



MISCELLANEA INGV

Rapporto tra ricerca scientifica, metodo didattico e stile comunicativo in una attività di divulgazione scientifica



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

78

Direttore Responsabile

Valeria DE PAOLA

Editor in Chief

Milena MORETTI (editorinchief.collane-editoriali@ingv.it)

Editorial Board

Laura ALFONSI (laura.alfonsi@ingv.it)
Raffaele AZZARO (raffaele.azzaro@ingv.it)
Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)
Simona CARANNANTE (simona.carannante@ingv.it)
Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)
Luca COCCHI (luca.cocchi@ingv.it)
Rosa Anna CORSARO (rosanna.corsaro@ingv.it)
Luigi CUCCI (luigi.cucci@ingv.it)
Lorenzo CUGLIARI (lorenzo.cugliari@ingv.it)
Alessia DI CAPRIO (alessia.dicaprio@ingv.it)
Roberto DI MARTINO (roberto.dimartino@ingv.it)
Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)
Domenico DORONZO (domenico.doronzo@ingv.it)
Filippo GRECO (filippo.greco@ingv.it)
Alessandro IAROCCI (alessandro.iarocci@ingv.it)
Marcello LIOTTA (marcello.liotta@ingv.it)
Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)
Daniele MELINI (daniele.melini@ingv.it)
Anna NARDI (anna.nardi@ingv.it)
Lucia NARDONE (lucia.nardone@ingv.it)
Marco OLIVIERI (marco.olivieri@ingv.it)
Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)
Pierangelo ROMANO (pierangelo.romano@ingv.it)
Maurizio SOLDANI (maurizio.soldani@ingv.it)
Sara STOPPONI (sara.stopponi@ingv.it)
Umberto TAMMARO (umberto.tammaro@ingv.it)
Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)
Stefano URBINI (stefano.urbini@ingv.it)

Ufficio Editoriale

Francesca DI STEFANO - Coordinatore

Rossella CELI - Segreteria di Redazione

Produzione e grafica-redazionale

Barbara ANGIONI

Massimiliano CASCONI

Rossella CELI

Francesca DI STEFANO

Patrizia PANTANI

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.174 | 2014, 23 LUGLIO

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia | Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI

Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

MISCELLANEA

INGV

Rapporto tra ricerca scientifica, metodo didattico e stile comunicativo in una attività di divulgazione scientifica

Riflessioni a partire da un laboratorio sulla geo-idrosfera, realizzato per ragazzi e ragazze durante la Notte Europea dei Ricercatori 2022

Eleonora Vitagliano^{*1}, Ilaria Spassiani², Deborah Maceroni³, Rossella Fonzetti^{1,4}, Giuliana D'Addezio²

¹INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Nazionale Terremoti

²INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Roma 1

³ISPRA | Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

⁴Università degli Studi Roma Tre

**Corresponding author*

Accettato 16 gennaio 2024 | Accepted 16 January 2024

Come citare | *How to cite* Vitagliano E. et al., (2024). Rapporto tra ricerca scientifica, metodo didattico e stile comunicativo in una attività di divulgazione scientifica. Riflessioni a partire da un laboratorio sulla geo-idrosfera, realizzato per ragazzi e ragazze durante la Notte Europea dei Ricercatori 2022. Misc. INGV, 78: 1-22, <https://doi.org/10.13127/misc/78>

In copertina Momento riferito all'attività svolta in occasione di ScienzaInsieme NET 2022 (elaborazione grafica di B. Angioni) | Cover

Moments of the activities during ScienzaInsieme NET 2022 (processing by B. Angioni)

INDICE

Introduzione	7
1. Alcune riflessioni sulla trasmissione della ricerca scientifica	7
2. Cenni al rapporto tra flussi idrici, micro-sismicità e sismicità nella ricerca scientifica	9
3. L'attività presentata durante la ERN 2022	11
4. Analisi degli strumenti didattici e comunicativi adottati	14
Conclusioni	16
Ringraziamenti	16
Bibliografia	17

Introduzione

Il lavoro qui presentato fa riferimento ad una attività dal titolo “Dalla pioggia alle sorgenti: l’invisibile percorso dell’acqua spinta dalla gravità” che è stata realizzata nell’ambito della Notte Europea dei Ricercatori e delle Ricercatrici 2022 (ERN, *European Researchers Night*), con l’obiettivo di sensibilizzare i ragazzi e le ragazze di scuola secondaria di primo grado al tema dell’acqua, intesa come indispensabile risorsa per l’uomo e motore di alcuni processi naturali. L’attività proposta durante l’evento divulgativo ha avuto la finalità di far conoscere, attraverso un laboratorio interattivo, alcuni dei processi meteorologici e geologici che avvengono nella geoidrosfera. In particolare, si è data maggiore enfasi a quei fenomeni che richiamano oggi l’interesse scientifico e che agiscono nel sottosuolo, cioè in quello spazio fisico che spesso rimane invisibile agli occhi, ma in cui si verificano piccole variazioni meccaniche e termiche ad opera dell’interazione tra roccia e flusso dell’acqua. I giovani partecipanti sono stati coinvolti in un percorso formativo-esperienziale arricchito da quiz e indovinelli e strutturato in modo da mostrare come questa preziosa risorsa sia in grado anche di raffreddare il cuore delle montagne e di creare pressione sulle sue fratture, generando naturali micro-tremori.

L’attività è stata proposta al pubblico per la prima volta in occasione della Notte Europea dei Ricercatori e delle Ricercatrici, il 30 settembre ed il 1° ottobre 2022, nell’ambito delle iniziative organizzate dal progetto *NET - scieNcE Together*. Il progetto italiano ScienzaInsieme NET 2022, approvato e promosso ogni anno dalla Comunità Europea, raccoglie alcuni fra i principali Enti di Ricerca e Università, con il fine di diffondere la cultura scientifica (www.scienzainsieme.it). L’obiettivo del progetto NET è quello di unire e mettere in rete ricercatori, società, istituzioni, associazioni, protagonisti del mondo della cultura e dell’arte e tanti altri *stakeholders* che operano sul territorio, per promuovere la scienza attraverso un’informazione semplice, diretta e coinvolgente, ma, allo stesso tempo, rigorosa e autorevole, grazie ad un partenariato scientifico d’eccellenza.

Il lavoro che presentiamo è strutturato come segue: inizialmente viene proposta una riflessione sul rapporto tra divulgazione, ricerca e formazione; segue poi una parte che descrive il tema dell’acqua in rapporto ai terremoti, prima in termini scientifici, poi dal punto di vista della divulgazione; in chiusura si mettono in evidenza gli strumenti adottati per facilitare una partecipazione attiva al processo di apprendimento e per migliorare l’efficacia comunicativa.

Keywords Laboratorio; Geo-idrosfera; Divulgazione

1. Alcune riflessioni sulla trasmissione della ricerca scientifica

Le riflessioni che seguono rappresentano l’*humus* culturale nel quale ha preso forma il laboratorio sulla geo-idrosfera, iniziativa che può essere definita come “una attività di divulgazione scientifica indirizzata a ragazzi in età scolare”. Da questo segue che, in quanto “attività di divulgazione”, il primo aspetto affrontato in questo paragrafo è quello dell’approccio divulgativo; in quanto “ambito scientifico”, la seconda riflessione riguarda l’interazione tra ricerca scientifica, o scienza in generale, e trasmissione della ricerca; in quanto “indirizzata a studenti”, il terzo aspetto si riferisce all’ambito educativo, campo molto vasto e in forte evoluzione.

Per quanto riguarda il primo aspetto della riflessione, vale la pena porre attenzione sulla distinzione fra divulgazione e comunicazione scientifica. Spesso infatti, nel linguaggio comune, i termini “divulgazione” e “comunicazione” sono usati indistintamente per indicare una generica

diffusione del sapere. In realtà, la comunicazione si differenzia dalla divulgazione perché il messaggio informativo non è soltanto trasmesso affinché arrivi al destinatario (individuo o collettività), ma è trasmesso al destinatario con l'intenzione che venga raccolto da quest'ultimo con tanta più efficacia, quanto più il destinatario manifesta una risposta coerente con quanto trasmesso. Così i due approcci differiscono prima di tutto perché l'attenzione non è principalmente sul messaggio, come nell'approccio divulgativo, ma è sul destinatario e sulla capacità di generare in lui una reazione in linea con il messaggio inviato. Nella comunicazione, la conoscenza del destinatario e la comprensione di cosa ha rilevanza per lui sono fondamentali, e il *feedback* del destinatario è un elemento cruciale. Questo approccio di comunicazione efficace, che nel marketing è conosciuto e utilizzato da anni [e.g., Sinek, 2009], nel rapporto scienza-società non è affatto diffuso e si osserva solo in particolari condizioni. Quando, ad esempio, si verificano eventi naturali estremi come un terremoto, la trasmissione del rischio trova la sua massima efficacia se diventa comunicazione, se cioè la diffusione delle informazioni verso una certa comunità avviene tenendo conto dei destinatari. La comunicazione in questi casi è tanto più efficace quanto più cresce la capacità di adeguare i contenuti del messaggio e i modi di trasmetterlo alla condizione di chi riceve l'informazione, alla sua istruzione, alla condizione fisica e psicologica in cui si trova in rapporto ai danni che ha subito, ecc. L'aspetto chiave per l'efficacia comunicativa è la costruzione di una relazione di fiducia capace di generare nel destinatario la messa in atto di comportamenti nuovi e virtuosi. Rispetto a questo esempio, si può dire quindi che una buona comunicazione del rischio non solo si basa sulla trasmissione delle informazioni scientifiche (divulgazione), ma anche, e soprattutto, su una relazione interpersonale, che è il vero cuore della comunicazione [e.g., Postiglione, 2014].

Per quanto riguarda il secondo aspetto della riflessione, a proposito del rapporto tra scienza e trasmissione della scienza, scrive Ziman [1987]: «Il principio basilare della scienza è che i risultati della ricerca devono essere resi pubblici. Qualsiasi cosa gli scienziati pensino o dicano individualmente, le loro scoperte non possono essere considerate come appartenenti alla conoscenza scientifica finché non sono state riferite e registrate in modo permanente. (...) Il sistema di comunicazione è l'istituzione sociale fondamentale della scienza». Greco [2006] chiarisce che la comunicazione della scienza è da considerarsi un "sistema" per la molteplicità di articolazioni da cui oggi, ancor più che nel passato, è caratterizzato: non solo la politica, l'economia e la cultura partecipano al processo di autorevolezza scientifica e di accettabilità sociale della scienza, ma sempre di più la comunicazione degli esperti-scienziati con un pubblico di non esperti è, come lui scrive, una "esigenza inderogabile". Aggiunge anche che l'esperto: «"deve", nella pratica quotidiana della sua attività, comunicare con una vasta gamma di interlocutori non esperti: dal politico nazionale (...) ai cittadini tutti» e ancora che: «il mondo della scienza e il resto della società sono sempre meno mondi autonomi, sia pure dialoganti, e sempre più mondi interpenetrati. In questa nuova era della scienza (...) i rapporti degli scienziati con l'articolato pubblico dei non esperti non sono solo aumentati in quantità, ma si sono modificati nella qualità. Sono diventati più ambigui. I ruoli sono meno netti. Se non altro perché sempre più "non esperti" partecipano alle decisioni che attengono al lavoro degli "esperti"». Da queste brevi considerazioni si evidenzia che nel mondo contemporaneo la dimensione comunicativa è un presupposto e una finalità fondamentale della scienza e risponde, nello scienziato che esercita il suo lavoro in una complessa rete di relazioni umane e professionali, ad un vero e proprio imperativo etico [Covino e Vitagliano, 2023]. È auspicabile, dunque, che i percorsi formativi universitari includano anche l'acquisizione di strumenti comunicativi, in particolare nelle geoscienze, per poter dialogare con il vasto ambito dei non-esperti, che orbita al di fuori delle comunità scientifiche.

Per quanto riguarda il terzo aspetto della riflessione, un punto delicato del dibattito educativo è il rapporto tra modalità di trasmissione delle conoscenze e apprendimento. Da molti anni ormai i numeri che si riferiscono all'abbandono scolastico sono allarmanti [Eurostat, 2022]. Alcuni autori

individuano fra le cause della disaffezione dei ragazzi verso l'ambiente scolastico sia il divario sociale, sia le modalità didattiche [e.g., Finn, 1989; Piccioli and Reier, 2022]. A tutti i livelli educativi, a partire dalla scuola fino all'università, e tra le varie Istituzioni, è sempre più viva la consapevolezza dell'importanza di promuovere la costruzione attiva della conoscenza, coinvolgendo gli alunni nei processi di apprendimento e puntando a una istruzione capace di formare la persona nella sua globalità [Delors, 1997; Consiglio d'Europa, 2012; UNICEF, 2017; Commissione Europea, 2021]. Sulla scia di queste brevi considerazioni è anche unanime la consapevolezza che la didattica, quando si serve a livello metodologico esclusivamente della lezione frontale e promuove l'approccio nozionistico, "non favorisce lo sviluppo di uno spirito critico degli studenti, relegati al ruolo passivo di spettatori senza poter incidere realmente sul processo educativo che li coinvolge in prima persona" [Piccioli and Reier, 2022]. Appare quindi forte la raccomandazione di integrare questa modalità di trasmissione del sapere con altre tipologie di insegnamento *ex-cattedra* [e.g., Camoglio, 1999; Gherardi, 2013; Coryell, 2017]. Fra queste, un approccio efficace è quello di "un sistema che attribuisce importanza alla dimensione dialogica, sviluppata attorno a un tavolo, basata su piccoli numeri, sullo scambio di esperienze e insomma su quello che oggi si usa chiamare *cooperative learning*. Obiettivo dell'apprendimento cooperativo, secondo la ricerca pedagogica contemporanea è la creazione di un'interdipendenza positiva, vale a dire la consapevolezza da parte dei componenti del gruppo di essere legati reciprocamente da una dipendenza relazionale che risulta essere direttamente proporzionale al grado di coinvolgimento intellettuale, emotivo e di utilità che lega gli uni agli altri" [Benigno, 2019]. Come si vedrà nei prossimi paragrafi (in particolare nel paragrafo 4), nel laboratorio realizzato per l'ERN la capacità comunicativa ha rappresentato un aspetto chiave perché ha permesso di far convergere l'approccio divulgativo sul piano della didattica. Inoltre, l'efficacia di questa prospettiva è stata confermata, al termine dell'attività esperienziale, dai commenti raccolti fra i giovani partecipanti.

2. Cenni al rapporto tra flussi idrici, micro-sismicità e sismicità nella ricerca scientifica

Dal punto di vista scientifico, il laboratorio proposto si è ispirato al vasto tema del rapporto tra l'acqua e la sismicità visto nella prospettiva dell'idro-meccanica delle rocce, una linea di ricerca che studia i processi idrologici e idrogeologici in rapporto alle deformazioni meccaniche delle rocce. Negli ultimi decenni, questo ambito è stato fonte di interesse per i ricercatori di tutto il mondo e oggetto di numerosi studi a carattere multidisciplinare [e.g., Wang and Manga, 2021]. È noto ad oggi che il movimento dell'acqua è regolato dal ciclo dell'acqua o ciclo idrologico [e.g., Dingman, 1994]. Il percorso dell'acqua è legato all'interazione tra atmosfera, idrosfera e crosta terrestre ed è dovuto, in particolare, ai meccanismi che determinano un cambiamento dello stato fisico dell'acqua (i.e., evaporazione, condensazione e precipitazione). Le acque meteoriche che raggiungono la superficie terrestre interagiscono con l'ambiente circostante attraverso processi di deflusso superficiale e di infiltrazione nel sottosuolo. Le prime esercitano un'azione erosiva sui terreni e modellano il paesaggio; le seconde rendono possibile, ad esempio, la ricarica degli acquiferi. L'acqua presente nel sottosuolo, contenuta nei pori e nelle fratture delle rocce, esercita una pressione, chiamata "pressione neutra" o "pressione dei pori", sulla parte solida della roccia. Quando le forze in gioco sono relativamente ridotte, la pressione dei pori è legata in maniera elastica alla deformazione delle rocce e si possono verificare due fenomeni: il cambiamento della pressione dei pori può provocare una deformazione nella roccia e, viceversa, la deformazione di un volume di roccia può produrre, sotto opportune condizioni, una variazione di pressione dei pori. In entrambi i casi la variazione del rapporto tra pressioni della parte solida e pressioni dei pori può provocare la rottura della roccia e così generare terremoti.

In particolare, il primo fenomeno è relativo ai terremoti che dipendono sia dall'idrodinamica di sottosuolo, quando ad esempio si ha iniezione o estrazione d'acqua da pozzi [Keranen and Weingarten 2018; Wetzler et al., 2019], sia dall'idrologia di superficie, quando ad esempio si realizza un bacino artificiale [Gupta, 2018]. Il tipo di sismicità che ne deriva è di bassa intensità e viene indicata, in generale, con il termine "sismicità indotta" dall'attività antropica [Foulger et al., 2018]. Un esempio, invece, di sismicità naturale è dato dall'attività sismica stagionale, legata alle precipitazioni o ai processi di ricarica degli acquiferi [Husen et al., 2007; D'Agostino et al., 2018; Johnson et al., 2020]. Inoltre, secondo alcuni autori, la pressione dei pori può avere un ruolo chiave anche a seguito di un terremoto e, in particolare, nell'innescare di ulteriori terremoti [e.g., Noir et al., 1997; Antonioli et al., 2005]. Infatti, in prossimità o in una zona vicina al terremoto (campo prossimale e intermedio), le deformazioni nei volumi di roccia coinvolti dal sisma (deformazioni volumetriche cosismiche) causano una variazione della pressione dei pori a cui segue, per effetto del movimento dell'acqua nelle rocce (processi di diffusione), la generazione di scosse di assestamento successive al terremoto (fase post-sismica).

Una relazione utile a mostrare come e perché i fluidi possono influenzare la rottura della roccia lungo una faglia è quella legata alla frizione delle rocce e, nello specifico, al criterio di rottura di Coulomb [Byerlee and Brace, 1972]:

$$\tau = c + \mu (|\sigma| - \alpha P),$$

dove:

τ è la resistenza al taglio, c è la forza di coesione attraverso la superficie di faglia, μ è il coefficiente di frizione, σ è lo sforzo normale, α è il coefficiente di Biot-Willis e P è la pressione dei pori. È da notare che la relazione fa riferimento al concetto introdotto da Terzaghi [1925] degli sforzi normali efficaci (σ'), cioè alle pressioni che agiscono sulla parte solida della roccia e che si trasmettono da grano a grano. Questi sforzi sono legati agli sforzi normali (σ) e alle pressioni dei pori (P), secondo la formula: $\sigma' = \sigma - \alpha P$.

La relazione vista in precedenza mette anche in luce che i terremoti possono essere indotti aumentando lo sforzo di taglio e riducendo gli sforzi normali con l'aumento della pressione dei fluidi. Intuitivamente è possibile dire che la pressione dei pori controbilancia la pressione di confinamento a cui si trovano i corpi nel sottosuolo e, per questo motivo, incrementare i fluidi equivale a diminuire la pressione di confinamento e la resistenza dei materiali.

Per quanto riguarda il secondo fenomeno, sono molteplici le risposte idrologiche indotte dai terremoti: formazione di laghi a seguito di frane o crolli di pareti rocciose indotte da sismi; creazione di barriere di permeabilità che inibiscono il passaggio dell'acqua e che si formano a seguito del movimento lungo il piano di faglia in occasione di forti terremoti; diminuzione o aumento della portata dei fiumi, delle sorgenti e dei livelli della falda idrica; ecc. In particolare, il cambiamento del flusso d'acqua nei fiumi può essere cosismico, cioè contemporaneo al terremoto, ma può anche continuare per giorni o settimane, per poi decrescere ai livelli pre-sisma. Le maggiori risposte cosismiche che sono state documentate in riferimento al flusso idrico superficiale testimoniano un incremento di portata, anche se non mancano casi di diminuzione dei livelli idrologici [Wang and Manga, 2021]. Questi fenomeni, in assenza di precipitazioni o scioglimento di nevi coevi all'evento sismico, dipendono dalla variazione del gradiente e della conducibilità idraulica, e da altri processi quali l'espulsione di fluidi profondi per effetto della deformazione elastica cosismica, o la consolidazione e la liquefazione cosismiche negli strati più superficiali dei sedimenti. Oltre al cambiamento cosismico delle acque superficiali, un ulteriore effetto dei terremoti riguarda le variazioni del livello delle acque sotterranee o falde, che sono legate ai cambiamenti degli sforzi statici e dinamici a cui è soggetta la crosta quando avviene un terremoto [Waller et al., 1965; La Vigna, 2013; Zhang et al., 2019]. Questi sforzi, che aumentano con l'aumentare della quantità di energia rilasciata da un terremoto (momento sismico), e

diminuiscono all'aumentare della distanza, hanno un impatto sulla variazione della pressione dei pori. Di conseguenza, la differenza di pressione dei pori genera differenze nei gradienti idraulici e variazioni delle geometrie dei pori, che a loro volta cambiano le proprietà idrauliche dei terreni e delle rocce, causando variazioni nella quantità di fluidi mobilitati e nei flussi. Infine, due esempi italiani relativi a sismi di media-forte intensità avvenuti nell'Appennino Centro-Meridionale [Rovida et al., 2022] e alla loro ripercussione sull'idrodinamica delle falde e degli acquiferi sono: il terremoto di Norcia, del 30 ottobre 2016 (Mw 6.61) e il terremoto dell'Irpinia, del 23 novembre 1980 (Mw 6.81). Nel primo caso, il terremoto ha riattivato la sorgente del Rio Torbidone, scomparso anni prima in occasione di un terremoto che colpì Norcia il 19 settembre 1979 (Mw 5.9) [Checcucci et al., 2017]. Nel secondo caso il terremoto ha determinato un significativo aumento della portata della sorgente di Caposele [Cotecchia e Salvemini, 1981; Esposito et al., 2001; Porfido et al., 2007].

3. L'attività presentata durante la ERN 2022

La ERN 2022 ha rappresentato un'occasione per provare "sul campo" l'efficacia formativa del laboratorio. Il progetto ScienzaInsieme NET ha realizzato come evento principale due giornate dedicate alla scienza, il 30 settembre e il 1° ottobre, a Città dell'Altra Economia nel quartiere Testaccio di Roma. Nei 44 *stand* allestiti in un ampio spazio, gli Enti di Ricerca e le Università hanno offerto a un vasto pubblico l'occasione di vivere la scienza a fianco dei ricercatori e delle ricercatrici, attraverso laboratori e attività *hands-on*, conferenze, seminari, caffè scientifici e numerose attività ideate per i bambini e le famiglie. All'evento hanno partecipato circa 6000 visitatori. In uno dei quattro *stand* realizzati dall'INGV per l'occasione è stato allestito il laboratorio didattico sulla geo-idrosfera. L'itinerario è nato sulla base dell'interesse scientifico descritto nel paragrafo precedente e ha avuto l'intento di far capire ai partecipanti come l'acqua, oltre ad essere una risorsa "fragile" e preziosa per la sopravvivenza dell'uomo, può influenzare le dinamiche interne del nostro Pianeta. Nello specifico, il percorso realizzato è consistito in un laboratorio esperienziale caratterizzato da tre momenti interattivi (Figura 1).



Figura 1 Allestimento dell'attività didattica sulla geo-idrosfera. I numeri sovrascritti all'immagine indicano gli step del percorso didattico.

STEP 1: come si forma la pioggia, motore fondamentale della circolazione idrica sotterranea;
 STEP 2: come l'acqua piovana, infiltrandosi, influenza lo stato termico del terreno;
 STEP 3: come la pressione idrica genera vibrazioni simili ai micro-tremori osservati lungo le fratture delle rocce o le faglie.

Il percorso è stato progettato con l'idea di accogliere un gruppo di 3-4 ragazzi ad ogni *step*, in modo tale che ciascun gruppo partisse dal primo *step* e, una volta completato, passasse al successivo. In ogni *step* ciascun gruppo è stato invitato a osservare il fenomeno fisico in gioco, utilizzando disegni esplicativi precedentemente stampati su fogli A3 e montati su pannelli di cartone. Una volta trasmessi i concetti base, ogni gruppo è stato coinvolto in modo diretto negli esperimenti (Figura 2).

Figura 2 Fotografie scattate durante l'attività.



In particolare, nel primo *step* i ragazzi hanno osservato il ciclo dell'acqua attraverso un sistema semplificato di vaporizzazione e condensazione dell'acqua.

Per realizzare questo *step* e, in particolare, la generazione della pioggia, sono stati utilizzati: un bollitore d'acqua per produrre il vapore acqueo (STEP 1 in Figura 3), e una sottile lastra di plastica montata al di sopra del bollitore (tetto plastificato) per far condensare il vapore acqueo prodotto e provocare il successivo gocciolamento. Inoltre, sono stati usati dei fogli colorati di gomma crepla con il fine di raffigurare il mare, le coste, le zone pianeggianti e le montagne, e di decorare la struttura in plastica e metallo in cui è stato inserito il bollitore e su cui è stato appoggiato il tetto plastificato. Nel secondo *step* i ragazzi hanno osservato i processi di riscaldamento e raffreddamento che avvengono nel sottosuolo, a grande profondità dalla superficie terrestre. In un primo tempo, hanno percepito il calore del terreno prodotto da una lampada a luce infrarossa, con cui è stato simulato il riscaldamento delle rocce ad opera del calore radiogenico sprigionato dall'interno della Terra. Successivamente, hanno misurato l'anomalia termica dovuta all'infiltrazione dell'acqua piovana nel sottosuolo. L'esperimento ha così dato meno risalto a processi che avvengono sulla superficie terrestre, come ad esempio l'irraggiamento solare, e maggior peso a fenomeni poco noti, che invece avvengono a centinaia di metri di profondità dalla superficie. Per realizzare questo *step* sono stati necessari: un contenitore di plastica trasparente con della sabbia mista a terriccio, una lampada con luce a infrarossi, un annaffiatoio per simulare la caduta della pioggia, un termometro da forno e una lavagnetta per segnare le temperature misurate.

In particolare, i partecipanti hanno versato dell'acqua fredda in un blocco di terreno riscaldato in modo continuo dalla lampada e hanno misurato, prima e dopo l'innaffiamento, le temperature del terreno (STEP 2 in Figura 3). Queste azioni hanno consentito loro di osservare una riduzione di temperatura dovuta all'infiltrazione dell'acqua nel sottosuolo.

Nel terzo *step* i partecipanti hanno osservato l'effetto di un getto d'acqua pressurizzata nel terreno (STEP 3 in Figura 3). Per realizzare questo *step* sono serviti: un contenitore di plastica trasparente con del terreno e una pompa irroratrice manuale per generare l'acqua in pressione. All'interno del terreno era stata previamente posizionata una superficie inclinata in gomma crepla per simulare una faglia e un piccolo dispositivo composto da una elica, una asticella verticale e una bandierina (Figura 4).

Nello specifico, una estremità dell'asticella era stata saldata all'elica e sepolta nel terreno, libera, comunque, di muoversi all'interno del dispositivo, mentre l'altra estremità era stata legata a una bandierina ed era ben visibile al di fuori del terreno. L'ugello della pompa d'acqua era stato anch'esso previamente posizionato nel terreno e fissato al dispositivo in corrispondenza dell'elica, in maniera tale che, alla fuoriuscita del getto d'acqua, l'elica venisse messa in movimento dall'acqua, causando a sua volta la rotazione dell'asta e della bandierina (Figura 4).

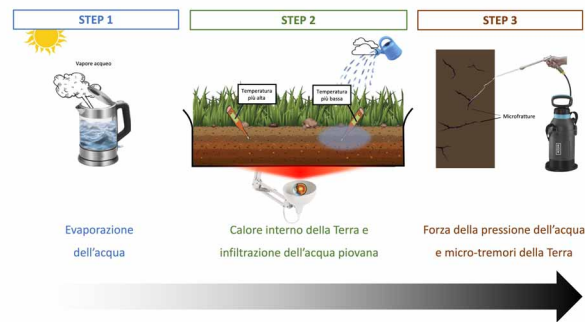


Figura 3 Schema degli step realizzati, degli oggetti “domestici” utilizzati e dei processi fisici simulati. STEP 1: un bollitore d’acqua simula il riscaldamento dell’acqua di mare ad opera del Sole e produce vapore acqueo. STEP 2: una lampada con luce infrarossa posizionata alla base di un contenitore di terreno simula il calore prodotto all’interno della Terra. Questo calore immagazzinato nel terreno è attenuato dalla pioggia, che viene simulata da un innaffiatoio. La pioggia, infiltrandosi, crea una anomalia termica perché raffredda temporaneamente il terreno. Dal punto di vista termico (visibile nei due termometri), la zona di terreno soggetta a pioggia e a infiltrazione dell’acqua piovana (a destra) è caratterizzata da temperature più basse rispetto a quelle misurate nella zona non interessata da pioggia (a sinistra). STEP 3: una pompa irroratrice simula l’effetto della pressione dell’acqua all’interno del terreno. La forza dell’acqua agente nei pori e nelle microfratture delle rocce può indebolire la resistenza del terreno e favorire la generazione di microsismicità.

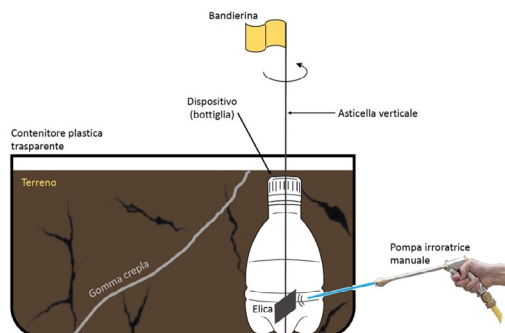


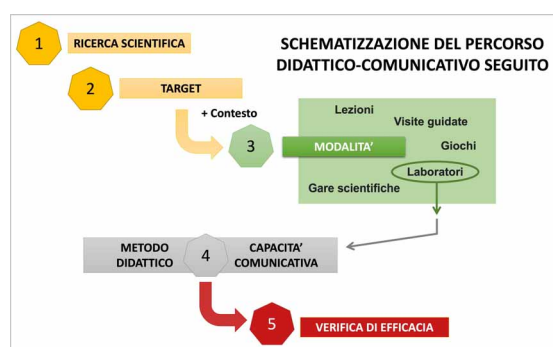
Figura 4 Schema del funzionamento del dispositivo utilizzato nello STEP 3.

Ai ragazzi è stato chiesto di pressurizzare l’acqua agendo manualmente sul pistone della pompa e di osservare con attenzione il movimento della bandierina al passaggio dell’acqua nel terreno. Sebbene il dispositivo non fosse visibile, i ragazzi hanno compreso, vedendo la rotazione della bandierina, che il passaggio dell’acqua in pressione può causare la perturbazione del terreno, e che, per analogia, il movimento dell’acqua nel sottosuolo può generare micro-sismicità. Prima di concludere questa sezione, è utile sottolineare alcuni aspetti che ci sembrano significativi al fine di replicare il laboratorio. Anzitutto, i materiali utilizzati sono oggetti di uso comune, economici (spesa complessiva di poche centinaia di euro) e facili da reperire. Inoltre, l’investimento di tempo per eseguire l’attività completa da parte di ciascun partecipante è stato di circa 15 minuti. Infine, la preparazione dell’esperienza ha richiesto da parte dello *staff* (le autrici di questo articolo) un tempo di lavoro non continuativo, distribuito in un arco complessivo di circa tre settimane. Le fasi che hanno richiesto maggiore investimento di tempo sono state le prove degli esperimenti e la realizzazione delle decorazioni.

4. Analisi degli strumenti didattici e comunicativi adottati

La ricerca scientifica descritta brevemente nel paragrafo 2 ha rappresentato il punto di partenza per la realizzazione del laboratorio didattico. Il lavoro di ricerca su temi quali la circolazione dei fluidi nel sottosuolo, l'influenza dei fluidi nei fenomeni di deformazione e rottura delle rocce, l'interazione fra acque superficiali/fredde e fluidi profondi/caldi in aree sismicamente attive come l'Appennino, è stato lo stimolo principale dell'attività divulgativa che ha reso accessibili, a un vasto pubblico di non esperti, alcuni dei contenuti su cui la comunità scientifica pone oggi notevole interesse. Posto questo "fermento scientifico" come primo passaggio per la progettazione del laboratorio, di seguito vengono analizzati gli aspetti chiave didattici e comunicativi che hanno caratterizzato il percorso esperienziale. Tali elementi sono stati schematizzati nella Figura 5.

Figura 5 Passaggi chiave per la realizzazione del laboratorio didattico.



Un primo elemento chiave per la progettazione dell'attività è stato il *target* di riferimento, cioè il tipo di pubblico a cui l'attività è stata destinata. Il *target* in rapporto al contesto, cioè all'evento divulgativo in cui era inserito (manifestazione all'aperto caratterizzata da tante iniziative realizzate in parallelo e dirette a un pubblico eterogeneo, per lo più appassionato o curioso verso la scienza), ha guidato la scelta della modalità didattica e dello stile comunicativo. Pur avendo la possibilità di scegliere fra varie modalità di attività indirizzate alle scuole (lezioni, visite guidate, laboratori ad hoc, giochi e gare scientifiche), nel percorso didattico realizzato è stata adottata la forma del laboratorio, sia perché il coinvolgimento pratico del fare in prima persona aumenta la comprensione di ciò che si fa, sia per stabilire una interazione diretta con i giovani interlocutori e instaurare un dialogo quanto più vivo e costante possibile. Infatti, la co-presenza di numerosi stimoli esterni legati agli *stand*, che in parallelo proponevano altre attività, e la condizione di dispersione a cui erano soggetti i ragazzi, a motivo dell'ampio spazio all'aperto scelto come luogo della manifestazione, sono stati i fattori determinanti per la scelta progettuale fatta.

Un ulteriore elemento chiave è stato l'approccio di apprendimento adottato che, come si vedrà dalle caratteristiche del laboratorio presentate di seguito, è consistito in un vero e proprio *cooperative learning* (paragrafo 1):

- numero ristretto di partecipanti per ogni *step*;
- uso di un tavolo di lavoro comune lungo il quale muoversi dopo aver concluso ogni *step* dell'esperimento;
- interdipendenza operativa fra i partecipanti: sotto la guida dello *staff*, la riuscita di un esperimento e, così, la possibilità di passare al successivo, è stata affidata ai ragazzi e alla loro capacità di realizzare o meno certe azioni, comprendendone il significato;
- accoglienza, da parte dello *staff*, di ogni domanda/curiosità/bisogno proveniente da ciascun partecipante, per garantire una attiva partecipazione e un sereno coinvolgimento emotivo degli interlocutori.

Accanto ad uno specifico stile di apprendimento, sono stati messi in atto da parte dello *staff* alcuni accorgimenti comunicativi, quali:

- l'uso di un linguaggio diretto e semplice: i termini tecnici non sono stati usati o, se usati, sono stati prima introdotti. Ad es. la parola “faglia” è stata utilizzata solo dopo essere stata introdotta dai termini “rottura nel terreno”;
- l'aver reso materiale ciò di cui si parla: i concetti teorici sono stati associati ad oggetti concreti, per comprenderne meglio il loro significato. Ad es. il concetto di “vapore acqueo” non è stato solo detto a parole e compreso usando disegni esplicativi che ne hanno chiarito la genesi (“il vapore si forma perché il Sole scalda il mare e lo fa evaporare”), ma è stato anche visto e, quasi, toccato con mano nella nuvola di micro-goccioline sprigionate dal bollitore;
- l'aver reso “vicino” ciò di cui si parla, attraverso la metafora del “come”: sono stati introdotti esempi riferiti ad esperienze verosimilmente vissute dagli interlocutori. Ad es. un micro-tremore è stato esemplificato nella vibrazione che si percepisce quando passa un treno sulla banchina di una stazione.

Un ultimo elemento chiave è stato l'uso delle domande-quiz al termine del percorso esperienziale (Figura 6). Queste domande sono state introdotte con il fine di fissare i concetti già considerati, mantenendo alto il coinvolgimento dei ragazzi e la relazione con loro. Il quiz ha così avuto una doppia valenza, sia didattica che comunicativa, e ha inoltre consentito di verificare la modalità formativa e la capacità comunicativa a percorso concluso, interpellando ciascun partecipante. Le domande preparate sono state complessivamente 22, a risposta multipla e suddivise in tre gruppi di argomenti, in modo da rispecchiare i temi presentati nei tre step del percorso didattico. Ciascuna domanda è stata stampata in formato A5 e montata su un cartoncino, per essere facilmente maneggiabile. Ciascun partecipante ha potuto scegliere l'argomento/step con cui cimentarsi ed estrarre la domanda a cui rispondere. La risposta esatta è stata premiata con una caramella.


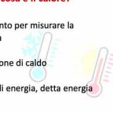

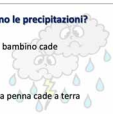
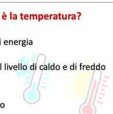
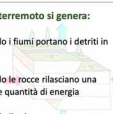
Domande Step 1	Domande Step 2	Domande Step 3
<p>L'acqua dei fiumi dove arriva?</p> <p>a. Nel mare b. Sulle nuvole c. Nei laghi</p> 	<p>Che cosa è il calore?</p> <p>a. Uno strumento per misurare la temperatura b. Una sensazione di caldo c. Una forma di energia, detta energia termica</p> 	<p>Come si chiamano le zone fratturate delle rocce?</p> <p>a. Tsunami b. Faglie c. Zone temperate</p> 
<p>Cosa sono le precipitazioni?</p> <p>a. Quando un bambino cade b. Le piogge c. Quando una penna cade a terra</p> 	<p>Che cosa è la temperatura?</p> <p>a. Una forma di energia b. La misura del livello di caldo e di freddo di un corpo c. Il termometro</p> 	<p>Un terremoto si genera:</p> <p>a. Quando i fiumi portano i detriti in mare b. Quando le rocce rilasciano una grande quantità di energia c. Quando il sole sorge</p> 

Figura 6 Esempi di domande proposte ai ragazzi durante l'attività e relative agli argomenti presentati nel percorso didattico.

Per quanto riguarda i riscontri sia rispetto all'efficacia comunicativa, sia rispetto alla modalità didattica adottata, nelle ore di effettiva attività (7 ore complessive distribuite in due tardi pomeriggi), il laboratorio proposto ha registrato complessivamente 120 presenze e toccato così uno dei valori più alti fra quelli relativi alle attività con caratteristiche di svolgimento simili proposte nell'ERN 2022. Inoltre, tutti i ragazzi e le ragazze hanno concluso l'attività sottoponendosi di buon grado ai quiz (a motivo della premialità) e, ad eccezione dei giovanissimi interlocutori che sono stati ammessi a partecipare nonostante, per età, fossero fuori dal target previsto, hanno risposto correttamente alle domande, ottenendo tutti il premio. Persino l'interruzione del laboratorio causata da problemi tecnici riscontrati nel dispositivo utilizzato nel terzo step (dislocazione dell'asticella dal dispositivo; cfr. Figura 4), ha confermato l'interesse e la curiosità dei ragazzi verso l'attività proposta. Infatti, durante la breve pausa per ripristinare il

sistema, i ragazzi sono rimasti pazientemente in attesa di riprendere il laboratorio e si sono mostrati attratti sia dal problema che aveva causato il blocco, che dalla sua risoluzione. Questo episodio ha fatto emergere un ulteriore aspetto di efficacia educativa e comunicativa, e, cioè, che nella trasmissione dei contenuti è importante sia proporre ragionamenti e considerazioni chiare e “risolte”, sia disseminare le problematiche e gli snodi irrisolti, perché rappresentano, se ben calibrati sul target, punti di interessamento e di coinvolgimento [e.g., Dewey, 2018]. Nel presentare una problematica a un giovane interlocutore e nel lasciare aperto uno spazio di risoluzione, l’interlocutore si sente chiamato, in prima persona, a cercare una soluzione. A livello personale cresce l’ottimismo nelle proprie capacità e possibilità, aumenta la consapevolezza di quanto il proprio operato assume significato nella prospettiva sociale e risulta rafforzata la dimensione di senso legata al proprio ruolo. Sebbene nel laboratorio proposto la possibilità di lasciare intervenire i ragazzi su problematiche irrisolte non è stata pianificata, proprio in virtù dell’importanza che ricopre, potrà essere inserita nelle future edizioni del percorso esperienziale.

Conclusioni

In linea con le finalità della Notte Europea dei Ricercatori e delle Ricercatrici 2022, l’attività realizzata ha consentito di comunicare efficacemente a ragazzi e ragazze d’età compresa tra i 9 e i 13 anni il sapere scientifico riferito all’ambito della interazione acqua-terreno. In particolare, sono stati proposti semplici esperimenti legati ai processi di idrodinamica di sottosuolo in rapporto al calore terrestre e ai micro-tremori delle rocce. Attraverso l’iniziativa è stato così possibile trasmettere, al di fuori della comunità scientifica, una parte di un vasto campo multidisciplinare di ricerca promosso dall’INGV, arricchendo la cultura dei ragazzi con un livello di conoscenze che la scuola non riesce ad offrire e contribuendo, così, allo sviluppo di una cittadinanza scientifica. L’attività proposta si è collocata a cavallo di due macro-ambiti culturali, la divulgazione scientifica e la didattica delle scienze, e ha cercato di legare queste due dimensioni utilizzando accorgimenti propri della comunicazione per instaurare una relazione formativa con i partecipanti. L’efficacia didattica-comunicativa è stata verificata attraverso domande-quiz somministrate ai partecipanti al termine del percorso e “misurata” attraverso il numero, incoraggiante, dei partecipanti (120 ragazzi). Obiettivo futuro sarà quello di presentare questa attività in occasione dei prossimi eventi di divulgazione scientifica, registrando in maniera più oggettiva il grado di apprendimento dei partecipanti, ad esempio tramite l’utilizzo di domande relative agli argomenti trattati, prima e dopo lo svolgimento del laboratorio. Questo consentirà di valutare quantitativamente l’efficacia di metodi e strumenti adottati e di migliorare ulteriormente.

Ringraziamenti

Un ringraziamento speciale va a Nicola D’Agostino, Responsabile INGV del progetto Prin 2017 dal titolo: “*Detection and tracking of crustal fluid by multi-parametric methodologies and technologies*” (cod. 20174X3P29_004), all’interno del quale si è sviluppata la ricerca scientifica presentata e da cui ha preso forma il progetto di divulgazione descritto in questo articolo. Inoltre, ringraziamo il personale tecnico dell’INGV per la disponibilità e il supporto tecnico dato per la logistica e nelle fasi di collaudo degli esperimenti: Stefano Bucci, Davide Di Luigi, Alessandro Bannoni e Massimiliano Ascani. Un grazie particolare va a Massimo Mari, per aver realizzato la struttura del primo esperimento del laboratorio e il dispositivo utilizzato nel terzo esperimento. Ringraziamo anche Domenico Spassiani per l’ingegnosa creatività con cui ha ripristinato il dispositivo del terzo esperimento, in vista di replicare il laboratorio in future iniziative di

divulgazione. Infine, un grazie particolare va ad Emanuele Sciarrino, per aver seguito il laboratorio in fase di esecuzione.

Bibliografia

- Antonioli A., Piccinini D., Chiaraluca L. and Cocco M., (2005). *Fluid flow and seismicity pattern: evidence from the 1997 Umbria-Marche (central Italy) seismic sequence*. Geophysical Research Letters, 32:L10311.
- Benigno F., (2019). *Tra vecchio e nuovo. La didattica verticale alla Scuola Normale Superiore di Pisa*. In "Innovazione didattica universitaria e strategie degli atenei italiani", a cura di Corbo F., Michelini M. e Uricchio A.F., Università degli Studi di Bari, Bari.
- Byerlee J.D. and Brace W.F., (1972). *Fault stability and pore pressure*. Bull. Seismol. Soc. Am., 62, 657-660.
- Camoglio M., (1999). *Educare insegnando. Apprendere ed applicare il Cooperative Learning*. Ed. LAS, Roma, 544 pp.
- Checucci R., Mastroiello L. e Valigi D., (2017). *Acque sotterranee e terremoti: alcune considerazioni sugli effetti della sismicità sulla disponibilità della risorsa idrica in Valnerina*. Acque Sotterranee, 6(1).
- Commissione Europea, (2021). *EU Strategy on the Rights of the Child and Child Guarantee*. Disponibile al link: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/policies/justice-and-fundamental-rights/rights-child_en (ultimo accesso: 12 dicembre 2022).
- Consiglio d'Europa, (2012). *Recommendation CM/Rec(2012)2 on the participation of children and young people under the age of 18*. Disponibile al link: <https://www.refworld.org/legal/resolution/coeministers/2012/en/88710> (ultimo accesso: 12 dicembre 2022).
- Coryell J., (2017). *Learning to teach: Adult learning theory and methodologies for creating effective learning environments and promoting students' active learning*. In "Sviluppare la professionalità docente e innovare la didattica universitaria", a cura di Felisatti E. e Serbati A., Ed. FrancoAngeli, Milano, 272 pp.
- Cotecchia V. e Salvemini A., (1981). *Correlazione tra eventi sismici e variazioni di portate alle sorgenti di Caposele e Cassano Irpino, con particolare riferimento al sisma del 23 novembre 1980*. Geologia Applicata e Idrogeologia, XVI, 167-197.
- Covino M. e Vitagliano E., (2023). *Quando e come una ricerca scientifica dialoga con la verità? Il caso dell'arte rupestre di Lascaux e della Grotta del Romito dalla scoperta alla divulgazione*. In "Dove abita la verità? Riflessioni sul vero e sul falso nell'epoca contemporanea", a cura di Arrigo G.M. e Tagliapietra C., Ed. Edusc, Roma, 244 pp.
- D'Agostino N., Silverii F., Amoroso O., Convertito V., Fiorillo F., Ventafridda G. and Zollo A., (2018). *Crustal deformation and seismicity modulated by groundwater recharge of karst aquifers*. Geophysical Research Letters, 45(22),12-253.
- Delors J., (1997). *Nell'educazione: un tesoro: rapporto all'UNESCO della Commissione Internazionale sull'Educazione per il XXI secolo*. Ed. Armando, 255 pp.
- Dewey J., (2018). *Scuola e società*. Ed. Conoscenza, 160 pp.
- Dingman S.L., (1994). *Physical hydrology*. Macmillan College Publishing Company, New York, 575 pp.
- Esposito E., Pece R., Porfido S. and Tranfaglia G., (2001). *Hydrological anomalies connected to earthquakes in southern Apennines (Italy)*. Natural Hazards and Earth System Sciences 1(3), 137-144.
- Eurostat, (2022). *Elaborazione openpolis*. Disponibile al link: <https://www.openpolis.it/gli-studenti-in-italia-e-limpatto-ancora-forte-dellabbandono-scolastico/> (ultimo accesso: 12 dicembre 2022)
- Finn J. D., (1989). *Withdrawing from school*. Review of Educational Research, 59(2), 117-42.

- Foulger G.R., Wilson M.P., Gluyas J.G., Julian B.R. and Davies R.J., (2018). *Global review of human-induced earthquakes*. *Earth-Science Reviews*, 178, 438-514.
- Gherardi V., (2013). *Metodologie e didattiche attive*. Ed. Aracne, 300 pp.
- Greco P., (2006). *La comunicazione nell'era post-accademica della scienza*. Collegio Gregorianum. Disponibile al link:
http://win.gregorianum.it/news/Conferenza_Lanziger_2006/Pietro%20Greco%20-%20La%20comunicazione%20nell%20era%20post-accademica%20della%20scienza.pdf
 (ultimo accesso: 12 dicembre 2022)
- Gupta H.K., (2018). *Reservoir triggered seismicity (RTS) at Koyna, India, over the Past 50 Yrs*. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108(5B), 2907-2918.
- Husen S., Bachmann C. and Giardini D., (2007). *Locally triggered seismicity in the central Swiss Alps following the large rainfall event of August 2005*. *Geophysical Journal International*, 171(3), 1126-1134.
- Johnson C.W., Fu Y. and Bürgmann R., (2020). *Hydrospheric modulation of stress and seismicity on shallow faults in southern Alaska*. *Earth and Planetary Science Letters*, 530:115904.
- Keranen K.M. and Weingarten M., (2018). *Induced Seismicity*. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 46, 149-174.
- La Vigna F., (2013). *Earthquake hydrology*. *Italian Journal of Groundwater* 2/2013, 45-46.
- Noir J., Jacques E., Békri S., Adler P.M., Tapponnier P. and King G.C.P., (1997). *Fluid flow triggered migration of events in the 1989 Dobi earthquake sequence of Central Afar*. *Geophysical Research Letters*, 24(18), 2335-2338.
- Piccioli M.S. and Reier C., (2022). *Partecipazione di studenti e studentesse: una sfida nell'ambito della governance scolastica*. *IUL Research*, 3(5), 181-197.
- Porfido S., Esposito E., Guerrieri L., Vittori E., Tranfaglia G. and Pece R., (2007). *Seismically induced ground effects of the 1805, 1930 and 1980 earthquakes in the Southern Apennines. Italy*. *Italian Journal of Geosciences*, 126(2), 333-346.
- Postiglione I., (2014). *La complessità della comunicazione del rischio per la protezione civile, tra partecipazione e voglia di assicurazione*. *Analysis and Monitoring of Environmental Risk*, 8, 8-11.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B. and Gasperini P., (2022). *The Italian earthquake catalogue CPTI15*. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(7), 2953-2984.
- Sinek S., (2009). *Start with why*. Ed. Penguin Books, 256 pp.
- Terzaghi K., (1925). *Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischen Grundlagen*. Deuticke, Wien.
- UNICEF, (2017). *Improving Education Participation: Policy and practice pointers for enrolling all children and adolescents in school and preventing dropout*. UNICEF Series on Education Participation and Dropout Prevention, 2. Disponibile al link:
https://www.unicef.org/eca/media/2971/file/Improving_education_participation_report.pdf
 (ultimo accesso: 12 dicembre 2022).
- Waller R.M., Thomas H.E. and Vorhis R.C., (1965). *Effects of the Good Friday earthquake on water supplies*. *Journal-American Water Works Association*, 57(2), 123-131.
- Wang C.Y. and Manga M., (2021). *Earthquakes influenced by water*. *Water and Earthquakes*. Springer Cham, XVI, 387 pp.
- Wetzler N., Shalev E., Göbel T., Amelung F., Kurzon I., Lyakhovsky V., and Brodsky E.E., (2019). *Earthquake swarms triggered by groundwater extraction near the Dead Sea fault*. *Geophysical Research Letters*, 46(14), 8056-8063.
- Zhang H., Shi Z., Wang G., Sun X., Yan R. and Liu C., (2019). *Large earthquake reshapes the groundwater flow system: Insight from the water-level response to earth tides and atmospheric pressure in a deep well*. *Water Resources Research*, 55(5), 4207-4219.
- Ziman J., (1987). *Il lavoro dello scienziato*. Ed. Laterza, 276 pp.

QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

<https://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/quaderni-di-geofisica.html/>

I QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) accolgono lavori, sia in italiano che in inglese, che diano particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari che necessitano di rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. Per questo scopo la pubblicazione on-line è particolarmente utile e fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi. I QUADERNI DI GEOFISICA sono presenti in "Emerging Sources Citation Index" di Clarivate Analytics, e in "Open Access Journals" di Scopus.

QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) welcome contributions, in Italian and/or in English, with special emphasis on preliminary elaborations of data, measures, and observations that need rapid and widespread diffusion in the scientific community. The on-line publication is particularly useful for this purpose, and a multidisciplinary Editorial Board with an accurate peer-review process provides the quality standard for the publication of the manuscripts. QUADERNI DI GEOFISICA are present in "Emerging Sources Citation Index" of Clarivate Analytics, and in "Open Access Journals" of Scopus.

RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

<https://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/rapporti-tecnici-ingv.html/>

I RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico come manuali, software, applicazioni ed innovazioni di strumentazioni, tecniche di raccolta dati di rilevante interesse tecnico-scientifico. I RAPPORTI TECNICI INGV sono pubblicati esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) publish technological contributions (in Italian and/or in English) such as manuals, software, applications and implementations of instruments, and techniques of data collection. RAPPORTI TECNICI INGV are published online to guarantee celerity of diffusion and a prompt access to published data. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

https://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favorisce la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV. In particolare, MISCELLANEA INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc. La pubblicazione è esclusivamente on-line, completamente gratuita e garantisce tempi rapidi e grande diffusione sul web. L'Editorial Board INGV, grazie al suo carattere multidisciplinare, assicura i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi sottomessi.

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favours the publication of scientific contributions regarding the main activities carried out at INGV. In particular, MISCELLANEA INGV gathers reports of scientific projects, proceedings of meetings, manuals, relevant monographs, collections of articles etc. The journal is published online to guarantee celerity of diffusion on the internet. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

Coordinamento editoriale

Francesca DI STEFANO
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Progetto grafico

Barbara ANGIONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Impaginazione

Barbara ANGIONI
Patrizia PANTANI
Massimiliano CASCONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

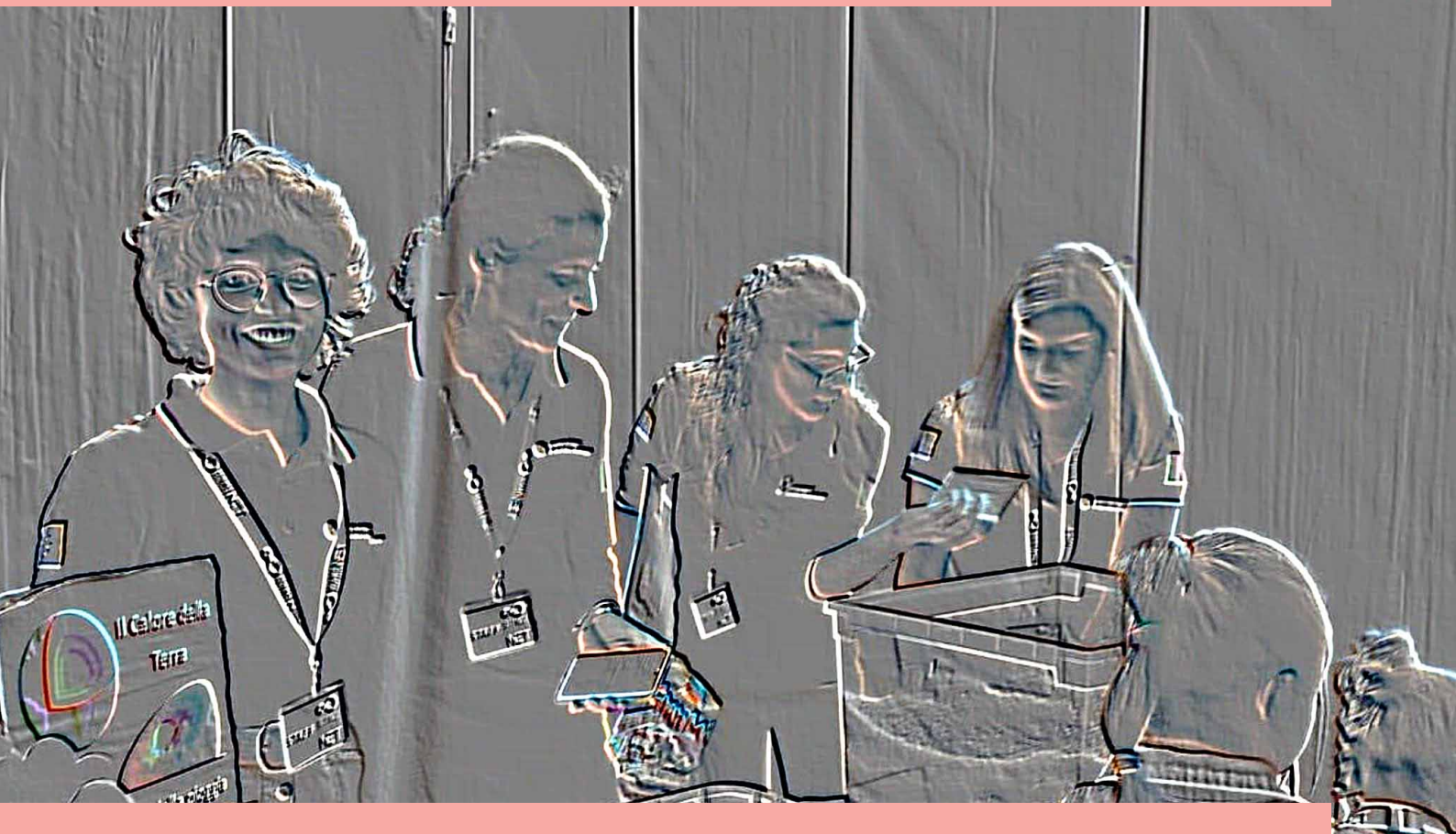
©2024

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata, 605
00143 Roma
tel. +39 06518601

www.ingv.it



Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

