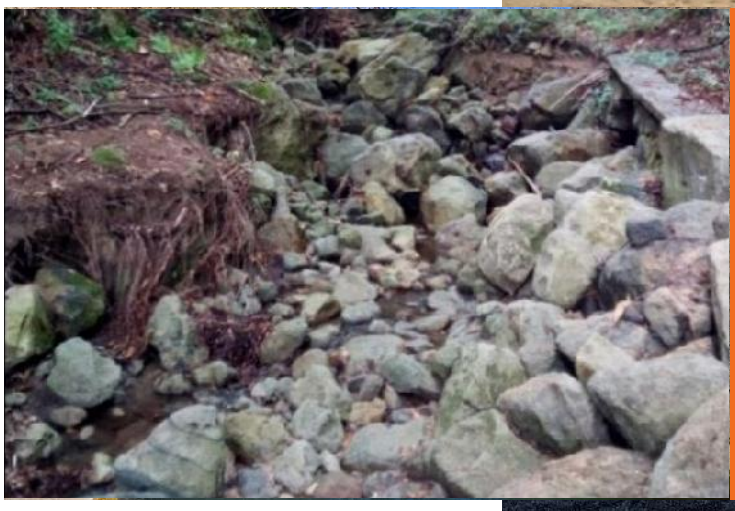
NUMERO 116

# IL GEOLOGO

PERIODICO UFFICIALE

## ARGILLITI NEI PRESSI DI QUERCIANELLA LIVORNO

Foto di Alessandro Danesi



## RICOSTRUZIONE MODELLISTICA DELLA COLATA DETRITICA DI ABBADIA SAN SALVATORE (M. AMIATA, SI) DEL 27-28 LUGLIO 2019 CON IL SISTEMA WEEZARD

Pagina 13

ogt
ORDINE del GEOLOGI della TOSCANA

POSTE ITALIANE SPA / Spedizione in Abbonament Postale 70% - DCB FI - Contiene IP

**CTD Logger multiparametrico**
**(conducibilità, temperatura, pressione)**

- Precisione / scala di conducibilità del sensore:
  ± 1% max. / 0,2...200 mS/cm
- Precisione / sensore Pt1000 per monitorare la temperatura:
  ± 0,1 °C / -10…40 °C
- Precisione / campo di pressione (profondità):
  ± 0,02 %FS max. / 5…200 m
- Applicazioni:
  monitoraggio della qualità dell'acqua e del livello

# Competenza nella idrologia

**Unità di transmissione dati a distanza GSM**

- Logger multiparametrico
- Trasmissione dei dati via e-mail, FTP oppure SMS
- Multifunzionale
- Durata della batteria fino a 10 anni
- Facilità d'installazione
- Software incluso

**Logger di pressione e temperatura**

- Autonomo
- Di facile uso
- Durata della batteria fino a 10 anni
- Applicazioni:
  · Acqua dolce
  · Acqua salata
  · Acqua sporca
- Ottenibile in acciaio Inox,
  Hastelloy oppure in Titanio

KELLER KELLER Italy · Tel. 800 78 17 17 · officeitaly@keller-druck.com · www.keller-druck.com

# Professione Geologo

## Sismografo Geode

È ancora il riferimento più alto per la sismica professionale. Per microzonazione, riflessione, rifrazione, downhole…

Foto: Progeo-Forlì

## Sensori e acquisitori sismici

Gli strumenti Nanometrics sono i più performanti al mondo. Solo per chi vuole dati di altissima qualità e affidabilità.

## Sismografo wireless Atom

Ultra compatto, leggero, passivo, senza cavi sismici! Il sismografo a 3 canali per Vs a profondità di oltre 1 km.

**CODEVINTEC**

Tecnologie per le Scienze della Terra

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

# COMUNICATO STAMPA – II°/2022

## LABORATORI GEOTECNICI AUTORIZZATI DELLA TOSCANA

Con questo comunicato stampa, il Gruppo di lavoro dei laboratori geotecnici autorizzati, vuole focalizzare l'attenzione sul Regolamento della Regione Toscana 1R/2022-*"Disciplina sulle modalità di svolgimento dell'attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico"*; provvedimento che, emanato nel gennaio del corrente anno, va a sostituire il vecchio 36/R e che, insieme alle Linee Guida, va a costituire il nuovo riferimento normativo regionale per tutti i professionisti del settore.

Pur apprezzando il tentativo di raccordo ed allineamento con la norma nazionale effettuato dalla Regione, il criterio proposto per gestire la complessità della modellazione geotecnica risulta, a nostro parere, manifestare alcune criticità. In particolar modo quando nelle linee guida, con l'inserimento prescrittivo per le classi di indagini geologiche, geofisiche e geotecniche (paragrafo 3 dell'Allegato 1 art 5 Regolamento 1R/2022), nello specifico ambito geotecnico, si opta per un approccio diciamo di "minima"; lasciando poi al professionista tutto l'onere delle, eventuali scelte al "rialzo" rispetto a quanto, appunto "minimamente", previsto dalla norma regionale.

Ci preoccupa soprattutto quanto contemplato per la classe di indagine 2 dove, inaspettatamente, viene attribuita scarsa importanza alle prove di laboratorio così come alla misurazione dei livelli piezometrici (in sostanza vengono entrambe totalmente ignorate). Tale sottostima risulta evidente anche nelle classi seguenti (in effetti pure nella 1 in caso assenza di dati!) quando, alle attività di geognostica diretta (sondaggi e scavi), vengono sempre preferite le prospezioni di tipo indiretto (prove penetrometriche e prove in situ s.l.). Così facendo si rende aleatoria la ricostruzione del modello geotecnico contrariamente a quanto richiesto dalle NTC 2018 e peraltro richiamato correttamente nello stesso preambolo delle Linee Guida regionali.

In conclusione riteniamo che, pur nel giusto proposito di condurre un'opera di semplificazione e facilitazione nell'approccio alla progettazione ed al controllo delle indagini geotecniche, sia per i professionisti che per i funzionari preposti alle verifiche, si sia scelta una strada che espone la parametrizzazione geotecnica ad una serie di approssimazioni ed imprecisioni che non consentono, come invece richiesto dalla normativa, di ridurre rischi complessivi ma piuttosto di indurre, proprio in fase di progettazione, all'adozione di valori non cautelativi a danno ovviamente della sicurezza di opere e strutture.

Anziché concentrarsi su tipologia e numero di verticali, in alcuni casi a nostro avviso pericolosamente carente, sarebbe utile poter richiamare il professionista incaricato della redazione della Relazione Geotecnica a dare sempre conto su quei pochi, ma essenziali, punti che concorrono proprio a produrre una corretta caratterizzazione.

- Rappresentare sezioni geotecniche entro il volume significativo che, con numero di verticali adeguato all'importanza dell'opera, integrando tecniche geognostiche dirette (sondaggi e scavi) ed indirette (prospezioni meccaniche, prove in situ s.l., consentano di definire efficacemente il modello geotecnico sito specifico.
- Indicare il numero di campioni rappresentativi, prelevati entro le unità definite nelle sezioni geotecniche, ritenuto significativo per una corretta parametrizzazione.
- Individuare la presenza o meno di un eventuale livello di falda, indicando l'escursione della stessa, e la possibile l'interazione con le strutture e i manufatti in progetto.
- Indicare i valori caratteristici ricavati dall'interpretazione delle prove geotecniche eseguite sui campioni prelevati entro il volume geotecnico significativo; esplicitare il metodo adottato per la determinazione in relazione alle prove di laboratorio e in sito scelte e alla dispersione dei valori sperimentali.
- Allegare alla Relazione Geotecnica i certificati ufficiali di prova delle analisi condotte presso uno dei laboratori autorizzati ai sensi dell'art. 59 del DM 380/2001 così come previsto dal parere del C.S.LL.PP. n. 75/2017.

Il professionista dovrebbe orientarsi seguendo le indicazioni su tipologia e numerosità delle indagini rifacendosi alle raccomandazioni della Associazione Geotecnica Italiana (AGI 1977), all'Eurocodice 7 e alle numerose pubblicazioni ed atti editi in convegni specialistici dedicati a questi argomenti (*).

Esse sono sinteticamente riassumibili in:

- Esecuzione di almeno 1 sondaggio o saggio geognostico per interventi su aree di limitata estensione quantificabili in 400 mq.
- Esecuzione di almeno 3 sondaggi geognostici per aree di ampiezza superiore. In particolare, per strutture di grandi dimensioni, le indagini devono essere ubicate ai vertici di una maglia con interasse tra i vertici di 20-40 m.
- Per fondazioni superficiali la profondità di indagine va spinta fino a 1-3 volte la larghezza della fondazione.
- Nel caso di fondazioni su platea la minima profondità di indagine è pari alla larghezza della fondazione stessa.
- Per fondazioni su pali le indagini vanno spinte oltre la punta del palo per 5 volte il diametro dello stesso o almeno per altri 5 m. Per gruppi di pali la profondità deve essere pari almeno al lato minore del rettangolo che circoscrive il gruppo.
- Il prelievo di campioni indisturbati con sondaggi o altri metodi meccanici alternativi va effettuato ogni 2-3 metri o comunque ad ogni variazione litologica, granulometrica e di consistenza del terreno.
- Vanno installati piezometri per rilevamento del livello di falda.
- Le prove geotecniche sono eseguite su campioni rappresentativi in numero e tipologia in diretta relazione alla complessità del progetto, alla omogeneità del terreno e all'importanza dell'opera e comunque in numero non inferiore a 2 per unità litotecnica.
- Parte dei sondaggi sono sostituibili con altre tipologie di prospezioni verticali (es. prove penetrometriche), purché non si superi il rapporto numerico 3:1.

**La.G.A.Tos.**


(*) AGI "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"1997.
AGI "Seminario di studi sulla caratterizzazione geotecnica dei terreni in relazione ai problemi di ingegneria civile". Firenze villa Viviani 12-13 Febbraio 2004.
Colombo P, Colleselli F. "Elementi di geotecnica". Zanichelli 1996.
Focardi P. "La progettazione della campagna geognostica per la caratterizzazione dei terreni e la definizione del modello geotecnico" Atti 2° Convegno AIGA, Bari 2006.
Frank R e Altri "Guida all'eurocodice: la progettazione geotecnica". EN 1977-1" EPC Editore 2012.
Marsan P., Romeo R. "La relazione geologica e geotecnica" NIS La Nuova Italia Scientifica, 1994.
A. Flora, R. Lancellotta, C. Viggiani "Appunti di ingegneria delle fondazioni – Ed. Hevelius , 2020.

# N. 116
# SOMMARIO

ARGILLITI NEI PRESSI DI QUERCIANELLA LIVORNO
Foto di Alessandro Danesi

FORME EROSIVE IN MARNE CHIUSI DELLA VERNA
Foto di S Farinelli


07 EDITORIALE
RICCARDO MARTELLI
Presidente dell'ordine dei Geologi della Toscana

09 DALLA REDAZIONE
ALESSANDRO DANESI
Coordinatore di redazione

10 SPECIALE EDIZIONE
CONTEST FOTOGRAFICO
La geologia come forma d'arte

11 NEWS DALL'ORDINE
PRESENTAZIONE NUOVI LOGHI
Ordine dei Geologi della Toscana
Fondazione dei Geologi della Toscana

12 NEWS DALL'ORDINE
PRESENTAZIONE ASSEMBLEA TOSCANA
Assemble Generale degli Iscritti

13 SCIENZA E RICERCA
Ricostruzione modellistica della colata detritica di Abbadia San Salvatore (M. Amiata, SI) del 27-28 luglio 2019 con il sistema WEEZARD

27 TESI DI LAUREA
Determinazione dei valori di fondo di Cr, Co, Ni nel bacino del Torrente Stura (Comune di Barberino di Mugello)

## Competenze e professionalità al servizio dei geologi

Attività analitiche
rifiuti
terre e rocce
fibre di amianto
*(aerodisperse e manufatti)*

emissioni
diffuse
analisi odorigene

Acque e percolati
piezometri
acque sotterranee
acque reflue

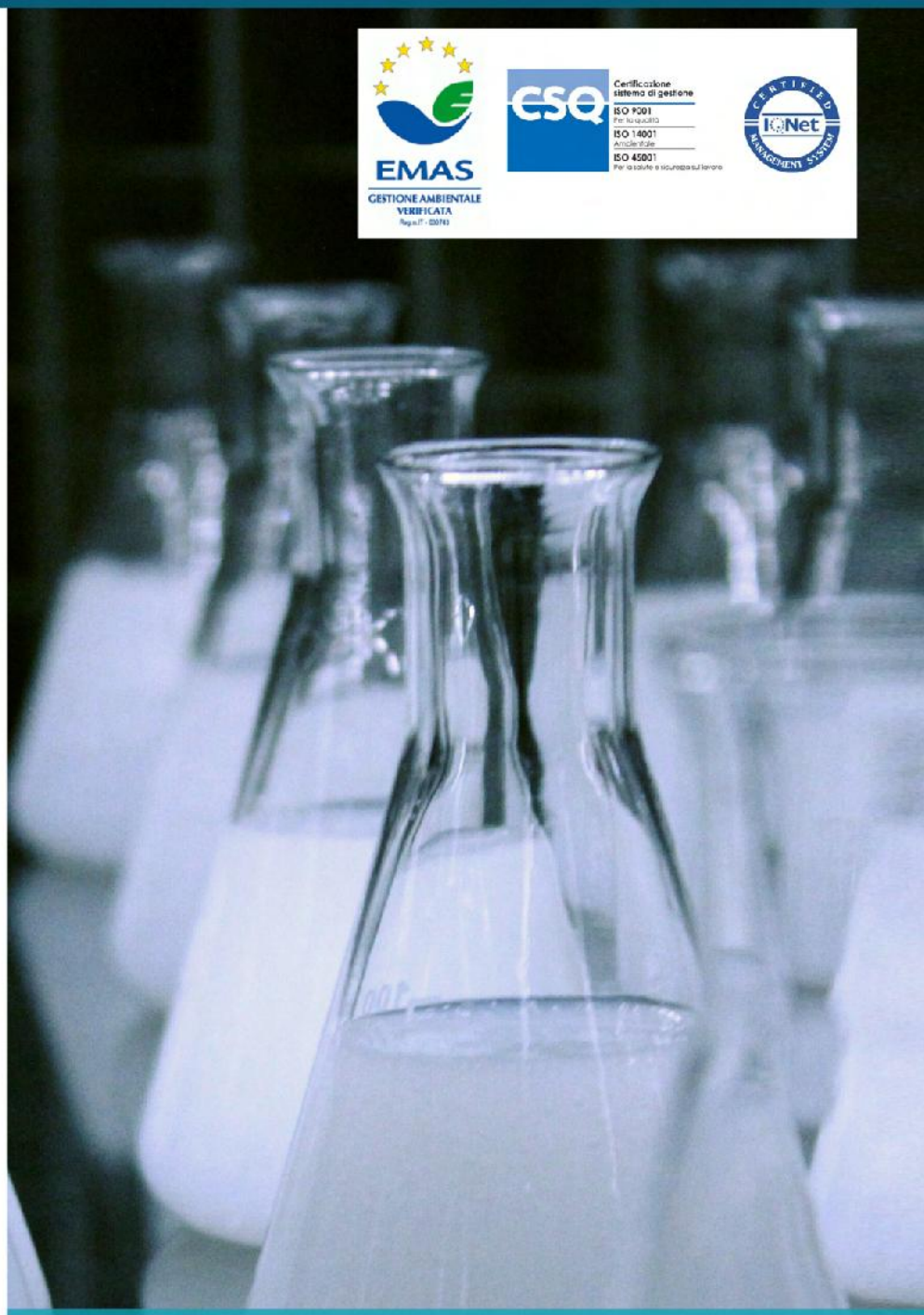

CONTATTI

laboratorio@aamps.livorno.it
tel. 0586/416 241 - 347 98 96 317


GRUPPO RETIAMBIENTE

AAMPS
Azienda Ambientale di Pubblico Servizio S.p.A.

Società con Socio Unico RetiAmbiente S.p.A.
Soggetta ad attività di Direzione e Coordinamento di RetiAmbiente S.p.A.




# LABORATORIO DI ANALISI

*Accreditato dal Ministero della Salute per le analisi su fibre di amianto (MOCF, FT-IR)*

ORDINE dei GEOLOGI della TOSCANA

## EDITORIALE

# IL PUNTO

**RICCARDO MARTELLI**
PRESIDENTE DELL'ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA

Care colleghe e cari colleghi,
la fase declinante dell'emergenza pandemica si è portata con sé una novità che può rappresentare una svolta nella nostra professione, quanto meno nelle modalità di accesso alla nostra categoria. Con l'entrata in vigore della L.163/2021 in materia di titoli universitari abilitanti e con la successiva richiesta di adesione da parte del Consiglio Nazionale dei Geologi a quanto disposto da tale norma, le future generazioni di studenti di scienze geologiche usciranno dalle università con laurea ed abilitazione alla professione di geologo. Sarà infatti un tirocinio presso soggetti esterni alle università, e si spera anche una approfondita riforma dei programmi di esame, a far accedere laureande e laureandi ad una prova pratico valutativa, che anticiperà l'esame di laurea e che valuterà le competenze specifiche in ambito tecnico-professionale.
L'obiettivo del legislatore, condivisibile nella misura in cui sia fatta salva o migliorata la qualità dell'offerta formativa, è quello di ridurre i tempi di ingresso dei giovani nel mondo del lavoro e per questo si è pensato di ribaltare l'intervallo di tempo che oggi intercorre fra l'esame di laurea e l'esame di stato, tutto all'interno del corso di laurea. Tale scenario apre ad una serie di problematiche successive e ancora oggi non chiaramente definite e risolte. Intanto pone un grosso problema relativo alla mancata libertà da parte degli studenti di scegliere se abilitarsi o meno. Un dato non confermato, proveniente dal mondo delle università, indica che solo il 20% di chi oggi esce da Scienze Geologiche accede all'esame di stato ed è questo l'argomento avanzato dai dipartimenti universitari per scoraggiare il CNG dall'aderire al percorso delle lauree abilitanti. Sicuramente un dato confermato è purtroppo quello delle iscrizioni, in drammatico calo negli ultimi anni, ma questo è un discorso lungo che ci porterebbe fuori tema, e che dovrà essere finalmente affronta-

to unitariamente. Un'altra problematica non affrontata, e lungi dall'essere risolta, è sicuramente la gestione del percorso abilitante, che vedrà Università e Ordini come soggetti attuatori. Sì, perché la norma dà ai Consigli Nazionali la facoltà di aderire a quanto disposto dalla norma, però la fase attuativa va tutta sulle spalle di altri, Ordini Regionali e Università, per l'appunto. Nel merito, va detto che per quanto il percorso fosse oramai segnato da parte del Ministero e per quanto la norma riconoscesse al CNG la piena autonomia decisionale, non vi è stato un pieno e convinto coinvolgimento degli Ordini Regionali, se non dal marzo scorso, quando si è cominciato a ragionare sul regolamento attuativo, che comunque sarà predisposto dal Ministero, sentiti i consigli nazionali. Il nostro Ordine, insieme alla maggioranza degli altri Ordini Regionali ha lavorato alla preparazione di un documento nel quale, a seguito di un'analisi politica iniziale, sono state rilevate le criticità che il nuovo percorso si porta dietro e sono state indicate le materie minime che dovranno essere affrontate nell'ambito dei tirocini abilitanti. Mi soffermo sulle criticità, poiché sono quelle che di fatto potranno incidere sulle nostre vite professionali.

In primo luogo, i nostri iscritti potranno essere coinvolti da questa riforma poiché i tirocini saranno ospitati da strutture esterne come studi professionali, imprese, enti pubblici. Di certo si sa che i soggetti ospitanti dovranno convenzionarsi con le Università e con ogni probabilità le condizioni minime saranno quelle definite dalle norme che disciplinano la salute e la sicurezza sui luoghi di lavoro, pertanto sarà molto difficile che il mondo professionale possa diventare sede preferenziale per ospitare i tirocini, giacché sono poche oggi le realtà adeguatamente strutturate. Il rischio è, pertanto, quello che le sedi preferenziali dei tirocini diventino stabilmente gli enti pubblici e le imprese, che sicuramente garantiranno una preparazione ottimale, però forniranno una visione piuttosto parziale dello spettro entro cui il geologo oggi può operare a pieno titolo. Sicuramente ciò avverrà in relazione alla funzione che il geologo può avere come progettista.

Proprio nell'ottica di anticipare e rendere fluida la trattazione di questi aspetti con le università toscane il nostro Ordine ha attivato una importante convenzione con l'Università di Pisa ed è in fase di finalizzazione analogo accordo con l'ateneo fiorentino. Con l'Università di Siena siamo alle fasi iniziali, ma è pensabile in una rapida evoluzione, dato che è interesse di tutte le parti la formazione di accordi stabili per la gestione di questa importante partita.

L'altro aspetto che potrà incidere sulle nostre vite professionali, riguarda la possibilità data dalla L.163/2021 di operare parziali modifiche a quanto disposto dal DPR 328/2001. Nello scenario oggi prefigurato dal CNG vi è la possibilità che nel campo della geologia vengano introdotti settori, così come avviene per l'ingegneria (civile, meccanica, elettronica, ecc...). Su questo punto, per quanto ancora oggi non sia stato esplicitato in modo chiaro da parte del CNG, abbiamo più volte rilevato, ed oggi lo facciamo di nuovo, un errore strategico se l'obiettivo è quello di creare compartimentazioni all'interno di un mercato, come quello della geologia, fatto di numeri piccoli. Il risultato sarebbe quello di un impoverimento generalizzato e quello di rendere maggiormente attaccabili le nostre competenza da parte di altre categorie dell'area tecnica. Creare steccati riduce le potenzialità delle nostre competenze che, al contrario, hanno bisogno di essere magnificate attraverso percorsi formativi specifici e sempre più aggiornati. Chiudersi in piccole riserve sarebbe la fine del percorso che negli ultimi decenni ha portato i geologi a maturare una spiccata sensibilità tecnica accanto a quella, innata, di chiaro stampo scientifico. E ricordiamo che questo percorso ha aperto spazi di mercato un tempo impensabili. In questa fase le università sono chiamate ad aggiornare le loro offerte formative per non disperdere questi spazi a favore di altre categorie, che sono più rapide nell'aggiornarsi rispetto all'evoluzione della società e del mercato del lavoro. E l'inversione della tendenza che vede una costante riduzione del numero degli iscritti nei dipartimenti può avvenire solo se la geologia comincerà ad essere percepita come una materia che dà sbocco ad una professione moderna e capace di dare soluzioni, soprattutto in un periodo come quello che viviamo, in cui tanti masticano la parola ambiente, ma in pochi sono realmente capaci di dare un contributo concreto.

Per questo è strategico un asse forte con il mondo delle università, perché questa norma ci rende ancor più compenetrati nel portare i giovani verso gli ambiti lavorativi e tutti i soggetti coinvolti dovranno essere capaci di superare le reciproche incomprensioni, che troppo spesso hanno fatto si che i cammini fossero paralleli, ma distanti. Solo con un grande lavoro di coordinamento, mondo ordinistico e mondo accademico sapranno reggere l'urto di questa importante riforma.

Sicuramente il mondo ordinistico si farà trovare pronto, come è accaduto sempre, ma il grande sforzo richiesto, e questa è un'altra criticità che a suo tempo abbiamo portato all'attenzione del Consiglio Nazionale dei Geologi, dovrà trovare una qualche misura di compensazione a favore delle geologhe e dei geologi che si metteranno a disposizione per partecipare alle commissione di esame e per ospitare tirocini abilitanti.

# NOTA A CURA DEL COORDINATORE DI REDAZIONE

**ALESSANDRO DANESI**
COORDINATORE DI REDAZIONE

Care Lettrici e cari Lettori, continua il viaggio della nostra rivista nel mondo della Geologia e della nostra professione.
Come potrete vedere, la rivista ha subito un restyling completo per renderla più moderna e accattivante, almeno nei nostri auspici.
In questo numero presentiamo un interessante lavoro sulla modellistica delle colate detritiche rappresentato attraverso un caso di studio in Toscana, continuando anche la pubblicazione degli abstract delle tesi partecipanti al premio Giuntini.
Inoltre, ci rende orgogliosi poter presentare molte novità, partite nelle scorse settimane e che hanno trovato la conclusione di un percorso di programmazione dei prossimi mesi.
La prima notizia a cui diamo risalto, indubbiamente la più importante, è la indizione dell'assemblea Generale dei Geologi Toscani 2022 che si terrà a Livorno nel mese di ottobre prossimo. Sarà il modo di tornare a vederci di persona dopo molti mesi di difficoltà, sperando di aver messe alle nostre spalle i momenti più difficili.
La seconda novità si cui ci fa piacere informarvi è la presentazione di un nuovo logo dell'ordine dei Geologi della Toscana, parte di una strategia di comunicazione che sempre di più sta cercando di diventare crossmediale e multipiattaforma. Il nuovo logo va a rimodellare in chiave moderna l'immagine del nostro Ordine che potrà essere utilizzata sia per le nostre pubblicazioni, che per tutti i documenti prodotti.
L'ultima notizia anch'essa molto interessante, è l'organizzazione di un concorso fotografico, con un montepremi molto significativo, che speriamo possa consentirci, oltre che gustare delle immagini di geologia di sicuro valore, di avere contenuti visuali digitali al passo con i tempi.
Vi invitiamo a collaborare per la nostro rivista, comunicandoci qualsiasi consiglio, informazione o notizia.

Vi auguro buona lettura.

TECNA Srl
CQOP SOA Costruttori Qualificati Opere Pubbliche
OS 21 : II OS 20-B : I
Attestazione : 57954 / 10 / 00
CSQ ISO 9001
MORETTI TECNA®
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

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
Numero Verde 800 102000

## SPECIALE EDIZIONE

# CONTEST FOTOGRAFICO

## LA GEOLOGIA COME FORMA D'ARTE

UN CONCORSO APERTO A TUTTI PER DIFFONDERE LA CULTURA DELLA GEODIVERSITÀ

# FINO AL 10 GIUGNO

UNA SEZIONE È DEDICATA ALLE SCUOLE DI OGNI ORDINE E GRADO

*Promuovere la conoscenza e la valorizzazione del patrimonio geologico toscano e diffondere la cultura della geodiversità: È questo l'obbiettivo del concorso fotografico "La geologia come forma d'arte" bandito dall'Ordine dei Geologi della Toscana.*

### 1a EDIZIONE

Il contest propone di accendere i riflettori sulle bellezze geologiche, geomorfologiche, di valore ambientale, scientifico e didattico della Toscana, la cui conservazione è strategica nell'ambito del territorio regionale.

Il concorso fotografico si articola in più sezioni, ciascuna delle quali dedicata a un tema da sviluppare nell'elaborato fotografico. Nella prima, "Il patrimonio geologico", l'autore dovrà rappresentare la geodiversità intesa come gamma dei caratteri geologici, geomorfologici e idrologici caratteristici dell'area fotografata. "L'uomo e la geologia" mette invece al centro il rapporto tra uomo e ambiente, per far emergere gli aspetti di connessione ed interazione tra esso ed i caratteri geomorfologici e idrologici del suo habitat.

"Il micromondo" si propone di dare spazio alla bellezza della microgeologia, intesa come elementi geologici a piccola scala, che racchiudano in sé le forme della natura. Si tratta di foto scattate con macchine fotografiche, non derivate da sezioni sottili o vetrini. Infine "La geologia a scuola", sezione dedicata alle scuole di ogni ordine e grado, mira a promuovere la conoscenza del patrimonio geologico toscano. Si potrà partecipare con lavori di gruppo, presentando elaborati di tipo multimediale/ sperimentale o artistico-letterario.

La scadenza per partecipare è fissata per il 10 giugno 2022. Per ognuna delle quattro sezioni sarà scelto un vincitore a cui andrà un premio in denaro di 250 euro (per un totale di 1000 euro). La proclamazione dei vincitori avverrà entro il 31 luglio 2022 tramite il sito ufficiale dell'Ordine dei Geologi della Toscana, nell'apposita sezione. Le fotografie vincitrici saranno pubblicate su tutti i canali di comunicazione ufficiali dell'Ordine, sui social e troveranno uno spazio dedicato all'interno della rivista "Il Geologo".

Verranno infine selezionate dodici foto per la realizzazione del calendario dell'Ordine dei Geologi della Toscana 2023. La Commissione esaminatrice per l'assegnazione dei premi sarà composta da tre Consiglieri dell'Ordine e della Fondazione dei Geologi della Toscana e da un comitato tecnico-scientifico, costituito da due membri esterni geologi esperti in fotografia.

Per tutti i dettagli sulla partecipazione e le indicazioni da rispettare:

https://fondazione.geologitoscana.it/evidenza/concorso-fotografico/

NEWS DALL'ORDINE

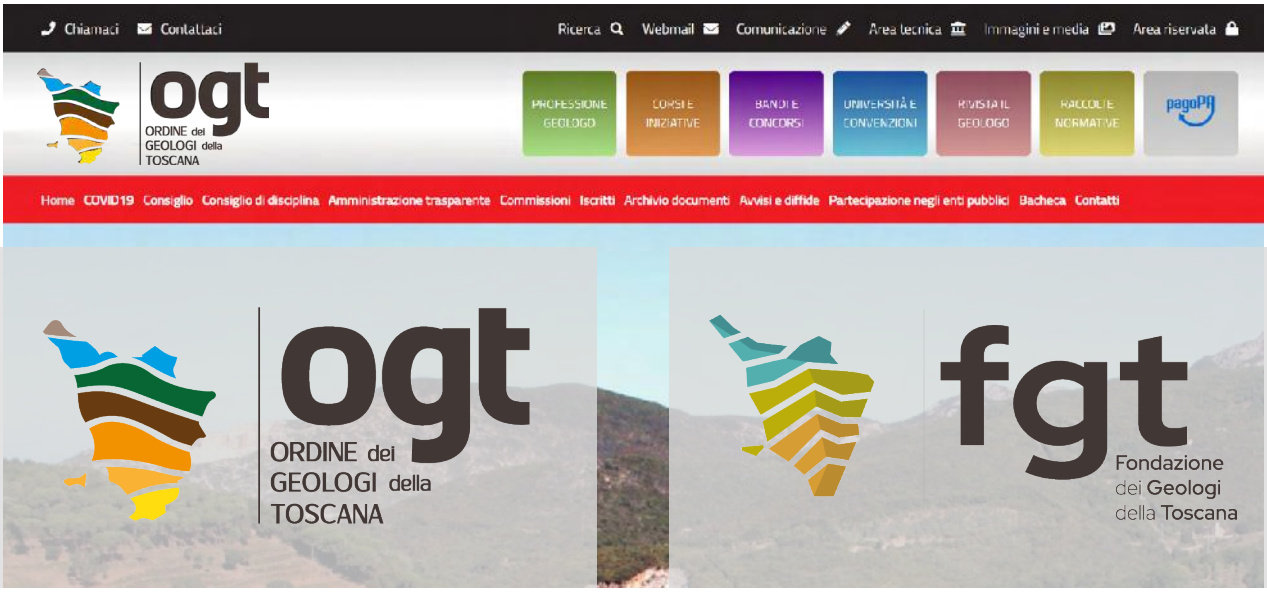
# PRESENTAZIONE NUOVI LOGHI

## ORDINE GEOLOGI DELLA TOSCANA E FONDAZIONE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA

*È con piacere che dedichiamo una pagina della nostra rivista per presentare i nuovi loghi dell'Ordine dei Geologi della Toscana e della Fondazione dei Geologi della Toscana e condividere il 'concept' di lavoro che ha portato alla loro realizzazione grafica.*

I nuovi loghi vanno a rimodellare in chiave moderna l'immagine dell'Ordine e della Fondazione e saranno utilizzati sia sul sito che per le nostre pubblicazioni, oltre che per tutti i documenti prodotti, diventando parte importante di quella strategia visual e di comunicazione che sempre di più risponda alle esigenze di cross-medialità e multipiattaforma.

Lo studio è stato sviluppato partendo da elementi chiave: la geografia, il nostro lavoro, la nostra storia!




E quindi la forma della Regione Toscana, con un chiaro legame al territorio, il richiamo alla Geologia stilizzata attraverso stratificazioni che, in continuità con il logo precedente, riprendono la forma dell'ala del pegaso.

A rafforzare la territorialità è stata evidenziata l'area di catena appenninica - raccordo con la geografia della regione - le bande di colore ricordano una carta tematica e i colori stessi riprendono i colori propri della terra.

## NEWS DALL'ORDINE

# PRESENTAZIONE ASSEMBLEA TOSCANA

## 27 - 28 OTTOBRE 2022

## I BAGNI PANCALDI - LIVORNO

L'Ordine dei Geologi della Toscana organizza l'Assemblea Annuale degli Iscritti che si terrà quest'anno a Livorno presso i bagni Pancaldi il giorno 27 e 28 di ottobre 2022. In questa location prestigiosa e di forte impatto paesaggistico, i Geologi e le Geologhe toscane, potranno incontrarsi e discutere di Geologia e professione.

L'obiettivo è quello di creare un'occasione di incontro dopo due anni di incontri da remoto, per fare formazione, fare informazione, fare comunità. Quest'anno è stato scelta Livorno come sede per andare incontro ai territori della regione Toscana intorno alla quale far ruotare l'evento.

L'evento sarà suddiviso in macro argomenti, definendone lo stato dell'arte, e valutandone le criticità o rimarcando la bellezza e le tipicità del territori.

La sintesi dei lavori dell'evento dovrà essere qualcosa di concreto e tangibile e prenderà di volta in volta la forma di una proposta politica o di linee guida tecniche.

L'evento si svilupperà nel corso di due giornate, con momenti conviviale di chiusura durante il quale incontrarci di nuovo dopo un lungo periodo di isolamento forzato che vogliamo fortemente superare.

Sono stati richiesti i crediti formativi APC, che saranno riconosciuti in base all'effettiva frequenza.

**MICHELE AMADDII**
Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Firenze, Firenze, Italia;
Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Università degli Studi di Siena, Siena, Italia

**GIORGIO ROSATTI**
Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica, Università di Trento, Trento, Italia

**DANIEL ZUGLIANI**
Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica, Università di Trento, Trento, Italia

**LORENZO MARZINI**
Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Università degli Studi di Siena, Siena, Italia

**LEONARDO DISPERATI**
Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Università degli Studi di Siena, Siena, Italia

## SCIENZA E RICERCA

# RICOSTRUZIONE MODELLISTICA DELLA COLATA DETRITICA DI ABBADIA SAN SALVATORE (M. AMIATA, SI) DEL 27-28 LUGLIO 2019 CON IL SISTEMA WEEZARD

## 1 - Introduzione

Le colate detritiche sono flussi di una mistura acqua-sedimenti che si muovono in tratti di territorio ad elevata pendenza (Hungr et al., 2013) con velocità molto elevate, comprese indicativamente tra 1-20 m/s (Ancey, 2001). Nonostante la natura mista fluido-solida, il comportamento macroscopico è caratterizzabile come un fluido continuo a superficie libera mosso dalla gravità (Takahashi, 2007). Le colate detritiche, per la grande quantità di sedimenti che sono in grado di mobilizzare e l'elevata energia d'impatto, costituiscono uno dei fenomeni idrogeologici più pericolosi nelle aree montane. Inoltre, eventi meteorologici sempre più intesi (IPCC, 2014), associati al cambiamento climatico in atto, contribuiscono a rendere le colate detritiche ancora più frequenti e disastrose rispetto al passato (Stoffel et al., 2014), causando spesso vittime e danni ingenti (Merz et al., 2010; Petrucci et al., 2019).

La valutazione e la gestione del rischio associato a questi fenomeni, secondo le direttive Europee, è un obiettivo da perseguire attraverso l'utilizzo delle più avanzate tecnologie a disposizione che tuttavia non implichino costi eccessivi (UE, 2007). Nella pratica, questo significa da una parte usare modelli numerici avanzati in grado di descrivere, seppure in forma semplificata, la natura bifase delle colate detritiche, dall'altro, avere strumenti di gestione ed analisi delle simulazioni e dei relativi studi che siano agili e di facile utilizzo. Il tutto affiancato, ovviamente, dalle imprescindibili conoscenze geologiche, geomorfologiche ed idrologiche del territorio su cui si effettuano le analisi.

Il presente studio ha una doppia finalità: da un lato presentare un approccio multidisciplinare per lo studio di colate detritiche in linea con la direttiva europea sopra citata, dall'altro validare le capacità descrittive degli strumenti modellistici utilizzati. In particolare,

questi obiettivi sono stati perseguiti attraverso uno studio di ricostruzione qualitativa e quantitativa dei processi di erosione e deposizione, avvenuti durante un evento di colata detritica in Toscana, nel bacino del torrente Fosso Fonte Risola (Monte Amiata, SI). Questo caso di studio si caratterizza per il fatto di presentare notevoli complessità sia di tipo fenomenologico, in quanto la colata scorre in parte su zone erodibili ed in parte su zone inerodibili, che di tipo geometrico, in quanto presenta una tombinatura che, durante l'evento, è stata ostruita dal materiale trasportato. Per quanto riguarda gli strumenti modellistici utilizzati, la modellazione idrologica, necessaria per la determinazione della forzante liquida, è stata eseguita con il modello bidimensionale FLO-2D (O'Brien et al., 2009) mentre la simulazione dei processi di erosione, trasporto e deposizione della colata detritica è stata eseguita con una versione recente del modello TRENT2D (Armanini et al., 2009) presente all'interno dell'innovativo sistema web di gestione e di analisi delle simulazioni denominato WEEZARD (Rosatti et al., 2018).
Il presente articolo è così strutturato: nel capitolo 2 si presenta il modello di propagazione di colate detritiche ed il relativo sistema di gestione delle simulazioni e dei risultati; nel capitolo 3 vengono illustrati l'area di studio ed il quadro geologico-geomorfologico; nei capitoli 4 e 5 vengono presentati rispettivamente la dinamica dell'evento estremo studiato e la sua analisi idrologica; nel capitolo 6 viene presentata la modellazione numerica del fenomeno di colata; nel capitolo 7 vengono illustrate l'analisi e la discussione dei risultati a cui seguono nel capitolo 8, le conclusioni.

## 2 - La modellazione numerica di colate detritiche granulari: il modello TRENT2D ed il sistema WEEZARD

Il modello matematico-numerico utilizzato in questo studio per l'analisi della dinamica delle colate detritiche granulari è una versione estesa del modello TRENT2D (Armanini et al., 2009) disponibile nel sistema web WEEZARD (Rosatti et al., 2018).

### *2.1 - Il modello TRENT2D*

Il TRENT2D (acronimo di Transport in Rapidly Evolutive, Natural Torrent), rappresenta uno dei modelli bidimensionali più avanzati per lo studio di colate detritiche granulari e fenomeni di trasporto solido intenso, disponibile non solo per la ricerca ma anche per la pratica applicativa. Esso presenta delle caratteristiche tali da renderlo profondamente differente rispetto alla maggior parte dei modelli attualmente disponibili per uso professionale. In questo paragrafo verranno illustrate brevemente queste caratteristiche, mentre qualche dettaglio relativo alle equazioni differenziali che lo costituiscono e allo schema numerico usato per la loro integrazione è riportato in Appendice A.
Per quanto riguarda la descrizione "a fluido", generalmente i modelli per colata detritica usano una descrizione monofase, cioè considerano la mistura come un singolo fluido omogeneo. Il TRENT2D invece usa una descrizione bifase della mistura che compone la colata, dove le due componenti, solida e liquida, sono considerate e descritte, da un punto di vista delle equazioni del moto, in maniera separata ma interagente. Un secondo elemento caratterizzante riguarda la descrizione del fondo su cui scorre la colata. In genere, i modelli usano un approccio a fondo fisso dove il fondo non varia durante la simulazione, ma la variazione della quota del fondo può avvenire solo quando il fluido monofase si ferma (deposito finale). Nel TRENT2D invece, nella sua formulazione originale, il movimento della mistura avviene su un fondo mobile, cioè su un fondo che può essere soggetto ad erosioni e depositi durante il moto; tuttavia, una versione più recente del modello (Rosatti e Zugliani, 2015) permette anche di considerare casi in cui la colata transiti su un fondo inerodibile. In questo ultimo caso, il modello prevede la possibilità che vi sia deposito di materiale sopra il fondo inerodibile (diventando, in tal modo, almeno temporaneamente erodibile), ma impedisce al fondo di arrivare, a causa di erosioni, al di sotto del livello di fondo inerodibile. Un terzo aspetto, intimamente legato alla descrizione del fondo, riguarda la composizione della mistura: nei modelli monofase, la concentrazione volumetrica media dei sedimenti sulla verticale rimane costante e pari al valore imposto dall'utente all'istante iniziale della simulazione, in quanto non c'è scambio di materiale con il fondo. Nel TRENT2D invece, la concentrazione volumetrica media dei sedimenti sulla verticale è variabile nello spazio e nel tempo ed è legata alle condizioni idrodinamiche locali. La formulazione utilizzata è la seguente:

$$c = c_b \beta \frac{|\vec{u}|^2}{gh} \quad (1)$$

dove $c_b$ è la concentrazione nel fondo (pari ad $1-p$, dove p è la porosità del materiale) considerata costante, $\beta$ è un parametro di trasporto, $\vec{u}$ è la velocità media sulla profondità della mistura, $g$ è l'accelerazione di gravità ed infine $h$ è il tirante (differenza di quota tra la superficie libera della colata ed il fondo). La variabilità della concentrazione è legata allo scambio di sedimenti e di acqua che avviene tra il fondo e la colata durante fenomeni di erosione e deposito. Un quarto aspetto riguarda la formulazione della legge globale di resistenza al moto. Nell'approccio monofase, per poter avere l'arresto di una colata, la tensione tangenziale esercitata dal fondo sul fluido deve presentare, oltre a componenti dipendenti dalla velocità, anche una componente indipendente dalla velocità (del tipo attrito statico Coulombiano e/o coesivo). Tuttavia, la componente indipendente dalla velocità non è molto giustificabile dal punto di vista fisico per una mistura di acqua e sedimenti granulari sciolti (discorso differente è il caso delle colate di fango). Nell'approccio bifase invece, la resistenza al moto della mistura è data dalla resistenza della fase liquida più la resistenza della fase solida che, nelle colate, è predominante ed è legata principalmente a fenomeni collisionali. Pertanto, la legge di resis-

tenza utilizzata nel modello TRENT2D è quella proposta da Takahashi (1978) e considera solo il contributo collisionale:

$$\frac{\vec{\tau}_0}{\rho_w} = \left[ \frac{25}{4} a (\Delta + 1) \sin \phi_d \frac{\lambda^2}{Y^2} |\vec{u}| \right] \vec{u}$$

(2)

dove $\vec{\tau}_0$ è la tenzione tangenziale al fondo, $\rho_w$ è la densità dell'acqua, $a = 0.32$ secondo Takahashi, $\Delta = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$ è la densità ridotta relativa del materiale solido, $\phi_d$ è l'angolo di attrito dinamico del materiale, $\lambda = \left[ (c_b / c)^{1/3} - 1 \right]^{-1}$ è la concentrazione lineare, è la sommergenza, dove $d$ è un diametro caratteristico del materiale trasportato.

Le caratteristiche sopra elencate permettono al TRENT2D di descrivere la dinamica di una colata di detriti in maniera molto più fisicamente basata rispetto all'approccio monofase. Basti pensare, a titolo di esempio, a quello che succede al moto di una colata quando incontra una brusca riduzione di pendenza arrivando in un piano sub-orizzontale: in una descrizione monofase, ad una certa distanza dal punto di cambiamento di pendenza si ha l'arresto della mistura nel suo complesso; questo significa che sia i sedimenti che l'acqua, presente in maniera significativa in una colata (indicativamente maggiore del 35% del volume totale), si fermano. Questo fenomeno non è corretto dal puto di vista fisico in quanto l'acqua non può arrestarsi su un piano inclinato. Ciò che avviene nella realtà è che la colata non si arresta nel suo complesso, ma avviene una segregazione delle due fasi, dove la fase solida si deposita mentre quella liquida scorre via (eccetto una parte che viene immagazzinata temporaneamente nella porosità del materiale solido). Questa segregazione è ben descrivibile se si usa un approccio bifase a fondo mobile: in una situazione come quella ipotizzata, la fase solida si deposita progressivamente sul fondo, la colata diventa sempre meno concentrata fino a che rimane solo la fase liquida che si allontana.

Si può quindi concludere che, grazie alle sue caratteristiche, il TRENT2D è in grado di descrivere il moto delle colate granulari in maniera decisamente più accurata rispetto ai modelli monofase.

## *2.2 - La modellazione delle colate detritiche granulari con il modello TRENT2D*

Le colate detritiche sono fenomeni che possono avere un carattere fortemente impulsivo: se incanalate, spesso si presentano come un'onda con un fronte piuttosto ripido e ben definito, un corpo centrale ed una coda. Le cause di tale carattere impulsivo possono essere molteplici: cedimento repentino di versanti, di barriere effimere di origine naturale, di briglie ecc. Tuttavia, in molti casi, la colata si presenta effettivamente come fenomeno di moto non stazionario, ma con caratteri molto meno impulsivi. Questo succede ad esempio quando una colata arriva in una conoide (dove spesso sono situati i centri abitati) posta a distanza significativa da quello che può essere il punto di innesco, oppure quando la colata si forma a causa di fenomeni di erosione diffusi lungo il canale, come nel caso di studio affrontato nel presente lavoro.

In quest'ultimo caso, è possibile legare le caratteristiche della colata alla forzante idrologica, cioè all'idrogramma liquido associato alle piogge che hanno generato il fenomeno che si intende studiare. Infatti, la formazione della colata può essere schematizzata come in Figura 1: nella parte alta del bacino si ha la formazione del deflusso superficiale; segue un tratto di formazione della colata, caratterizzato da un flusso di sedimenti e di acqua interstiziale derivante da prevalenti fenomeni di erosione, seguito da un tratto finale in cui si può avere ulteriore erosione, ma soprattutto deposizione. In molti casi, la cosa che interessa studiare in dettaglio è proprio questa ultima parte, dove solitamente sono situati gli abitati soggetti a possibili colate detritiche. In tali condizioni è possibile affrontare lo studio attraverso un approccio a modelli in cascata: per ottenere la stima della formazione del deflusso al variare del tempo si può utilizzare un modello idrologico chiuso in una opportuna sezione del bacino vicina al tratto di inizio della zona di studio della colata. La portata di mistura che ci si può aspettare in tale tratto può essere ottenuta utilizzando il fattore di amplificazione proposto da Takahashi (2007):

$$Q_{mix} = \frac{c_b}{c_b - \tilde{c}} Q_{idrol}$$

(3)

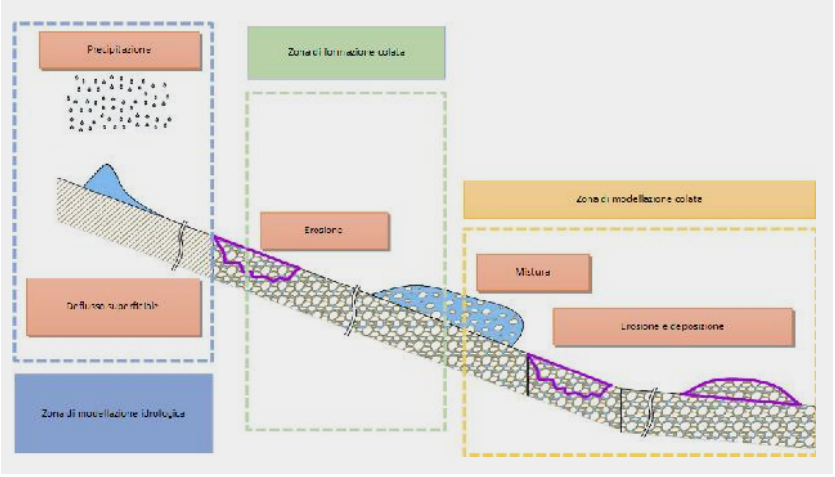



**FIGURA 1**

Schema di sviluppo di una colata avente per origine un'erosione diffusa e indicazione delle diverse zone con le tipologie di modellazione adottate (l'estensione delle zone è puramente indicativa).

dove $Q_{mix}$ è la portata di mistura, $Q_{idrol}$ è la portata stimata con un modello idrologico e è una concentrazione di riferimento, stimabile attraverso la relazione:

$$\tilde{c} = \min\left[\frac{1}{\Delta}\frac{i_f}{\tan\phi_d - i_f}, 0.9\,c_b\right]$$

(4)

dove $i_f$ è la pendenza del fondo media nel tratto in cui si vuole stimare la portata. L'idrogramma di mistura risultante può essere utilizzato come condizione al contorno in ingresso al modello TRENT2D.

## 2.3 - Il sistema WEEZARD

WEEZARD (WEbgis modElling and haZard Assessment for mountain flows: an integRated system in clouD) è un sistema che permette di gestire tutte le fasi di preparazione dati, l'esecuzione di simulazioni, l'analisi dei risultati e la produzione di mappe del pericolo per una serie di fenomeni che possono interessare gli ambienti montani (colate di detriti, fenomeni di trasporto solido intenso, colate di fango, valanghe di neve densa). La differenza fondamentale rispetto ad una semplice interfaccia di gestione che opera normalmente in locale su un computer, è che esso è basato su un innovativo sistema di servizi web (Rosatti et al., 2018) a cui si accede attraverso un comune browser di rete [1] (Figura 2).

Questo approccio ha una serie di vantaggi rispetto ad un sistema locale, primo fra tutti il fatto che non è necessario avere a disposizione un computer con prestazioni elevate per poter fare delle simulazioni anche computazionalmente pesanti, perché si usa un server di rete condiviso. È proprio la condivisione della risorsa di calcolo la chiave che rende possibile l'uso di sofisticati strumenti di simulazione ad un costo contenuto, così come richiesto dalla direttiva europea UE (2007). Un secondo elemento che caratterizza questo sistema è la sua facilità d'uso. Infatti, WEEEZARD è una parola che richiama un'altra parola inglese, Wizard, che nel linguaggio

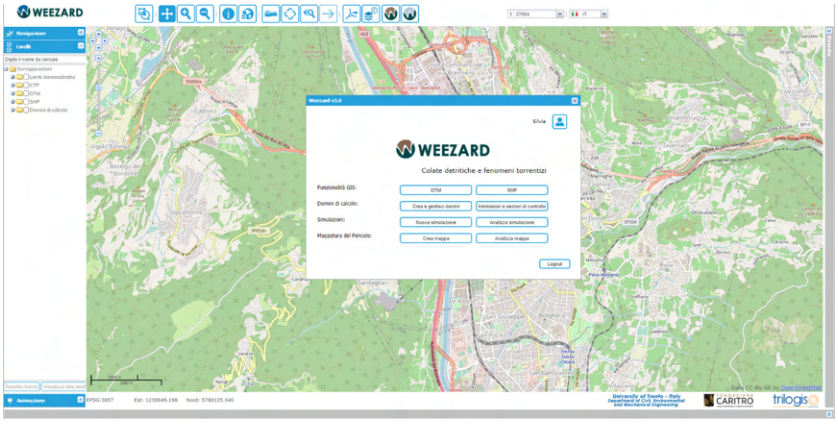



**FIGURA 2**

Schermata principale del sistema WEEZARD.

informatico indica una procedura, generalmente inglobata in una applicazione più complessa, che permette all'utente di eseguire determinate operazioni (solitamente articolate) tramite una serie di semplici passi in successione. Avere procedure guidate per eseguire in maniera semplice una serie complicata di operazioni, come quelle per simulare pericoli naturali in ambiente montano, è un presupposto fondamentale per trasformare un sistema intrinsecamente complesso, in uno strumento per uso professionale efficace, efficiente ed economico.

In estrema sintesi, il processo che, dall'acquisizione dei dati di base, porta al risultato finale dell'elaborazione di una mappa del pericolo, può essere suddiviso in una serie di passi logici, indipendenti dal tipo di pericolo naturale si voglia simulare. Essi sono rappresentati in Figura 3. Per ognuno di questi passi sono disponibili una serie di funzionalità che permettono di effettuare facilmente tutta una serie di operazioni relative a quel passo logico (ciascuna funzionalità è illustrata attraverso video tutorial [2]) e che facilitano molto l'apprendimento e l'uso del sistema.

# 3 - Inquadramento geomorfologico e geologico

Il vulcano estinto del M. Amiata è la montagna più elevata della Toscana meridionale, la cui vetta (1738 m s.l.m.) segna il confine tra la provincia di Siena ad Est e quella di Grosseto ad Ovest. In corrispondenza di questo rilievo il reticolo idrografico segue un andamento radiale, tipico delle zone vulcaniche. Tuttavia, il percorso delle aste fluviali che si originano dalla zona di vetta è anche influenzato da due principali sistemi di faglie e fratture, orientati SO-NE e NO-SE, che caratterizzano l'edificio vulcanico (Brogi, 2007). Il bacino idrografico del torrente Fosso Fonte Risola (di seguito abbreviato in Risola), oggetto di questo studio, si estende nel comune di Abbadia San Salvatore (SI), sul versante orientale del M. Amiata, occupando un'area di circa di 2,5 km$^2$ con

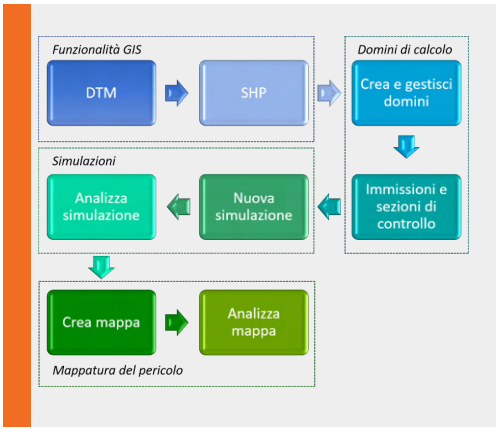
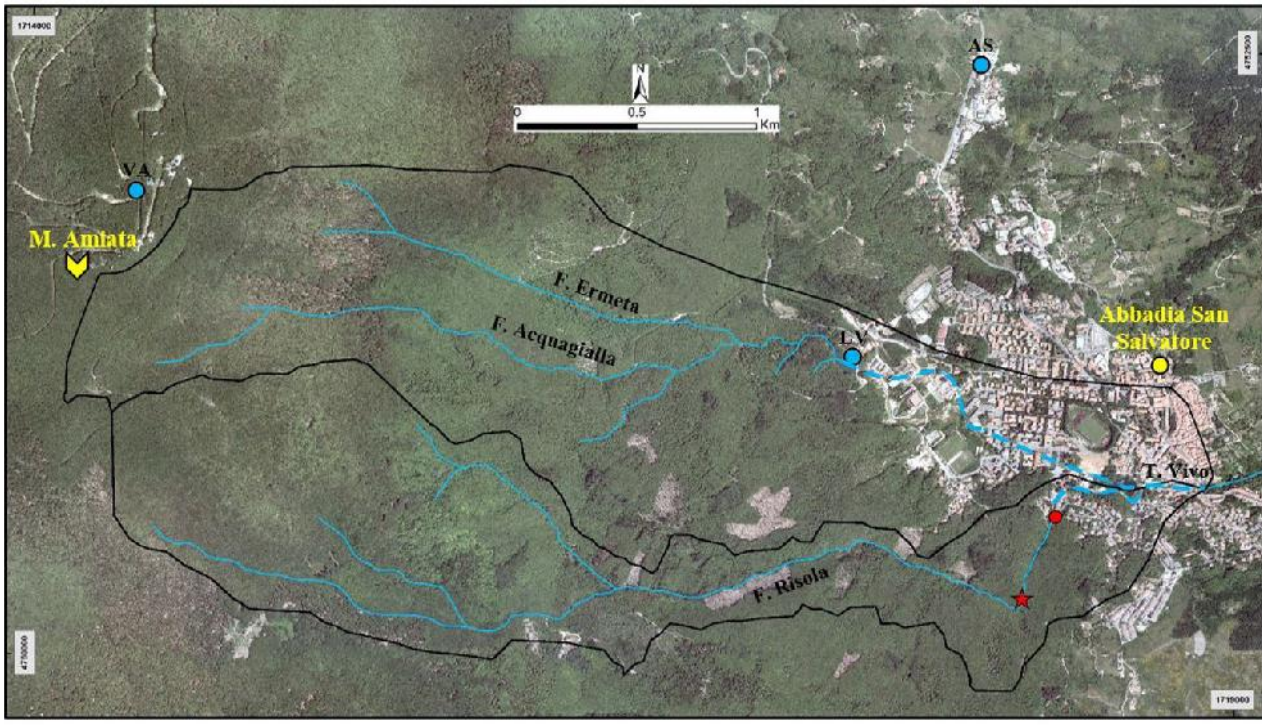


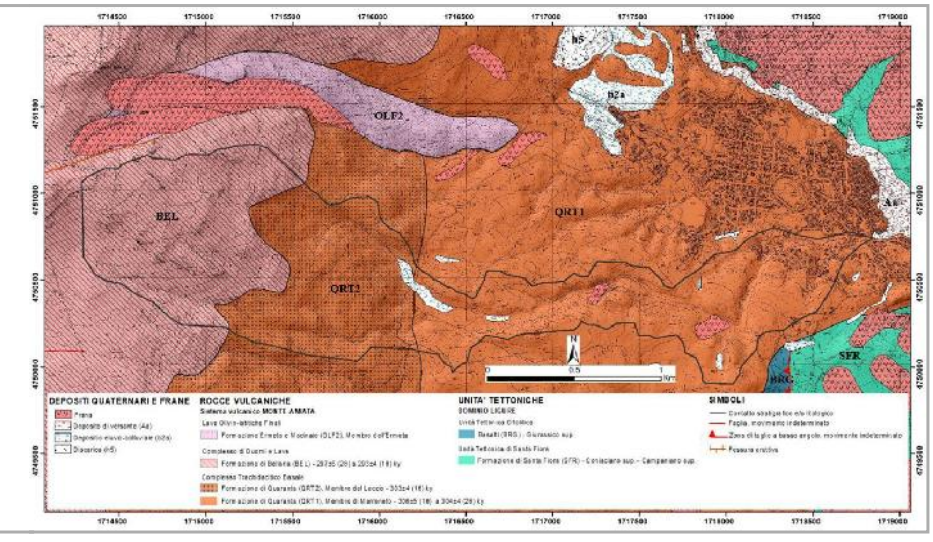

**FIGURA 3**

Illustrazione della suddivisione in passi logici del processo che porta dall'acquisizione dei dati di base alla elaborazione di una mappa del pericolo per un fenomeno idrogeologico nel sistema WEEZARD.




## FIGURA 4

L'area tra la vetta del M. Amiata e Abbadia San Salvatore. Simbologia - Linee nere: spartiacque dei bacini dei torrenti Fosso Acquagialla – Fosso Ermeta, Fosso Fonte Risola e Torrente Vivo; linea azzurra: reticolo idrografico principale, a tratteggio le porzioni tombinate; punti azzurri: stazioni pluviometriche SIR Regione Toscana (AS: Abbadia San Salvatore – TOS07000001; LV: Laghetto Verde – TOS11000114; VA: Vetta Amiata - TOS11000115; [3]). Bacino del Risola - Stella rossa: punto di inflow della simulazione della colata detritica; punto rosso: inizio del tratto tombinato preso via Fosso Canali. Base: ortofoto anno 2016 [4]; sistema di coordinate Gauss-Boaga.




## FIGURA 5

Carta geologica dell'area di Abbadia San Salvatore e individuazione del bacino del Risola (linea grigia). Fonti: Marroni et al., 2015; [5]. Sistema di coordinate Gauss-Boaga.

una forma stretta e allungata secondo la direzione O-E (Figura 4). L'assetto urbanistico di Abbadia San Salvatore ed il reticolo idrografico sono stati fortemente influenzati nel corso del '900 dall'attività mineraria connessa all'estrazione di cinabro per la produzione di mercurio. Per queste ragioni l'abitato include oggi due invasi artificiali denominati "Laghetto Verde" e "Lago Muraglione" i quali raccolgono parte delle acque provenienti rispettivamente dai torrenti Fosso Acquagialla-Fosso Ermeta e Risola, che a loro volta sono stati tombinati all'ingresso del centro abitato. In particolare, per il Risola, la tombinatura avviene presso via Fosso Canali, a quota ca. 845 m s.l.m.

L'uso del suolo, escludendo le aree urbane, è caratterizzato dalla presenza di un fitto bosco costituito da castagni fino alla quota di 900 m s.l.m. e da faggete a quote più elevate.

La precipitazione media-annua ad Abbadia San Salvatore è di circa 1400 mm/a, considerando i dati delle tre stazioni pluviometriche ubicate nei dintorni dell'abitato (Figura 4).

Dal punto di vista geologico l'area di studio è quasi completamente compresa nelle unità del complesso vulcanico Pleistocenico del Monte Amiata (Marroni et al., 2015; BD Geologica Regione Toscana 1:10.000 [5]; Figura 5). Per gran parte del suo percorso il Risola scorre entro la Formazione di Quaranta, fatta eccezione per il tratto sommitale, dove affiora la Formazione di Bellaria. Nel tratto del bacino a valle dell'abitato di Abbadia San Salvatore affiorano le unità Liguri che costituiscono il substrato delle unità del complesso vulcanico, rappresentate dalla Formazione di Santa Fiora e dai Basalti (BRG). La Formazione di Santa Fiora (SFR, Coniaciano sup. – Campaniano sup.; Marroni et al., 2015) è costituita da argilliti grigio-brune e calcilutiti. La Formazione di Quaranta (QRT; Pleistocene sup.; Marroni et al., 2015), corrispondente al Complesso Basale Trachidacitico in Ferrari et al. (1996), è suddivisa in due membri (QRT1 e QRT2), entrambi con composizione essenzialmente trachidacitica, ma con caratteristiche tessiturali diverse (Marroni et al., 2015): il membro Marroneto (QRT1; 306±5 - 304±4 ka), caratterizzato da alternanze di strati spessi da pochi centimetri ad alcuni metri con diversa frequenza di vetro vulcanico contenente fenocristalli e xenoliti, ed il sovrastante membro Leccio (QRT2; 303±4 ka), costituito da flussi di lava a blocchi. La Formazione di Bellaria (BEL; Pleistocene sup.; 297±6 - 293±4 ka), appartenente al Complesso dei Duomi e delle colate massive di Lava (Ferrari et al., 1996), è costituita da lave trachitiche – trachidacitiche grigio-rossastre con enclave magmatiche mafiche rotondeggianti (Marroni et al., 2015; Conticelli et al., 2015). Infine, poco a nord del bacino Risola, affiora il membro dell'Ermeta (OLF2; Pleistocene sup.; 231±23 ka) della Formazione Ermeta-Macinaie (sintema delle Lave Olivin-Latitiche Finali): si tratta di una colata lavica da rossastra a brunastra, sub-porfirica, afanitica con rari microfenocristalli di clinopirosseno e plagioclasio (Marroni et al., 2015).

Le formazioni di origine vulcanica sono affette da processi di alterazione saprolitica (Certini et al., 2006; Principe et al., 2017; Principe e Vezzoli, 2021) di intensità spazialmente variabile, particolarmente marcata nel caso della Formazione di Quaranta. Con il termine saprolite si intendono i prodotti di alterazione chimica e disgregazione in sito nei quali la struttura ed il fabric originari della roccia sono conservati e riconoscibili (Pavich, 1986; Irfan, 1998). La tipologia della roccia di origine influenza la natura del saprolite e le caratteristiche chimico-fisiche dei terreni prodotti dai processi di alterazione (Zauyah et al., 2010). In generale, il saprolite è maggiormente sviluppato in rocce ignee acide come granitoidi e lave a composizione riolitica e trachitica (Certini et al., 2006). L'alterazione si origina in genere a partire dalle discontinuità e si estende progressivamente all'intero ammasso, determinando gradi diversi di trasformazione: substrato roccioso fratturato; blocchi rocciosi residuali (corestones) che possono trovarsi immersi in una matrice sabbiosa sciolta oppure determinare accumuli isolati in seguito al dilavamento superficiale della frazione sciolta; terreni sabbiosi. Questi processi sono importanti perché possono condizionare la stabilità dei pendii e le modalità di cedimento (Irfan, 1998; Aydin, 2006) e contribuiscono inoltre a controllare la disponibilità di materiale non consolidato sui versanti e lungo il reticolo idrografico che può essere mobilizzato durante i fenomeni di colata. In particolare, l'ampia diffusione del saprolite consente di definire il bacino oggetto di studio ad alimentazione solida illimitata (Bovis e Jacob, 1999). La presenza di substrato roccioso a differente grado di alterazione comporta inoltre variazioni di pendenza lungo il percorso del Risola, con zone in cui i fenomeni erosivi sono prevalenti ed altre dove prevale la deposizione del carico solido. Il percorso del Risola compie una brusca variazione di direzione a quota ca. 900 m s.l.m., passando da direzione NO-SE a SO-NE (Figura 5). A monte di questa zona, per alcune centinaia di metri, il corso d'acqua percorre un tratto a bassa pendenza in corrispondenza del quale gran parte del materiale solido grossolano tende a depositarsi, come si osserva in Figura 6a. La Figura 6b si riferisce invece al tratto finale del Risola prima della tombinatura, presso Fosso Canali, con pendenza media di circa 7°, caratterizzato da elevata disponibilità di materiale detritico, sia in alveo sia lungo le sponde, con massi di dimensioni variabili fino a 10-100 cm.

Le analisi morfometriche del bacino, i cui dati principali sono riassunti in Tabella 1, mostrano che l'indice di Melton del bacino del Risola è pari a 0.48, circa

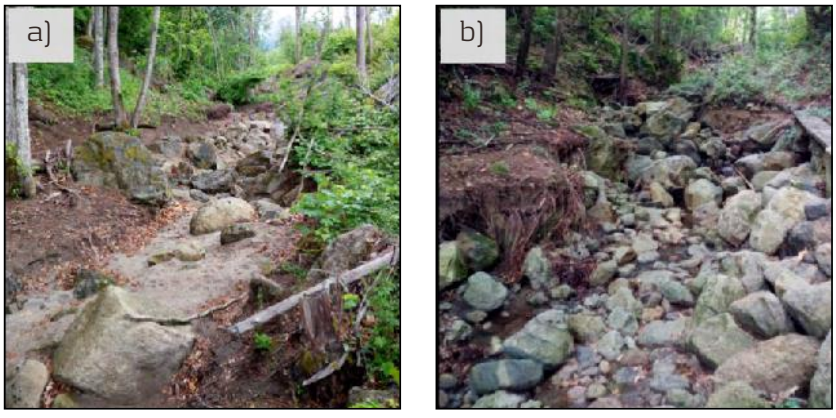



**FIGURA 6**

Alveo del Risola: a) tratto a bassa pendenza con deposizione del materiale detritico; b) tratto a monte della tombinatura presso Fosso Canali, caratterizzato da abbondante materiale detritico grossolano in alveo.

corrispondente al valore soglia di 0.5 oltre il quale il tipo di trasporto atteso è quello relativo alle colate detritiche (D'Agostino, 1996). La propensione allo sviluppo di fenomeni di intenso trasporto solido nel caso di piogge intense è associata alla grande disponibilità di sedimenti potenzialmente mobilizzabili.

| Nome bacino | Perimetro (km) | Area (km²) | H min (m s.l.m) | H max (m s.l.m) | H med (m s.l.m) | Pendenza media (°) | Lunghezza asta principale (km) | Pendenza media asta (°) | N° Melton (-) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Risola | 10.71 | 2.48 | 833 | 1584 | 1185 | 16 | 4.46 | 7 | 0.48 |

**TABELLA 1**

Parametri morfometrici del bacino idrografico del Risola, riferiti alla sezione di chiusura posta in corrispondenza della tombinatura di via Fosso Canali (Figura 4).

## 4 - L'evento del 27-28 luglio 2019

La notte tra il 27 e il 28 luglio 2019, un evento meteorologico intenso ha interessato l'intero territorio della Regione Toscana, concentrandosi particolarmente sulle province di Arezzo, Siena, Grosseto e Firenze. Nell'area del Monte Amiata, a partire dalle ore 22:00 del 27 luglio, la stazione pluviometrica "Abbadia San Salvatore" ha registrato precipitazioni di 210 mm/4 ore, con picchi di intensità massima pari a 45 mm/15 min, non registrati in precedenza nei mesi estivi (Report di Evento CFR, 2019).

Le elaborazioni dei dati disponibili per la precipitazione nell'area amiatina [3] con scansione temporale di 15' mostrano che la maggiore intensità si è verificata tra le ore 22:45 e le 23:15 (Figura 7). In questo breve arco temporale le stazioni "Abbadia San Salvatore", "Laghetto Verde" e "Vetta Amiata" hanno registrato rispettivamente 123, 86, 85 mm di pioggia cumulata.

I tempi di ritorno stimati associati ai valori massimi registrati sulle diverse durate (1-3-6-12-24 ore) sono di gran lunga superiori ai 200 anni (Report di Evento CFR, 2019). I valori massimi di pioggia su 12 e 24 ore sono superiori al massimo storico registrato di oltre il 60%, rappresentando a tutti gli effetti degli outlier assoluti, a

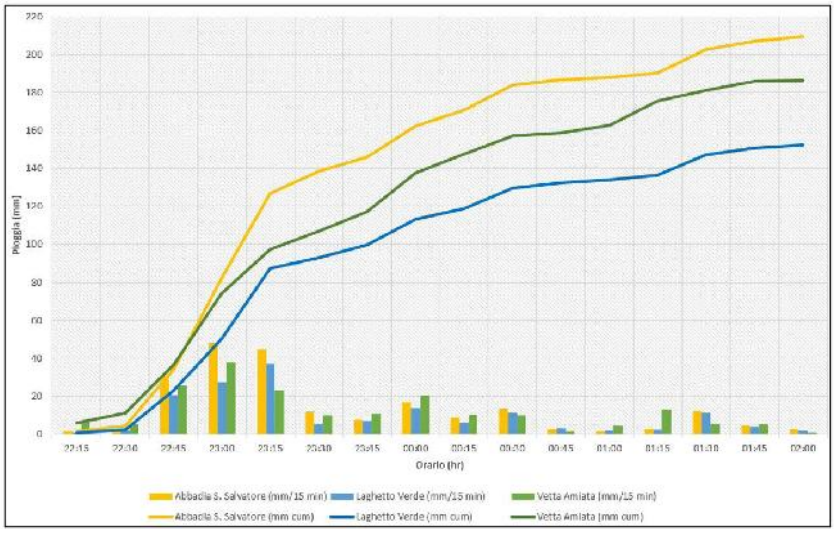



**FIGURA 7**

Precipitazioni cumulate e intensità di pioggia a scansione temporale di 15' delle tre stazioni pluviometriche dell'area di Abbadia San Salvatore (Figura 4), per l'evento del 27-28 luglio 2019.

testimonianza di un fenomeno meteorologico estremo, quanto meno a partire dalla disponibilità delle registrazioni.

La pioggia di grande intensità ha causato allagamenti diffusi nel centro di Abbadia San Salvatore, ma la situazione di maggior danno si è verificata nella zona di via Fosso Canali, dove si sono registrate zone di erosione (l'asfalto è stato divelto) e zone caratterizzate da accumuli di materiale detritico grossolano frammisto a legname (Figura 8). Dall'analisi delle foto post-evento è possibile risalire ad un'altezza media del deposito di 0,3 m e, considerando l'area coinvolta (Figura 8a), anche alla stima del volume depositato, pari a circa 2.000 m³. Tale situazione è da imputare all'occlusione della tombinatura del Risola (dimensioni 1,40*1,00 m), causata da un fenomeno di clogging (intasamento per incastro) del materiale trasportato (sia detritico che vegetale). Dalle testimonianze raccolte dagli abitanti del posto (video [6] ed interviste), risulta che l'intasamento della tombinatura del Risola sia avvenuta entro le ore 23:45, quindi pochi minuti dopo la fase più intensa della precipitazione.

Alla fine dell'evento, abitazioni, attività commerciali e auto sono stati danneggiati, causando danni per milioni di euro [7].

Altre informazioni quantitative relative all'evento, utili per la ricostruzione, sono state ricavate dalle cicatrici causate dagli urti del materiale solido sulle cortecce di alcuni alberi vicini all'alveo del torrente. Esse indicano tiranti medi di 0.5 m, ma in sezioni particolarmente strette (< 5 m) è anche stato superato 1 m. L'analisi del materiale depositato e di quello presente in alveo ha permesso inoltre di identificare la tipologia di fenomeno che si è verificato: la prevalenza di materiale sabbioso-ghiaioso, la presenza di massi di dimensioni metriche e la quantità trascurabile di materiale fino suggeriscono che il fenomeno causato dall'evento piovoso intenso sia stato essenzialmente una colata di materiale granulare sciolto con resistenza al moto di tipo collisionale.

Infine, la significativa distanza da possibili zone di innesco di fenomeni impul-

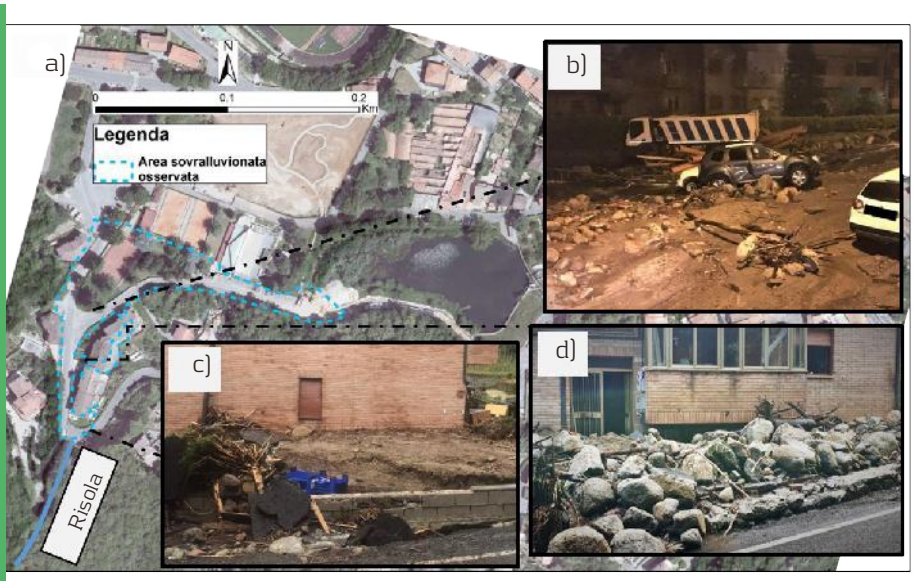



**FIGURA 8**

a) Vista aerea della zona sovralluvionata dalla colata detritica (linea tratteggiata azzurra) in via Fosso Canali; b), c), d) deposizione del materiale detritico nella zona abitata con il coinvolgimento di abitazioni ed autovetture (Fonti: b), c) Unione dei Comuni Amiata Val d'Orcia; d) [6].

sivi, la presenza del tratto pianeggiante poche centinaia di metri a monte della tombinatura e l'indicazione che l'intasamento del tombino sia avvenuto essenzialmente in concomitanza con il picco di pioggia, suggeriscono che il fenomeno possa essere catalogato tra le colate con forzante idrologica, descrivibili quindi attraverso l'approccio presentato nella Sezione 2.2.

## 5 - La ricostruzione idrologica

Seguendo lo schema concettuale della Sezione 2.2, il primo passo per la ricostruzione dell'evento consiste nella ricostruzione della forzante idrologica. La simulazione della pioggia è stata eseguita spazializzando i dati pluviometrici (mm/15') delle tre stazioni disponibili tramite il metodo Inverse Distance Weight (Beven e Kirkby, 1979), in modo da ottenere una rappresentazione della precipitazione, distribuita nel tempo e nello spazio.

La modellazione è stata effettuata con il modello idrologico-idraulico bidimensionale FLO-2D, implementando il modello di infiltrazione distribuito Green-Ampt (G-A; Green e Ampt, 1911), per il quale sono necessari il valore di conducibilità idraulica satura ($K_{sat}$) e lo spessore del materiale non consolidato. È stata quindi condotta un'apposita campagna di misure in sito che ha permesso di determinare $K_{sat}$ tramite misure a carico costante con un permeametro di tipo Aardwark (Theron et al., 2010). Sono state eseguite 16 prove in foro indagando i valori di $K_{sat}$ del materiale non consolidato al di sopra della formazione BEL e dei membri QRT1, QRT2, OLF2 per una profondità compresa tra 0,30-1,50 m. I risultati delle prove hanno fornito valori tra loro molto simili nelle formazioni campionate, consentendo di assegnare un valore uniforme ($K_{sat} = 14\ cm/h$) in tutto il bacino. Lo spessore del materiale non consolidato (z) entro il quale si sviluppano i processi di infiltrazione è stato determinato con metodi diretti (trivella manuale) ed indiretti (sismica passiva HVSR e attiva MASW). Le indagini svolte hanno evidenziato che in genere non sono presenti livelli superficiali a bassa permeabilità (orizzonti di depositi fini e/o substrato lapideo) che generano un contrasto di permeabilità rispetto al materiale non consolidato sovrastante. Per la rappresentazione della superficie topografica nella modellazione idrologica, sono stati integrati due modelli digitali del terreno, un dato con cella 1 m basato su acquisizione LiDAR ed uno con cella 10 m, poiché il primo copre solo l'area urbana di Abbadia San Salvatore [8]. I due grigliati sono stati quindi mosaicati e ricampionati ad una risoluzione spaziale comune di 5*5 m, per un buon compromesso tra rappresentazione del reticolo idrografico e tempo di calcolo.

Attraverso riclassificazione della carta dell'uso del suolo [9] è stata valutata la distribuzione del coefficiente di scabrezza (n Manning; secondo Chow, 1959), aree impermeabili (corrispondenti alle aree urbane), pioggia intercettata (in funzione del tipo di vegetazione e/o aree antropiche), affioramenti rocciosi e sono state infine valutate le condizioni di saturazione precedenti all'evento[1]. L'insieme dei dati di input utilizzati per il modello G-A è riassunto in Tabella 2.

L'idrogramma risultante dall'analisi idrologica (Figura 9) mostra due picchi, il primo di 4 $m^{3/s}$ ed il secondo di 10 $m^{3/s}$, verificatisi rispettivamente alle ore 23:15 e 23:35, ovvero pochi minuti dopo la fase più intensa della precipitazione.

Dati input della modellazione idrologica con Green-Ampt

| DEM | PIOGGIA | USO DEL SUOLO | DATI MISURATI in-situ |
|---|---|---|---|
| LiDAR (M): 5X5 | Distribuita (mm) | n Manning (s/$m^{1/3}$)<br>Aree impermeabili<br>Saturazione (secco,normale,umido)<br>Pioggia intercettata (mm)<br>Affioramenti rocciosi | $K_{sat}$ medio (cm/h): 14<br>z (m): > 1.5 |

**TABELLA 2**

Dati di input della modellazione idrologica tramite approccio di infiltrazione Green-Ampt (G-A).

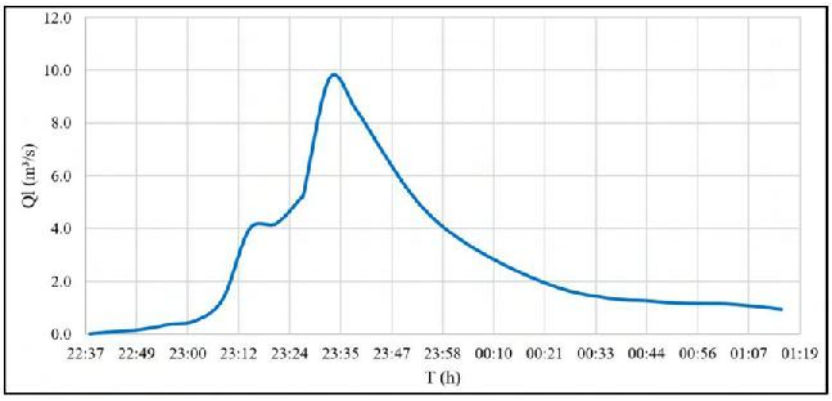



**FIGURA 9**

Idrogramma di piena modellato per il Risola, riferito ad una sezione posta nel tratto a monte della tombinatura di via Fosso Canali (localizzazione in Figura 4).

## 6 - Modellazione numerica della colata detritica

Il primo elemento da definire in una modellazione numerica di una colata detritica è il dominio di calcolo, cioè la base altimetrica della zona che si intende studiare, e la sezione di ingresso al dominio, dove cioè si ha l'ingresso della colata nella zona di interesse. Nel caso specifico del Risola, il dominio utilizzato è rappresentato in Figura 10a, mentre in Figura 10b viene mostrata la sezione del torrente scelta come input del flusso solido-liquido.

La scelta del tratto di studio e del posizionamento delle celle di input della colata derivano dalle caratteristiche geomorfologiche della porzione terminale del Risola, come descritto nella parte finale del Capitolo 3. Lungo la zona rappresentata dal poligono rosso in Figura 10a si sono infatti verificati la maggior parte dei processi erosivi del materiale già presente in alveo e sulle sponde, oltre a quelli deposizionali che hanno prima causato l'occlusione del tombino e successivamente il sovralluvionamento della zona abitata a valle. Si è deciso di non considerare nella modellazione il tratto più a monte rispetto al punto in Figura 10a (stella rossa) per due motivi: 1) spostare a quote più elevate la zona di input del flusso solido-liquido avrebbe determinato la sottostima dell'area contribuente del bacino e della relativa portata liquida, che è stata invece la causa principale dell'innesco del movimento di massa; 2) nella zona a monte di tale punto sono presenti ampi tratti a bassa pendenza, nei quali gran parte del materiale detritico si è depositato prima dell'arrivo nel tratto finale oggetto della modellazione.

Inoltre, nel dominio di calcolo, sono state definite le zone inerodibili (substrato roccioso e aree antropiche) e quelle erodibili, con associato il relativo spessore del materiale asportabile al passaggio del flusso, che nel caso del Risola può essere assunto come infinito, visto il quadro geologico-geomorfologico (Capitolo 3).

Per quanto riguarda alcuni aspetti del moto che hanno caratterizzato l'evento di studio, il modello TRENT2D non prevede la possibilità di simulare né il moto in pressione (cioè il moto in un tubo completamente riempito) né il processo di intasamento di una sezione chiusa. Per poter simulare il moto in una sezione chiusa (moto nel tombino non completamente riempito) ed il fenomeno di intasamento che si è registrato, si è dovuto ricorrere a delle strategie modellistiche e ad ipotesi di funzionamento che sono state verificate a posteriori. In particolare, la strategia utilizzata ha portato a suddividere ogni simulazione dell'evento in due distinte simulazioni opportunamente legate tra di loro: quella pre-intasamento e quella post-intasamento. Entrambe le simulazioni sono state implementate utilizzando il modello digitale del terreno disponibile [8] con celle di 1 m di lato, basato su acquisizione LiDAR.

### *6.1 - La modellazione del tombino pre-intasamento*

Per descrivere il moto nel tombino nella fase pre-intasamento, si è trasformata la sezione chiusa del tombino in un canale a superficie libera, andando a rappresentare, nel dominio di calcolo, un canale

[1]Nel caso di aree boschive è raccomandato, dal manuale di FLO-2D, l'utilizzo dell'opzione "dry", considerando anche che nei giorni precedenti all'evento non si sono verificate precipitazioni che hanno reso il terreno umido.

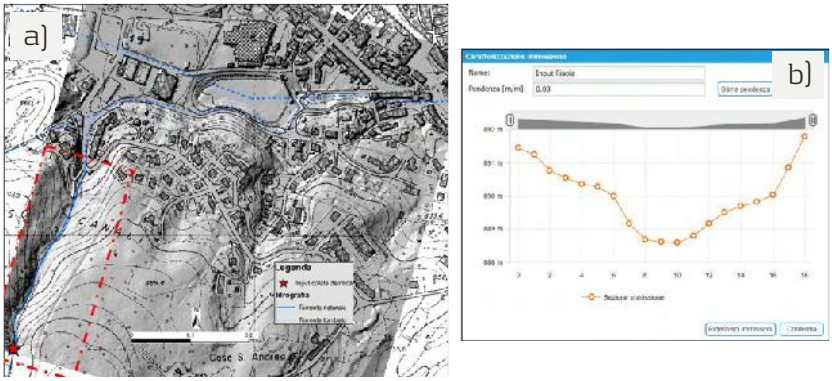



**FIGURA 10**

a) Tratto terminale del Risola. Il bordo rosso tratteggiato corrisponde al dominio di calcolo della simulazione pre-intasamento, mentre l'area totale è relativa alla modellazione post-intasamento; la stella in rosso rappresenta la zona di input della colata; b) Rappresentazione ottenuta con WEEZARD della sezione morfologica del Risola scelta come input del flusso.

con pareti alte fino al livello del terreno. Più precisamente, il tombino è stato rappresentato tramite un'opportuna modifica (in ambiente GIS delle celle del DEM LiDAR (1*1 m), che ricopre l'area urbana oggetto della modellazione:

1) le celle originali del DEM sono state ricampionate ad una risoluzione spaziale di 0,5*0,5 m, essendo le dimensioni della finestratura pari a 1,40*1,00 m (b*h);
2) nel tratto di strada di via Fosso Canali sotto al quale si trova l'opera idraulica, le quote originali del DEM sono state abbassate di 1,50 m (0,50 m di manto stradale + 1,00 m di altezza del tombino) per una larghezza di 3 celle, ottenendo quindi la rappresentazione della base del tombino (1,50 m), circa corrispondente a quella reale di 1,40 m. La differenza di 0,10 m tra larghezza reale e larghezza rappresentata nel modello si assume essere ininfluente ai fini dei risultati della modellazione.

È da notare che questa rappresentazione è però valida fintantoché il tirante rimane inferiore alla luce libera verticale del tombino. Questa ultima osservazione ha suggerito l'ipotesi relativa all'istante di intasamento del tombino: si è assunto che l'intasamento avvenga nell'istante in cui il tirante della colata in prossimità della sezione di imbocco supera il valore della luce libera verticale del tombino (istante convenzionale di occlusione). Pertanto, le simulazioni effettuate con questo dominio di calcolo, sono state considerate valide dall'istante iniziale dell'evento fino all'istante convenzionale di occlusione.

### *6.2 - La modellazione post-intasamento*

A partire dall'istante convenzionale di occlusione, l'altimetria del dominio di calcolo cambia significativamente: al posto del fondo del canale-tombino, va considerato il livello originale del terreno. Tuttavia, nel canale a monte del tombino, il fondo si è modificato a causa della simulazione pre-intasamento. Pertanto, il DEM del dominio di calcolo della simulazione post-intasamento è stato ottenuto mosaicando le quote del fondo ottenute nella simulazione pre-intasamento, dalla sezione di ingresso alla sezione del tombino, con il DEM originale dalla sezione del tombino in avanti. Per quanto riguarda la forzante idraulica, queste simulazioni partono dall'istante convenzionale di intasamento.

## 7 - Analisi e discussione della ricostruzione del fenomeno di colata

Al fine di ottenere una buona ricostruzione dell'evento, si è proceduto con la taratura dei parametri del modello in modo tale da minimizzare la differenza tra quanto simulato e quanto effettivamente successo. L'assenza di misure certe ha impedito un calcolo rigoroso delle differenze, ma non ha impedito di effettuare una ragionevole taratura.
Per quanto riguarda la ricostruzione idrologica, non essendo presenti stazioni di misura della portata liquida nel Risola, i valori ottenuti possono essere verificati in maniera indiretta, andando a verificare che gli effetti della colata detritica modellati con questa forzante risultino compatibili con quanto successo.
Per quanto riguarda la taratura del modello TRENT2D, gli scenari pre- e post-intasamento sono sati utilizzati per tarare differenti parametri sulla base di differenti grandezze di confronto.
Nello scenario pre-intasamento, le grandezze di confronto utilizzate sono state i tiranti, le erosioni ed i depositi nel canale ma soprattutto il tempo di intasamento, ragionevolmente avvenuto tra le ore 23:30-23:45, come testimoniato dal video girato durante l'evento [6]. Invece per quanto riguarda i parametri, si è proceduto nel modo seguente:

- la pendenza nella sezione di immissione $i_f$ è stata fissata in base alle caratteristiche morfologiche del torrente; è stata posta pari a 0,03 m/m, ovvero il valore medio tra il tratto a monte e quello a valle della sezione di input, rispettivamente con pendenze di circa 0,01 m/m e 0,05 m/m.
- i valori di concentrazione al fondo dei sedimenti ($c_b$), l'angolo di attrito dinamico ($\phi_d$) e la densità relativa ridotta dei sedimenti ($\Delta$) utilizzati, sono quelli generalmente accettati nella dinamica delle colate detritiche (Takahashi, 2007). Questa assunzione deriva dal fatto che il materiale coinvolto non presenta caratteristiche geotecniche particolari tali da cambiare questi tre parametri.
- il parametro di sommergenza $Y$, essendo definito dal tirante e dalla granulometria del materiale coinvolto nel flusso, è soggetto a variazioni durante l'evento e per questo una sua valutazione completamente a priori risulta complicata. Per tarare questo parametro sono stati eseguiti diversi test con valori pari a 15, 10 e 5. Da questa analisi è emerso che per valori di 15 e 10 i tiranti risultano essere esigui rispetto a quelli osservati e allo stesso tempo le erosioni troppo accentuate, generando una portata di mistura elevata e di conseguenza l'intasamento del tombino troppo in anticipo rispetto a quanto realmente accaduto. Invece, per $Y=5$, sia i tiranti del flusso lungo il torrente, sia il tempo di intasamento del tombino, sono risultati essere coerenti con quanto accaduto durante l'evento.
- Il parametro di trasporto $\beta$, calcolato direttamente dal sistema WEEZARD sulla base delle scelte degli altri parametri, viene determinato utilizzando la relazione di moto uniforme locale nella sezione di immissione con legge di resistenza secondo Takahashi:

$$\beta = \frac{\tilde{c}}{c_b i_f} \frac{\lambda^2}{1+\tilde{c}\,\Delta} \frac{25}{4} \frac{a(\Delta+1)\sin\phi_d}{Y^2} \quad (5)$$

Nel complesso i dati di input utilizzati nella modellazione della colata sono riassunti in Tabella 3.
Con questi parametri risulta che l'idrogramma di mistura è caratterizzato da un volume solido in ingresso di circa 250 $m^3$

e che l'intasamento del tombino sia stato causato dal superamento del tirante idrico rispetto all'altezza di 1 metro della finestratura (Figura 11) alle ore 23:30 circa, in linea con quanto accaduto nella realtà.

| | |
|---|---|
| DEM (m) | 1* |
| Angolo di attrito dinamico $\phi_d$ (°) | 38 |
| Concentrazione al fondo $c_b$ (-) | 0.65 |
| Densita' relativa ridotta dei sedimenti $\Delta$ (-) | 1.65 |
| Sommergenza $Y$ (-) | 5 |
| Pendenza immissione (m/m) | 0.03 |
| Parametro di trasporto $\beta$ (-) | 0.009787 |

**TABELLA 3**

Dati di input di WEEZARD. Il valore di sommergenza $Y$= 5 si riferisce al letto del torrente. *Nella simulazione pre-intasatura, al fine di rappresentare correttamente il tombino con dimexnsioni 1,40*1,00 m, il DEM LiDAR con risoluzione spaziale 1*1 m è stato ricampionato in ambiente GIS con celle di 0,5 m.

Lo scenario post-intasamento è stato utilizzato per determinare i parametri di trasporto e di resistenza nelle zone inerodibili. In particolare, il coefficiente di Gauckler-Strickler ($Ks$) è stato assegnato sulla base delle varie categorie di uso del suolo, secondo le tabelle fornite dal National Land Cover Data Set (Homer et al., 2015) mentre per gli altri parametri si sono tenuti i valori ottenuti con lo scenario pre-intasamento.

Le grandezze utilizzate in questa fase per la validazione dei risultati sono state la distribuzione e l'entità del materiale eroso e depositato lungo il Risola e la distribuzione areale dei depositi nel centro abitato. La carta della morfologia ottenuta con la modellazione post-intasamento (Figura 12) può essere confrontata con l'area sovralluvionata che è stata delineata grazie alle foto di repertorio dell'evento (Figura 8a). Nel complesso si nota una buona corrispondenza tra l'area sovralluvionata osservata e quella modellata. Si nota inoltre che parte del materiale solido si è depositato all'interno del torrente, mentre una porzione considerevole ha raggiunto le zone abitate a valle, protraendosi per circa 400 m. I valori modellati di altezza del deposito nell'area abitata, risultano essere mediamente pari a circa 0.3-0.5 m ed in alcuni punti raggiungono anche il metro, in buon accordo con l'analisi delle foto post-evento (Figura 8 b, c, d). Visti i buoni risultati ottenuti, non è stata necessaria una modifica dei parametri di resistenza scelti a priori.

Dai risultati complessivi ottenuti dalla successione delle simulazioni pre e post-evento, si possono fare alcune considerazioni sulle aree soggette ad erosione. Le zone dove l'asfalto è stato divelto sono state considerate a fondo mobile nella modellazione; a fine simulazione, tali zone sono risultate correttamente soggette ad erosione. Invece, per quanto riguarda le erosioni che si sono verificate lungo l'asta del torrente, non è stato possibile fare dei paragoni diretti con quanto accaduto durante l'evento. Tuttavia, i valori ottenuti (valori massimi di circa 2 m e mediamente 0,35 m) non sono in contrasto rispetto alle evidenze riscontrate dai sopralluoghi effettuati.

Infine, i risultati ottenuti indicano che la colata detritica che si è generata nel Risola ha eroso e mobilizzato 3.000 $m^3$ di materiale solido, di cui circa 1.500 $m^3$ hanno sovralluvionato la zona abitata. Parte di questo materiale ha inoltre raggiunto anche l'invaso del Lago Muraglione, contribuendo alla sua esondazione che ha causato

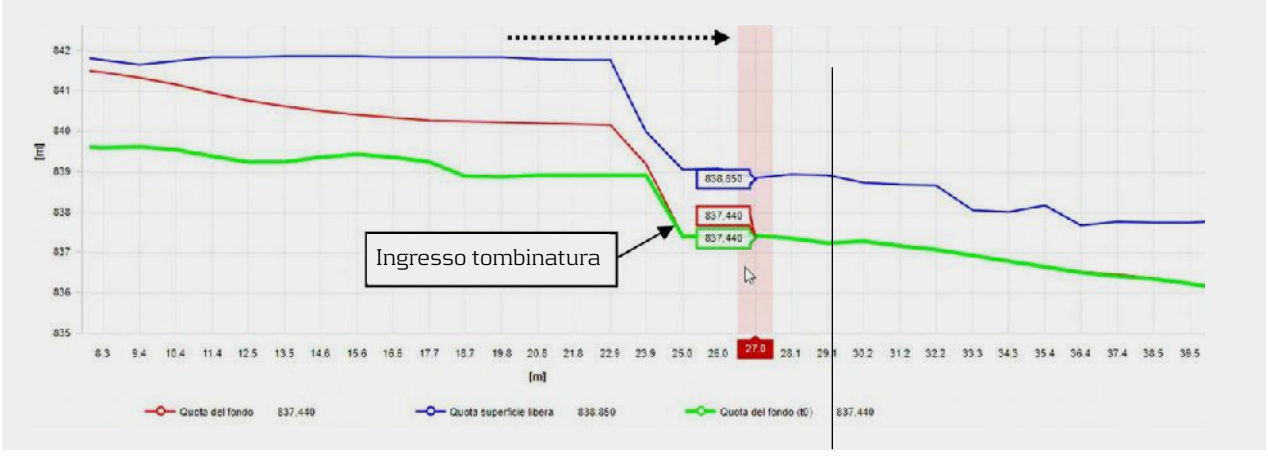



**FIGURA 11**

Rappresentazione grafica della simulazione pre-intasamento relativa al profilo longitudinale del Risola all'ingresso della tombinatura; *t0*: condizioni iniziali del DEM.

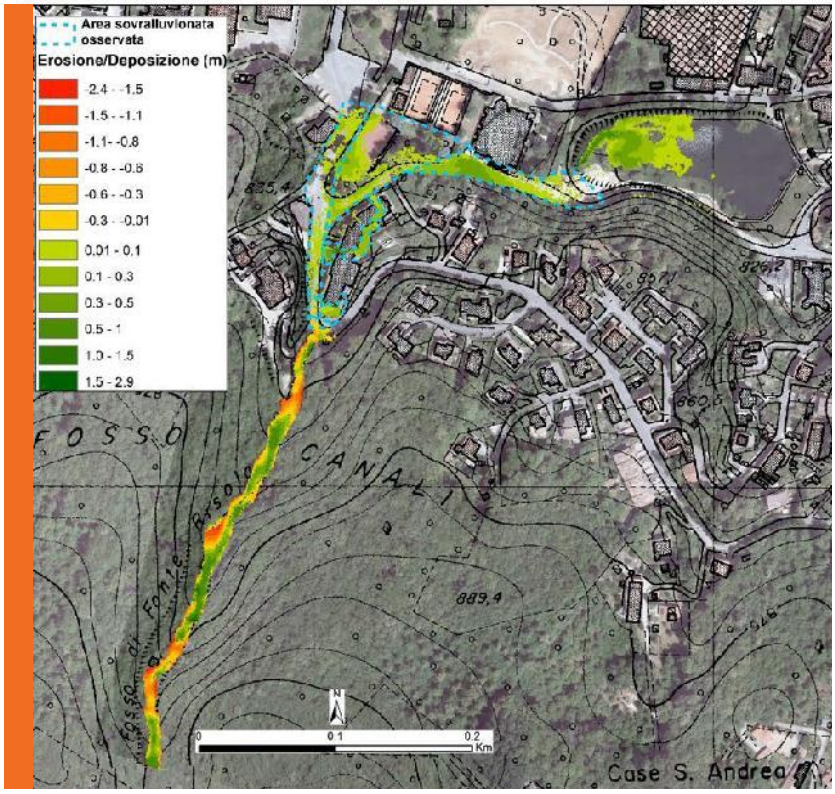



**FIGURA 12**

Carta della morfologia ottenuta con la modellazione post-intasatura con WEEZARD alla fine dell'evento e comparazione con l'area sovralluvionata osservata.

l'allagamento della zona valliva di Abbadia San Salvatore.

## 8 - Conclusione

A conclusione di questo studio, grazie ai buoni risultati ottenuti nella ricostruzione dell'evento di colata detritica che si è sviluppata nel Risola il 27-28 luglio 2019, è possibile affermare che:

1) un modello geologico-geomorfologico basato sull'integrazione di cartografia di dettaglio e specifiche indagini geologico-tecniche costituisce un importante punto di partenza per un'accurata modellazione numerica;
2) l'approccio metodologico complessivo utilizzato (modello idrologico per la stima della forzante idraulica, stima della portata di mistura con il fattore di amplificazione, modellazione della colata nel tratto in prossimità dell'abitato) risulta essere ragionevolmente valido per colate di detriti a carattere non marcatamente impulsivo;
3) le ipotesi modellistiche introdotte per superare alcuni limiti del modello impiegato (definizione del tempo convenzionale di occlusione, suddivisione della simulazione in pre- e post-intasamento) sono risultate efficaci;
4) l'approccio bifase è fondamentale per una buona modellazione di colate detritiche granulari;
5) il sistema WEEZARD risulta essere uno strumento efficace, in linea con le indicazioni della direttiva europea.

Vi è tuttavia un ulteriore importante risultato che va sottolineato: il fatto che la ricostruzione sia stata ottenuta con la maggior parte dei parametri fissati a priori (in quanto fisicamente basati) e che i parametri determinati tramite taratura ($Y$ e $\beta$) siano molto vicini a valori stimabili a priori, dimostra che l'approccio modellistico utilizzato ha anche una buona capacità predittiva e può quindi essere ragionevolmente impiegato per analisi previsionale, quali le mappature del pericolo e la progettazione e la verifica idraulica di opere di mitigazione.

## A - Appendice: equazioni differenziali del modello bidimensionale TRENT2D

Le equazioni differenziali che costituiscono il modello TRENT2D derivano dai principi di conservazione della massa e della quantità di moto delle componenti della mistura. Va notato che per ottenere delle equazioni differenziali si deve fare l'ipotesi di mezzo continuo (in pratica, un mezzo continuo occupa tutto lo spazio di interesse) mentre in una mistura solido-liquido tale condizione non si verifica per le singole fasi (ciascuna fase occupa lo spazio in maniera discreta). Per poter avere un approccio continuo, le grandezze fisiche che servono a descrivere il moto devono essere opportunamente mediate (ad esempio su un volume di riferimento). Pertanto, le equazioni differenziali che definiscono il modello non descrivono ciò che succede in un punto dello spazio bensì ciò che succede "in media" in tale punto.

Le altre assunzioni che vengono considerate per derivare il sistema sono:

- il moto della colata avviene prevalentemente lungo una superficie piana o a debole curvatura, per cui il moto è trascurabile in direzione ortogonale a tale superficie (direzione assimilabile alla verticale), è ben rappresentabile attraverso quantità medie sulla profondità, la distribuzione delle pressioni è lineare;
- la fase solida è caratterizzabile attraverso un diametro rappresentativo dei sedimenti ed una densità costante;
- la concentrazione al fondo è costante;
- la velocità delle due fasi è la stessa (ipotesi isocinetica).

Facendo riferimento alla Figura 13, dove è riportato il sistema di riferimento,

le variabili utilizzate ed il volume
di controllo infinitesimo (nel piano) utilizzato per la derivazione delle equazioni, il sistema di equazioni differenziali del modello TRENT2D, considerate le ipotesi elencate sopra, risulta essere il seguente:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial}{\partial t}(h+z_b)+\dfrac{\partial}{\partial x}u_x h+\dfrac{\partial}{\partial y}u_y h=0 \\ \dfrac{\partial}{\partial t}(ch+c_b z_b)+\dfrac{\partial}{\partial x}c\,u_x h+\dfrac{\partial}{\partial y}c\,u_y h=0 \\ \dfrac{\partial}{\partial t}\left[(1+c\Delta)u_x h\right]+\dfrac{\partial}{\partial x}\left[(1+c\Delta)\left(u_x^2 h+g\dfrac{h^2}{2}\right)\right]+\dfrac{\partial}{\partial y}\left[(1+c\Delta)u_x u_y h\right]+\dot{\iota}+(1+c\Delta)gh\dfrac{\partial}{\partial x}z_b=\dfrac{-\tau_{0,x}}{\rho_w} \\ \dfrac{\partial}{\partial t}\left[(1+c\Delta)u_y h\right]+\dfrac{\partial}{\partial x}\left[(1+c\Delta)u_x u_y h\right]+\dfrac{\partial}{\partial y}\left[(1+c\Delta)\left(u_y^2 h+g\dfrac{h^2}{2}\right)\right] \\ \qquad +(1+c\Delta)gh\dfrac{\partial}{\partial y}z_b=\dfrac{-\tau_{0,y}}{\rho_w} \end{cases} \quad (6)$$

Le prime due equazioni esprimono rispettivamente la conservazione della massa della mistura (somma della equazione di conservazione della massa di entrambe le fasi) e della massa solida. Si noti che la densità delle fasi si semplifica nelle equazioni in quanto costanti. Le seconde due equazioni esprimono la conservazione della quantità di moto della mistura nelle due direzioni del piano divise per la densità della fase liquida $P_w$. Esse derivano dalla somma della conservazione della quantità di moto di ciascuna fase e pertanto le forze di interfase, essendo uguali e contrarie nelle due equazioni, si elidono e scompaiono dalle equazioni. L'ipotesi isocinetica permette inoltre di esprimere la quantità di moto della mistura, somma delle quantità di moto delle due fasi, come:

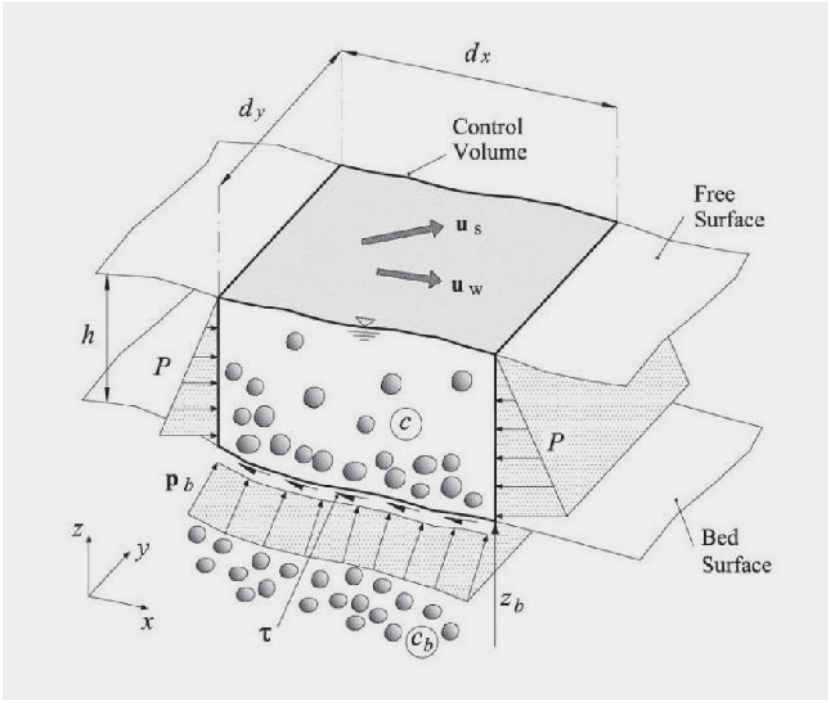



**FIGURA 13**

Sistema di riferimento, volume di controllo infinitesimo (nel piano) e indicazione delle grandezze fisiche utilizzate per la derivazione delle equazioni del morello TRENT2D.

$$\rho_w(1-c)\vec{u}h+\rho_s c\vec{u}h=\rho_w(1+c\Delta)\vec{u}h \quad (7)$$

dove $\Delta=(\rho_s-\rho_w)/\rho_w$. Si noti infine che il termine $\rho_w(1+c\Delta)gh^2/2$ rappresenta la spinta della mistura sulle superfici verticali del volume di controllo (termine $P$ nella figura) mentre $\rho_w(1+c\Delta)gh\partial z_b/\partial x$ e $\rho_w(1+c\Delta)gh\partial z_b/\partial y$, dove $z_b$ è la quota del fondo rispetto ad un piano orizzontale di riferimento, rappresentano la spinta del fondo sul volume di controllo (termine $P_b$ nella figura) rispettivamente nella direzione $x$ e $y$. Per quanto riguarda l'espressione dello sforzo tangenziale al fondo e della concentrazione in funzione delle variabili idrodinamiche locali, sono espresse rispettivamente dalle equazioni (2) e (1).

Maggiori dettagli relativi alla derivazione delle equazioni possono essere trovati in Armanini et al. (2009) e nel Manuale Scientifico di WEEZARD.

## BIBLIOGRAFIA


Ancey, C., 2001. Geomorphological Fluid Mechanics 582. https://doi.org/10.1007/3-540-45670-8.

Armanini, A., Fraccarollo, L., & Rosatti, G., 2009. Two-dimensional simulation of debris flows in erodible channels. Computers & Geosciences, 35(5), 993-1006. doi:10.1016/j.cageo.2007.11.008.

Aydin, A., 2006. Stability of saprolitic slopes: nature and role of field scale heterogeneities. Natural Hazards and Earth System Sciences, 6, 89-96.

Beven K. J. & Kirkby M. J. (1979) A physically based, variable contributing area model of basin hydrology / Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant, Hydrological Sciences Bulletin, 24:1, 43-69, DOI: 10.1080/02626667909491834

Bovis MJ, Jakob M. 1999. The role of debris supply conditions in predicting debris flow activity. Earth Surface Processes and Landforms 24: 1039-1054.

Brogi A (2007) The structure of the Mt. Amiata volcano-geothermal area (Northern Apennines, Italy): Neogene-Quaternary compression versus extension. Int J Earth Sci. doi:10.1007/s00531-007-0191-1.

Certini G., Wilson M.J., Hillier S.J., Fraser A.R. e Delbos E. (2006) Mineral weathering in trachydacitic derived soils and saprolites involving formation of embryonic halloysite and gibbsite at Mt. Amiata, Central Italy. Geoderma, 133, 173-190.

Chow, Ven Te, 1959: Open-channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York. 680 pp

Conticelli, S., Boari, E., Burlamacchi, L., Cifelli, F., Moscardi, F., Laurenzi, M.A., Ferrari Pedraglio, L., Francalanci, L., Benvenuti, M.G., Braschi, E., Manetti, P., 2015. Geochemistry and Sr-Nd-Pb isotopes of Monte Amiata Volcano, Central Italy: evidence for magma mixing between high-K calc-alkaline and leucititic mantle-derived magmas. Ital. J. Geosci. 134, 268-292.

D'Agostino, 1996b, "Analisi quantitativa e qualitativa del trasporto solido torrentizio nei bacini montani del Trentino orientale - Scritti dedicati a Giovanni Tournon", Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, 111-123, IN Ferro V., 2008, "Sistemazione dei bacini montani e difesa del suolo", Nuova BIOS, Castrovillari (CS), ISBN-10: 978-88-6093-042-2.

Ferrari, L., Conticelli, S., Burlamacchi, L., Manetti, P., 1996. Volcanological evolution of the Monte Amiata, Southern Tuscany: new geological and petrochemical data. Acta Vulcanol. 8 (1), 41-56.

Green, W.H., G. Ampt. 1911. Studies of soil physics, part I - the flow of air and water through soils. J. Ag. Sci. 4:1-24.

Homer, C. G., Dewitz, J. A., Yang, L., Jin, S., Danielson, P., Xian, G., Coulston, J., Herold, N. D., Wickham, J. D., & Megown, K. (2015). Completion of the 2011 National Land Cover Database for the conterminous United States - Representing a decade of land cover change information. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 81(5), 345-354. https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=309950

Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L., 2014. The Varnes classification of landslide types, an update Landslides. https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y.

IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland.

Irfan, T.Y., 1998. Structurally_controlled_landslides_in_saprolitic_soils_in_Hong_Kong. Geotechnical and Geological Engineering, 1998, 16 215-238.

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.

Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., Thieken, A.: Review article "Assessment of economic flood damage", Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 1697-1724, doi:10.5194/nhess-10-1697-2010, 2010.

O'Brien J.S., Jorgensen G.R., Garcia R. FLO-2D Software Version 2009. FLO-2D Software, Inc, Nutrioso, AZ (2009).

Pavich, M.J., 1986. Processes and rates of saprolite production and erosion on a foliated granitic rock of the Virginia Piedmont. In: Colman, S.M., Dethier, D.P. (Eds.), Rates of Chemical Weathering of Rocks and Minerals. Academic Press, Orlando, FL, pp. 551-590.

Petrucci, O.; Aceto, L.; Bianchi, C.; Bigot, V.; Brázdil, R.; Pereira, S.; Kahraman, A.; Kılıç, Ö.; Kotroni, V.; Llasat, M.C.; Llasat-Botija, M.; Papagiannaki, K.; Pasqua, A.A.; Řehoř, J.; Rossello Geli, J.; Salvati, P.; Vinet, F.; Zêzere, J.L. Flood Fatalities in Europe, 1980-2018: Variability, Features, and Lessons to Learn. Water 2019, 11, 1682. https://doi.org/10.3390/w11081682.

Principe, C., Vezzoli, L., La Felice, S., 2017. Stratigrafia ed evoluzione geologica del vulcano di Monte Amiata. In: Principe, C., Lavorini, G., Vezzoli, L. (Eds.), Il vulcano di Monte Amiata. Edizioni Scientifiche e Artistiche, Nola, pp. 85-101.

Principe, C., Vezzoli, L., 2021. Characteristics and significance of intravolcanic saprolite paleoweathering and associate paleosurface in a silicic effusive volcano: The case study of Monte Amiata (middle Pleistocene, Tuscany, Italy). Geomorphology, 392, https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107922.

Regione Toscana - Direzione difesa del suolo e Protezione Civile centro funzionale della Regione Toscana - Consorzio LaMMA - Settore Idrologico "REPORT DI EVENTO 27-28 LUGLIO 2019" Ultimo aggiornamento:30/07/2019.

Rosatti, G., Zugliani, D., 2015. Modelling the transition between fixed and mobile bed conditions in two-phase free-surface flows: The composite Riemann problem and its numerical solution. Journal of Computational Physics, 285, 226-250. doi:10.1016/j.jcp.2015.01.011

Rosatti, G., Zorzi, N., Zugliani, D., Piffer, S., Rizzi, A., 2018. A web service ecosystem for high-quality, cost-effective debris-flow hazard assessment. Environ. Model. Softw. 100, 33-47.

Stoffel, M., Mendlik, T., Schneuwly-Bollschweiler, M., Gobiet, A., 2014. Possible impacts of climate change on debris-flow activity in the Swiss Alps. Clim. Change 122 (1e2), 141e155.

Takahashi, T., 1978. Mechanical characteristics of debris flow. Journal of Hydraulic Division—ASCE 104 (8), 1153-1169.

Takahashi, T., 2007. Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures. Leiden: Taylor & Francis/Balkema.

Theron, E., Le Roux, P., Hensley, M., Van Rensburg, L. (2010). Evaluation of the Aardvark constant head soil permeameter to predict saturated hydraulic conductivity. WIT Transactions on Ecology and the Environment 134: 153-162.

UE, 2007. Flood Directive. 2007/60/EC.

Zauyah, S., Schaefer, C.E.G.R., Simas, F.N.B. (2010). Saprolites. In: Stoops, G., Marcelino, V., Mees, F., ed.: Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths, DOI: 10.1016/B978-0-444-53156-8.00004-0, ISBN 978-0-444-53156-8, Elsevier.


## SITOGRAFIA


[1] https://tool.weezard.eu

[2] http://www.weezard.eu/index.php/tutorial

[3] https://www.sir.toscana.it/pluviometria-pub

[4] https://www502.regione.toscana.it/geoscopio/fototeca.html

[5] http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/geologia.html

[6] https://www.facebook.com/munteanu.camy/videos/2578268685525337/

[7] http://www.amiatanews.it/

[8] http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html?

[9] https://www502.regione.toscana.it/geoscopio/usocoperturasuolo.html

## TESI DI LAUREA

**Abstract della Tesi magistrale partecipante al Premio di Laurea "David Giuntini"**

# DETERMINAZIONE DEI VALORI DI FONDO DI CR, CO, NI NEL BACINO DEL TORRENTE STURA

## (Comune di Barberino di Mugello)

**Candidata: FEDERICA MELONI**

(*attualmente dottoranda presso l'Università di Firenze con una tesi di dottorato dal titolo:*
Mercury and metalloid background and baseline in soils, water, and stream sediments:a geochemical approach in the eastern portion of the Mt. Amiata district (Southern Tuscany, Central Italy)
UNIVERSITA' di FIRENZE

## Introduzione

La determinazione del valore di fondo (background) di un elemento nei suoli di una certa area è un parametro necessario per comprendere se le concentrazioni ritrovate siano imputabili ad attività antropica o derivino dalla natura geologica sulla quale i suoli si sono sviluppati. Questo lavoro di tesi si inserisce all'interno di una convenzione di ricerca fra Autostrade per l'Italia S.p.A. e il Dipartimento di Scienze della Terra di Firenze e prende in considerazione il bacino idrografico del Torrente Stura (Comune di Barberino di Mugello, Toscana nord-orientale) dove al suo interno si localizza il Lotto 12 della Variante di Valico denominato "Area FEIRA S.c.r.l.". Nell'ambito dell'indagine FEIRA, furono effettuati campionamenti di "bianco" di terreno in aree adiacenti ai cantieri, evidenziando la presenza di Cobalto in concentrazioni superiori alle CSC per destinazione a verde pubblico (pari a 20 mg/kg), ma conformi all'utilizzo delle aree all'interno di un cantiere di lavoro. In questo studio è stata condotta, tra Maggio e Luglio 2019, una nuova campagna di campionamento con personale SATA che ha previsto il prelievo e l'analisi di 69 campioni di cui 27 rocce, 25 suoli e 17 sedimenti fluviali per determinare i valori di fondo (background) di Cr, Co e Ni nell'area investigata attraverso l'ausilio di metodi statistici. Subordinatamente sono stati anche analizzati Cd, Cu, Pb, V e Zn, i quali possono avere affinità con gli elementi sopra citati o essere associati geochimicamente tra di essi o derivanti da pratiche antropiche. Questa serie di campioni è stata integrata con 74 campioni di suolo prelevati a Settembre 2019 da "Autostrade S.p.A." e SATA, in contraddittorio con ARPAT. I risultati ottenuti sono stati confrontati con le CSC della Tabella 1 A dell'Allegato 5 Titolo V parte quarta del D.Lgs. 152/06, per evidenziare se questi siano da riferirsi alle caratteristiche di fondo naturale delle formazioni geologiche presenti nell'areale di interesse. È stata effettuata la distinzione in base all'uso del suolo e verificata la presenza di concentrazioni di metalli pesanti che risultassero superiori alle CSC. Sono stati ulteriormente confrontati con i limiti di legge imposti dal Decreto n.46 del 1 marzo 2019 ai sensi dell'Art. 241 del D.Lgs 152/06.

## Inquadramento geologico ed uso del suolo

L'area di studio (Fig. 1) si estende all'interno del Comune di Barberino di Mugello per una superficie di circa 21.3 km$^2$. È ubicata nella zona di WNW del bacino intermontano del Mugello, nel quale scorre il Torrente Stura, affluente della Sieve e passante all'interno della città di Barberino stessa, con affluenti destri principali il Torrente Aglio ed il Torrente Navale. Da un punto di vista strutturale, il bacino viene descritto come un semigraben con una master fault sul bordo sud-occidentale [1,2]. Lo sviluppo di questo bacino è stato tradizionalmente attribuito ad un'estensione crostale [3], anche se nuove evidenze regionali indicano possibili pulsazioni tettoniche compressive alternate con estensioni crostali [4,5,6]. Il substrato del bacino è costituito da unità tettono-sedimentarie impilate in un sistema di copertura a thrust sviluppato durante il Terziario in un ambiente continentale collisionale [7]. Le più interne e geometricamente più alte, che si ritrovano nell'area di studio, sono le Unità tettoniche Liguri esterne (Supergruppo

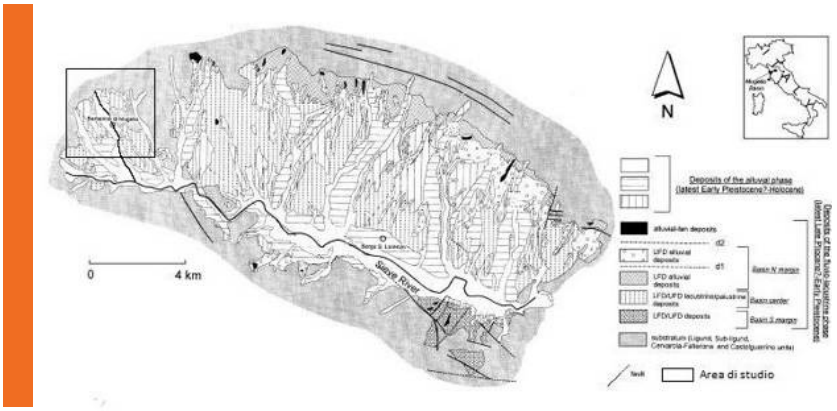



**FIGURA 1**
Bacino intermontano del Mugello ([8] modificato in questo studio)

della Calvana) le quali si sovrappongono a quelle del Dominio Toscano (Unità Tettonica del Cervarola).
Nei fondovalle e nelle pianure si ritrovano sedimenti fluviali appartenenti al Sintema del Mugello e al Sintema del Fiume Sieve a loro volta suddivisi in subsintemi [9].
L'uso del suolo vede principalmente la presenza di aree boschive con, lungo la valle dello Stura, ampi coltivi alternati ad allevamenti biologici e coltivazioni di castagneti da frutto. La parte settentrionale è caratterizzata da zone di cantiere ed edifici in costruzione, le quali sono in continuità con la nuova rete autostradale ("Variante di Valico").

## Materiali e metodi

Sono state condotte due campagne di campionamento tra Maggio e Luglio 2019 durante le quali sono stati: 27 rocce, 25 top-soils (0-30 cm) e 17 sedimenti fluviali. A Settembre 2019 è stata effettuata da "Autostrade per l'Italia S.p.A." e SATA e in contraddittorio da ARPAT una terza campagna di campionamento, dove sono stati raccolti ulteriori 74 top-soils per incrementare il data set disponibile per la determinazione del background. I punti di prelievo sono stati selezionati considerando l'assetto geologico del territorio per ottenere una distribuzione tale da garantire la maggiore copertura areale possibile. Il campionamento è stato effettuato mediante saggi manuali realizzati attraverso l'impiego di utensili manuali. I campioni sono stati essiccati e successivamente sottoposti a trattamenti differenziati in funzione della tipologia di matrice geologica. Dalle rocce, sulla base delle diverse litologie campionate, sono stati opportunamente scelti 15 frammenti per creare altrettante sezioni sottili destinate all'analisi petrografica in microscopia ottica a luce trasmessa. Su tutti i 69 campioni, previa segagione, inquartatura e macinazione per le rocce e setacciamento al vaglio 2 mm e a 180 µm, rispettivamente, per i suoli e i sedimenti fluviali e successiva macinazione su richiesta di ARPAT, sono state effettuate le seguenti analisi: analisi calcimetrica tramite calcimetro di Deitrich-Früling, determinazione del pH secondo il metodo IRSA-CNR (1985), LOI e analisi XRD su 36 campioni, utilizzando un diffrattometro per polveri con sensibilità al 4% in peso presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze, analisi XRF presso i Laboratori del CRIST ed analisi dei metalli pesanti seguendo il metodo EPA 3051A[10] ed EPA6010D[11] presso laboratori certificati ACCREDIA del Gruppo C.S.A. Ricerche di Rimini. Le analisi (calcimetria, pH, contenuto totale di metalli) dei restanti 74 campioni di suolo sono stati eseguiti presso i laboratori ACCREDIA di Ambiente S.p.A. di Carrara. Per l'analisi delle concentrazioni dei metalli pesanti sono stati, in questo caso, utilizzati i metodi EPA 3051A[10] e EPA 6020B[12]. Per ottenere un data set avente concentrazioni dei metalli pesanti all'interno dei suoli paragonabile con quello fornito da SPEA, le concentrazioni relative al passante < 2 mm sono state ricalcolate tenendo conto dello scheletro.

### *Analisi statistica*

L'analisi statistica ha riguardato tutti i 143 campioni per Cr, Co e Ni. Inizialmente è stata effettuata un'analisi di statistica descrittiva e, come evidenziato da [13], le concentrazioni naturali dei vari elementi nei suoli mostrano una ampia variabilità regionale e locale in funzione della litologia e del tipo di copertura. Considerata la disomogeneità litologica dell'area in esame, prima di calcolare il background di Cr, Co e Ni, è stato computato un valore che rappresentasse più litologie possibili. Le tre variabili sono state suddivise su base litologica e, successivamente, sono state ordinate in ordine crescente. Inizialmente, per i tre elementi sono stati costruiti dei "Ridge plots", tramite il pacchetto di R ggplot2 [14]. Questa tipologia di grafico mostra la distribuzione dei valori numerici per diversi gruppi utilizzando la densità di Kernel. Le litologie vengono allineate sulla stessa scala orizzontale andando così a delineare delle sovrapposizioni tra le curve di densità. Da queste sovrapposizioni è stato possibile individuare, descrittivamente, un range di valori definito dall'osservazione dei valori dei dati logaritmici riportati sull'asse X, entro il quale si ha il massimo accavallamento delle curve. Successivamente, sono state individuate tre classi. Per osservare la disposizione dei dati, sono stati costruiti dei violin-plots, sempre suddivisi per litologia, tramite il pacchetto R vioplot [15] i quali, rispetto ai box-plot, permettono di osservare anche la densità di probabilità dei dati tramite la densità di Kernel e capire se le varie popolazioni siano o meno multimodale. Infine, tramite il software ProUCL 5.1, è stata definita la statistica di base per le tre classi individuate e il tipo di distribuzione. Una volta determinati i valori delle tre classi, questi sono stati riportati su Qgis, per costruire le mappe di concentrazione dei tre elementi.

## Risultati e discussione

### Indagini petrografiche e mineralogiche

Lo studio petrografico delle sezioni sottili ha confermato la presenza delle principali fasi mineralogiche riconosciute via XRD: quarzo, calcite, plagioclasio, lizardite e crisotilo (evidenziato nel campione ST22 di serpentino). Il campione ST28, il quale, da carta geologica, è riferito alla F.ne della Pietraforte, non risulta appartenere alla suddetta formazione, a causa della significativa presenza di K- e Na-Ca-feldspati. Infatti, secondo [16], la componente feldspatica nella F.ne della Pietraforte è rara/assente (<7 wt.%) con il plagioclasio di gran lunga il costituente principale. La composizione mineralogica del campione ST28 è litologicamente simile a quella di ST30 (F.ne del Torrente Carigiola). Ne consegue, che nell'area di prelievo di ST28 sia presumibilmente presente una finestra tettonica non cartografata dell'Unità tettonica del Cervarola. Ciò è suffragato anche dal fatto che, leggermente più a Nord rispetto al punto di prelievo dell'ST28, sia stata riconosciuta un'altra finestra tettonica dove la F.ne dell'Acquerino affiora all'interno della F.ne del Mt. Morello [9]. Nel campione ST30, la cospicua presenza di cemento calcareo osservata in sezione sottile è ulteriormente confermata dalla carta geologica, in quanto questo campione è stato prelevato in prossimità del crinale appenninico e la composizione mineralogica è simile a quella della vicina F.ne di Castiglione di Pepoli, dove la stessa mineralogia continua nella F.ne della Marnosa Arenacea [17].

Dai campioni di roccia del ST46 caotico, si è potuto osservare in sezione sottile la presenza di due differenti tipologie di roccia: una Breccia Milonitica ed un Oficalcio. Come nel caso precedente, la carta geologica (foglio 252 CARG) non evidenzia la loro presenza né ne viene fatta menzione all'interno delle note illustrative [9]. La presenza di queste rocce all'interno di un ambiente tettonico, chiaramente complicato, non è del tutto scontata considerando il fatto che queste litologie si ritrovano all'interno della F.ne di Sillano dove sono presenti piccoli lembi ofiolitici non cartografabili [9].

### pH e Calcimetria

I valori di pH evidenziano come le varie matrici analizzate siano tendenzialmente alcaline (valore medio 8.09±0.57) dovuto all'interazione con rocce di natura silicatica a causa di processi di idrolisi alcalina [18]. I due campioni di suolo TCG (14 e 31), appartenenti alla F.ne del Torrente Carigiola, sono risultati avere un pH leggermente acido a cui si associa una bassa concentrazione di calcite (ca. 2%) che non è sufficiente ad innalzare il pH. Il diagramma binario di Fig. 2 pone in relazione la concentrazione di CaCO3 vs. pH.

Il coefficiente di correlazione fra queste due variabili è r=0.50 ed è in accordo con quanto riportato su Foregs a livello europeo (r=0.49). Questa correlazione non è però data dal graduale aumento di entrambi valori, ma si verifica un chiaro passaggio a pH=6.6 tra suoli basici e suoli acidi a basso contenuto in Ca. L'analisi in XRD evidenzia il netto decremento di calcite passando dalla roccia madre al suolo. Questo indica che nei suoli della F.ne del Torrente Carigiola, la calcite presente nella roccia madre sia stata alterata e non ci siano altri composti in grado di svolgere la funzione di tampone con conseguente abbassamento del pH. I sedimenti fluviali evidenziano pH alcalini confermati dall'analisi calcimetrica ove, come fase carbonatica, registrata anche per XRD sia presente anche dolomite.

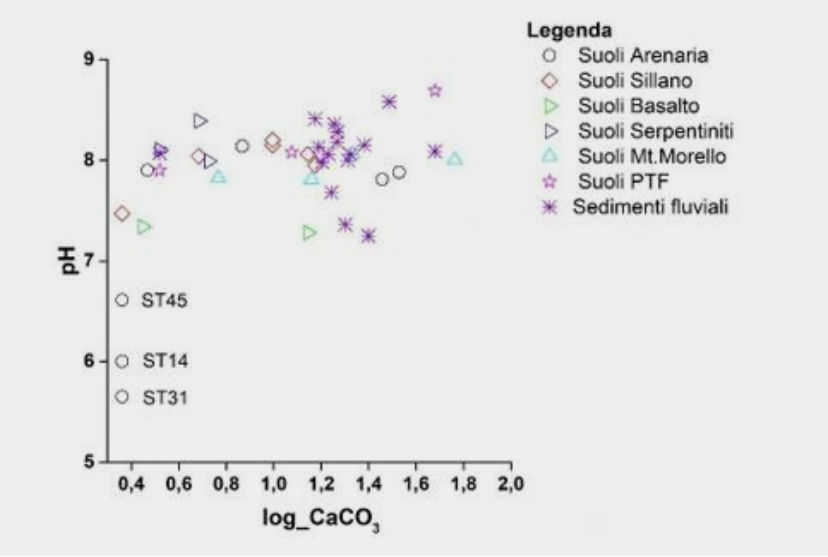



**FIGURA 2**

$CaCO_3$ (dati logaritmici) vs. pH dei suoi sedementi

### XRF

Scegliendo gli ossidi più rappresentativi delle matrici geologiche analizzate (SiO2, CaO, MgO) è stato realizzato il grafico ternario (Fig. 3), dal quale possiamo evidenziare come SiO2 e CaO siano le componenti principali di rocce, suoli e sedimenti fluviali dell'areale investigato. Infatti, tutti i campioni, ad eccezione delle rocce ultrabasiche e dei suoli associati ad alte concentrazioni di MgO, si dispongono lungo l'asse CaO-SiO2. È evidente la tendenza dei campioni di rocce e suoli basaltici a spostarsi dall'andamento generale, direzionandosi verso il lato del MgO. Oltre a questi, si osserva come il campione ST13, appartenente alla F.ne di Sillano, tenda a seguire l'andamento delle rocce e dei suoli basaltici. Questo campione possiede infatti una significante componente basaltica, la quale va a determinare questo shift. Riassumendo, la mineralogia del substrato influenza fortemente quella dei suoli e dei sedimenti fluviali, escludendo, almeno sulla base degli elementi maggiori, una componente antropica all'interno degli stessi.

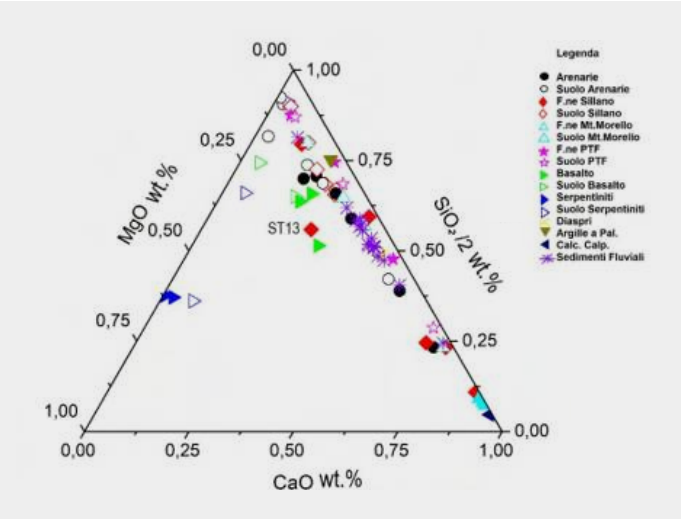



FIGURA 3

Diagramma triangolare $SiO_2/2$, CaO, MgO in wt.% dei 69 campioni analizzati in questo studio

## Metalli pesanti

Dopo aver effettuato il ricalcolo allo scheletro, solo le concentrazioni di Cr e Ni nei suoli serpentinitici sono risultate essere superiori a quelle delle CSC.

Cromo, Cobalto, Nichel e Vanadio nei suoli e nei sedimenti fluviali

Confrontando i valori mediani di Cr, Co e Ni dei suoli e dei sedimenti fluviali con quelli ripresi da [18] (Tab.1), le rispettive mediane risultano essere superiori a quelle europee per gli stessi elementi. Questo rispecchia quanto affermato da [19], per il quale la zona dell'Appennino Settentrionale è caratterizzata da un'anomalia in questi metalli rispetto ad altre zone europee (escluso la penisola Balcanica) ed imputabile a sorgenti geogeniche. Per capire se l'origine di questi tre metalli possa ritenersi comune, considerando la correlazione positiva presente tra questi tre metalli all'interno dei suoli e dei sedimenti fluviali come affermano [20,21,22], dovuta all'alterazione delle rocce madri, sono stati costruiti i grafici Cr vs Ni e Cr vs Co (Fig. 4a,b). Si può osservare come esista una stretta dipendenza, confermata anche dal coefficiente di correlazione, associata ad una stessa origine geogenica.

Per Co e V si osserva una scarsa correlazione poichè l'estrazione in acqua regia non solubilizza gli ossidi ove si alloca prevalentemente il V [23], e circa metà del contenuto reale ne viene estratto [18]. Le concentrazioni più alte di Cr, Co e Ni nei sedimenti fluviali, si ritrovano in corrispondenza della zona di drenaggio ofiolitico.

| Suolo | Cr ppm | Co ppm | Ni ppm |
|---|---|---|---|
| Mediana campioni | 40.8 | 9.9 | 33.5 |
| Mediana Europea | 22.4 | 7.0 | 14.0 |
| **Sedimenti Fluviali** | **Cr ppm** | **Co ppm** | **Ni ppm** |
| Mediana campioni | 56.4 | 12.6 | 59.8 |
| Mediana Europea | 22.0 | 8.0 | 16.0 |

## *Cadmio, Piombo, Rame e Zinco nei suoli e nei sedimenti fluviali*

Come è noto in letteratura [20], Cadmio, Piombo, Rame e Zinco sono elementi calcofili anche se possono derivare da pratiche agricole. Sono stati quindi costruiti i grafici Zn vs Cd (Fig. 5a), aventi un comportamento chimico simile [18,24], e Zn vs Cu (Fig. 5b). Il primo grafico denota: i) un arricchimento di entrambi i metalli nei sedimenti fluviali con correlazione positiva e ii) la presenza due andamenti. Il primo è delineato da suoli e sedimenti fluviali con i contenuti di Zn che incrementano all'aumentare di quelli di Cd. Il secondo riguarda quei suoli che hanno maggiori concentrazioni di Zn rispetto a Cd. Anche in questo grafico si notano due andamenti: quello di destra evidenzia un maggiore accumulo dei due elementi nei sedimenti fluviali mentre l'andamento di sinistra è attribuibile a quei suoli con concentrazioni di Cu e Zn pressoché uguali e simili a ST39 e ST41, i quali possiedono una concentrazione di Cu maggiore rispetto a quella degli altri campioni. In base alla loro ubicazione sulla mappa dell'uso del suolo, questi siti sono prossimi a zone residenziali dis-

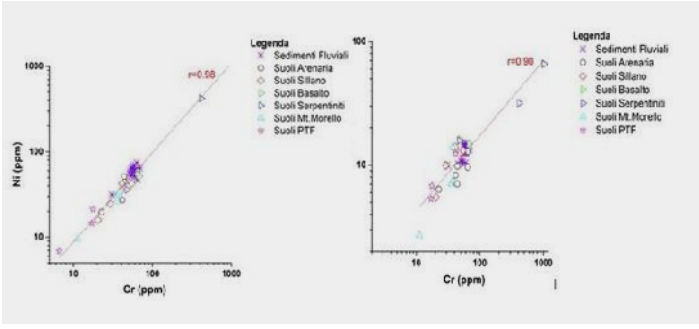



FIGURA 4A,B

Diagramma binario Cr (ppm) vs Ni (ppm) e Cr (ppm) vs Co (ppm) dei campioni di suoli e sedimenti fluviali

continue e nei dintorni di campi seminativi irrigui e non irrigui. Pertanto, l'arricchimento di Cu potrebbe essere dovuto a pratiche agricole dove esso viene ampiamente utilizzato. Tuttavia, è da rilevare che ST39 eST41 sono caratterizzati da una concentrazione relativamente elevata di Zn. Quindi, non è possibile escludere una sorgente geogenica anche per questi campioni. Il Pb si ritrova arricchito nei sed imenti

TABELLA 1

Concentrazioni mediane di Cr, Co e Ni nei suoli e sedimenti fluviali dei campioni di questo studio confrontati con i valori mediani di questi tre elementi a scala Europea [18].

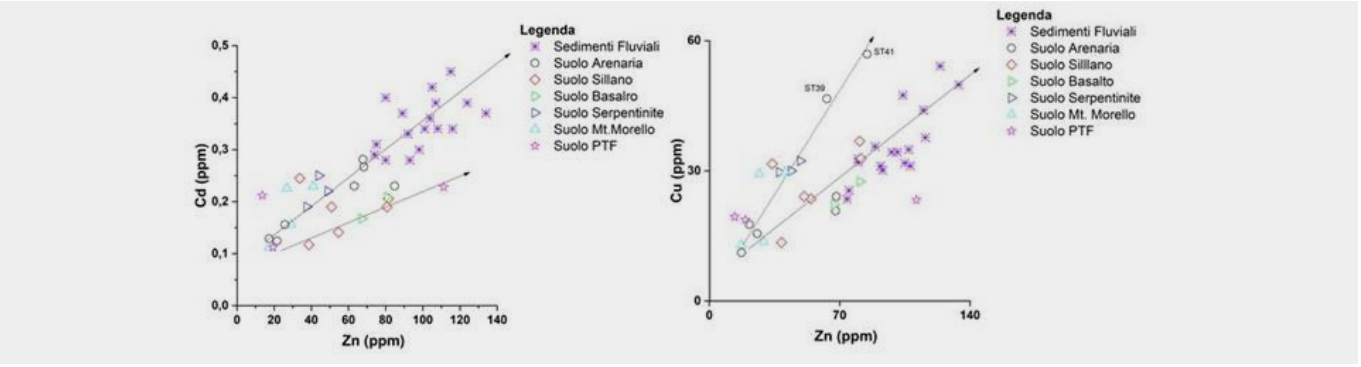



**FIGURA 5A,B**

Diagramma binario Zn (ppm) vs Cd (ppm) e Zn (ppm) vs Cu (ppm) dei campioni di suoli e sedimenti fluviali

fluviali per fenomeni di co-precipitazione e di adsorbimento di polveri atmosferiche o altri inquinanti contenenti piombo [24]. Non si rileva alcuna correlazione con gli altri elementi calcofili analizzati.

## *Determinazione del Background*

L'analisi descrittiva di Cr, Co e Ni dei 143 campioni (Tab. 2) ha rilevato che tutte le variabili considerate non mostrano una buona simmetria rispetto alla media aritmetica quale baricentro, in quanto si nota una forte asimmetria positiva a causa di una certa prevalenza di valori bassi con pochi ed isolati valori alti, come confermato anche dal test di Anderson-Darling.

| Metallo | N | Min (ppm) | Max (ppm) | Media | Mediana | SD | Skewness |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cr | 143 | 2.3 | 1938.0 | 89.2 | 46.0 | 225.3 | 6.10 |
| Co | 143 | 1.3 | 84 | 16.5 | 14.6 | 12.70 | 3.11 |
| Ni | 143 | 3.6 | 1554.0 | 103.5 | 60.0 | 229.6 | 5.18 |

**TABELLA 2**

Statistiche principali riguardanti Cr, Co e Ni

Dai Ridges-plots (Fig. 6a) è stato individuato il range di valori dei tre elementi: 3.5 e 4.5 per Cr e Ni, 2.5 e 3.5 per Co. Da questo sono state individuate tre classi:

- Classe M: valori più bassi;
- Classe N: valori con la maggiore frequenza di distribuzione;
- Classe O: valori più alti della distribuzione di natura geogenica.

Per osservare la distribuzione, sono stati costruiti i violin-plots (Fig. 6b). Nelle Tab. 3-5, relative, rispettivamente, a Cr, Co e Ni, sono riportati i risultati della statistica di base determinati con ProUCL 5.1, dai quali si può evincere come la classe N, per tutte e tre le variabili, sia quella caratterizzata dal maggior quantitativo di dati e quindi, utilizzabile come riferimento per una possibile determinazione del background.

Nelle mappe di concentrazione di Fig. 7, la distribuzione di ogni elemento individuata dalla classe N va a ricoprire la maggiore distribuzione dei dati. I valori più alti si dispongono

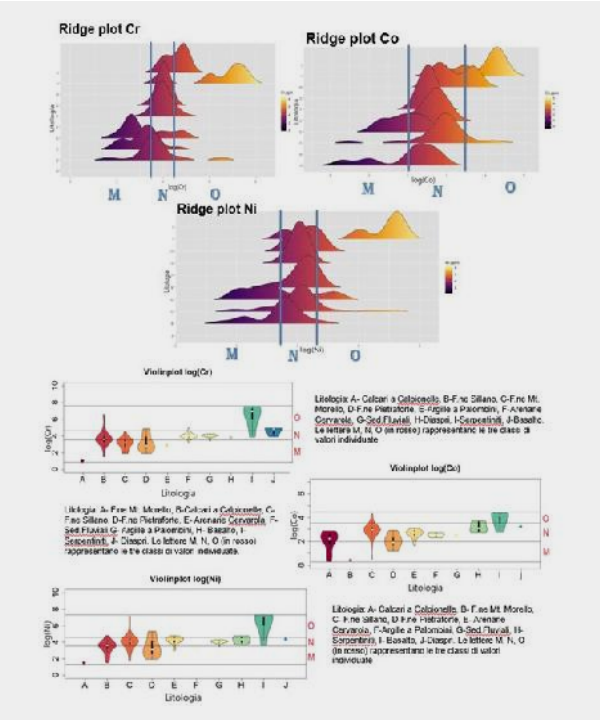



**FIGURA 6**

Ridges plots di Cr, Co e Ni (in alot) e Violin plots di Cr, Co e Ni

in corrispondenza delle zone ofiolitiche o in presenza di quelle litologie dove possiamo ritrovare piccoli affioramenti ofiolitici non cartografabili [9].

In base alla distribuz ione delle concentrazioni nelle litologie, delle loro distribuzioni su carta geologica ed individuata la classe con maggiore frequenza di dati, si può ritenere opportuno considerare come possibili "valori di fondo" i dati ottenuti dalla somma della mediana della classe N più la deviazione media assoluta (MAD). In questo caso, è più opportuno riferirsi ad una baseline piuttosto ad un background, cioè quel

| Classe | N | Min (ppm) | Max (ppm) | Mean | Mediana | Geo-mean | SD | SEM | MAD/0.67 | Skewness | CV | DISTR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M | 40 | 2.3 | 32.0 | 18.9 | 21.3 | 16.4 | 8.7 | 1.4 | 10.3 | -0.18 | 0.46 | N |
| N | 88 | 30.8 | 98.0 | 53.2 | 51.9 | 51.5 | 14.5 | 1.5 | 12.2 | 1.11 | 0.27 | LN/G |
| O | 15 | 107.0 | 1938.0 | 483.5 | 140.0 | 277.8 | 563 | 145.5 | 44.5 | 1.65 | 1.17 | NP |
| Classe | N | Min (ppm) | Max (ppm) | Mean | Mediana | Geo-mean | SD | SEM | MAD/0.67 | Skewness | CV | DISTR |
| M | 20 | 1.3 | 7.1 | 4.4 | 4.4 | 3.7 | 2.1 | 0.5 | 2.9 | -0.17 | 0.49 | N |
| N | 116 | 7.5 | 34.0 | 15.9 | 15.9 | 15.1 | 5.3 | 0.5 | 4.4 | 1.04 | 0.33 | LN/G |
| O | 7 | 38.8 | 84.0 | 62.5 | 65.8 | 60.2 | 17.4 | 6.6 | 16.6 | -0.40 | 0.28 | N |
| Classe | N | Min (ppm) | Max (ppm) | Mean | Mediana | Geo-mean | SD | SEM | MAD/0.67 | Skewness | CV | DISTR |
| M | 31 | 3.6 | 33.0 | 18.7 | 19.3 | 15.88 | 9.4 | 1.7 | 12.5 | -0.07 | 0.50 | N |
| N | 95 | 33.5 | 97.0 | 64.0 | 62.4 | 61.66 | 17.1 | 1.8 | 18.2 | 0.21 | 0.21 | LN |
| O | 17 | 100.0 | 1554.0 | 473.3 | 180.0 | 267.6 | 540.0 | 131.0 | 103.8 | 1.24 | 1.14 | NP |

**TABELLA 3,4,5**

Suddivisione nelle classi M, N e O delle concentrazioni di Cr, Co e Ni con statistiche descrittive e tipologia di distribuzione (N= normale; LN/G= log-normale/gamma; NP= non parametrica).

dato avente il valore più frequente e, quindi, più diffuso a livello spaziale. Perciò per Cr possiamo considerare come probabile valore di baseline 51.9 ± 12.2 ppm, per Co 15.9 ± 4.4 ppm e per Ni 62.4 ± 18.2 ppm.

## Conclusioni

Sebbene i valori di fondo siano generalmente determinati, secondo la normativa vigente, sulla copertura pedologica (< 30 cm), sono stati determinati metalli pesanti anche nelle rocce sulle quali tali suoli si sono sviluppati, in quanto mantengono, soprattutto in climi temperati, la memoria geochimica del substrato, e nei sedimenti fluviali poiché il loro segnale geochimico registra la variabilità composizionale del substrato roccioso e dei suoli. Dalle analisi petro-mineralogiche, l'area di studio presenta affioramenti serpentinitici con crisotilo. È stata rilevata la presenza di un'altra probabile finestra tettonica non cartografata nel foglio 252 del CARG ed è stata individuata una Breccia Milonita e di un Oficalcio. Tale rinvenimento indica la necessità di un rilevamento geologico di dettaglio per meglio definire l'estensione di queste rocce nell'area di studio.

I metalli pesanti hanno concentrazioni al di sotto delle CSC la cui origine è geogenica ad eccezione di due siti dove non può essere esclusa un'interferenza antropica, verificabile con un campionamento di dettaglio nelle zone adiacenti.

Utilizzando i 69 campioni di questo studio e i 74 campioni forniti da SPEA è stato possibile, tramite l'utilizzo di metodi statistici, determinare un valore di baseline per Cr, Co e Ni nell'area in esame. Dopo aver confrontato i valori ottenuti con le CSC del D.Lgs 152/2006, questi sono risultati essere, per Cr e Ni, inferiori alle CSC, mentre quelli di Co risultano essere concordi con quest'ultimi, ma considerando che i valori ottenuti non tengono conto delle "anomalie" geogeniche riscontrante in questo studio (classe O), poiché limitate ad un'area ristretta ed a un piccolo numero di campioni, queste potrebbero innalzare il valore calcolato e stabilire così un nuovo riferimento per l'area investigata.

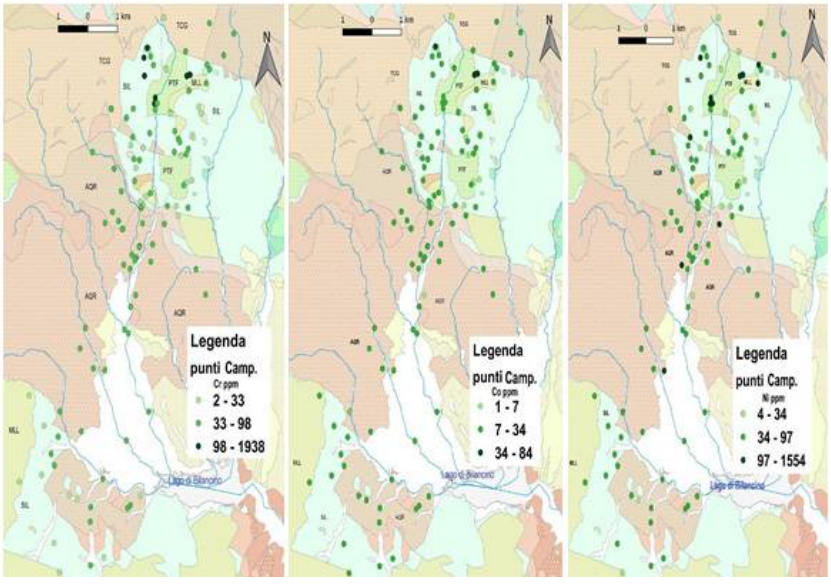



**FIGURA 7**

Mappa di concentrazione del Cr, Co e Ni su carta geologica.

### *Considerazioni sugli aspetti operativi dei valori di fondo e di preparazione dei campioni*

Da questo lavoro di tesi è anche emerso che il D.Lgs 152/06 non tiene conto delle concentrazioni dei vari elementi nelle litologie del substrato, sulle quali si sviluppano i suoli, né dei sedimenti fluviali i quali registrano le variabilità composizionali sia del bedrock che dei suoli. Pertanto, sarebbe opportuno che il valore di background/baseline possa includere nel trattamento statistico, come fatto nel presente studio, sia la composizione chimica del substrato sia quella degli stream. Si evidenzia inoltre la necessità di un protocollo unico di preparazione del campione pre-analisi comunemente accettato dai vari enti ed aziende che si occupano dell'analisi dei metalli pesanti nelle matrici geologiche poiché, come verificato in questo lavoro, sui campioni di suolo forniti da SPEA l'analisi chimica sul sottovaglio a 2 mm è stata condotta senza macinazione, contrariamente a quanto adottato per i campioni nel presente studio. Conseguentemente, la superficie specifica interessata dall'attacco con acqua regia è maggiore per i campioni analizzati nel presente studio rispetto a quelli investigati da Ambiente S.p.A. Ciò potrebbe comportare delle differenze in termini di concentrazione dei metalli analizzati.

## BIBLIOGRAFIA


[1] Benvenuti M. & Papini M., 1997. Depositi continentali Plio-Pleistocenici nell'area di Monte Giovi. Relazioni tra l'evoluzione idrografica e la tettonica della Valdisieve (Firenze). Il Quaternario 10, 105-120.

[2] Martini I.P. & Sagri M., 1993. Tectono-sedimentary characteristics of Late Miocene- Quaternary extensional basins of the Northern Apennines, Italy. Earth Science Reviews 34, 197-233.

[3] Sestini G., 1970. Postgeosynclinal deposition. In: Sestini, G. (Ed.), Development of the Northern Apennines Geosyncline. Sedimentary Geology, Vol. 4, 481-520.

[4] Bernini M., Boccaletti M., Moratti G., Papani G., Sani F. & Torelli L., 1997. Episodi compressivi neogenico quaternari nell'area estensionale tirrenica nord-orientale—Dati in mare e a terra. Memorie della Societa` Geologica Italiana, 577-589.

[5] Boccaletti M., Bonini M., Moratti G. & Sani F., 1995. Le fasi compressive neogenico-quaternarie nell'appenino settentrionale: relazioni con l'evoluzione dei bacini interni e con la tettonica del basamento. Studi Geologici Camerati, Volume Speciale 1995/1, 51-72.

[6] Boccaletti M., Gianelli G. & Sani F., 1997. Tectonic regime, granite implacement and crustal structure in the inner zone of the Northern Apennines (Tuscany, Italy): a new hypothesis. Tectonophysics 270,127-143.

[7] Vai G.B., 2001. Structure and stratigraphy: an overview. In: Vai,G.B., Martini, I.P. (Eds.), Anatomy of an Orogen: The Apennines and the Adjacent Mediterranean Basins. Kluwer Academicic Publishing Dordrecht, 15-31.

[8] Benvenuti M., 2003. Facies analysis and tectonic significance of lacustrine fan-deltaic successions in the Pliocene-Pleistocene Mugello Basin, Central Italy. Sedimentary Geology 157,197-234.

[9] Bettelli G., Boccaletti M., Cibin U., Panini F., Pocclanti C. Roselli S. & Sani F., 2005. Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 foglio 252 Barbebrino di Mugello.

[10] EPA, 2007. Method 3051 a. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils,and oils.

[11] EPA, 2015. EPA Method 6010D.

[12] EPA, 2014. EPA Method 6020B (SW-846): Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.

[13] Salminen R. & Tarvainen T., 1997. The problem of defining geochemical baselines. A case study of selected elements and geological materials in Finland. Journal of Geochemical Exploration, 91-98.

[14] R ggplot2 (https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html)

[15] R vioplot (https://cran.r-project.org/web/packages/vioplot/index.html)

[16] Cipriani C. & Malesani P., 1966. Ricerche sulle arenarie, XIII. La Pietraforte. Bollettino Società Geologica italiana, 299-332.

[17] Cibin U., Di Giulio A, Martelli L., Catanzariti R., Poccianti S., Roselli C. & Sani F., 2004. Factors controlling foredeep turbidite deposition: the case of Northern Apennines (Oligocene-Miocene, Italy). Geological Socety of London, Special Publications, 222, 115-134.

[18] Foregs. (s.d.). Tratto da Foregs: http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps_table.php

[19] Albanese S., Sadeghi M., Lima A., e altri 80, 2015. GEMAS: Cobalt, Cr, Cu and Ni distribution in agricultural and grazing land soil of Europe. Journal of Geochemical Exploration, 154, 1-13.

[20] De Vivo B & Lima A., 1995.Elementi e metodi di geochimica ambientale. Editore Liguori:p.508

[21] Dinelli E., Lucchini F., Mordenti A. & Paganeli L, 1999a. Geochemistry of Oligocene-Miocene of Northern Apennines (Italy) and evolution of chemical features in relation to provenance changes.
Sedimentary Geology 127,193-207

[22] Dinelli E., Cortecci G., Lucchini F. & Zantedeschi E., 2005. Sources of major and trace elements in the stream sediments of the Arno river catchment (northern Tuscany, Italy). Geochemical Journal, Vol.39,534- 545.

[23] Kabata -Pendias A. & Pendias H., 2001. Trace elements in soils and plants. CRC Press LLC: p.432.

[24] De Vivo B., Lima A. & Siegel F. R., 2004. Geochimica ambientale. Metalli potenzialmente tossici.
Editore Liguori: p.449.



Mappo Geognostica

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

Autorizzazione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti ad effettuare e certificare prove geotecniche sui terreni n. 5021 del 24 maggio 2011

ANNO XXXIII N°116 • MAGGIO 2022

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 Giannecchini, Brunella Raco, Enrico Tavarnelli

## COMITATO DI REDAZIONE

Giancarlo Lari, Guido Lavorini, Andrea Martini, Donato Merola, Maria Chiara Piccardi, Stefafno farinelli, 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

## CREATIVITA E GRAFICA

Agicom srl

## STAMPA

Spadamedia Sri

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

Fatti salvo gli obblighi di legge, la redazione declina ogni responsabilita 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 e 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.

# FORME EROSIVE IN MARNE CHIUSI DELLA VERNA

Foto di S. Farinelli

# La sicurezza di grandi performance su ogni terreno.

# GEO LINE

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

Guarda il video:
**Deep Innovators at work.**

COMACCHIO
DRILLING HI-TECH