casagli, N. (2018) The new landslide inventory of Tuscany (Italy) updated with PS-InSAR: geomorphological features and landslide distribution. *Landslides* 15, 5-19.
- Tofani, V. (2006) Ricerca e Sperimentazione di Metodologie per la Valutazione del Rischio da Frana a Sca Ph.D. thesis, University of Florence, Florence, Italy.
- Trigila, A., Frattini, P., Casagli, N., Catani, F., Crosta, G., Esposito, C., Iadanza, C., Lago-marsino, D., Mugnozza, G. S., Segoni, S. et al. (2013) Landslide susceptibility mapping at national scale: the Italian case study. *Landslide Science and Practice: Volume 1: Landslide Inventory and Susceptibility and Hazard Zoning pp.* 287-295.

IN RICORDO DEL PROF. FABIO SANDRELLI

A CURA DI IVAN MARTINI ED ENRICO TAVARNELLI

Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Università degli Studi di Siena

Quando ci si trova a scrivere un ricordo di un collega e un amico con cui si è cresciuti assieme è sempre difficile trovare le parole giuste. Difficile è calibrare tra la necessaria formalità lessicale dell'ambiente accademico e ciò che invece è guidato dalle emozioni e che necessita di altre forme espressive.

Fabio Sandrelli è stato Professore Ordinario di Stratigrafia e Sedimentologia del Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente dell'Università di Siena fino alla sua pensione, nel 2018. Nella sua lunga attività, iniziata nel 1974, ha focalizzato le sue ricerche sulle successioni sedimentarie paleozoico-triassiche, mioceniche e plioceniche nella Toscana meridionale sempre ponendo grande attenzione agli aspetti cartografici, elementi fondamentali per ogni indagine geologica. Fabio ha vissuto in prima persona quella fase di profondo cambiamento nelle linee di ricerca della sedimentologia e stratigrafia iniziata nel nuovo millennio. Un cambiamento per certi versi destabilizzante a cui Fabio Sandrelli ha saputo rispondere circondandosi di giovani ricercatori che indagavano problematiche anche molto lontane dall'ambito scientifico nel quale lui conduceva le proprie attività. Giovani di talento che hanno dato un grande contributo alla ricerca e alcuni dei quali ora ricoprono posizioni di rilievo nel panorama accademico italiano.

Ma era forse nell'attività didattica che Fabio trovava le maggiori soddisfazioni. Come ripeteva spesso, l'esser circondato da giovani lo faceva sentire giovane. Tra i corsi da lui tenuti possiamo ricordare quelli di Geologia degli Idrocarburi, Geologia, Complementi di Geologia, Geologia Regionale, Geologia del Quaternario e Geologia per Scienze Ambientali. Ma il ricordo didattico più vivido di tanti studenti e di tanti colleghi è legato al corso di Rilevamento geologico, di cui Fabio Sandrelli è stato titolare per un lungo periodo. Il corso di Rilevamento era molto di più di un corso accademico, era una palestra di vita dove in una armonica alternanza di avventure in stile "Indiana Jones", brontolate per gli errori commessi e momenti di goliardia si incominciava a mettere davvero mano alla Geologia. Si incominciava a capire il criterio con cui mettere i colori su una carta, come disegnare i contatti e come fare una sezione geologica. Pochi concetti ma difficili da mettere in pratica...ma che un po' alla volta riuscivamo ad apprendere! I ricordi dei tanti suoi ex studenti potranno essere soggettivi e vari ma di una cosa siamo certi: che le giornate di Rilevamento che si concludevano inesorabilmente con il giocare a "bandierina" sulla spiaggia di Donoratico saranno un ricordo indelebile per tutti noi!

Ciao Fabio!

Nella foto il Prof. Fabio Sandrelli in una missione nel Rift Etiope





ogt
ORDINE dei
GEOLOGI della
TOSCANA



ANNO XXXIV N°120 • LUGLIO 2023

Periodico d'informazione dell'Ordine dei Geologi della Toscana

DIRETTORE RESPONSABILE

Riccardo Martelli

COORDINAMENTO EDITORIALE

Alessandro Danesi

CONSIGLIO DELL'ORDINE

Alessandro Cortopassi, Alessandro Danesi, Daria Duranti, Simone Frosini, Chiara Lapira, Elisa Livi, Gaddo Mannori, Riccardo Martelli, Samuel Medoro, Iacopo Parenti, Monica Salvadori

COMMISSIONE SCIENTIFICA

Massimo Baglione, Gianluca Cornamusini, Lorella Francalanci, Roberto Gianecchini, Brunella Raco, Simone Sartini, Enrico Tavarnelli

COMITATO DI REDAZIONE

Giancarlo Lari, Guido Lavorini, Stefano Farinelli, Donato Merola, Maria Chiara Piccardi, Massimo Della Schiava, Luciano Sergiampietri

EDITORE

Ordine dei Geologi della Toscana,
Via Vittorio Fossombroni, 11, 50136 Firenze

DIREZIONE E REDAZIONE CENTRALE

Via Vittorio Fossombroni, 11 - 50136 Firenze
Tel. 055 2340878 - fax 055 2269589
email: il_geologo@geologitoscana.it
www.geologitoscana.it

PUBBLICITÀ

Agicom srl
Viale Caduti in Guerra, 28 - 00060 Castelnuovo di Porto (RM)
Tel. 069078285 - fax 069079256
agicom@agicom.it
www.agicom.it

CREATIVITÀ E GRAFICA

Agicom Graphic Ideas

STAMPA

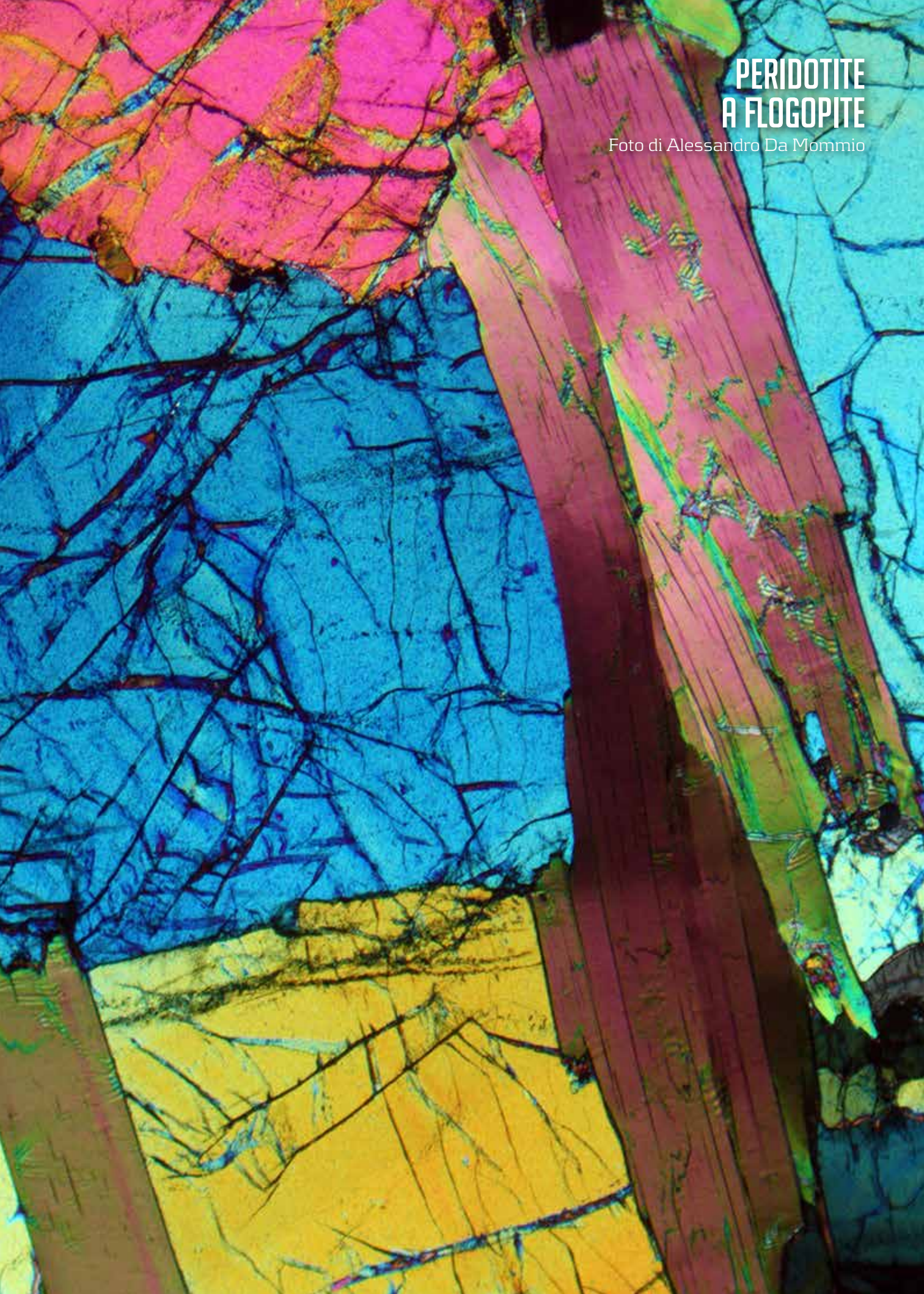
Spadamedia Srl

POSTE ITALIANE SPA - Spedizione in Abbonamento Postale 70% - DCB FI
Autorizzazione Tribunale di Lucca N. 531 del 17/09/90

Fatti salvo gli obblighi di legge, la redazione declina ogni responsabilità riguardo ai contenuti degli spazi pubblicitari, che non possono in alcun modo essere considerati rappresentativi, prossimi o indicativi della politica dell'ordine di cui la rivista è organo. Tutte le inserzioni pubblicitarie sono gestite dalla Agicom srl. È espressamente vietata la riproduzione di testi e foto ai sensi e per gli aggetti dell'art. 65 della legge n. 633-22.4.1941.

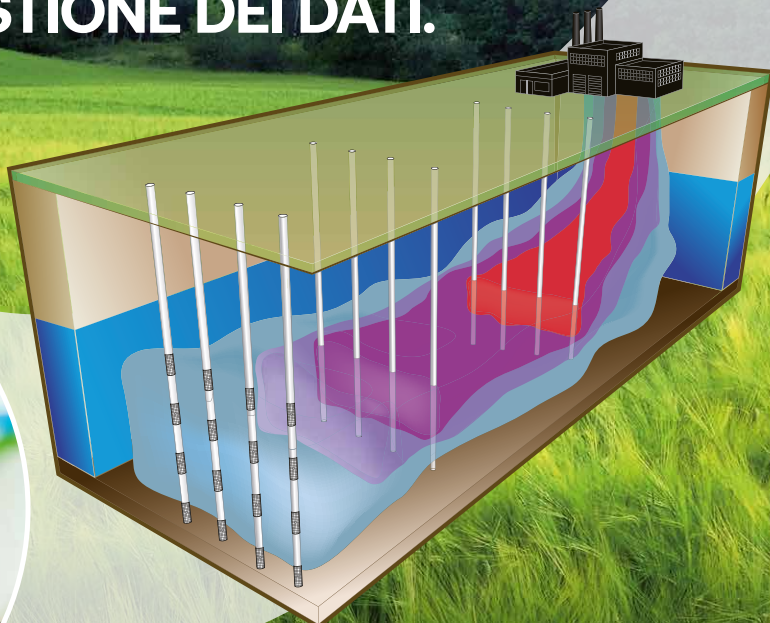
PERIDOTITE A FLOGOPITE

Foto di Alessandro Da Mommio



GESTIONE
INTEGRATA DATI

DALLA CARATTERIZZAZIONE AL MONITORAGGIO: L'IMPORTANZA DELLA GESTIONE DEI DATI.



Ad una raccolta efficace dei dati sulla qualità delle acque, deve seguire una loro gestione semplice, accurata e tempestiva per poter fornire in tempo reale gli elementi necessari a decisioni predittive. EgeoLab mette a disposizione dei clienti una piattaforma in grado di dialogare con la maggior parte dei sensori ambientali presenti sul mercato, di aggregarne i dati e di renderli fruibili in maniera semplice e immediata da qualsiasi device.

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



MISURE DI LIVELLO



DATALOGGER
E TELEMETRIE



CAMPIONAMENTO
LOW-FLOW



PROFILAZIONE
MULTILIVELLO

Solinst[®]

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

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

EGEO +lab

WWW.EGEO.LAB.IT

GRUPPO EGEO S.R.L. | VIA OVIDIO, 11 - 20026 NOVATE MILANESE (MI) | TEL. +39 02 36 577 830 | EMAIL: EGEO@EGEO.LAB.IT