

# GEOLOGIA

## TECNICA & AMBIENTALE

### In questo numero

La valutazione del rischio Radon finalizzato alla pianificazione territoriale

Modellazione stocastica della fratturazione (Metodo Discrete Fracture Network) a supporto della stima previsionale di resa all'interno di bacini estrattivi di pietre ornamentali

L'acquifero dei monti di Solofra (Irpinia - Campania): potenzialità idrica sotterranea ed interazioni con la Piana del Torrente Solofrana

Morfologia e archeologia della valle dell'Alcantara



## **Atom Sismografo wireless**

Il nuovo sismografo Geometrics ultra compatto, passivo, wireless, per Vs a elevate profondità, senza più cavi sismici.

# Sottocontrollo.



## **Strumenti ad alta tecnologia anche a noleggio per:**

### **Studio dei fondali e delle coste**

Multibeam, SSS, SBP, sismica marina ...

### **Monitoraggio ambientale**

Magnetometri, elettromagnetometri ...

### **Studio del sottosuolo**

Georadar, sismica, geoelettrica ...

### **Ingegneria civile**

Georadar 3D, laser scanner, inclinometri ...

### **Monitoraggio sismico**

Sismometri, strong motion, reti early warning ...

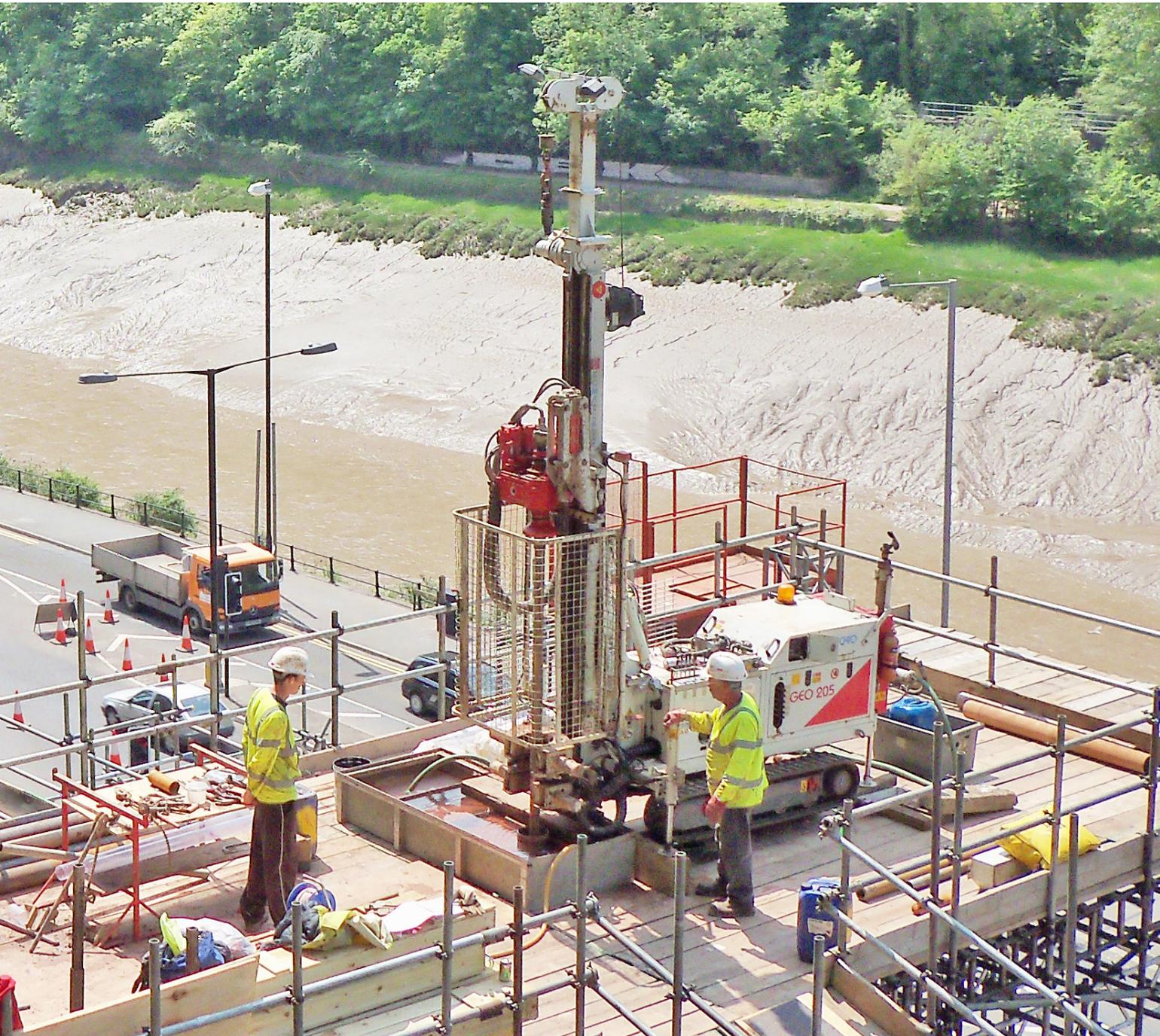


# **CODEVINTEC**

Tecnologie per le Scienze della Terra

tel. +39 02 4830.2175 | [info@codevintec.it](mailto:info@codevintec.it) | [www.codevintec.it](http://www.codevintec.it)

# PART OF YOUR SUCCESS



Dal 1986, mettiamo le esigenze dei nostri clienti al centro del nostro lavoro, offrendo un servizio personalizzato basato sul continuo miglioramento e sviluppo dei nostri prodotti. Lo facciamo grazie a una gamma completa e innovativa di prodotti e soluzioni hi-tech, progettati e realizzati per soddisfare al meglio i requisiti operativi di cantiere e affrontare in tutta sicurezza anche le applicazioni più impegnative.



## COMACCHIO

DRILLING HI-TECH

Scopri come affianchiamo i nostri clienti nel loro lavoro

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





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

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



## Competenza nella idrologia

### Unità di trasmissione 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

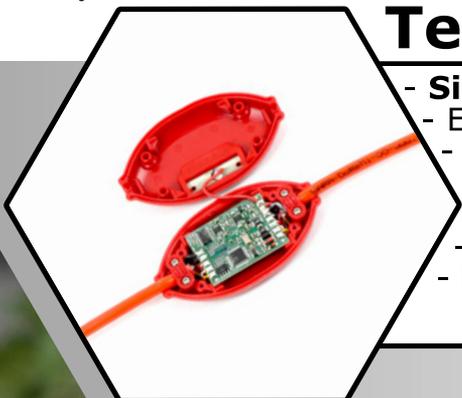
- Autonomo
- Di facile uso
- Durata della batteria fino a 10 anni
- Applicazioni:
  - Acqua dolce
  - Acqua salata
  - Acqua sporca
- Ottenibile in acciaio Inox, Hastelloy oppure in Titanio



# SISMOGRAFO DOREMI® 16/24 BIT

**sara**<sup>®</sup>  
electronic instruments

## Telemetria digitale



- **Sismografo nel canale**
- Eccezionale Rapporto Segnale/Rumore
- **Immune al Crosstalk ed ai disturbi elettromagnetici**
- Lunga autonomia
- **Batteria inclusa nell'interfaccia**
- Non teme l'umidità

## Modulare



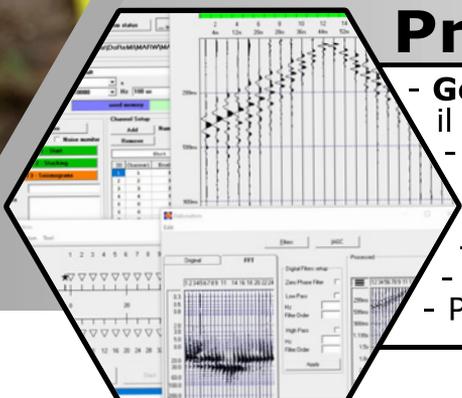
- **Configurabile da 1 a 255 canali**
- Diverse tipologie di geofoni e sensori
- **Componenti intercambiabili**
- Prolunghe e Power Booster al bisogno

## Multiruolo



- Rifrazione/Tomografia
- **MARW** Riflessione 1D
- **Riflessione 2D/3D**
- ESAC/SPAC/ReMi
- **SSV**
- HVSR
- Downhole
- **MASW 1D/2D/3D**

## Pratico



- **Gestione totale dell'acquisizione** con il software **DoReMi GeoExplorer**
- Roll Along, Interlace, Walk Away, Down Hole, etc.
- **Controllo rumore in situ**
- Controllo qualità dei dati
- **Analisi spettrale**
- Picking per rifrazione e molto altro

Via Angelo Morettini, 11, 06128 Perugia

E-mail: [info@sara.pg.it](mailto:info@sara.pg.it) | Web: [sara.pg.it](http://sara.pg.it) | Telefono: +39 075 505 1014, +39 075 937 0309

# SOLUZIONI PER L'AMBIENTE



**Registrazione e  
trasmissione  
remota dei dati**

(livello, temperatura, conducibilità)

**PIU' STRUMENTI PER PIU'  
PARAMETRI**



**Ossigeno  
disciolto**



**Torbidità**



**Conducibilità  
e salinità**



**Freatimetri**



**Fotometro  
portatile**



**Sonda  
multiparametrica**

Quadrimestrale dell'Ordine Nazionale dei Geologi  
N. 3/2020

#### DIRETTORE RESPONSABILE

Alessandro Reina

#### COMITATO DI REDAZIONE

Francesco Peduto, Vincenzo Giovine,  
Arcangelo Francesco Violo, Raffaele Nardone,  
Antonio Alba, Domenico Angelone, Lorenzo Benedetto,  
Alessandra Biserna, Adriana Cavaglià, Luigi Matteoli,  
Gabriele Ponzoni, Alessandro Reina, Paolo Spagna,  
Fabio Tortorici, Tommaso Mascetti

#### COMITATO SCIENTIFICO

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

#### SEGRETERIA DI REDAZIONE

Maristella Becattini  
maristella.becattini@cngeologi.it

#### DIREZIONE, REDAZIONE, AMMINISTRAZIONE

Consiglio Nazionale dei Geologi  
Via Vittoria Colonna, 40 - 00193 Roma  
Tel. 06.68807736 / 06.68807737 - Fax 06.68807742

#### SITO INTERNET

www.cngeologi.it

#### UFFICIO STAMPA

Ilenia Ingui  
addettostampa@cngeologi.it

#### PUBBLICITÀ

Agicom srl  
Viale Caduti in Guerra, 28 - 00060 Castelnuovo di Porto (Roma)  
Tel 06.9078285 Fax 06.9079256  
agicom@agicom.it  
www.agicom.it

#### GRAFICA E IMPAGINAZIONE

Agicom srl  
Immagini: ©shutterstock.com

#### STAMPA

Spadamedia S.r.l.

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

Questa rivista viene spedita a tutti i geologi iscritti agli Ordini  
regionali, Enti, Uffici Tecnici interessati e università.

Può essere scaricata online in PDF dal sito [www.cngeologi.it](http://www.cngeologi.it)

Spedizione in abbonamento postale 45%, art. 2, comma 20/b,  
legge 662/96 - Filiale di Roma.

Un fascicolo € 16,00 - Numeri arretrati € 18,00.

Versamenti sul c/c n. 347005 intestato a:

Consiglio Nazionale dei Geologi

Via Vittoria Colonna, 40 - 00193 Roma, specificando la causale.

*I manoscritti, anche se non pubblicati, non si restituiscono.*

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

Associato all'USPI, Unione Stampa Periodica Italiana.

#### GARANZIA DI RISERVATEZZA

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

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

#### PER GLI AUTORI:

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

#### IN COPERTINA:

Bacino estrattivo di Apricena (FG).

Sistema di faglie dirette in corrispondenza del graben  
di S. Giovanni in Pane.

Foto di: Alessandro Reina

## Sommario

**L'Editoriale** **9**  
*A. Reina*

**Il Punto del Presidente** **11**  
*F. Peduto*

**Geoscambio ed energie** **15**  
*M. Moroni, L. Ciarmoli*

La valutazione del rischio Radon  
finalizzato alla pianificazione territoriale

**Attività estrattive** **29**  
*R. Salvini, C. Vanneschi, A. Garattoni*

Modellazione stocastica della fratturazione  
(Metodo Discrete Fracture Network) a supporto  
della stima previsionale di resa all'interno di bacini  
estrattivi di pietre ornamentali

**Risorsa acqua** **49**  
*S. Aquino, A. Aquino, Michele Ginolfi, G. Leone, L. Esposito*

L'acquifero dei monti di Solofra (Irpinia - Campania):  
potenzialità idrica sotterranea ed interazioni con la Piana  
del Torrente Solofrana

**Atti Convegno Enna** 3<sup>a</sup> parte **57**  
*S. Patanè, M.T. Magro*

Morfologia e archeologia della valle dell'Alcantara

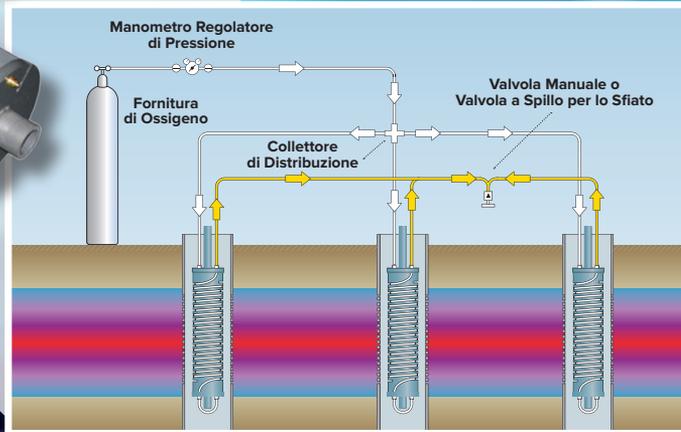
**Recensione** **66**  
*F. Catanzariti, M. Ponte*

Analisi di stabilità e interventi di stabilizzazione dei pendii

**BONIFICA  
IDROCARBURI**

# WATERLOO EMITTER™

## Immissione di gas in falda per attività di bonifica



Installazione multipla con Singola Fornitura di Gas



### SISTEMA BREVETTATO PER IL RILASCIO DI OSSIGENO E ALTRI GAS AMMENDANTI PER DIFFUSIONE MOLECOLARE A BASSA PRESSIONE.

#### Applicazioni

- Rilascio di ossigeno per biorisanamento aerobico di BTEX, MTBE ed ETBE
- Rilascio di idrogeno per riduzione di solventi
- Introduzione di SF<sub>6</sub>, He, Ar, ecc. per test di tracciamento
- Rilascio di CO<sub>2</sub> per attività di aggiustamento del pH
- Rilascio di alcani leggeri per attività di biodegradazione co-metabolica del MTBE
- Barriere contro la migrazione del plume e attività di correzione primaria

#### Vantaggi

- Facilità di installazione e rimozione
- Intera copertura del plume
- Minima manutenzione
- Nessuna perdita di gas ammendanti a causa di "bubbling"
- Nessuna sostanza pericolosa immessa in falda o prodotta
- Nessun liquame da mescolare, maneggiare o iniettare
- Sistema passivo che non necessita di energia elettrica

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



MISURE DI LIVELLO



CAMPIONAMENTO  
LOW-FLOW



DATALOGGER  
E TELEMETRIE



PROFILAZIONE  
MULTILIVELLO

# Solinst®

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

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

# EGEO<sup>+</sup>lab

WWW.EGEO.LAB.IT



**Alessandro Reina**

Direttore Responsabile

**L**a *civiness* (senso civico, civismo) si ha quando una comunità considera il proprio capitale sociale, un bene pubblico, generatore di norme e valori condivisi, ispiratore di fiducia in una collettività nella quale tutti (o molti) si identificano in senso storico e valorale.

Questo concetto è opposto a quello di “familismo amorale”, definito dal sociologo americano Edward Banfield in un saggio del 1958, cioè quando nella convivenza prevalgono individui che massimizzano i vantaggi materiali e immediati della propria famiglia trascurando o addirittura violando ogni regola utile alla comunità: è come se il loro mondo finisse sulla soglia di casa. Aggiunge che questo comportamento antropologico non dipende dalla condizione economica.

In questo periodo di drammatica pandemia dobbiamo sviluppare comportamenti che devono essere community oriented dobbiamo cioè avere fiducia nella collettività e nei suoi singoli membri, in questo modo il capitale sociale diventa una caratteristica comune tenuta insieme da una storia condivisa e dalla rete delle relazioni tra individui.

Questo preambolo era un doveroso ma certamente superfluo richiamo per una comunità come quella dei geologi professionisti che con coraggio, quotidianamente, sanno come affrontare il proprio lavoro attraverso i contatti con i committenti, fornitori e tecnici, basando molto spesso la loro attività sui rapporti umani, e che quindi sono talvolta esposti ma sempre occupati a proteggersi e a proteggere gli altri da questa terribile infezione virale. Con certezza si può affermare che, nel lavoro di Patanè e Magro, la bellezza dei luoghi bene si sposa con l'affascinante studio dell'archeologia della Valle dell'Alcantara.

Le tecniche avanzate di gestione dei dati migliorano la qualità degli attualissimi studi sul Radon (Moroni e Ciarmoli).

È ben evidente ad un occhio molto attento e ad una mente poco elucubrante quale sia il supporto degli studi idrogeologici sull'acquifero carbonatico dei Monti di Solofra al miglioramento della qualità della vita.

Nel lavoro proposto da Salvini, Vanneschi e Garattoni, al fine di aumentarne la resa, la preziosa risorsa estrattiva delle pietre ornamentali, viene compulsata attraverso la modellazione stocastica della fratturazione.

Luoghi e applicazioni della geologia sempre più interessanti nella collezione di articoli della nostra Rivista.

Auspichiamo, ciascuno a proprio modo, ad escludere le cose mediocri per far posto a cose più grandi.

*Buona lettura.*



# MOHO

SCIENCE & TECHNOLOGY

Siamo con voi,  
ovunque vi troviate

Strumenti per geofisica  
e ingegneria civile

Venezia - Italia  
[www.moho.world](http://www.moho.world)

- Strumenti piu' portatili e leggeri del mercato
- Software di interpretazione intuitivo
- Supporto sia tecnico sia scientifico
- Assistenza ogni giorno lavorativo
- Corsi accreditati offerti





Francesco Peduto

**C**are colleghe, cari colleghi, nel mese di settembre si è votato per il rinnovo del Consiglio Nazionale dei Geologi e a prevalere è stata la lista “Progettare il futuro”, di diretta derivazione del consiglio uscente, seppur ampiamente rinnovata. Come ho già avuto modo di ricordare, sembra ieri quando ci siamo insediati quel 2 dicembre del 2015, eppure sono trascorsi cinque anni e il Consiglio che ho avuto l’onore di presiedere si accinge a concludere il suo mandato; questo, pertanto, è il mio ultimo editoriale e, quando leggerete queste righe, si sarà già insediato il nuovo consiglio. L’avvicendamento ci sarà (per voi che leggete, c’è stato) l’11 novembre. Il primo pensiero, quindi, va ai miei consiglieri, ai compagni di viaggio di questo quinquennio, che ringrazio per il lavoro profuso; abbiamo cercato di onorare al meglio il mandato che ci è stato conferito, a volte magari con alti e bassi, ma quasi sempre con vera abnegazione.

Nel fare il bilancio di questi cinque anni possiamo dire, senza timore di essere smentiti, di aver realizzato buona parte del programma elettorale e messo in campo idee ed azioni inizialmente non previste perché maturate lungo il percorso; a volte non siamo riusciti a portare a casa dei risultati positivi nel confronto con le altre categorie, con le istituzioni o con la politica, ma vi posso assicurare che mai niente è stato lasciato al caso o, peggio ancora, è stato dovuto a un nostro disimpegno. Attraverso una costante e continua azione di monitoraggio politico-istituzionale, da soli o in ambito Rete delle Professioni Tecniche, dove abbiamo consolidato e rafforzato la nostra presenza, abbiamo accompagnato normative, regolamenti, linee guida di indub-

bia utilità per la nostra categoria. Altre, che invece limitavano il campo di azione dei geologi, o ne intaccavano le competenze, le abbiamo contrastate, o almeno abbiamo sempre provato a farlo, come nel caso delle NTC.

Abbiamo collaborato e lavorato insieme, spesso sviluppando accordi ed intese, con gli enti e gli organi della pubblica amministrazione più importanti per la nostra professione, quali ISPRA, Italiassicura, Casa Italia, Dipartimento Nazionale della Protezione Civile, per citarne qualcuno.

Alla Protezione Civile, in particolare, abbiamo per la prima volta fornito un supporto in seguito al terribile terremoto che ha colpito l’Italia centrale nel 2016; con architetti, geometri e ingegneri abbiamo poi costituito, sotto l’auspicio dello stesso Dipartimento di Protezione Civile, la Struttura Tecnica Nazionale (STN), un organismo permanente di formazione dei professionisti delle suddette categorie e di supporto al Dipartimento in caso di calamità.

In questi anni abbiamo consolidato i rapporti, già ben avviati in precedenza, con la Federazione Europea dei Geologi, diventandone uno dei Paesi leader per proposte ed iniziative.

Abbiamo lavorato fianco a fianco con gli OO.RR., a volte anche scontrandoci, ma sempre perseguendo il fine ultimo dell’interesse della categoria.

Una categoria, la nostra, che ha vissuto un decennio particolarmente critico così come le altre categorie tecniche, per la contrazione delle attività legate al comparto edilizio, che ha provocato un forte rallentamento delle attività professionali ed ha contribuito così alla diminuzione degli iscritti ai Corsi di Laurea in Scienze Geologiche e, di conseguenza, degli iscritti agli OO.RR.

Questa congiuntura sfavorevole ha colpito, in particolare, le fasce più deboli dei nostri professionisti, quelli con situazioni economiche e professionali meno consolidate. Per questo motivo abbiamo messo in campo, in questi anni, azioni e provvedimenti che potessero essere di ausilio per i colleghi, come l’assicurazione professionale di base gratuita per tutti, che consente risparmi notevoli anche per chi ha l’esigenza di incrementare i massimali rispetto a quelli minimi previsti. Ma non solo.

Abbiamo girato l’Italia, anche con la Fondazione Centro Studi, per portare sui territori corsi di formazione e aggiornamento professionalizzanti e di qualità che l’università, purtroppo, continua a non prendere in considerazione; ci siamo dotati anche di una piattaforma per l’erogazione di Corsi FAD, che ci erano stati chiesti con forza soprattutto da colleghi che vivono in territori marginali o aree periferiche del Paese, attraverso la quale abbiamo offerto corsi di formazione a prezzi contenuti.

## il Punto del Presidente

Abbiamo lavorato a lungo per favorire la possibilità di occasioni di lavoro all'estero per i geologi italiani. Iniziative ben avviate in Medio Oriente e soprattutto in Cina dove, a seguito degli accordi sottoscritti tra il Consiglio Nazionale dei Geologi e il China Mining and Environment Union (CMEU), la scorsa primavera avremmo già dovuto portare qualche decina di professionisti geologi e aziende con geologi operanti nel campo delle Scienze della Terra, per concretizzare le possibilità di lavoro offerte dal mercato cinese.

Purtroppo l'emergenza Covid-19, che sta mettendo a dura prova il nostro Paese e il resto del mondo, ha interrotto questo percorso, ma l'auspicio è che non appena le condizioni legate all'epidemia in corso lo renderanno possibile, il nuovo consiglio possa continuare nell'iniziativa intrapresa.

L'emergenza in corso ha accentuato le difficoltà di tanti colleghi geologi, ai quali ho avuto modo di esprimere la mia vicinanza e quella dell'intero consiglio; per quello che abbiamo potuto sono stati messi in campo ulteriori provvedimenti che potessero essere di ausilio, tra cui il differimento del pagamento della quota annuale e la possibilità di seguire gratuitamente i corsi di aggiornamento professionale sulla piattaforma FAD.

La speranza è che questa situazione inaspettata ed inimmaginabile, possa avere fine al più presto e cancellare le angosce e le inquietudini per l'incertezza del futuro. Tutti, non solo i geologi, hanno la necessità di poter sperare in un futuro migliore e, per il futuro, resta ancora tanto da fare per la nostra categoria.

Non mi dilungherò su questo, da parte mia sarebbe presuntuoso e poco rispettoso delle prerogative del nuovo consiglio, che comunque non parte da zero, ci sono tanti punti fermi grazie al lavoro non solo del consiglio uscente, ma anche di quelli che ci hanno preceduto. Almeno un argomento, tuttavia, sento l'esigenza di affrontarlo e riguarda il nostro corso di laurea, poco confacente alle esigenze della professione di geologo. Negli anni, inoltre, non sono state colte le nuove opportunità del mercato del lavoro, attraverso l'inserimento di materie e moduli didattici nel nostro percorso formativo, che avrebbero potuto e dovuto trasformarsi in occasioni per consolidare ed espandere la professione di geologo e per implementare le possibilità di lavoro. In tema di NTC, per esempio, dove indubbiamente si sono contratte le competenze dei geologi, abbiamo pagato dazio anche, se non soprattutto, per questi motivi.

In questi anni abbiamo dialogato a lungo con i nostri colleghi universitari, è stato fatto anche durante il quinquennio precedente, ma i risultati auspicati sono pari a zero, motivo per il quale spero che il nuovo consiglio operi una profonda riflessione sul da farsi.

Spero anche che si possa realizzare una maggiore unità della categoria, sia delle diverse componenti, liberi professionisti, universitari e geologi della P.A., che all'interno delle stesse. Abbiamo bisogno di intelligenze e menti illuminate, dove le contrapposizioni e le aspirazioni personali non siano da ostacolo al progresso della categoria e della professione e non devono far venire meno un comportamento che, da parte di chi rappresenta la categoria, deve essere sempre istituzionale.

Per quanto mi riguarda, solo la consapevolezza che nei prossimi cinque anni non avrei potuto dedicarmi alla categoria con la stessa continuità ed abnegazione, mi hanno indotto a fare



un passo indietro e a non candidarmi, avendo ben chiaro, in base all'esperienza fatta, che chi vuole rappresentare la categoria deve essere sempre disponibile e sempre sul pezzo.

Nel restare comunque a disposizione del nuovo consiglio, nel caso possa essere di qualche utilità, l'augurio che posso fare loro è che sappiano fare, per il bene della categoria, meglio e più di quanto abbiamo fatto noi.

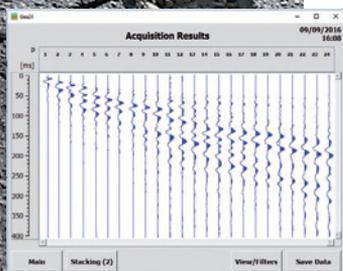
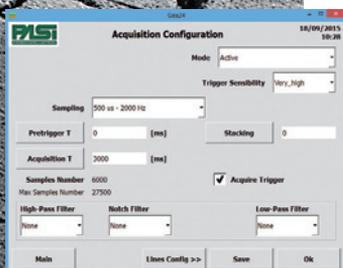
Personalmente non posso che ringraziarvi per questa esperienza bellissima, per la fiducia che mi avete accordato eleggendomi a vostro presidente, per me rappresentarvi è stato un onore ed un privilegio.

Viva la geologia, viva i geologi.

### Sismografo GEA24: affidabile · semplice · economico

GEA24 è un sismografo 24 canali (serializzabile fino a 48 canali) con scheda di acquisizione 24 bit e interfaccia USB per PC esterno. Adatto per tutte le applicazioni, GEA-24 è la soluzione intelligente per tutti gli usi professionali.

CHROMA Torino



**3DLG**



**RIFRAZIONE  
RIFLESSIONE SUPERFICIALE  
ONDE DI SUPERFICIE**

MASW, Re.Mi., Vs30, MAAM, ESAC, ecc.

**HVSR / VIBRAZIONI**

abbinato al geofono 3D da superficie  
Mod.3DLG

**DOWNHOLE**

abbinato al geofono 3D da foro  
Mod.GFA

**CROSSHOLE**

abbinato al geofono 3D da foro  
Mod.GFA e all'energizzatore da foro  
per onde P/S Mod.CHE



**RADIOTRIGGER**

**Mini-prezzo !!!!**  
**5 ANNI DI GARANZIA**  
STRUMENTO +  
SOFTWARE DI GESTIONE

#### CARATTERISTICHE PRINCIPALI:

**24 canali + trigger (AUX)**

possibilità di serializzare 2 unità per un totale di **48 canali**

**24 bit reali**, convertitore **AD Sigma-Delta**  
**Intuitivo e facile da usare**

**Collegabile a qualsiasi PC** portatile/tablet  
PC/toughbook

**Alimentazione da USB**

non necessita di batteria esterna!

Connettori per cavi sismici standard **NK2721C**

**Compatibile con tutti i geofoni analogici**

**Aggiornamenti gratuiti** software di gestione

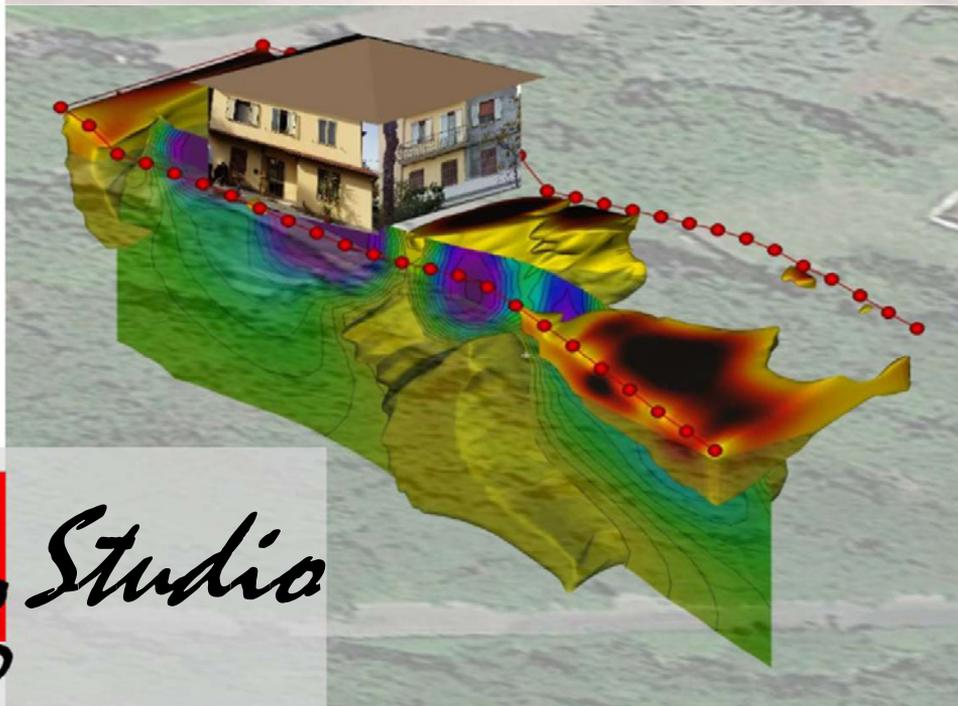
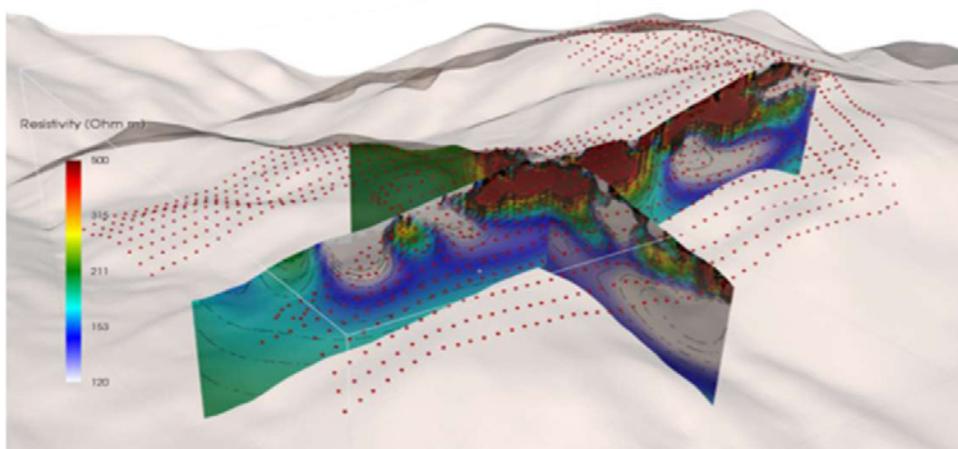
**Compatto e leggerissimo**

(24x19.5x11cm – 2 kg)

**ERTLAB STUDIO È IL NUOVO SOFTWARE 3D PER  
L'INVERSIONE DI DATI DI RESISTIVITÀ E  
CARICABILITÀ CHE HA RADICALMENTE CAMBIATO  
IL MODO DI FARE TOMOGRAFIA ELETTRICA**

**CARATTERISTICHE PRINCIPALI:**

- NUOVA UNICA INTERFACCIA GRAFICA 3D
- MODELLAZIONE 3D CON TOPOGRAFIA COMPLESSA
- CREAZIONE SEQUENZE 2D E 3D (SUPERFICIE E FORO)
- DISTRIBUZIONE LIBERA DEGLI ELETTRODI NELLO SPAZIO
- FUNZIONI AUTOMATIZZATE DI INVERSIONE ED OTTIMIZZAZIONE MESH
- INVERSIONE AGLI ELEMENTI FINITI DELLA RESISTIVITÀ E CARICABILITÀ
- INVERSIONE CONGIUNTA DI ARRAY ELETTRODICI DIVERSI
  - MODULI AGGIUNTIVI PER MULTSOURCE E 4D
  - IMPORTAZIONE OGGETTI GRAFICI



**ERT**  
Lab *Studio*

# La valutazione del rischio Radon finalizzato alla pianificazione territoriale

## Radon risk assessment for urban planning and GIS data processing

**Massimo Moroni**, GEOEX srls, Corso Matteotti, 44 - 00041 Albano Laziale, Italy - info@Radon.it  
**Leonardo Ciarmoli**, RUP Comune di Pomezia - Roma

### Termini chiave:

Radon, Pianificazione territoriale Radon, GIS Radon, SIT Radon

### Keywords:

indoor radon, radon hazard, radon risk, soil radon, intrinsic per-meability, urban planning

### Abstract

*Natural sources of radiation is a big part of the total radiation exposure that humans receive in their lifetime. The majority of this natural radiation is harmless to humans in the ambient environment. However, radon, a large component of the natural radiation that humans are exposed to (greater than sixty percent), can pose a threat to the public health when radon gas accumulates in poorly ventilated residential and workplaces spaces.*

*According to the World Health Organization: "Indoor radon gas is a serious health problem that can be better addressed by spreading right informations through local Authorities to motivate individuals to fix their homes. Millions of homes in the world are infact estimated to have elevated radon levels. Fortunately, the solution to this problem is quite simple. As well as the hazards from smoking, the health risks of radon can be reduced."*

*In this paper we report the activities of Municipality of Pomezia, a medium size Town near Rome Italy. To cope with local Radon risk the local administration have created a Radon Front office supplying radon passive detectors free of charge to families to map the risk.*

*Resulting data are then plotted through an open source Geographical Information System to help Urban planners and regulators to reduce the risk.*

### Lo Sportello Radon

L'Amministrazione comunale di Pomezia si è fatta promotrice di una campagna di sensibilizzazione e informazione sui rischi derivanti dall'esposizione al gas Radon per la

salute umana, dando la possibilità alla cittadinanza interessata di rilevare direttamente la presenza del gas radon all'interno delle proprie abitazioni.

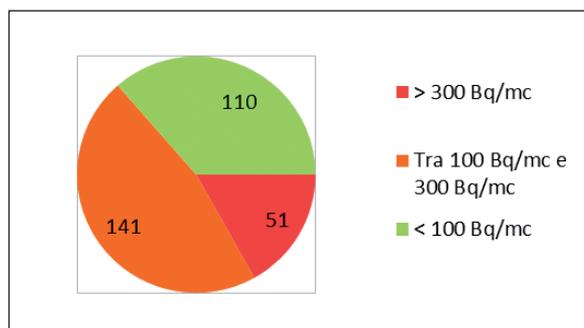
Lo Sportello informativo Radon è stato infatti aperto dal 19 novembre 2015 fino al 16 giugno 2016 e ha consegnato 573 kit a 430 famiglie (in alcuni casi sono stati distribuiti 2 kit per abitazioni disposte su più piani). Dei kit distribuiti ne sono stati riconsegnati 302 con una percentuale di ritorno quindi del 52,7% inferiore alle aspettative stante il tema trattato, ma in linea con altri indagini di questo tipo condotta su base volontaria.

In Allegato 1 si riportano i dati di ritorno utilizzati per la redazione della cartografia GIS anonimizzati per motivi di privacy.

GIS Statistica Data		
Rn Conc.	Houses No.	
> 300 Bq/mc	51	17%
100 Bq/mc - 300 Bq/mc	141	47%
< 100 Bq/mc	110	36%
Total number of dosimeters analized	302	
Total number of dosimeters delivered	573	
Return percentage	52,7%	
Max Value	1875	
Min Value	10	

**Tabella 1:** Statistiche dosimetri consegnati e restituiti

Complessivamente solo il 36% delle abitazioni monitorate è esente da contaminazione da Gas Radon mentre il 64% richiede attenzione.



**Tabella 2:** Statistiche concentrazioni indoor rilevate – Numero dei rilievi

Le classi di rischio sono state attribuite secondo le più recenti indicazioni dell'OMS e della Agenzia UE Euratom che prevede assenza di rischio fino a 100 Bq/mc di Radon indoor ed un limite a 300 Bq/mc. I valori quindi tra 100 e 300 Bq/mc sono stati considerati a rischio medio e al di sopra dei 300 Bq/mc con classe di rischio alta.

### Correlazioni tra geologia, soil Radon e indoor Radon

Al fine di valutare eventuali correlazioni con la geologia locale, tenuto conto delle pregresse esperienze dell'Ispra nel progetto PERS (potenziale emanazione del Radon dal suolo), è stata elaborata, sulla base di cartografie esistenti, la carta geologica semplificata dei litotipi affioranti.

Il layer geologico è stato quindi comparato con il Soil Radon ed il radon Indoor mostrando una buona correlazione diretta con la litologia a meno di evidenti anomalie nella zona costiera e nella parte nordovest del territorio Comunale. Tali anomalie potrebbero essere spiegate con faglie e linee di debolezza strutturale più plausibili nella parte NW del territorio ma di cui non si ha contezza nella zona costiera. Soil Radon ed Indoor Radon mostrano invece una buona correlazione nelle aree coperte dalle misure indoor.

La variabile fondamentale che limita infatti la validità del radon indoor finalizzato alla pianificazione territoriale, oltre alla inevitabile variabilità di conduzione e costruzione dell'edificio, che pure non è poca cosa, è la limitata copertura areale del territorio investigato. Le misure sono infatti legate alla presenza di abitazioni esistenti e di conseguenza in aree agricole, artigianali e industriali non c'è modo di acquisire informazioni utili a coprire l'areale in studio. Tale limitazione si rende evidente nel presente studio per l'area di Via Laurentina e Traverse; infatti nella carta del Radon indoor l'area presenta un rischio medio mentre in quella del Soil Radon si evidenzia un Rischio "Critico".

Nella zona è presente infatti un'area industriale e non è stato possibile acquisire alcun dato di Radon indoor mediante la campagna dello Sportello Radon.

Si rende quindi evidente che l'impostazione data con la pubblicazione del protocollo per la pianificazione territoriale pubblicata nel 2012<sup>1</sup> dallo scrivente et alii, trova pieno accordo con quanto emerge in questo studio.

La corretta pianificazione da rischio Radon è quindi essenzialmente effettuata attraverso il rilievo del Soil Radon a cui il Radon indoor può fornire un utile contributo di conoscenza. D'altra parte la conoscenza del radon indoor rappresenta un passo fondamentale per la valutazione dell'esposizione al radon della popolazione. Le due cose hanno quindi finalità diverse e devono contribuire ad una migliore ed approfondita conoscenza del territorio e del rischio a cui la popolazione è esposta.

L'uso del GIS ovvero del sistema informativo territoriale è stato poi ampliato mediante il download gratuito e l'implementazione delle mappe open Source di Open Street Map. Il layer delle strade e piazze del territorio comunale è stato quindi utilmente sfruttato per consentire interrogazioni mirate su aree urbanizzate e non del territorio. Mediante una semplice query è possibile infatti individuare il risultato dello studio su una singola strada. Tale strumento qualora messo a disposizione del pubblico consentirebbe una prima valutazione del rischio d'area a qualsiasi cittadino. Il sistema si presta infatti anche un uso sul web oltre che ovviamente in locale.

### Analisi statistiche sui dati rilevati

Sulla base delle classi definite al paragrafo precedente si è quindi provveduto a realizzare mediante un software di contouring con algoritmo di kriging i dati acquisiti.

L'analisi della cartografia così elaborata è stata quindi eseguita in un sistema informativo territoriale basato sulle piattaforme open source GvSig e Qgis in modo da consentire la visualizzazione dei dati in formato cartografico e disponibili negli elaborati grafici a corredo del presente studio.

Di seguito si riportano invece i dati statistici numerici elaborati attraverso le intersezioni spaziali rese possibili dagli strumenti di GeoProcessing disponibili nei software succitati.

Come prima azione dopo aver impostato le coordinate spaziali per ogni punto di misura, sono stati perimetrati i quartieri dei quali si è quindi calcolata la superficie.

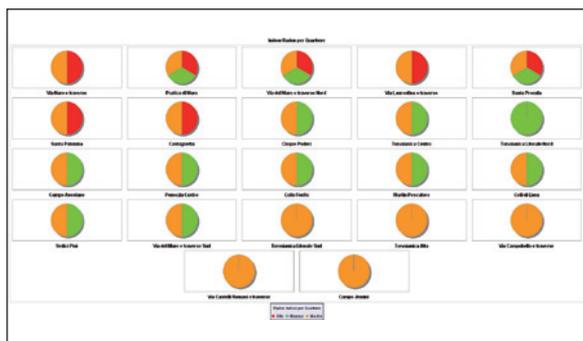
Inoltre mediante intersezione dei layers sono state attribuite le classi di rischio rilevate secondo lo schema seguente:

District	Code	Area Sq/m	
Castagnetta	C6	2656892	
Torvaianica Centro	B1	616885	
Torvaianica Litorale Nord	B2	641038	
Campo Ascolano	C1	895464	
Torvaianica Litorale Sud	B2	409456	
Torvaianica Alta	C3	477977	
Pomezia Centro	A	1799607	
Via Campobello e traverse	D3	381473	
Via Naro e traverse	D2	1419851	
Via Castelli Romani e traverse	D6	1031941	
Via Campobello e traverse	D3	3112541	
Via Laurentina e traverse	D4	6120910	
Pratica di Mare	E	6966601	
Colle Fiorito	C5	198002	
Santa Procula	C8	5826932	
Cinque Poderi	C7	1353673	
Martin Pescatore	C2	1016185	
Santa Palomba	D1	4288746	
Campo Jemini	C4	719196	
Colli di Enea	D8	371206	
Sedici Pini	D7	486006	
Via del Mare e traverse Nord	D5	1415744	
Via del Mare e traverse Sud	D5	540772	
District total Surface		42747099	m2
Municipal surface		86832818	m2
Percentage of total municipal surface in Districts		49	%

Radon Indoor per Quartiere					
Sigla / Code	District AREA sqm	Risk Area sqm	Quartiere / District	Rischio / Risk	% Area at Risk
A	1799607	640396	Pomezia Centro	Basso	35,59%
A	1799607	1159211		Medio	64,41%
B1	616885	26843	Torvaianica Centro	Basso	4,35%
B1	616885	590041		Medio	95,65%
B2	641038	641038	Torvaianica Litorale Nord	Basso	100,00%
B2	409456	409456	Torvaianica Litorale Sud	Medio	100,00%
C1	895464	495035	Campo Ascolano	Basso	55,28%
C1	895464	392604		Medio	43,84%
C2	1016185	185156	Martin Pescatore	Basso	18,22%
C2	1016185	831029		Medio	81,78%

C3	477977	477977	Torvaianica Alta	Medio	100,00%
C4	719196	719196	Campo Jemini	Medio	100,00%
C5	198002	6618	Colle Fiorito	Basso	3,34%
C5	198002	191384		Medio	96,66%
C6	2656892	824742	Castagnetta	Alto	31,04%
C6	2656892	1832150		Medio	68,96%
C7	1353673	650611	Cinque Poderi	Basso	48,06%
C7	1353673	695922		Medio	51,41%
C8	5826932	648565	Santa Procula	Alto	11,13%
C8	5826932	1906547		Basso	32,72%
C8	5826932	3271787		Medio	56,15%
D1	4288746	711473	Santa Palomba	Alto	16,59%
D1	4288746	3575331		Medio	83,37%
D2	1419851	738465	Via Naro e traverse	Alto	52,01%
D2	1419851	680906		Medio	47,96%
D3	3112541	3112541	Via Campobello e traverse	Medio	100,00%
D4	6120910	818103	Via Laurentina e traverse	Alto	13,37%
D4	6120910	5300020		Medio	86,59%
D5	1415744	339458	Via del Mare e traverse Nord	Alto	23,98%
D5	1415744	344230		Basso	24,31%
D5	1415744	732057		Medio	51,71%
D5	540772	2980	Via del Mare e traverse Sud	Basso	0,55%
D5	540772	537792		Medio	99,45%
D6	1031941	1031382	Via Castelli Romani e traverse	Medio	100,00%
D7	486006	166801	Sedici Pini	Basso	34,32%
D7	486006	319205		Medio	65,68%
D8	371206	124354	Colli di Enea	Basso	33,50%
D8	371206	246852		Medio	66,50%
E	6966601	6394154	Pratica di Mare	Alto	91,78%
E	6966601	71061		Basso	1,02%
E	6966601	501386		Medio	7,20%

questi dati sono stati quindi anche plottati in termini di percentuale di superficie a rischio secondo il grafico successivo



Infine sulla base dei dati di popolazione messi a disposizione dall'Ufficio Anagrafe del Comune è stato possibile elaborare i dati in termini di persone esposte.

Purtroppo la perimetrazione dei quartieri utilizzata nella redazione del GIS non coincide perfettamente con la perimetrazione dei quartieri individuati dall'Ufficio Anagrafe e sono stati necessari accorpamenti ed esclusioni per incrociare i dati. In ogni caso la differenza è minima e dunque di elevato valore statistico. La popolazione nei quartieri ammonta infatti a 63518 unità, mentre complessivamente in tutto il territorio risiedono 65556 con una delta quindi di 2038 persone distribuite sul territorio e pertinenti a case sparse.

Di seguito la tabella dei dati di popolazione fornita dall'Ufficio Anagrafe:

Zona	Maschi	Femmine	Totale
16_PINI_MACCHIOZZA	378	350	728
CAMPO ASCOLANO	1790	1711	3501
CAMPO JEMINI	1000	997	1997
CAMPOBELLO	649	598	1247
CASTAGNETTA	753	731	1484
COLLI DI ENEA	1053	1063	2116
MARTIN PESCATORE	2283	2372	4655
MINERVA_SUGHERETA	772	750	1522
MONTE D'ORO	490	492	982
MOTOMECCANICA	252	264	516
NUOVA LAVINIUM (167)	2918	3130	6048
POMEZIA CENTRO	8180	8955	17135
PRATICA DI MARE	255	89	344
ROMA 2	1082	992	2074
SANTA PALOMBA	184	131	315
SANTA PROCULA	1316	1286	2602
TORVAJANICA	6339	6138	12477
TORVAJANICA ALTA	1674	1676	3350
VIA DEL MARE	167	166	333
VIA NARO	1091	1039	2130
<b>TOTALI</b>	<b>32626</b>	<b>32930</b>	<b>65556</b>

È stato quindi necessario accorpate le seguenti Zone:

- Monte d'Oro e Pratica di Mare in Pratica di Mare;
- Pomezia centro e Nuova Lavinium in Pomezia Centro;
- Roma 2 e Santa Palomba in Santa Palomba;
- Torvaianica Centro con Litorale sud e Litorale Nord in Torvaianica;

- Motomeccanica e Via del mare in Via del mare e Traverso.

Infine Minerva sughereta è stata esclusa ed inserita nel contesto di Case sparse.

Questa rielaborazione ha prodotto la seguente tabella:

#### Radon Indoor per District

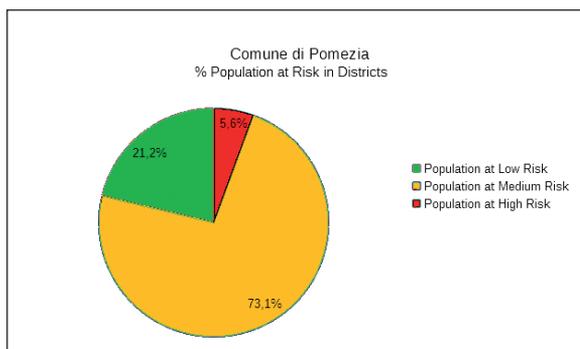
Sigla / Code	District AREA sqm	Risk Area sqm	Quartiere / District	District Population	Rischio / Risk	% Area at Risk	% Population at Risk
A	1799607	640396	Pomezia Centro	23183	Basso	35,59%	8250
A	1799607	1159211		23183	Medio	64,41%	14933
B1	1667379	667881	Torvaianica Centro – Litorale N e S	12477	Basso	4,35%	543
B1	1667379	999498		12477	Medio	95,65%	11934
C1	895464	495035	Campo Ascolano	3501	Basso	55,28%	1935
C1	895464	392604		3501	Medio	43,84%	1535
C2	1016185	185156	Martin Pescatore	4655	Basso	18,22%	848
C2	1016185	831029		4655	Medio	81,78%	3807
C3	477977	477977	Torvaianica Alta	3350	Medio	100,00%	3350
C4	719196	719196	Campo Gemini	1997	Medio	100,00%	1997
C6	2656892	824742	Castagnetta	1484	Alto	31,04%	461
C6	2656892	1832150		1484	Medio	68,96%	1023
C8	5826932	648565	Santa Procula	2602	Alto	11,13%	290
C8	5826932	1906547		2602	Basso	32,72%	851
C8	5826932	3271787		2602	Medio	56,15%	1461
D1	4288746	711473	Santa Palomba	2389	Alto	16,59%	396
D1	4288746	3575331		2389	Medio	83,37%	1992
D2	1419851	738465	Via Naro e traverse	2130	Alto	52,01%	1108
D2	1419851	680906		2130	Medio	47,96%	1021
D3	3112541	3112541	Via Campobello e traverse	1247	Medio	100,00%	1247
D5	1956516	339458	Via del Mare e traverse N e S	333	Alto	23,98%	80
D5	1956516	347210		333	Basso	24,31%	81
D5	1956516	1269848		333	Medio	51,71%	172
D7	486006	166801	Sedici Pini	728	Basso	34,32%	250
D7	486006	319205		728	Medio	65,68%	478

D8	371206	124354	Colli di Enea	2116	Basso	33,50%	709
D8	371206	246852		2116	Medio	66,50%	1407
E	6966601	6394154	Pratica di Mare	1326	Alto	91,78%	1217
E	6966601	71061		1326	Basso	1,02%	14
E	6966601	501386		1326	Medio	7,20%	95
<b>Popolazione nei quartieri</b>				<b>63518</b>			
<b>Popolazione totale</b>				<b>65556</b>			

La metodica per valutare la percentuale di rischio per la popolazione è stata di attribuire a ciascun quartiere la popolazione residente e quindi in funzione della classe stabilita su base areale individuare il numero di persone esposte secondo la seguente tabella:

Risk	No. People	% of Population
Low Risk Population	13481	21,2%
Medium Risk Population	46453	73,1%
High Risk Population	3551	5,6%

Ovvero:



dai dati ottenuti risulta evidente come il territorio del Comune di Pomezia richieda una particolare attenzione nella nuova edificazione e nelle ristrutturazioni di edifici esistenti. Tale preoccupazione ha già trovato in verità attuazione, con l'approvazione della delibera di Consiglio Comunale n. 22 del 29/05/2014 che reca norme per "Prevenzione e salvaguardia del rischio Radon e gas endogeni naturali in sede di progettazione, costruzione e manutenzione edilizia".

## Conclusioni

Il 10 per cento dei decessi per cancro ai polmoni, in Italia, è legato all'esposizione al gas radon, che rappresenta dunque

la seconda causa di morte per tumore al polmone dopo il fumo.

I dati diffusi dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS) indicano in media circa 3.300 decessi ogni anno, sui circa 34mila provocati dal carcinoma polmonare. Una vera e propria strage "silenziosa" innescata da un nemico subdolo, inodore e incolore che si annida negli edifici pubblici e nelle nostre case e tuttavia di Radon si parla poco e non esiste alcuna campagna di sensibilizzazione da parte delle ns. istituzioni. A titolo di esempio si riporta il numero di vittime provocate dagli incidenti stradali; secondo dati ISTAT infatti, le vittime da incidenti stradali nel 2017 sono state 3.378 in linea quindi con le vittime da Radon.

Eppure a fronte di tale incidenza le campagne di sensibilizzazione per gli incidenti stradali sono molteplici e diffuse attraverso vari media (radio, televisione, pubblicità progresso etc) mentre nulla viene fatto per sensibilizzare le famiglie sul rischio Radon.

Il presente lavoro, voluto dalla Amministrazione Comunale di Pomezia, rappresenta quindi oltre ad un formidabile strumento di pianificazione territoriale anche un valido ausilio alla sensibilizzazione ed alla prevenzione primaria quasi del tutto sconosciuta alle ns. Istituzioni sanitarie.

Come emerge chiaramente da questo studio la corretta pianificazione da rischio Radon è effettuata attraverso il rilievo del Soil Radon a cui il Radon indoor può fornire un utile contributo di conoscenza. D'altra parte la conoscenza del radon indoor rappresenta un passo fondamentale per la valutazione dell'esposizione al radon della popolazione. Le due cose hanno quindi finalità diverse e devono contribuire ad una migliore ed approfondita conoscenza del territorio e del rischio sanitario a cui è esposta la popolazione.

L'uso del GIS ovvero del sistema informativo territoriale è stato utilmente sfruttato per consentire oltre alle usuali azioni di geoprocessing anche per interrogazioni mirate su aree urbanizzate e non del territorio consentendo di conoscere il potenziale rischio al dettaglio di singola strada.

## ANNEX 1 - DATA USED FOR THE GIS

The coordinate values refer to UTM zone 33T projection on Map Datum WGS84

ID_NO	LAT	LONG	DISTRICT	SERIAL	DAYS OF EXP.	BO/MC
8978	4613902	290429	16 Pini	16130	591	74
8978	4613902	290429	16 Pini	16129	591	81
8846	4614019	290551	16 Pini	15341	230	84
8893	4614111	290655	16 Pini	15837	187	85
8846	4614019	290551	16 Pini	15351	230	113
8484	4613869	290569	16 Pini	14161	182	136
8893	4614111	290655	16 Pini	15838	183	232
8575	4615053	285555	Campo Ascolano	14558	349	53
8578	4613723	286165	Campo Ascolano	14562	344	72
8645	4615073	285638	Campo Ascolano	14853	680	73
8645	4615073	285638	Campo Ascolano	14854	680	77
8557	4614187	286080	Campo Ascolano	14353	220	80
8997	4614654	286000	Campo Ascolano	16163	368	114
8556	4614171	286093	Campo Ascolano	14292	363	117
8997	4614654	286000	Campo Ascolano	16162	368	121
8566	4614844	285847	Campo Ascolano	14543	182	130
8566	4614844	285847	Campo Ascolano	14544	182	133
8527	4615280	285540	Campo Ascolano	14064	188	180
8841	4614561	285921	Campo Ascolano	22084	243	180
8841	4614561	285921	Campo Ascolano	21865	243	216
8841	4614561	285921	Campo Ascolano	15434	243	279
8644	4615102	285639	Campo Ascolano	14851	688	339
8644	4615102	285639	Campo Ascolano	14852	688	388
8841	4614561	285921	Campo Ascolano	22183	243	475
8841	4614561	285921	Campo Ascolano	15433	142	1109
8553	4610535	292168	Campo Jemini	14321	738	57
8553	4610535	292168	Campo Jemini	14322	738	72
8514	4611719	292599	Campo Jemini	14343	263	85
8514	4611719	292599	Campo Jemini	14352	263	94
8552	4610536	292172	Campo Jemini	14318	107	100
8552	4610536	292172	Campo Jemini	14319	107	109
8502	4611350	292559	Campo Jemini	14259	300	113
8935	4611542	292870	Campo Jemini	16031	365	115
8502	4611350	292559	Campo Jemini	14247	300	127
8935	4611542	292870	Campo Jemini	16032	365	140
7380	4611624	292624	Campo Jemini	14157	368	141
7380	4611624	292624	Campo Jemini	13555	368	149
8854	4611710	293171	Campo Jemini	15416	381	357
8854	4611710	293171	Campo Jemini	15413	381	467
8490	4615539	293709	Campobello	13858	812	92
8745	4615544	293705	Campobello	15384	495	185
8745	4615544	293705	Campobello	15383	495	281
8895	4614321	292129	Case sparse	15843	301	83
8912	4614571	291851	Case sparse	15944	618	87
8879	4614240	292159	Case sparse	15391	253	120
8542	4613581	294101	Castagnetta	14194	192	92
8647	4613674	294396	Castagnetta	14856	172	147
8647	4613674	294396	Castagnetta	14855	172	151
8991	4612940	293409	Castagnetta	16148	183	158
8991	4612940	293409	Castagnetta	16147	183	169
8995	4612557	293938	Castagnetta	16154	193	192
8542	4613581	294101	Castagnetta	14195	192	195
8548	4614137	293423	Castagnetta	14201	567	237
8848	4613534	294383	Castagnetta	15538	365	259
8543	4613505	294023	Castagnetta	14212	265	287
8543	4613505	294023	Castagnetta	14211	271	367
8548	4614137	293423	Castagnetta	14202	567	370
8995	4612557	293938	Castagnetta	16155	193	381
8848	4613534	294383	Castagnetta	15537	365	565
8884	4613938	293715	Castagnetta	15621	238	693
8883	4613952	293457	Castagnetta	15617	179	720
8883	4613952	293457	Castagnetta	15616	179	748

ID_NO	LAT	LONG	DISTRICT	SERIAL	DAYS OF EXP.	BO/MC
8884	4613938	293715	Castagnetta	15620	240	1875
8609	4614760	294273	Cinque Poderi	14645	65	10
8611	4614638	294214	Cinque Poderi	14647	156	93
8701	4615094	294634	Cinque Poderi	15218	215	112
8611	4614638	294214	Cinque Poderi	14646	156	113
8702	4615091	294629	Cinque Poderi	15211	215	133
8608	4614760	294272	Cinque Poderi	14644	188	142
8608	4614760	294272	Cinque Poderi	14643	188	155
8702	4615091	294629	Cinque Poderi	15210	215	234
8501	4614593	291326	Colli di Enea	14242	186	43
8687	4614876	291756	Colli di Enea	15135	314	64
8538	4614733	291177	Colli di Enea	14164	300	68
8684	4614738	291180	Colli di Enea	15137	353	71
8678	4614637	291309	Colli di Enea	15140	686	75
8953	4614495	290872	Colli di Enea	16138	411	81
8953	4614495	290872	Colli di Enea	16139	411	81
8494	4614489	290874	Colli di Enea	14236	766	96
8513	4614713	290838	Colli di Enea	14345	336	99
8685	4614723	291223	Colli di Enea	15046	366	104
8513	4614713	290838	Colli di Enea	14344	336	158
8877	4614496	290883	Colli di Enea	15389	196	180
8877	4614496	290883	Colli di Enea	15388	196	208
8803	4614479	291127	Colli di Enea	15308	368	351
8803	4614479	291127	Colli di Enea	15309	368	458
8535	4612185	289801	Martin Pescatore	14180	184	55
8030	4611531	289969	Martin Pescatore	14372	141	67
8524	4611547	289497	Martin Pescatore	14181	348	74
8859	4611834	289278	Martin Pescatore	15732	431	74
8030	4611531	289969	Martin Pescatore	14373	139	78
8562	4611770	288934	Martin Pescatore	14375	132	78
8911	4611774	289312	Martin Pescatore	15949	536	81
8505	4612059	289441	Martin Pescatore	14241	305	81
8868	4611771	289322	Martin Pescatore	15549	464	85
8505	4612059	289441	Martin Pescatore	14261	305	86
8522	4611853	289267	Martin Pescatore	14248	361	86
8700	4611841	289137	Martin Pescatore	15144	423	92
8855	4611818	289318	Martin Pescatore	15746	633	93
8522	4611853	289267	Martin Pescatore	14166	361	95
8700	4611841	289137	Martin Pescatore	15143	423	97
8536	4612063	289440	Martin Pescatore	14198	181	97
8849	4612263	289733	Martin Pescatore	15349	367	112
8524	4611547	289497	Martin Pescatore	14182	348	113
8859	4611834	289278	Martin Pescatore	15731	431	113
8855	4611818	289318	Martin Pescatore	15745	631	116
8925	4612060	289783	Martin Pescatore	15895	607	118
8911	4611774	289312	Martin Pescatore	15950	536	120
8536	4612063	289440	Martin Pescatore	14199	181	122
8519	4611832	289660	Martin Pescatore	14169	255	129
8562	4611770	288934	Martin Pescatore	14374	132	130
8519	4611832	289660	Martin Pescatore	14168	255	130
8869	4612161	289685	Martin Pescatore	15672	478	131
8621	4611606	289103	Martin Pescatore	14763	364	144
8926	4611840	289733	Martin Pescatore	15897	394	146
8926	4611840	289733	Martin Pescatore	15898	394	153
8621	4611606	289103	Martin Pescatore	14762	364	167
8851	4612102	290141	Martin Pescatore	15312	568	181
8547	4611610	289227	Martin Pescatore	14291	369	182
8870	4611457	289016	Martin Pescatore	15680	480	221
8869	4612161	289685	Martin Pescatore	15675	479	257
8265	4611603	289036	Martin Pescatore	14173	224	286
8265	4611603	289036	Martin Pescatore	11371	196	323
8030	4611531	289969	Martin Pescatore	16933	354	377

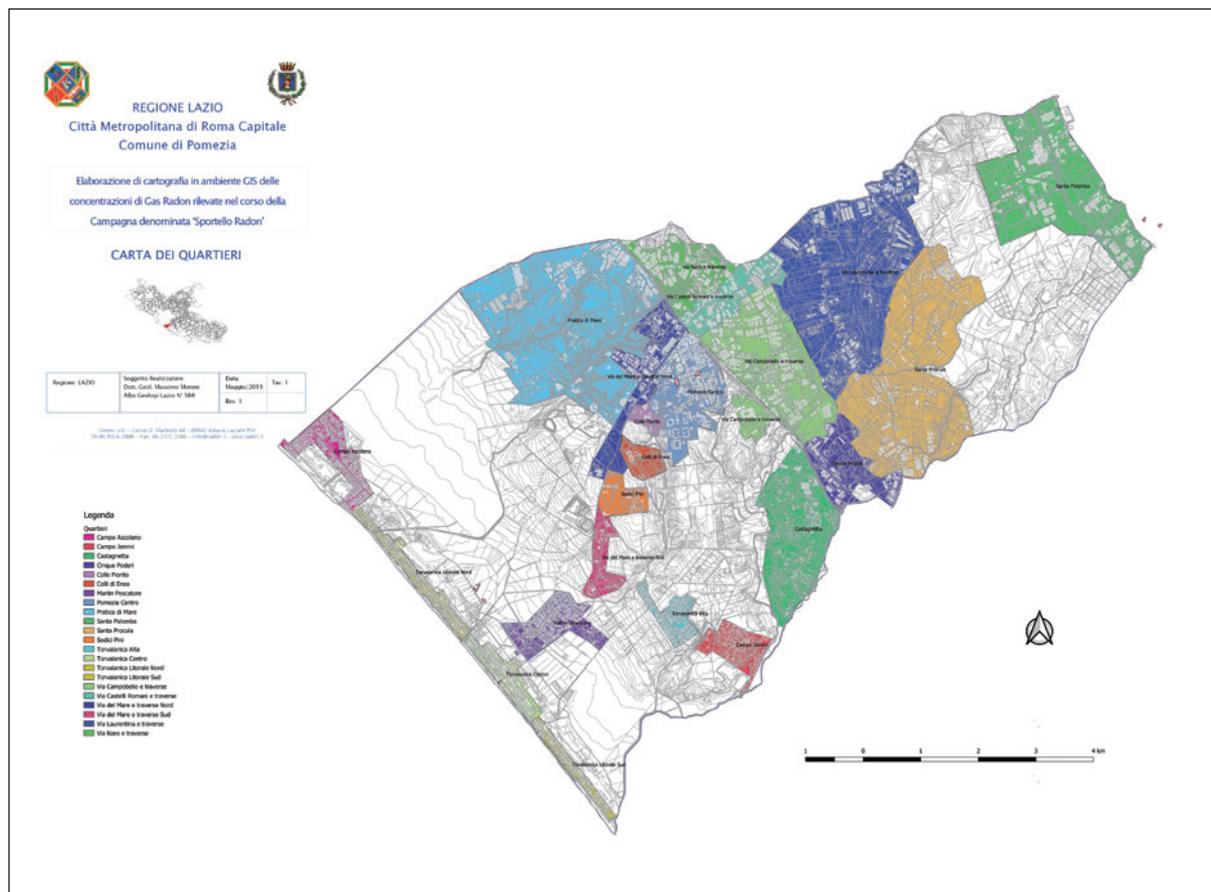
ID_NO	LAT	LONG	DISTRICT	SERIAL	DAYS OF EXP.	BO/MC
8265	4611603	289036	Martin Pescatore	11372	196	382
8265	4611603	289036	Martin Pescatore	14175	224	387
8030	4611531	288969	Martin Pescatore	16934	355	481
8843	4611436	289032	Martin Pescatore	15239	361	495
8511	4615869	292419	Pomezia Centro	14232	486	41
8492	4615444	291578	Pomezia Centro	14254	555	47
8612	4616378	292083	Pomezia Centro	14651	388	53
8964	4615633	292076	Pomezia Centro	16231	405	55
8525	4615317	291834	Pomezia Centro	14174	349	59
8862	4616037	291680	Pomezia Centro	15733	598	62
8661	4615253	291872	Pomezia Centro	14944	420	63
8740	4615953	292188	Pomezia Centro	15234	333	63
8635	4615529	291528	Pomezia Centro	15033	369	63
8962	4615265	292248	Pomezia Centro	16142	385	64
8992	4615252	291882	Pomezia Centro	16149	209	64
8741	4615464	291571	Pomezia Centro	15235	293	66
8541	4614816	291727	Pomezia Centro	14179	126	66
8963	4615265	292249	Pomezia Centro	16043	385	69
8728	4616404	291725	Pomezia Centro	15250	522	71
8920	4615917	292213	Pomezia Centro	15846	373	72
8977	4615165	291609	Pomezia Centro	16126	533	73
8733	4615970	292384	Pomezia Centro	15241	312	75
8672	4615571	291607	Pomezia Centro	15016	286	75
8594	4615965	292191	Pomezia Centro	14750	696	77
8864	4615237	292122	Pomezia Centro	15744	645	80
8633	4615522	291528	Pomezia Centro	15037	364	83
8714	4615254	291871	Pomezia Centro	15223	371	83
8673	4615716	291848	Pomezia Centro	15025	293	84
8969	4614895	291694	Pomezia Centro	16136	427	84
8940	4614903	291754	Pomezia Centro	15909	607	85
8486	4615452	291520	Pomezia Centro	14160	337	85
8650	4615252	291870	Pomezia Centro	14939	217	86
8706	4615748	292074	Pomezia Centro	15217	342	87
8671	4616456	291700	Pomezia Centro	15024	278	93
8746	4614704	291591	Pomezia Centro	15342	237	96
8840	4615045	291467	Pomezia Centro	15129	310	97
8593	4614874	291473	Pomezia Centro	14654	242	100
8597	4615537	291666	Pomezia Centro	14657	365	101
8886	4615482	291556	Pomezia Centro	15385	367	103
8597	4615537	291666	Pomezia Centro	14658	365	105
8892	4616074	292260	Pomezia Centro	15839	184	113
8699	4616391	292201	Pomezia Centro	15224	673	121
8696	4615047	291467	Pomezia Centro	15206	252	123
8638	4615251	291871	Pomezia Centro	15028	398	128
8695	4615486	291512	Pomezia Centro	15208	248	135
8667	4615857	292014	Pomezia Centro	15018	344	143
8592	4616532	292114	Pomezia Centro	14656	318	154
8980	4615831	292243	Pomezia Centro	16137	111	163
8660	4615859	292011	Pomezia Centro	15026	293	172
8595	4615732	291489	Pomezia Centro	14751	712	180
8520	4615587	291578	Pomezia Centro	14231	176	186
8737	4615825	292128	Pomezia Centro	15231	457	202
8881	4615617	292295	Pomezia Centro	15612	365	203
8739	4615827	292127	Pomezia Centro	15226	632	204
8881	4615617	292295	Pomezia Centro	15613	365	206
8665	4615857	292015	Pomezia Centro	15023	293	223
8658	4615860	292012	Pomezia Centro	15027	293	291
8915	4616074	292262	Pomezia Centro	15942	408	298
8738	4615807	292134	Pomezia Centro	15225	591	312
8666	4615859	292011	Pomezia Centro	15017	292	380
8520	4615587	291578	Pomezia Centro	14234	176	502
8695	4615486	291512	Pomezia Centro	15209	248	630
8744	4616000	292277	Pomezia Centro	15382	106	678
8491	4617254	290621	Pratica di Mare	14233	702	682
8761	4620233	298318	Santa Palomba	15446	518	72
8763	4620299	298434	Santa Palomba	15401	795	73
8812	4620422	297593	Santa Palomba	15194	368	76

ID_NO	LAT	LONG	DISTRICT	SERIAL	DAYS OF EXP.	BO/MC
8944	4620468	297549	Santa Palomba	15933	588	78
8834	4620399	297612	Santa Palomba	15130	632	80
8823	4620453	297477	Santa Palomba	15186	365	87
8822	4620120	297575	Santa Palomba	15185	535	90
8814	4620162	297584	Santa Palomba	15202	341	91
8833	4620491	297461	Santa Palomba	15127	293	91
8836	4620440	297458	Santa Palomba	15131	339	97
8825	4620441	297476	Santa Palomba	15126	213	98
8951	4620450	297468	Santa Palomba	15934	539	101
8827	4620316	297540	Santa Palomba	15189	631	116
8820	4620192	297541	Santa Palomba	15200	637	122
8829	4620176	297601	Santa Palomba	15133	183	125
8818	4620177	297588	Santa Palomba	15198	337	127
8835	4620480	297456	Santa Palomba	15128	205	129
8793	4620266	298444	Santa Palomba	15418	651	138
8949	4620163	297580	Santa Palomba	15939	185	139
8778	4620264	298445	Santa Palomba	15244	219	156
8950	4620463	297555	Santa Palomba	15935	233	157
8759	4620234	298333	Santa Palomba	15346	429	166
8819	4620184	297566	Santa Palomba	15187	641	166
8808	4620470	297559	Santa Palomba	15197	345	168
8831	4620194	297532	Santa Palomba	15191	638	175
8764	4619986	298698	Santa Palomba	15424	418	179
8824	4620468	297475	Santa Palomba	15188	159	199
8807	4620484	297555	Santa Palomba	15195	244	217
8794	4620267	298439	Santa Palomba	15404	184	223
8776	4619475	297386	Santa Palomba	15400	441	230
8783	4619115	298184	Santa Palomba	15419	449	243
8749	4620278	298466	Santa Palomba	15394	503	330
8795	4620281	298466	Santa Palomba	15405	796	377
8757	4620276	298466	Santa Palomba	15428	512	428
8762	4620236	298335	Santa Palomba	15412	516	479
8777	4620224	298322	Santa Palomba	15442	530	571
8791	4620275	298462	Santa Palomba	15411	479	729
8772	4620222	298322	Santa Palomba	15431	530	964
8792	4620273	298464	Santa Palomba	15417	269	1448
8610	4616878	296217	Santa Procula	14649	188	56
8670	4615777	296070	Santa Procula	15022	290	94
8506	4615608	295412	Santa Procula	14227	785	133
8550	4617132	295765	Santa Procula	14320	176	169
8551	4617140	295766	Santa Procula	14183	175	197
8610	4616878	296217	Santa Procula	14650	188	244
8981	4616816	296137	Santa Procula	16229	184	311
8512	4617889	296164	Santa Procula	14238	660	451
8506	4615608	295412	Santa Procula	14229	785	453
8512	4617889	296164	Santa Procula	14249	660	548
8981	4616816	296137	Santa Procula	16228	184	1493
8598	4610371	289022	Torvaianica	14752	181	66
8742	4612839	286885	Torvaianica	15227	287	77
8539	4611333	288149	Torvaianica	14207	380	83
8863	4612047	288117	Torvaianica	15740	183	91
8919	4610821	288553	Torvaianica	15890	360	91
8863	4612047	288117	Torvaianica	15738	185	98
8919	4610821	288553	Torvaianica	15889	360	98
8540	4611349	288178	Torvaianica	14154	380	114
8747	4613266	286679	Torvaianica	15347	323	115
8697	4611979	290090	Torvaianica	15205	281	138
8493	4609869	289400	Torvaianica	14237	652	142
8861	4611340	288194	Torvaianica	15674	398	150
8596	4611020	288843	Torvaianica	14753	184	159
8694	4610277	289282	Torvaianica	15147	281	194
8982	4610004	289207	Torvaianica	16234	184	221
8856	4610236	289015	Torvaianica	15670	614	283
8570	4612941	286746	Torvaianica	14381	723	324
8515	4612068	291622	Torvaianica Alta	14346	216	55
8523	4611763	291378	Torvaianica alta	14170	328	58
8571	4611890	291772	Torvaianica Alta	14459	286	61

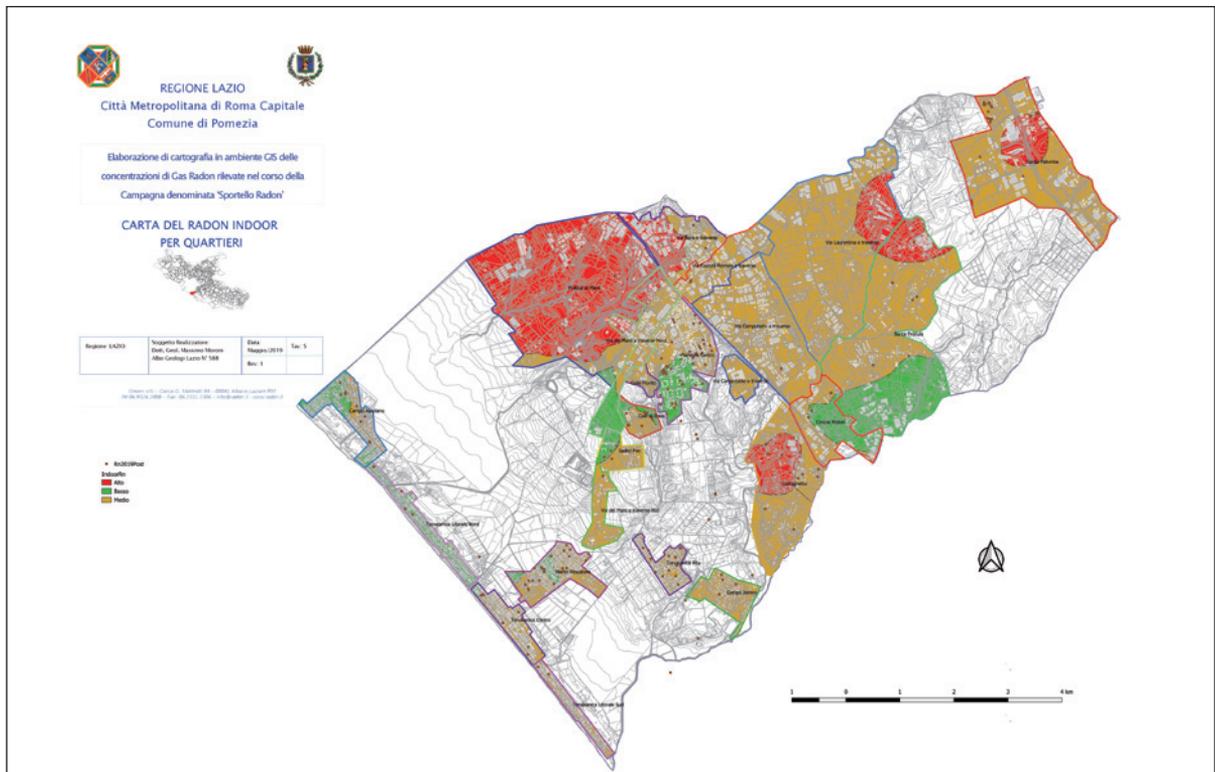
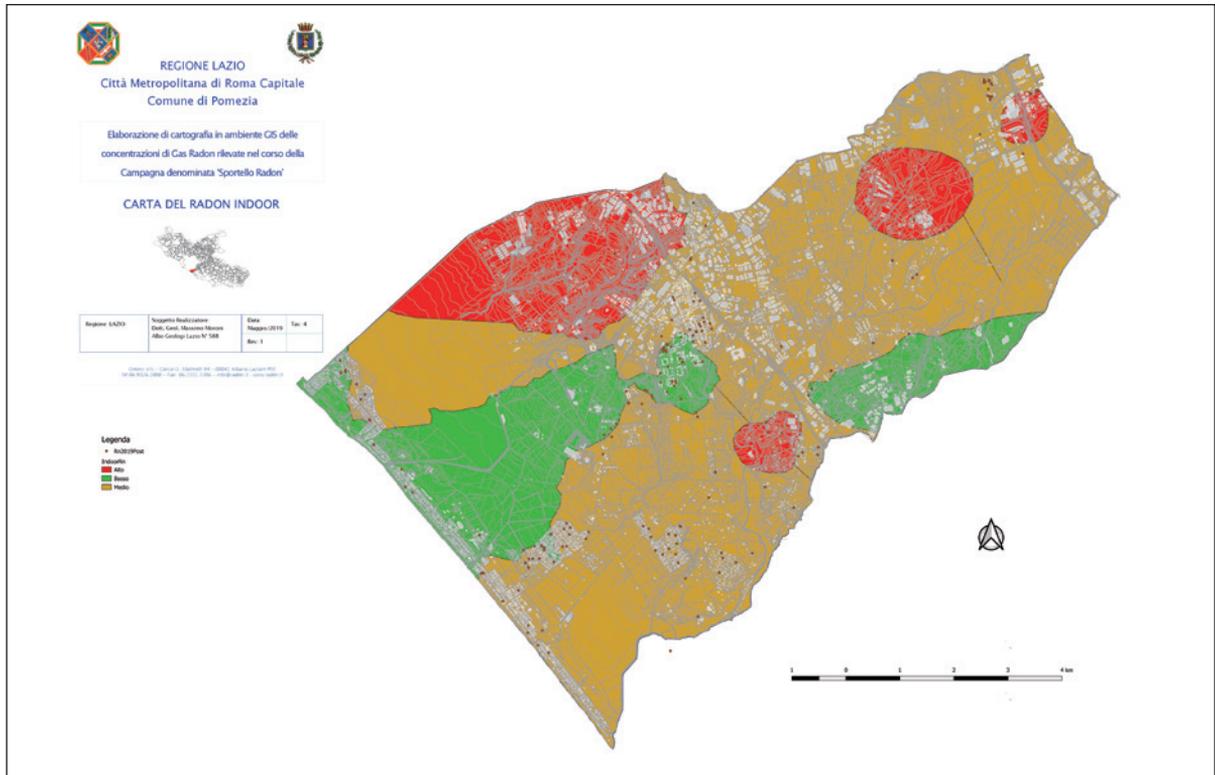
ID_NO	LAT	LONG	DISTRICT	SERIAL	DAYS OF EXP.	BQ/MC
8523	4611763	291378	Torvaianica alta	14171	328	62
8571	4611890	291772	Torvaianica Alta	14460	286	68
8515	4612068	291622	Torvaianica Alta	14230	216	72
8487	4609899	291656	Torvaianica Alta	14155	319	72
8487	4609899	291656	Torvaianica Alta	14163	319	76
8518	4612165	291255	Torvaianica alta	14177	144	83
8669	4612212	291148	Torvaianica Alta	14946	340	85
8891	4612204	291849	Torvaianica Alta	15832	202	101
8591	4611533	291800	Torvaianica Alta	14757	215	103
8518	4612165	291255	Torvaianica alta	14176	144	113
8891	4612204	291849	Torvaianica Alta	15833	202	117
8890	4611798	291627	Torvaianica Alta	15840	202	147
8591	4611533	291800	Torvaianica Alta	14749	215	148
8842	4611692	291756	Torvaianica Alta	15438	641	158
8842	4611692	291756	Torvaianica Alta	15437	641	172
8880	4612043	291749	Torvaianica Alta	15611	253	173
8890	4611798	291627	Torvaianica Alta	15841	202	178
8889	4611689	291512	Torvaianica Alta	15627	155	187
8880	4612043	291749	Torvaianica Alta	15610	253	212
8639	4612013	291295	Torvaianica Alta	15049	527	220
8923	4612214	291830	Torvaianica Alta	15893	391	238
8485	4611243	291933	Torvaianica Alta	13552	416	323
8485	4611243	291933	Torvaianica Alta	14158	416	349

ID_NO	LAT	LONG	DISTRICT	SERIAL	DAYS OF EXP.	BQ/MC
8889	4611689	291512	Torvaianica Alta	15628	155	450
8923	4612214	291830	Torvaianica Alta	15894	391	463
8499	4612036	291749	Torvaianica Alta	14228	398	470
8804	4617153	292022	Via Castelli Romani e trav	15307	269	116
8713	4617183	292035	Via Castelli Romani e trav	15228	372	327
8713	4617183	292035	Via Castelli Romani e trav	15229	371	410
8918	4613548	290408	Via del Mare e traverse	15891	358	152
8918	4613548	290408	Via del Mare e traverse	15892	358	201
8703	4615092	294627	Via Laurentina e traverse	15213	203	269
8703	4615092	294627	Via Laurentina e traverse	15214	203	320
8545	4617780	292309	Via Naro	13059	252	57
8510	4618206	292082	Via Naro	14350	363	128
8510	4618206	292082	Via Naro	14246	363	131
8630	4618005	291946	Via Naro e traverse	15031	190	139
8630	4618005	291946	Via Naro e traverse	15032	190	191
8631	4618003	291945	Via Naro e traverse	15030	190	333
8985	4613210	292491	Viceré	16238	184	100
8916	4612741	292367	Viceré	15947	239	152
8916	4612741	292367	Viceré	15946	239	170
8984	4613220	292488	Viceré	16236	185	184
8984	4613220	292488	Viceré	16237	185	291

ANNEX 2 – GIS MAPS







## Bibliografia

- ANPA, AGENZIA NAZIONALE PER L'AMBIENTE, (2000) - *Il Sistema Informativo Territoriale per la valutazione del Potenziale di Esalazione di Radon dal Suolo*. Rapporto ANPA, serie Stato dell'Ambiente 9/2000.
- BARNET I., PACHEROVA P., NEZNAL M. & NEZNAL M. (2008) - *Radon in geological environment - Czech experience*. Czech Geological Survey Special Papers, 19: 1-70.
- BOURDON B., TURNER S., HENDERSON G.M. & LUNDSTROM C.C. (2003) - Introduction to U-series geochemistry. In: "Uranium-series geochemistry", Reviews in Mineralogy & Geochemistry, 52: 1-21.
- CASTELLUCCIO M. (2010) - Soil radon concentration survey in Caffarella Valley test site (Rome) Ph.D. Thesis in Geodynamics at the "Roma Tre" University - CASTELLUCCIO M., MORONI M., TUCCIMEI P., NEZNAL M. & NEZNAL M. (2010) - Soil Gas Radon Concentration and Permeability at "Valle della Caffarella" Test Site (Roma, Italy). Evaluation of Gas Sampling Techniques and Radon Measurements Using Different Approaches. Proceedings of 10th International Workshop On The Geological Aspects Of Radon Risk Mapping, Ivan Barnet and Matej Neznal Eds, Czech Geological Survey, Prague (CZ), September 22nd - 25th, 2010, 61-71.
- CASTELLUCCIO M., GIANNELLA G., LUCCHETTI C., MORONI M. & TUCCIMEI P. (2011) - *Il rischio radon in edilizia. Proposta di codifi ca di un protocollo per la classifi cazione del rischio*. Professione Geologo, Notiziario dell'Ordine dei Geologi del Lazio, 27: 8-13.
- DUBOIS G. (2005) - *An overview of radon surveys in Europe*. Radioactivity Environmental Monitoring - Emissions and Health Unit - Institute for Environment and Sustainability - Joint Research Center - European Commission - EUR 21892 EN
- FRIEDMANN H. (2005) - Final results of the Austrian radon Project. Health Phys, 89 (4): 339-348.
- GIORDANO G. & THE CARG TEAM, (2010) - *Stratigraphy and volcano-tectonic structures of the Colli Albani volcanic field*. In: FUNICIELLO, R. & GIORDANO, G. (eds) The Colli Albani Volcano. Geological Society of London, special volume: 43 - 98.
- JIRANEK M. (2010) - *Radon protective and remedial measures in the Czech Republic*. Proceedings of 10th International Workshop On The Geological Aspects Of Radon Risk Mapping, Ivan Barnet and Matej Neznal Eds, Czech Geological Survey, Prague (CZ), September 22nd - 25th, 2010, 142- 147.
- JOHNER H.U. & SURBECK H. (2001) - *Soil gas measurements below foundation depth improve indoor radon prediction*. The Science of the Total Environment, 272:337-341
- KEMSKI J., SIEHL A., STEGEMANN R. & VALDIVIA-MANCHEGO M. (2012) - *Mapping the geogenic radon potential in Germany*. The Science of the Total Environment, 272: 217-230
- MENETREZ M.Y. & MOSLEY R.B. (1996) - *Evaluation of radon emanation from soil with varying moisture content in a soil chamber*. Environment International, 22(1): 447-453
- MORONI M. (2002) - *Il Radon: Manuale Tecnico di rilevamento e bonifi ca*. Il Sole 24 Ore editrice, Milano
- NEZNAL M., NEZNAL M., MATOLÌN M., BARNET I. & MIKSOVA J. (2004) - *The new method for assessing the radon risk of building sites Czech Geological Survey Special Papers*, CGS Prague
- NEZNAL M. & NEZNAL M. (2005) - *Permeability as an important parameter for radon risk classification of foundation soils*. Annals of Geophysics, 48: 175-180.
- RICHON P., PERRIER F., KOIRALA B.P., GIRAULT F., BHATTARAI M. & SAPKOTA S.N. (2011) - *Temporal signatures of advective versus diffusive radon transport at a geothermal zone in Central Nepal*. Journal of Environmental Radioactivity, 102: 88-102
- SCHUBERT M. & SCHULZ H. (2002) - *Diurnal radon variations in the upper soil layers and at the soil-air interface related to meteorological parameters*. Health Physics, 83 (1): 91-96
- USEPA, UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1993) - *Protocols for Radon and Radon Decay Product Measurement in Homes*. USEPA Publication 402-R-92-003. Washington, D.C
- WHO, WORLD HEALTH ORGANIZATION (2007) - *International Radon Project Survey on Radon Guidelines, Programmes and Activities*. WHO, Geneva.
- WHO, WORLD HEALTH ORGANISATION, (2009) - *WHO Handbook on Indoor Radon: a public health perspective*; ZEEB, H.; SHANNOUN F., Ed., France, 2009, pp 1-95
- WIEGAND J. (2001) - *A guideline for the evaluation of the soil radon potential based on geogenic and anthropogenic parameters*. Environmental Geology, 40: 949-963
- WINKLER R., RUCKERBAUER F. & BUNZL K. (2001) - *Radon concentration in soil gas: a comparison of the variability resulting from different methods, spatial heterogeneity and seasonal fluctuations*. The Science of the Total Environment, 272 (1-3): 273-282.
- MAURO CASTELLUCCIO(\*), GIANLUIGI GIANNELLA(\*\*), CARLO LUCCHETTI(\*), MASSIMO MORONI(\*\*\*) & PAOLA TUCCIMEI(\*) *La classificazione della pericolosità radon nella pianificazione territoriale finalizzata alla gestione del rischio/ Classification of radon hazard in urban planning focused to risk management*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, 2 (2012)



# Geofisica senza limiti .....

## MALÀ GeoDrone 80

La soluzione definitiva per  
Indagini GPR Low-frequency, airborne



**SENSYS**  
Magnetometers & Survey Solutions

**Magdrone**  
Indagini magnetichesenza limiti

DISTRIBUTORE PER L'ITALIA

**GUIDELINEGEO**  
ABEM MALÀ

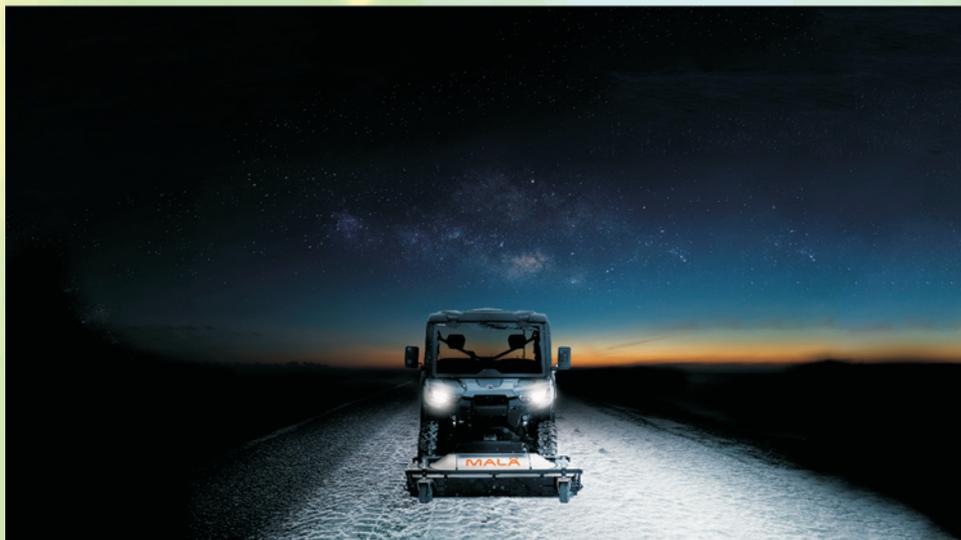
  
geotomographie

  
GEOGIGA  
TECHNOLOGY CORP

**SENSYS**  
Magnetometers & Survey Solutions

  
Geophex Ltd.

**EMFAD** **ZC**



**MIRA HDR**  
L'array di antenne GPR  
con tecnologia HDR per  
una risoluzione senza eguali

# Modellazione stocastica della fratturazione (Metodo Discrete Fracture Network) a supporto della stima previsionale di resa all'interno di bacini estrattivi di pietre ornamentali

*Stochastic Discrete Fracture Network Modeling*

*in support of quarry yield prediction in ornamental stone basins*

**Riccardo Salvini**, Università di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente e Centro di GeoTecnologie CGT

**Claudio Vanneschi**, CGT Spinoff srl, Spinoff Accademico dell'Università di Siena

**Andrea Garattoni**, Università di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente e Centro di GeoTecnologie CGT

## Termini chiave:

Fratturazione, Geotecnica, Cave di marmo, attività estrattive

## Keywords:

Discrete Fracture Network, Marble quarry, Modelling, Yield Prediction, Fracman

## Abstract

*The present paper shows a working approach aimed at improving quarry yield prediction accuracy in ornamental stone basins. In such context, the yield prediction is subjected to a degree of uncertainty due to several factors, as the fracture network, the geomechanical properties of the rock and other qualitative characteristics of the ornamental stones. To decrease such uncertainty, we proposed an approach based on the Discrete Fracture Network (DFN) technique. The DFN is a stochastic approach for reproducing the discontinuity pattern starting from deterministic measurements of different parameters acquired during field surveys, as for example fracture intensity and density. A specific algorithm creates a fracture network compatible from a statistic point of view with the data collected on the quarry rock faces, overcoming the limitations of a purely deterministic approach. This study used the DFN methodology in a marble quarry (Apuan Alps, Italy), where it has been possible to increase the reliability of the quarry yield prediction in terms of dimension of extractable intact blocks, which is the starting point of a series of other qualitative considerations.*

## Riassunto

In questo lavoro viene presentato un approccio di studio che mira alla diminuzione dell'incertezza relativa alle stime di resa previsionali in bacini estrattivi di pietre ornamentali. In tale contesto la resa è determinata da più fattori, quali lo stato di fratturazione e le caratteristiche geomecniche dell'ammasso roccioso oltre alle caratteristiche merceologiche dello stesso. A tal fine, è stato adottato un

approccio di studio basato sulla tecnica del Discrete Fracture Network (DFN). Si tratta di un metodo che si basa su una rappresentazione stocastica delle discontinuità derivante dalla misurazione deterministica di parametri di intensità e densità di fratturazione ottenibili su affioramenti rocciosi. L'algoritmo ricostruisce un pattern di fratturazione compatibile dal punto di vista statistico con le informazioni ricavabili sulle pareti di cava, superando di fatto il problema dell'approccio deterministico, limitato a ciò che è visibile sulle pareti. Tale approccio ha permesso di quantificare le stime di resa relative alle grandezze dei blocchi intatti estraibili, punto di partenza per altre considerazioni che ad oggi risultano ancora in larga parte qualitative, con l'obiettivo di migliorare la coerenza e l'efficacia di piani di coltivazione nei giacimenti estrattivi.

## Introduzione

Una delle più grandi sfide in Geologia Applicata è la riproduzione di un dettagliato e realistico sistema di fratturazione all'interno di un ammasso roccioso. Si tratta di una problematica che riguarda diversi settori geo-scientifici, con i maggiori sforzi per la sua risoluzione provenienti dal campo del *reservoir engineering*, dove lo studio della fratturazione, e i relativi modelli di flusso, rappresentano un aspetto cruciale. Il principale ostacolo alla creazione di un corretto modello di fratturazione risiede nella natura anisotropa e disomogenea propria dei sistemi naturali. Le discontinuità presentano infatti un certo grado di imprevedibilità per cui risulta impossibile andare a prevederne la corretta posizione, orientazione, spaziatura e lunghezza all'interno di un versante roccioso basandosi su pochi dati

di input raccolti in superficie. Da sempre tale problema viene semplificato tramite i classici rilievi geomeccanici, andando a raccogliere informazioni sulle discontinuità rilevabili *in situ* e suddividendo le stesse in *famiglie* (gruppi di discontinuità con caratteristiche simili). I criteri di raggruppamento delle discontinuità in famiglie si basano su caratteri di orientazione, persistenza, spaziatura, condizione dei giunti, ecc. Questo approccio permette di giungere in maniera più o meno rapida ad un modello fratturativo semplificato che descrive in maniera statistica e regolare i caratteri macroscopici dello stesso. Tale metodologia non tiene però conto della variabilità naturale, e quindi di tutte quelle variazioni casuali presenti all'interno di un ammasso roccioso. Per esempio, una generica famiglia J sarà caratterizzata, secondo il tradizionale approccio geomeccanico, da determinati attributi di spaziatura, persistenza e orientazione costanti nello spazio. Nella realtà invece questi attributi variano e difficilmente sono costanti. Inoltre, tale approccio spesso non considera tutta una serie di discontinuità casuali che non sono associabili a nessuna famiglia individuata durante i rilievi, ma che incrementano il grado di fratturazione di un ammasso roccioso. L'approccio statistico, quindi, seppur importante per uno studio generale della fratturazione, non può essere preso a riferimento per studi di dettaglio, dove la variabilità locale risulta determinante. Questo è per esempio il caso dell'analisi della fratturazione mirata ad una previsione realistica della dimensione dei blocchi ricavabili durante un'attività estrattiva, e quindi della *resa* in percentuale di un giacimento destinato alla coltivazione di pietre ornamentali (*resa* intesa come percentuali di blocchi estraibili, integri e di volumetria adeguata ai fini commerciali).

Un'opzione aggiuntiva al rilievo di superficie è rappresentata dai Log multi-parametrici eseguiti nei fori di sondaggi esplorativi i quali permettono di effettuare delle vere e proprie "prospezioni geofisiche di controllo". Nello specifico, mediante sonda ottica ed acustica si possono effettuare ispezioni televisive (BHTV) alle varie profondità con l'obiettivo di restituire le caratteristiche litologiche e strutturali (es. fratture) delle formazioni attraversate. Il limite di tale tecnica, oltre al costo e alla fattibilità in condizioni morfologiche complesse, è la natura puntuale dell'indagine che di fatto si riduce ad informazioni riferibili ad un numero limitato di luoghi e dati.

Al fine di superare le difficoltà menzionate, e creare modelli fratturativi maggiormente realistici, è stato sviluppato a partire dagli anni '80 (Andersson et al. 1984; Bakun-Mazor et al. 2009; Dershowitz and Einstein 1988; Elsworth 1986; Long et al. 1982, 1985; Smith and Schwartz 1984) un diverso approccio di studio, denominato Discrete Fracture Network (DFN). Il DFN si basa su una rappresentazione stocastica delle discontinuità derivante dalle varie tecniche di misurazione deterministica di parametri di intensità e

densità di fratturazione ottenibili su affioramenti rocciosi, tramite linee di scansione o finestre bidimensionali. Il pattern di fratturazione è stocastico, ma tiene conto nella naturale variabilità dell'ammasso e viene creato a partire da consistenti input statistici. Ovviamente, i vari modelli stocastici di uno stesso ammasso differiranno tra loro, quindi un numero elevato di modelli sarà necessario al fine di comprendere correttamente i risultati ottenuti (Weir and Fowler 2014).

La tecnica DFN è oggi ampiamente utilizzata in Geologia Applicata, come riscontrabile nella recente letteratura (Bahrani et al. 2014; Bakun-Mazor et al. 2009; Borghi et al. 2015; Grenon et al. 2014; Huang et al. 2017; Hyman et al. 2015; Maillot et al. 2016; Salvini et al. 2017; Scholtès and Donzé 2012; Spreafico et al. 2017). Questa diffusione del DFN per studi geomeccanici è dovuta sostanzialmente al fatto che permette di superare le principali limitazioni degli approcci tradizionali, come l'irrealistica assunzione di discontinuità completamente persistenti e spesso di infinita lunghezza (Weir and Fowler 2014). Idealmente, infatti, ogni discontinuità dovrebbe essere caratterizzata singolarmente e in maniera deterministica, ma la limitata visibilità delle fratture (generalmente confinata a pochi affioramenti) preclude questa possibilità, anche utilizzando le più moderne tecniche geomatiche e geofisiche a disposizione. Per questi motivi, l'approccio DFN rappresenta oggi l'opzione migliore per la creazione di un corretto modello di fratturazione. In sostanza, dunque, la simulazione stocastica di un sistema di fratture è la base geometrica dell'approccio DFN e gioca un ruolo cruciale nella realistica del prodotto finale. Il passaggio chiave in questo senso è la creazione di consistenti stime statistiche dei parametri di densità, orientazione e dimensione, basati su risultati di misure effettuate direttamente sul sito di studio (Jing 2003). Il modello DFN, infatti, seppur stocastico, verrà generato a partire da distribuzioni statistiche ottenute da misure realizzate direttamente sul campo, e dovrà essere compatibile con le stesse. In altre parole, il modello DFN finale, tridimensionale, fornirà gli stessi valori statistici di densità, orientazione e dimensione delle fratture osservate negli affioramenti bidimensionali. Questo passaggio è fondamentale, in quanto l'obiettivo finale non è la riproduzione deterministica dell'ammasso roccioso, impossibile ad oggi, ma la creazione di svariati modelli DFN che presentino le medesime caratteristiche statistiche di quello reale e che, se analizzati nel loro complesso, permettano di ottenere risultati realistici ed affidabili.

Questo ricerca mostra l'applicazione dell'approccio DFN come supporto alla realizzazione di piani di coltivazione che contengano corrette stime previsionali di resa in un bacino estrattivo di pietre ornamentali delle Alpi Apuane (Italia). Tali stime sono essenziali per la redazione di adeguati piani industriali e richiedono particolare attenzione

da parte della ricerca geologica applicata, in considerazioni degli alti livelli di incertezza riscontrabili seguendo approcci di studio più tradizionali.

### Area di indagine – Cava Romana

L'area di indagine, una cava in sotterraneo denominata "Cava Romana", si trova nel territorio delle Alpi Apuane, in provincia di Massa-Carrara (Figura 1). La finestra tettonica delle Alpi Apuane costituisce la porzione in posizione geometricamente più bassa, nota in affioramento, dell'edificio a falde dell'Appennino Settentrionale. Nell'area affiorano sia i terreni metamorfici profondi della catena (Unità di Massa e "Autoctono" Auct.), sia le unità tettoniche più superficiali (rappresentate dall'alto verso il basso dalle Unità Liguri s.l., dalle Unità Sub-Liguri e dalla Falda Toscana). Le Alpi Apuane sono costituite da rocce metamorfiche di medio-basso grado, con età compresa fra il Cambriano Inferiore (Paleozoico) e il Miocene Inferiore (Cenozoico), appartenenti alle unità tettoniche di Massa e dell'"Autoctono" Auct. (anche detta Unità delle Alpi Apuane). Quest'ultima è caratterizzata dalla presenza di un basamento continentale di età paleozoica, sopra al quale affiorano, in discordanza, delle coperture costituite da successioni metasedimentarie di età compresa fra Triassico Superiore ed il Miocene Inferiore.

Le geometrie deformative che caratterizzano il complesso metamorfico delle Alpi Apuane sono il risultato di due principali eventi tettono-metamorfici (noti nella letteratura geologica con i termini Fase D1 e Fase D2, Carmignani et al. 1993). Tali fasi sono inquadrabili all'interno di una storia di deformazione progressiva sviluppatasi attraverso gli stadi collisionali e post-collisionali che hanno caratterizzato l'evoluzione della porzione interna dell'Appennino Settentrionale (Carmignani and Kligfield 1990; Molli and Meccheri 2000). Durante la fase D1, correlabile alla collisione continentale tra il blocco Sardo-Corso e la Microplacca Adria, si è verificata la messa in posto verso Nord-Est delle unità tettoniche superiori non metamorfiche (Unità Liguri s.l. e Sub-Liguri e Falda Toscana) al di sopra di unità tettoniche più profonde ("Autoctono" Auct. e Unità di Massa). Tale evento deformativo, attivo in questo settore di catena dal Miocene Medio, ha sviluppato all'interno dell'unità tettono-metamorfica dell'"Autoctono" Auct. pieghe isoclinali, coricate, fortemente non cilindriche, osservabili a tutte le scale (le dimensioni variano da millimetriche a plurichilometriche). Le tracce di piano assiale delle pieghe della fase D1 hanno una orientazione variabile da Nord Ovest – Sud Est, nella porzione occidentale del nucleo metamorfico, fino a Nord – Sud nella porzione centro-orientale dell'Unità tettono-metamorfica dell'"Autoctono" Auct. Alle strutture appena descritte è associata una scistosità di piano assiale (denominata S1), che spesso trasporta l'originaria

stratificazione, e una lineazione di estensione (L1), con direzione media Sud Ovest - Nord Est, interpretata come la principale direzione di trasporto delle unità tettoniche dell'orogene. Durante la successiva fase D2, attiva a partire dal Miocene Superiore, si è realizzata una deformazione distensiva duttile che porta al riequilibrio isostatico della crosta ispessita durante la precedente fase D1 di raccorciamento (Carmignani and Kligfield 1990). Le precedenti strutture sono state deformate con sviluppo di pieghe parassite, variamente non-cilindriche, associate ad un clivaggio di crenulazione di piano assiale sub-orizzontale e senso di rovesciamento verso Est ed Ovest, rispettivamente, lungo i fianchi orientali e occidentali delle Alpi Apuane. Alle pieghe D2 sono associate zone di taglio, responsabili della progressiva esumazione delle unità metamorfiche verso livelli strutturali più superficiali. Gli stadi finali dell'evento D2 sono caratterizzati dallo sviluppo di strutture semi-fragili e fragili, rappresentate da pieghe aperte e di tipo *kink*, con piano assiale sub-verticale e da faglie dirette a basso ed alto angolo. Recentemente è stata proposta l'ipotesi dello sviluppo di una fase deformativa successiva, denominata D3, responsabile dell'attivazione di zone di taglio duttili caratterizzate da cinematismi diretti e trascorrenti. Tali *shear zones* hanno ulteriormente complicato l'assetto strutturale del complesso metamorfico e sembrano essere determinanti per la geometria finale attuale (Carmignani et al. 2015).

La cava Romana è ubicata all'interno del Bacino Fondone – Cerignano Forno (Comune di Massa) in sinistra idrografica del Canale Fondone, poco sopra la confluenza con il Canale di Cerignano, ad una quota di 510 metri s.l.m. All'interno dell'area di cava sono presenti le varietà merceologiche riferibili alle formazioni dei Marmi e Marmi Dolomitici (Unità delle Alpi Apuane) facenti parte dell'Antiforme di Monte Rasori, una struttura minore situata in corrispondenza del fianco rovesciato della sinclinale di Orto di Donna (Figura 1) riferibile alla Fase D1.

In generale la coltivazione si è sviluppata nel tempo su 3 livelli: un livello a cielo aperto (circa 550 mslm), un livello intermedio in sotterraneo (circa 500 mslm) e un livello inferiore posto circa sessanta metri più in basso. Il presente studio sulla modellazione DFN fa riferimento ad una porzione di cava appartenente al livello intermedio, evidenziata nella planimetria di Figura 2, scelta come area pilota per l'applicazione dell'approccio di studio descritto in precedenza. La scelta su quale zona di Cava Romana utilizzare come area pilota è stata dettata da diversi motivi, tra cui la possibilità di disporre di diversi rilievi geomatici e geomeccanici e studi di analisi di stabilità effettuati a partire dal 2012. Inoltre tale area di cava presenta caratteristiche fratturative intermedie rispetto ad altri settori, che risultano più o meno fratturati, e può quindi essere considerata rappresentativa dello stato di fratturazione generale.

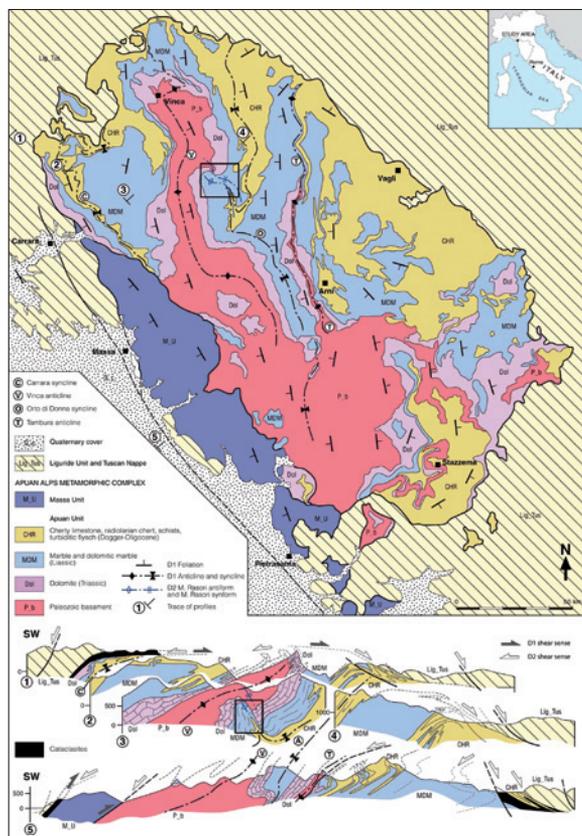


Figura 1 - Schema tettonico delle Alpi Apuane. Nel riquadro è specificata la posizione dell'area d'indagine (Vanneschi et al. 2014a).

Figure 1 - Tectonic sketch map of the Apuan Alps. The black rectangle identifies the study area (Vanneschi et al. 2014a).

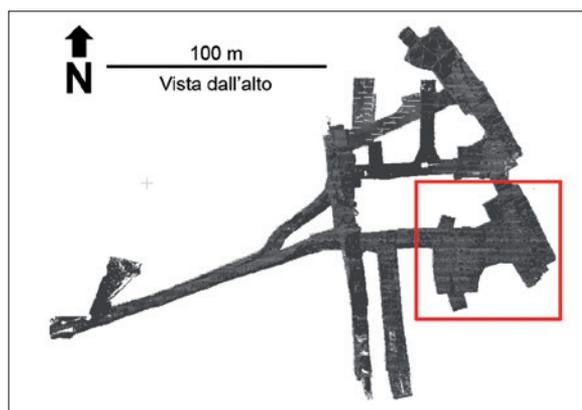


Figura 2 - Visione planimetrica dell'area di cava in sotterraneo, con evidenziata l'area di interesse per lo studio della fratturazione.

Figure 2 - Planimetric map of the underground quarry; in evidence the specific area of study.

## Rilievi Geomeccanici

La base per la creazione dei modelli DFN risiede nell'acquisizione di un grande numero di misure provenienti dal rilievo geomeccanico *in situ* e nella selezione dei dati migliori e rappresentativi. L'approccio lavorativo da adottare è il seguente:

- Individuazione delle pareti di cava dove poter acquisire i dati geomeccanici rappresentativi.
- Realizzazione del rilievo tramite la tecnica delle linee di scansione. I dati di interesse acquisiti sono principalmente di natura geometrica (giacitura, lunghezza e spaziatura) per ogni frattura, a prescindere dalla lunghezza, intercettata dalla linea di scansione.
- Le linee di scansione devono essere disposte, se possibile, su pareti aventi diverse orientazioni (compresi i livelli calpestabili orizzontali), per assicurare che tutte le famiglie di discontinuità siano correttamente rappresentate.
- Una volta acquisiti, i dati devono essere elaborati suddividendo la cava di interesse in domini a carattere geomeccanico omogeneo.

Il presente lavoro ha visto l'acquisizione di informazioni per un totale di 361 fratture. Da esse è stato suddiviso l'ammasso roccioso in famiglie omogenee di discontinuità tramite il software Dips (RocScience Inc. 2018). La Figura 3 mostra lo stereonet (rappresentazione equiarea, emisfero inferiore) relativo ai poli delle fratture e alla suddivisione in famiglie (riportate anche come ciclografiche medie); la Tabella 1 riassume i dati medi giacaturali.

Famiglia	Inclinazione	Direzione d'immersione
J1A	80	98
J1B	75	275
J2A	79	22
J2B	79	197
J3	76	329
Random	25	275

Tabella 1 - Elenco giaciture medie delle famiglie di discontinuità osservate nell'area in esame.

Table 1 - Mean orientation values of discontinuity sets measured on the study area.

I dati indicano la presenza di 3 principali famiglie di discontinuità sub-verticali:

- Famiglia J1 (per comodità nelle successive analisi suddivisa in J1A e J1B), avente strike circa Nord-Sud, con spaziatura media rilevata dell'ordine dei 2 metri.
- Famiglia J2 (per comodità nelle successive analisi suddivisa in J2A e J2B), avente strike circa Nord Ovest-Sud Est, con spaziatura media rilevata dell'ordine dei

2 metri.

- Famiglia J3, avente strike circa Nord Est-Sud Ovest, con spaziatura media rilevata di poco inferiore ai 2 metri.

Una considerazione a parte va effettuata per un'ulteriore classificazione denominata *Random*; si tratta dell'insieme di discontinuità abbastanza disperse, generalmente da mediamente a poco inclinate, aventi chiare caratteristiche di casualità. Tali discontinuità non sono generalmente raggruppate in famiglie specifiche, ma trascurandone la presenza, si potrebbe rischiare di sottovalutare la fratturazione di interesse nell'area di cava. Per questo motivo, ai fini della generazione dei modelli DFN, si è deciso di creare una famiglia ad hoc, denominata appunto *Random*, allo scopo di considerare tutte le fratture presenti nell'ammasso

roccioso, siano esse raggruppabili geometricamente o meno. Si tratta di un passaggio chiave, in quanto spesso tale sistema a carattere "casuale" non viene considerato, portando a previsioni errate sullo stato fratturativo delle aree estrattive. La giacitura attribuita deriva comunque da un addensamento di dati a carattere simile.

### Realizzazione dei modelli DFN

La realizzazione dei modelli DFN per il presente studio segue l'approccio descritto da Elmo (2006), spiegato in dettaglio a seguire.

Il software utilizzato per rappresentare la geometria di fratturazione è FracMan 77 (Dershowitz et al. 1998; Golder Associates 2018). FracMan è un software ideato specificamente per generare modelli tridimensionali di fratturazione basandosi su dati quali-quantitativi misurati *in situ*. Come anticipato, si tratta di modelli realizzati tramite una generazione stocastica di giaciture, diametri e posizioni delle singole discontinuità basata su input statistici, quantitativi, derivanti dalle misure di campagna. La natura stocastica del processo è tale per cui esistono infinite possibili realizzazioni di uno stesso modello DFN. Ciò nonostante, va ricordato che la natura stessa degli ammassi rocciosi è caratterizzata da un certo grado di *casualità*, che non permette di affrontare il problema da un punto di vista puramente deterministico. Per questi motivi, l'approccio stocastico DFN rappresenta ad oggi la migliore opzione per la realizzazione di modelli di fratturazione realistici con cui provare a determinare la possibile resa di un'area estrattiva.

I passaggi base per la determinazione quantitativa dei volumi dei blocchi estraibili in un'area di cava possono essere sintetizzati nei seguenti 4 punti: *Scelta del tipo di modello DFN, analisi della distribuzione delle giaciture delle fratture, analisi della dimensione delle fratture, analisi dell'intensità della fratturazione.*

### Scelta del tipo di modello DFN

Una trattazione sulle diverse tipologie di modelli DFN esula dagli obiettivi della presente ricerca, anche se è possibile dire che si differenziano principalmente per le leggi di distribuzione stocastica utilizzate per la generazione di posizione e orientazione delle fratture. In questo caso si è scelto di utilizzare il modello *Enhanced Beacher*, adatto per diverse applicazioni tra le quali l'analisi dei volumi dei blocchi estraibili. Tale modello utilizza un processo di generazione di tipo *Poisson* (processo stocastico) e si basa sui dati ottenuti lungo linee di scansione (Elmo 2006).

### Analisi della distribuzione delle giaciture delle fratture

L'approccio adottato per la creazione dei vari set è il cosiddetto approccio *disaggregato* (Takako et al. 2018), tramite il

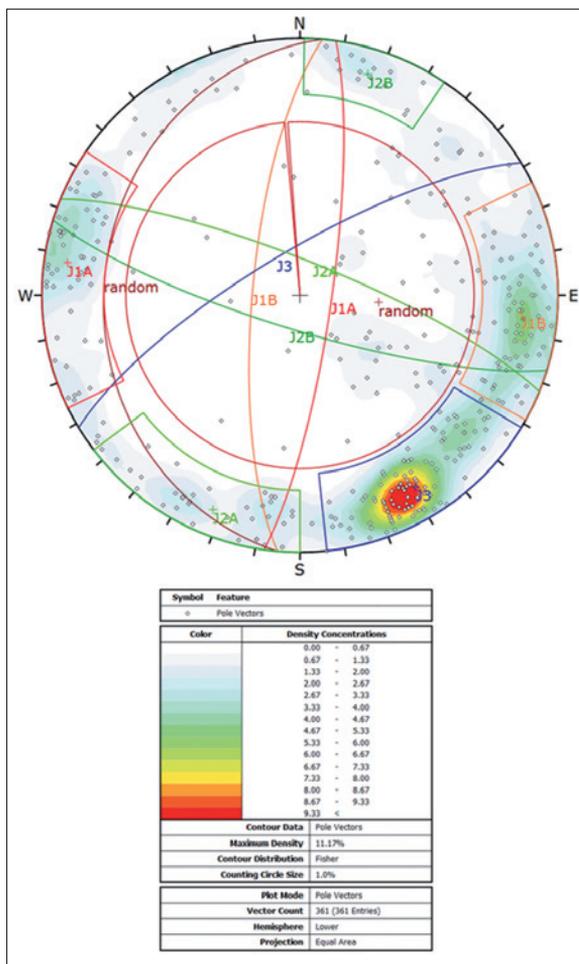


Figura 3 - Stereonet relativo al settore di interesse della Cava Romana con suddivisione in famiglie.

Figure 3 - Stereonet and joint systems identified in the study area of the Romana Quarry.

quale viene generato un modello DFN separatamente per ogni famiglia di discontinuità individuata. I vari modelli vengono poi uniti per ottenere una completa rappresentazione della fratturazione dell'intera area di indagine. I dati giacitureli rilevati in cava vengono utilizzati specificando i valori medi di direzione d'immersione ed inclinazione in aggiunta ai relativi coefficienti di dispersione di tipo Fisher (K). In questo modo si considera anche la variabilità degli stessi a differenza dell'approccio classico che considera solo le giaciture medie costanti in tutto il modello.

In aggiunta all'orientazione delle fratture, il software permette di indicare le terminazioni delle stesse specificando, ad esempio, se si interrompono in altre famiglie o meno. La storia fratturativa e l'età relativa tra le diverse famiglie dettano queste condizioni. Nel caso in esame non si sono riconosciuti rapporti specifici per cui i parametri relativi alle terminazioni non sono stati inseriti.

### Analisi della dimensione delle fratture

L'analisi della forma e delle dimensioni delle fratture è un processo complesso per via, comunemente, della mancanza di precisi dati di campagna (affioramenti limitati, bidimensionali o puntuali). Per questo motivo una serie di assunzioni semplificative è generalmente necessaria. L'intero processo è basato sulle seguenti assunzioni (Elmo 2006):

- Le fratture sono considerate planari (Priest and Hudson 1976; Warburton 1980).
- Le fratture possono essere approssimate a dischi circolari. Robertson (1970), basandosi su osservazioni di campagna, ipotizzò la possibilità di discontinuità equidimensionali. Diversamente, Bridges (1975) e Einstein et al. (1979) indicarono la non equi-dimensionali delle discontinuità. Per convenienza matematica Baecher et al. 1977, Kulatilake 1993 e Warburton 1980 assunsero fratture di area equivalente a dischi circolari. Su queste basi teoriche, le fratture sono considerate come dei poligoni aventi  $n$  lati, con dimensione rappresentata dal raggio di un cerchio equivalente. Per un dato poligono con  $n$  lati, e  $n > 3$ , il raggio equivalente ( $R_e$ ) è definito come:

$$R_e = \sqrt{A_{frac}/\pi}$$

dove  $A_{frac}$  indica l'area della frattura.

- I centroidi delle fratture sono casualmente e indipendentemente distribuiti nello spazio. Questa è un'assunzione ampiamente accettata dalla comunità scientifica (Zhang and Einstein 2000) e in accordo con diversi studi scientifici (Baecher et al. 1977; Einstein et al. 1979; Priest and Hudson 1976).
- La distribuzione delle dimensioni delle fratture è indipendente dalla loro posizione (Zhang and Einstein 2000).

### Analisi dell'intensità di fratturazione

Il parametro *intensità* è tra i più complessi ed importanti nella creazione di un modello DFN. La Figura 4 mostra i parametri fondamentali per la descrizione quantitativa della fratturazione utilizzabili in FracMan.

Il parametro P32 in Figura 4 indica l'intensità volumetrica della fratturazione e viene calcolato come la somma delle aree delle singole discontinuità ( $A_i$ ) diviso il volume dell'ammasso roccioso (V):

$$P_{32} = \frac{\sum A_i}{V}$$

Tale parametro ( $m^2/m^3$ ) risulta però difficile da determinare direttamente, per via delle limitazioni di affioramento in quanto necessita, teoricamente, di accessi e visioni tridimensionali delle fratture. Per superare tale problema è possibile ricercare una correlazione lineare tra il parametro P32 e il parametro P21 di Figura 4 (o anche P10). In questo caso si è scelto di adottare il parametro P10 ( $m^{-1}$ ). Quest'ultimo è calcolato dal numero totale di fratture lungo una determinata linea di scansione (n) diviso la lunghezza della stessa (L):

$$P_{10} = \frac{\sum n}{L}$$

La correlazione lineare è descritta da Dershowitz and Herda (1992) come:

$$P_{32} = C_{10}P_{10}$$

La costante di proporzionalità  $C_{10}$  dipende dall'orientazione e dalla dimensione delle fratture e dall'orientazione della linea di scansione. Diversamente, il parametro P32 è indipendente dall'orientazione e dalla dimensione delle

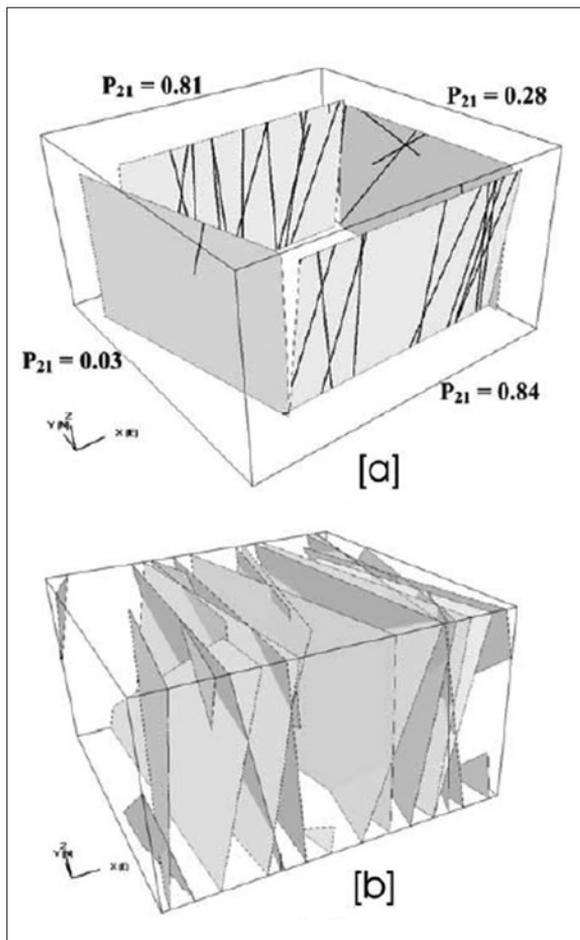
		Dimension of fracture				
		0	1	2	3	
Dimension of sampling region	0	P00 Length <sup>0</sup> Number of fractures				Point Measure
	1	P10 Length <sup>-1</sup> Number of fractures per unit length of scanline (Frequency or linear intensity)	P11 Length <sup>0</sup> Length of fractures intersects per unit length of scanline			Linear Measure
	2	P20 Length <sup>-2</sup> Number of traces per unit area of sampling plane (Areal density)	P21 Length <sup>-1</sup> Length of fracture traces per unit area of sampling plane (Areal intensity)	P22 Length <sup>0</sup> Area of fractures per unit area of sampling plane		Areal Measure
	3	P30 Length <sup>-3</sup> Number of fracture per unit volume of rock mass (Volumetric density)		P32 Length <sup>-1</sup> Area of fractures per unit volume of rock mass (Volumetric intensity)	P33 Length <sup>-2</sup> Volume of fractures per unit volume of rock mass	Volumetric Measure

Figura 4 - Riepilogo dei parametri utilizzabili in FracMan per la descrizione quantitativa della fratturazione.

Figure 4 - Summary of parameters used in FracMan for quantitative description of fracture pattern.

fratture (Zhang and Einstein 2000). Un esempio di tale affermazione è riportato in Figura 5, dove si nota come ad un unico valore di P32 (0.76 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>) corrispondono vari valori di P21, differenti a seconda della diversa orientazione e posizione dell'area di misura. Nell'esempio, le due pareti con valori di P21 maggiori di 0.8 risultano praticamente ortogonali alle discontinuità, e presentano quindi valori di intensità più alti.

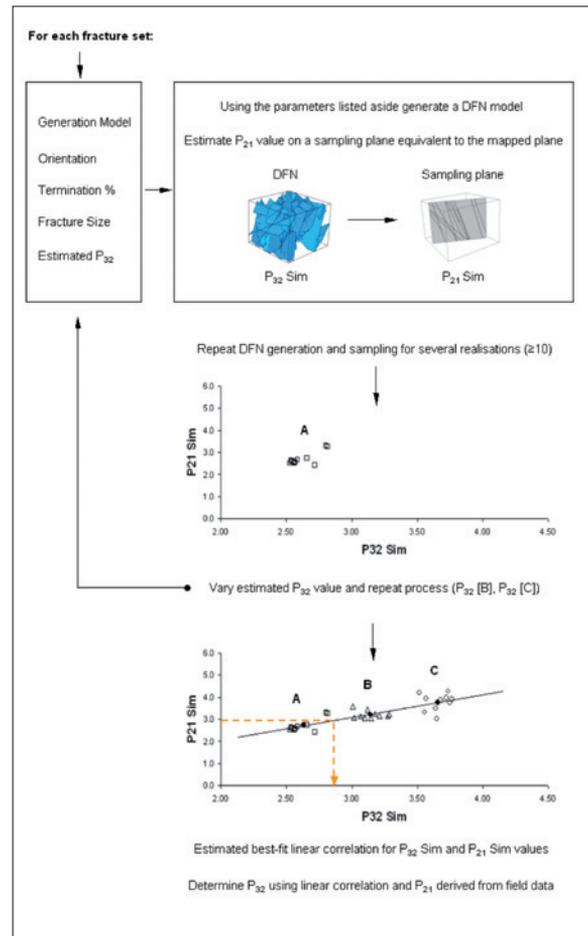
La determinazione del parametro P32 risulta dunque essenziale per una corretta stima dell'intensità di fratturazione. Per ricavare indirettamente tale parametro, in questo lavoro, è stato utilizzato il metodo proposto da Staub et al. (2002), e ripreso da Elmo (2006) come illustrato di seguito. Innanzitutto un primo modello DFN viene generato ipotizzando un determinato valore di P32. Come anticipato, trattandosi di un approccio disaggregato, vengono generati diversi modelli DFN separatamente per ogni singola



**Figura 5** - Esempio di anisotropia nelle misurazioni del parametro P21 (Elmo 2006).

*Figure 5 - Example of anisotropy of the parameter P21 (Elmo 2006).*

famiglia individuata. Inoltre, essendo l'approccio stocastico, è fondamentale creare molti modelli per ogni singola famiglia. Non esiste un'indicazione precisa sul numero di modelli da creare, ma la metodologia proposta suggerisce di realizzare almeno 10 modelli per ogni set di discontinuità. Per ogni modello simulato devono essere quindi calcolati i parametri di P10 (ricorrendo ad una media sui valori calcolati su diverse linee di scansione, orientate in modo più o meno ortogonale alle famiglie di discontinuità). Tale processo è poi ripetuto usando diversi valori di P32. Tipicamente 3 valori di P32 sono sufficienti per ottenere il parametro C10, necessario per la correlazione tra P32 e P10. Un esempio della procedura proposta, utilizzando il parametro P21, è mostrato in Figura 6 (Elmo 2006).



**Figura 6** - Rappresentazione schematica della stima del parametro P32 (Elmo 2006). I punti A, B e C si riferiscono a differenti livelli di intensità di fratturazione (P21) stimati su una superficie bidimensionale per ogni simulato valore di P32.

*Figure 6 - P32 parameter evaluation: schematic representation (Elmo 2006). A, B and C points refer to different level of fracture intensity (P21) estimated on a bi-dimensional surface for a given simulated P32 value.*

Come si evince dalla rappresentazione schematica di Figura 6, una volta messi in grafico i dati, risulta semplice determinare a quale valore di P32 corrisponda il valore di P10 (o P21) misurato *in situ*.

Un modello DFN non può essere generato direttamente dai valori P10 o P21, in quanto questi non sono indipendenti dall'orientazione e dalla dimensione delle fratture. Solo un parametro di intensità volumetrica può dunque essere utilizzato nella modellazione DFN.

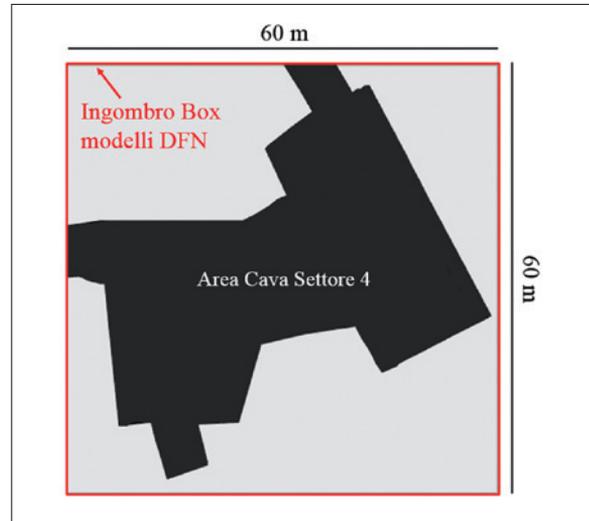
### Modelli DFN realizzati per la Cava Romana

Come anticipato, le analisi effettuate si riferiscono ad una sola zona, area test, indicata in Figura 2. L'applicativo FracMan non permette però di creare la stessa geometria riscontrata in cava, ma solo di creare dei volumi orientati Nord/Sud. Per questo, si è deciso di creare una *box* della dimensione 60x60x16 metri abbastanza grande da contenere tutta l'area di interesse. Le dimensioni e forme relative tra box e area di cava sono illustrate in Figura 7. I dati di partenza per la creazione del modello DFN sono quelli derivanti dai rilievi geomeccanici di campagna illustrati in Figura 3 e Tabella 1. L'area è caratterizzata dalla presenza di 3 gruppi di discontinuità sub-verticali J1, J2 e J3. Per praticità, due di questi sono stati a loro volta suddivisi a seconda dell'immersione verso Nord o verso Sud in J1A/J1B e J2A/J2B. Oltre a queste famiglie sono state riscontrate diverse altre discontinuità difficilmente raggruppabili per via delle loro variegate caratteristiche giaciture e geomeccaniche. Per queste discontinuità è stato dunque creato un gruppo ad hoc, denominato *Random*. L'analisi dei dati ha inoltre permesso la definizione della distribuzione delle orientazioni medie delle varie famiglie (distribuzione *Fisher*) e l'inserimento, in FracMan, del coefficiente K rappresentante la relativa dispersione giacitura: un valore alto di K rappresenta un gruppo di discontinuità poco disperso. Tale coefficiente è stato calcolato tramite l'applicativo Dips (RocScience Inc. 2018). La Tabella 2 riporta i valori medi di inclinazione e direzione d'immersione, oltre al coefficiente di dispersione K, calcolati per ogni famiglia di discontinuità.

Famiglia	Inclinazione	Direzione d'immersione	Coefficiente K
J1A	80	98	22
J1B	75	275	28
J2A	79	22	25
J2B	79	197	63
J3	76	329	34
Random	25	275	6

**Tabella 2** - Valori medi di inclinazione e direzione di immersione e coefficiente K per le famiglie di discontinuità identificate.

**Table 2** – Mean dip and dip direction values and K coefficient of the identified discontinuity sets.



**Figura 7** - Dimensioni box modello DFN e area di cava oggetto di studio (porzione nera).

**Figure 7** - DFN model box size and quarry study area (in black).

Dopo l'analisi dell'orientazione delle discontinuità, si è analizzata la dimensione delle stesse. Per tali analisi sorgono alcuni problemi relativi all'impossibilità di osservare le fratture in maniera tridimensionale. Infatti, si è avuto accesso solo a pareti bidimensionali su cui è possibile solo misurare le tracce delle discontinuità. Il problema principale è legato al fatto che la probabilità di una frattura di apparire in una finestra bidimensionale (parete di cava) dipende dalla orientazione relativa tra la frattura e la finestra stessa: fratture con direzione ortogonale ad una determinata parete saranno pienamente rappresentate, mentre fratture con direzione parallela a quella della parete potrebbero anche non essere visibili. Tale problema è stato arginato mappando le discontinuità su pareti orientate diversamente, grazie alla forma articolata di questo settore di cava. Tale operazione ha permesso dunque di ottenere dati consistenti su ogni famiglia. Un secondo problema è invece legato al fatto che le pareti di cava hanno dimensione limitata, ed è quindi impossibile andare a misurare la completa e reale lunghezza di ogni frattura. Nei casi in questione, dove le discontinuità mostravano lunghezze superiori alle dimensioni delle pareti di cava, si è deciso convenzionalmente di attribuire valori di lunghezza pari a 30 metri.

L'analisi della lunghezza delle fratture ha mostrato per tutte le famiglie (J1, J2, J3 e Random) una distribuzione sostanzialmente uniforme delle stesse, con fratture brevi in numero simile a quelle più estese. Questa caratteristica, rispetto alla più tradizionale distribuzione esponenziale, può essere riconducibile alle proprietà geomeccaniche del marmo che soffre meno la presenza di un gran numero di

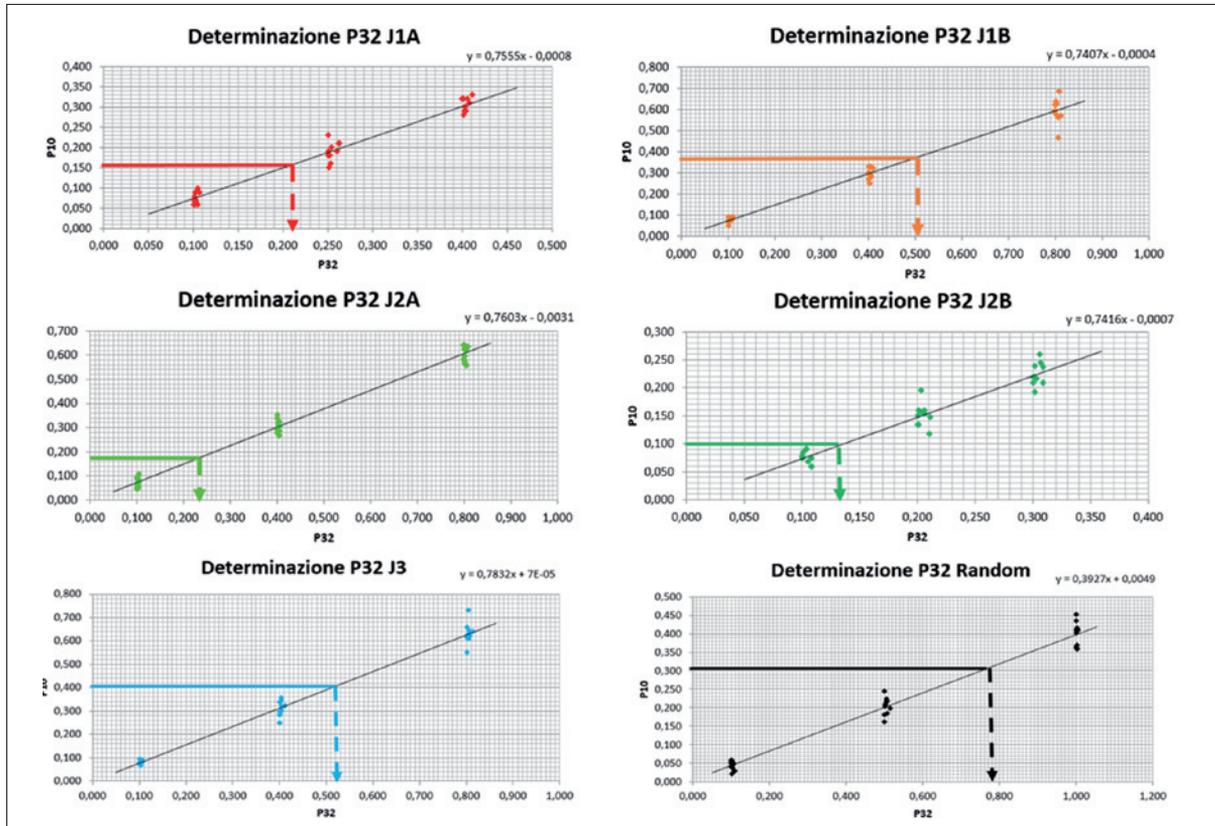


Figura 8 - Grafici per la determinazione dei valori di P32 partendo dai valori di P10 misurati sul campo.

Figure 8 - Correlation graphs for the evaluation of P32 parameters, starting from P10 parameter values measured on field.

piccole fratture rispetto ad altri litotipi e, di conseguenza, ben si presta per scopi ornamentali. Nell'analisi della lunghezza delle fratture non è servita la differenziazione in J1A/J1B e J2A/J2B e si è deciso dunque di considerare tutte le discontinuità insieme per il calcolo. I valori delle distribuzioni delle lunghezze stimate dai dati di campagna sono riportati in Tabella 3.

**DISTRIBUZIONE DELLA LUNGHEZZA**

Famiglia	Media (m)	Deviazione Standard
J1	20	13
J2	15	14
J3	19	13
Random	11	13

Tabella 3 - Valori di distribuzione delle lunghezze delle varie famiglie di discontinuità individuate.

Table 3 - Mean and Standard Deviation values of the length of the identified discontinuity sets.

Infine, si è proceduto alla determinazione dei valori di intensità volumetrica (P32), seguendo la procedura riportata in Figura 6. Tali valori sono stati calcolati separatamente per ogni famiglia (J1A, J1B, J2A, J2b, J3, Random) calcolando la correlazione con il coefficiente P10, misurato *in situ* tramite il metodo della linea di scansione.

In prima battuta si sono quindi calcolati i valori medi di P10 dai dati del rilievo geomeccanico. Per eliminare il *bias* precedentemente descritto, relativo alla direzione relativa tra frattura e linea di scansione (che potrebbe portare a sottostimare l'intensità di una determinata famiglia), si è deciso di non considerare le linee di scansione che presentavano una direzione parallela (con un margine di  $\pm 20^\circ$ ) a determinate famiglie. Si precisa che questa è un'operazione soggetta ad un certo margine interpretativo, in quanto le discontinuità presentano delle variabilità in termini di orientazione e intensità volumetrica nei vari settori della cava. La corretta determinazione dei valori di P10 non può quindi confinarsi ad un mero calcolo matematico, ma deve essere valutata di volta in volta. Questo per evitare

che vengano inseriti nel calcolo valori determinati da un *bias* geometrico che ben poco hanno a che fare con il reale dato di intensità fratturativa presente in campagna. I valori medi di P10 (numero di fratture per unità di lunghezza), ottenuti come spiegato, sono riportati in Tabella 4.

Famiglia	P10 (m-1)
J1A	0.15
J1B	0.37
J2A	0.17
J2B	0.09
J3	0.41
Random	0.30

**Tabella 4** - Valori di P10 medi misurati per le varie famiglie di discontinuità.

*Table 4 – Mean P10 values measured for every discontinuity set.*

Una volta ricavati tali valori si è proceduto alla determinazione dei P32. Secondo la metodologia descritta, si sono ipotizzati tre valori di P32 (casuali) per ogni famiglia di discontinuità. Per ogni valore sono dunque stati realizzati 10 modelli DFN. Per ogni modello DFN è stato poi calcolato il valore di P10, ricavato tramite una media su tre diverse linee di scansione simulate all'interno dell'applicativo FracMan, con 3 diverse direzioni variamente orientate (ortogonale alla direzione media della famiglia, +45° dalla direzione media della famiglia, -45° dalla direzione media della famiglia); tale procedura ricalca il ragionamento seguito per il calcolo dei valori di P10 reali, nell'ottica di un superamento del *bias* geometrico.

In definitiva si tratta di dati presi da un totale di 180 diversi modelli DFN necessari per dare robustezza statistica all'intero lavoro (10 modelli DFN per ogni valore di P32, il tutto ripetuto per ogni famiglia di discontinuità). Dal grafico è stato poi individuato il valore di P32 corrispondente al P10 misurato in cava per ogni singola famiglia. Si tratta infatti di individuare l'intercetta orizzontale, cioè il valore dell'ascissa corrispondente al punto di intersezione tra l'intercetta passante per il valore di P10, misurato in campagna, e la retta di approssimazione lineare calcolata sul grafico. Tutti i dati ottenuti (P32 e relativi P10) per i vari modelli DFN sono mostrati in Figura 8 e, in maniera dettagliata, in Tabella 5.

J1A	P10 medio (m <sup>-1</sup> ) Mappato	0.15
	C10 Stimato	1.4
	P32 medio (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ) Calcolato	0.21

J1B	P10 medio (m <sup>-1</sup> ) Mappato	0.37
	C10 Stimato	1.35
	P32 medio (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ) Calcolato	0.50
J2A	P10 medio (m <sup>-1</sup> ) Mappato	0.17
	C10 Stimato	1.35
	P32 medio (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ) Calcolato	0.23
J2B	P10 medio (m <sup>-1</sup> ) Mappato	0.09
	C10 Stimato	1.44
	P32 medio (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ) Calcolato	0.13
J3	P10 medio (m <sup>-1</sup> ) Mappato	0.41
	C10 Stimato	1.26
	P32 medio (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ) Calcolato	0.52
Random	P10 medio (m <sup>-1</sup> ) Mappato	0.30
	C10 Stimato	2.6
	P32 medio (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ) Calcolato	0.78

**Tabella 5** - Risultati del calcolo dei valori di P32 per ogni singola famiglia di discontinuità.

*Table 5 – Results of the P32 values calculation for every discontinuity set.*

A questo punto tutti i valori necessari per la creazione dei modelli DFN risultavano noti come mostrato nella Tabella 6. Come precedentemente indicato, ogni modello DFN è in realtà il risultato della creazione di 6 modelli separati, uno per ogni famiglia di discontinuità. Questi 6 modelli, uniti insieme, forniscono il modello finale. Vista la natura stocastica del procedimento è comunque necessario realizzare molti modelli, in modo da validare statisticamente i risultati. In questo caso si è deciso di realizzare 30 modelli DFN completi. Per realizzare tali modelli è stato quindi necessario creare nuovamente 180 singoli modelli DFN. Nelle pagine che seguono verrà mostrato un modello, prendendo ad esempio un caso indicativo. Una delle realizzazioni del DFN 3D finale è riportata in Figura 9.

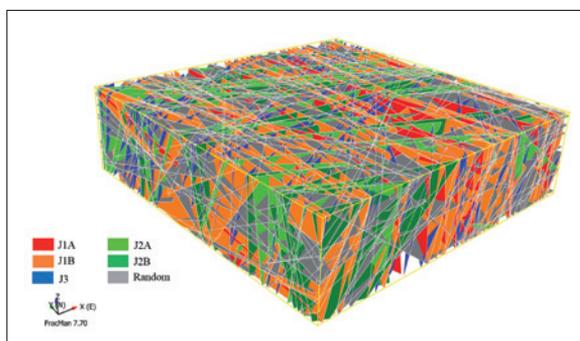
### Validazione Modelli DFN cava Romana

La validazione dei modelli DFN è stata effettuata attraverso due passaggi. In primo luogo sono stati confrontati gli stereonet derivanti dalle misure di campagna con quelli ottenuti dal modello simulato in FracMan. In Figura 10 è possibile osservare l'esito di tale confronto, prendendo a riferimento il modello di Figura 9. I risultati indicano come i due stereonet risultino ben confrontabili, con le stesse famiglie di discontinuità chiaramente identificabili. Il

Famiglia	Distribuzione delle orientazioni	Forma	Distribuzione delle lunghezze	Intensità Volumetrica
J1A	Direzione d'immersione/Inclinazione 98/80 Fisher K=22	Poligono a 15 lati	Uniforme Media 20 / Dev. St. 13	0.21
J1B	Direzione d'immersione/Inclinazione 275/75 Fisher K=28	Poligono a 15 lati	Uniforme Media 20 / Dev. St. 13	0.50
J2A	Direzione d'immersione/Inclinazione 22/79 Fisher K=25	Poligono a 15 lati	Uniforme Media 15 / Dev. St. 14	0.23
J2B	Direzione d'immersione/Inclinazione 197/79 Fisher K=63	Poligono a 15 lati	Uniforme Media 15 / Dev. St. 14	0.13
J3	Direzione d'immersione/Inclinazione 329/76 Fisher K=34	Poligono a 15 lati	Uniforme Media 19 / Dev. St. 13	0.52
Random	Direzione d'immersione/Inclinazione 275/25 Fisher K=6	Poligono a 15 lati	Uniforme Media 11 / Dev. St. 13	0.78

**Tabella 6** - Parametri utilizzati per la creazione dei modelli DFN.

*Table 6* – List of the final DFN parameters used.



**Figura 9** - Esempio di modello DFN 3d (60x60x16 metri).

*Figure 9* - Example of DFN 3D model (Esempio di modello DFN 3d (60x60x16 meters)).

diverso numero di fratture riportate, 361 rilevate in campagna contro le 522 simulate dal modello DFN, è da collegare al diverso volume dell'area di cava rispetto al modello DFN. La differenza è comunque del tutto compatibile con lo stato fratturativo riscontrato in cava. Per quanto riguarda le concentrazioni, si nota soltanto una maggior presenza di discontinuità a basso angolo ricadenti nella famiglia *Random*. Questa differenza è riferibile al *bias* geometrico menzionato in precedenza: discontinuità sub-orizzontali sono difficilmente intercettate da linee di scansione essenzialmente orizzontali. Per questo motivo è possibile che in cava non si siano riscontrate le stesse concentrazioni osservabili nel modello DFN. Questo non deve però trarre in inganno, in quanto si sta confrontando la totalità delle fratture simulate in un blocco di 60x60x16 metri, con le fratture misurate su 17 linee di scansione variamente orientate. Considerato tale *bias*, per un'ulteriore validazione del modello, sono stati calcolati i valori di P10 dei modelli DFN

(mediati su 3 linee di scansione con direzione ortogonale, a +45° e a -45° dalla direzione media di una data famiglia) e comparati con quelli riscontrati in campagna. La Tabella 7 mostra i risultati di tale confronto per il modello di Figura 9. Si noti come i risultati siano coerenti con i valori calcolati sui dati di campagna, tali per cui i modelli DFN generati sono stati considerati validi.

Famiglia	P10 (m <sup>3</sup> ) Misurato	P10 (m <sup>3</sup> ) DFN Simulato	Differenza
J1A	0.15	0.18	-0,03
J1B	0.37	0.36	0,01
J2A	0.17	0.15	0,02
J2B	0.09	0.11	-0,02
J3	0.41	0.4	0,01
Random	0.30	0.28	0,02

**Tabella 7** - Valori di P10 misurati in cava e simulati tramite la modellazione DFN a confronto.

*Table 7* – Differences between P10 values measured in the field and on the DFN model.

### Stima previsionale della resa

Ai fini dei calcoli della resa di una pietra ornamentale è necessario premettere che, ad oggi, è possibile la commercializzazione di blocchi di tutte le forme, siano essi squadri, semi-squadri, informi, ecc. Per tale ragione si è scelto di adottare un criterio limite di tipo volumetrico in considerazione della resa potenziale in termini commerciali. Il software FracMan comprende un modulo per la valutazione delle dimensioni dei blocchi formati dall'intersezione delle varie discontinuità. Tra i tre metodi disponibili,

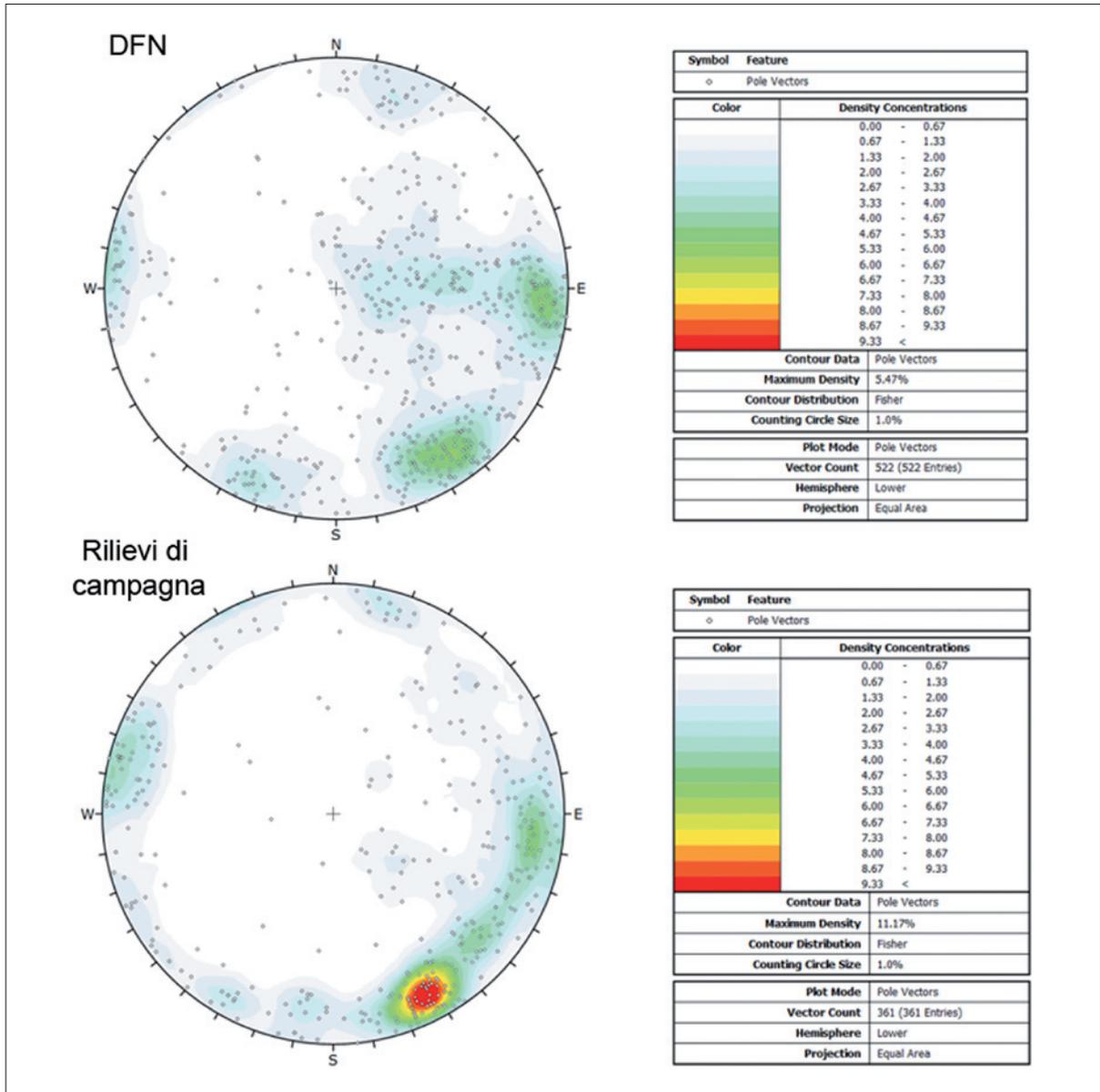


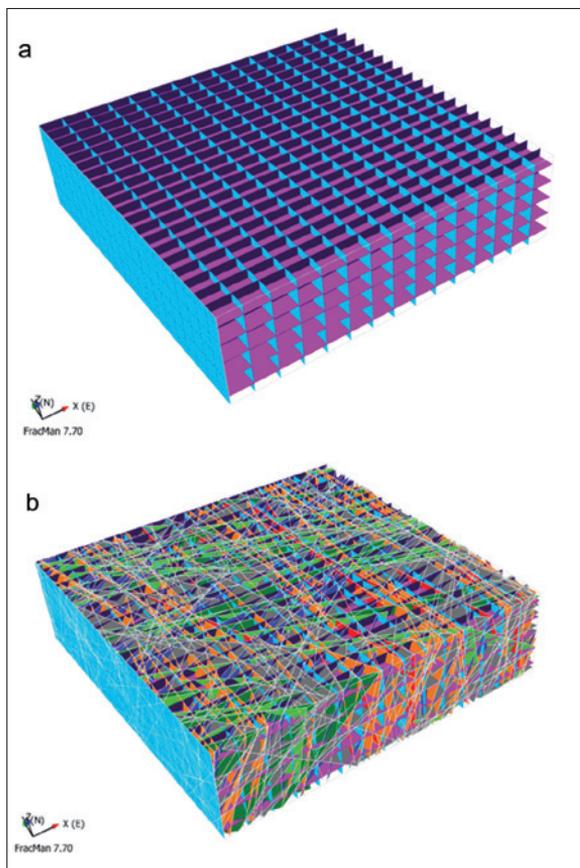
Figura 10 - Stereonet dei poli di fratturazione derivanti dal modello DFN (in alto) e dai dati misurati in campagna (in basso).

Figure 10 - Stereonet of the discontinuities obtained from DFN 3D model (above), and that from data collected on the field (below).

quello utilizzato (*Fragmentation Grid*), suddivide il box del modello DFN in una griglia di celle tridimensionali di dimensione prestabilita. Successivamente unisce le celle ricadenti all'interno di un'area isolata da un insieme di fratture, formando il blocco. Il volume sarà quindi dato dalla somma delle celle costituenti il singolo blocco. In questo caso è stata scelta una cella base del volume di 0.125 m<sup>3</sup>, che ben si presta per gli scopi dello studio.

Prima di procedere con la verifica delle dimensioni dei

blocchi estraibili è stato comunque necessario inserire dei nuovi piani all'interno del modello rappresentativi dei tagli realizzati utilizzando il filo diamantato per la sezionatura delle bancate, la riquadratura dei blocchi (Blasi et al. 1998) e la rimozione di irregolarità (non facilmente ottenibili sfruttando le fratture naturali). Questi piani sono considerati a tutti gli effetti nuove fratture con caratteristiche proprie. Da informazioni raccolte dai tecnici di cava, si è scelto di inserire dei piani orizzontali spazati 3.3 metri, e dei piani



**Figura 11** - Piani rappresentanti i tagli con filo diamantato creati su FracMan (a) e visione d'insieme del modello DFN (60x60x16 metri) completo di tagli e fratture (b).

*Figure 11* - Planes describing marble cuts realized with diamond wire (a) and overview of DFN 3D (60x60x16 meters) model complete of cuts and joints (b).

verticali spaziatati 4 e 3 metri. Tali piani sono mostrati in Figura 11.

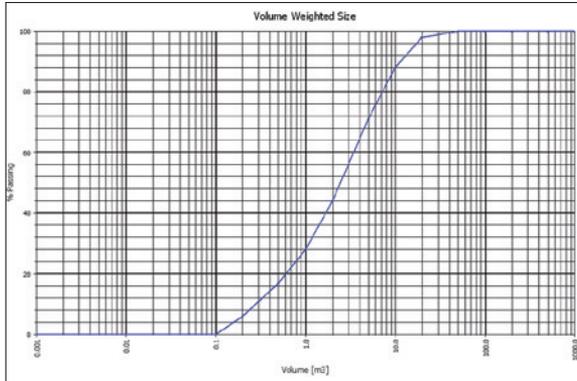
I risultati dell'analisi volumetrica per il modello mostrato in Figura 8 sono presentati in Figura 12. Il grafico indica la percentuale di passante per ogni volume superiore a  $0.125 \text{ m}^3$  (dimensione minima di cella).

In tale grafico è possibile individuare la percentuale di resa basandosi su un dato volume minimo. Per la scelta di tale volume minimo, base per tutte le successive considerazioni, si sono presi a riferimento i telai standard utilizzati per il taglio dei marmi. La produzione di una cava di lapidei ornamentali tende infatti alla massimizzazione delle volumetrie da estrarre in modo che queste siano compatibili con le macchine utilizzate per la loro trasformazione. I telai standard impiegati per la segazione dei marmi e delle pietre in genere presentano misure comprese tra i 3.2 ed i 3.5m di lunghezza, i 2.0 ed i 2.5m di larghezza (funzione

del numero delle lame, da 80 a 100) ed altezza solitamente non superiore a 2m. Pertanto, la produzione in cava tenderà allo sviluppo di volumetrie massime che il più possibile si avvicinino a questi valori, con volumi compresi tra i 9 e  $12 \text{ m}^3$ . In questo modo i blocchi potranno essere trasportati dai mezzi (camion a tre e quattro assi) e, in fase di trasformazione, le spese di segazione, applicate come costo al  $\text{m}^2$  considerando la produttività massima del telaio (massimo ingombro), potranno essere contenute. Nel caso di materiali di pregio (Calacatta, Statuari, Bianchi puri, etc.), si tende a trasformare anche volumetrie più contenute, dove il valore intrinseco del materiale non ha problemi ad assorbire i costi di segazione, comunque solitamente mai al di sotto di circa  $1.5\text{-}2\text{m}^3$ , per evitare che il movimento impresso dalle lame sposti il volume da tagliare creando problemi anche allo stesso telaio. Per quanto riguarda la cava Romana, si è generalmente in presenza di marmi di qualità media, fatta eccezione per un filone di "Bianco P", particolarmente pregiato, che però ha una larghezza ridotta, di circa 1.5 m. Per avere una produzione economicamente sostenibile, la maggior parte dei blocchi deve avere una dimensione vicina a quelle ideali per i telai standard menzionati in precedenza. Per questo motivo si ritiene ragionevole ipotizzare un volume di  $5 \text{ m}^3$  come volume medio di riferimento per la resa. Considerando tale volume si individua nel grafico di Figura 12 una percentuale di passante di circa il 71%. Ciò significa che il 71% del volume dell'area di cava fornisce blocchi troppo piccoli e, conseguentemente, la resa si attesta su un valore teorico del 29% circa. Questo risultato va comunque interpretato alla luce di tutta una serie di considerazioni geologico-tecniche esposte nel paragrafo successivo.

### Analisi dei risultati

L'obiettivo del presente studio riguarda lo sviluppo di un approccio innovativo per la previsione della resa in blocchi in cave di pietre ornamentali. Si tratta di una problematica fondamentale per la redazione di coerenti business plan e corretti piani di coltivazione. Sicuramente il punto di partenza riguarda uno studio sullo stato fratturativo dell'area estrattiva. Questo permette infatti di calcolare la dimensione dei blocchi isolati dalle discontinuità che caratterizzano l'ammasso roccioso. Come ampiamente spiegato, il solo approccio geomeccanico, che utilizza parametri medi e costanti per la caratterizzazione geometrica dell'ammasso, risulta poco indicato per gli obiettivi preposti. Infatti, un ammasso roccioso è di per sé un sistema caotico, disomogeneo e anisotropo, dove la suddivisione in famiglie di discontinuità mediate nei termini geometrici (orientazione, spaziatura e persistenza) è da ritenersi valida solo in prima approssimazione. Per questo motivo si è scelto di procedere con una modellazione DFN, in grado di considerare la variabilità naturale associata a ciascun



**Figura 12** - Grafico semilogaritmico con riportata la curva cumulativa del volume dei blocchi estraibili ottenuti dal modello DFN.

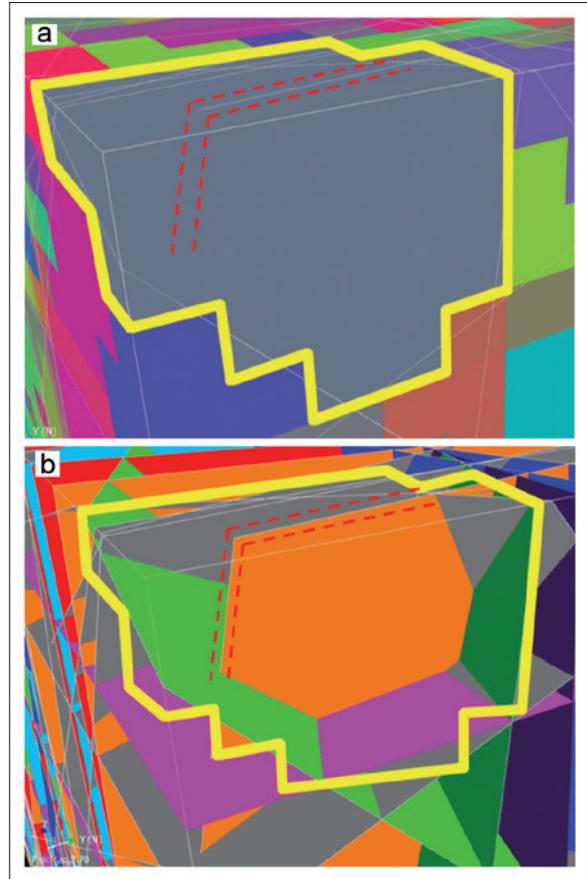
*Figure 12* - DFN 3D model results concerning the extractable block volumes; cumulative distribution of volumes displayed on a semi-logarithmic graph.

sistema di discontinuità (valutata grazie a consistenti dati di campagna).

Il grafico di Figura 12 mostra la curva di distribuzione volumetrica su cui è possibile basare una stima previsionale di resa in blocchi commerciabili. I dati ricavabili sono comunque da ritenersi sovrastimati rispetto alle reali potenzialità del giacimento, per una serie di ragioni relative all'algoritmo utilizzato e ad altre considerazioni geomeccaniche. Dal lato software, la problematica risiede nel fatto che l'algoritmo non tiene conto di fratture non completamente passanti all'interno di un singolo blocco. Un esempio di questo problema è mostrato in Figura 13, dove il blocco individuato dal software (evidenziato in giallo) è interessato da un'importante discontinuità che tuttavia risulta non completamente passante. Di conseguenza l'algoritmo considera quella porzione di roccia come un unico blocco, quando invece ai fini della resa si tratta di due entità distinte. Questo ovviamente può avere un'influenza anche dal punto di vista strutturale, in quanto una terminazione rappresenta comunque un punto di debolezza da cui, col disturbo creato ad esempio in fase di scavo, possono svilupparsi nuove fratture.

La quantificazione di questo aspetto, comune a tutti i software di modellazione DFN di conoscenza degli autori, risulta assai complessa. Per provare a dare una risposta semi-quantitativa si è deciso di analizzare alcune sezioni verticali estrapolabili dal modello DFN. A titolo di esempio, in Figura 14 è possibile osservare 2 di queste sezioni, su cui sono impresse le tracce formate da discontinuità e piani di taglio, con evidenziati in rosso i blocchi caratterizzati da fratture non completamente passanti.

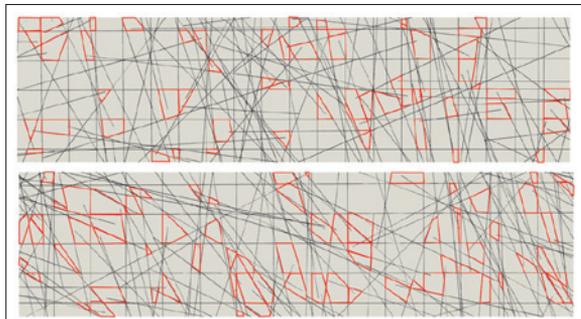
Da un'analisi areale di più sezioni è possibile quantificare come mediamente il 25% della superficie presenti blocchi interessati da problematiche di questo tipo. È necessario



**Figura 13** - Esempio di blocco individuato dall'algoritmo di FracMan per il calcolo volumetrico (di colore grigio in a); in basso (b), in trasparenza, è evidenziata la frattura non completamente passante che lo interessa.

*Figure 13* - Example of block identified in FracMan (in grey on image a) and used for volumetric evaluation; below (in transparency on image b) example of fracture not completing crossing the block.

considerare a tal proposito che non tutti i blocchi interessati da fratture non completamente passanti vengono divisi in blocchi più piccoli del volume minimo considerato, così come alcuni dei blocchi evidenziati sono già di per sé più piccoli della soglia minima scelta. Il problema principale è che il volume dei blocchi individuati non è determinabile su una sezione bidimensionale, quindi la quantificazione esatta della riduzione delle previsioni di resa dovuta a questa limitazione software è oggettivamente impossibile. Ciò non toglie che quello appena esposto sia un aspetto non trascurabile, in quanto non può far altro che andare a diminuire la resa prevista. In via cautelativa è possibile dunque indicare un abbattimento dei livelli di resa compreso tra il 5 e il 10%, anche in considerazione del fatto che le terminazioni delle fratture possono essere causa dello sviluppo di fratture di neo-formazione.



**Figura 14** - Esempio di sezioni sub-verticali del modello DFN (60x16 metri) con evidenziati in rosso i blocchi interessati da fratture non completamente passanti.

*Figure 14* - Example of sub-vertical cross-sections on the DFN 3D model (60x16 meters); blocks that not are completely crossed by fractures are highlighted in red.

A valle di queste considerazioni, comunque di tipo semi-quantitative, vi sono inoltre altri aspetti non precisamente quantificabili, ma da considerare ai fini di corrette stime previsionali sulla resa. Questo perché la fratturazione è soltanto uno dei parametri di interesse, a cui vanno aggiunte considerazioni geomeccaniche e merceologiche. Tra gli aspetti da considerare vi sono per esempio le cosiddette “forzature”. Tipicamente, le forzature sono fratture di neo-formazione che si sviluppano parallelamente al bordo di escavazione come risultato di un detensionamento dell’ammasso roccioso dovuto alla rimozione di porzioni di roccia. La porzione di roccia restante, infatti, comincia a dilatare a causa dell’improvvisa assenza di pressione laterale ed è sottoposta ad importanti sforzi tensionali. La conseguenza

di ciò è lo sviluppo di fratturazione fragile, in quanto è ben noto che le rocce hanno una grande resistenza a compressione abbinata ad una scarsa resistenza a trazione. Questo è un fenomeno molto complesso da quantificare, poiché si tratta di un passaggio da un sistema continuo ad uno discontinuo, estremamente difficile da riprodurre anche con i più avanzati software di modellazione numerica. Nei riguardi della Cava Romana, tentativi indiretti di modellare tale fenomeno su questo stesso sito sono stati presentati da Salvini et al. (2014) e Vanneschi (2015). Dai risultati delle modellazioni numeriche eseguite durante quegli studi si vede come fratture di neo-formazione sono possibili lungo le pareti di cava a seguito dei processi estrattivi, a causa delle caratteristiche geo-strutturali dell’area. Nonostante ciò, la quantificazione di tale fenomeno rimane ad oggi difficile ed estremamente imprevedibile. Nella cava oggetto di studio si sono comunque notate fratture di neo-formazione dovute ad escavazione, oltre a rotture impostate su piani di debolezza dovuti alla scistosità penetrativa della fase D2 che caratterizza la complessa struttura geologica della zona. Esempi di tali fratture sono osservabili in Figura 15. Tutto ciò concorre ad aumentare la complessità geomeccanica dell’area di indagine ed a rendere estremamente complicate stime sulla resa. Anche in questo caso si può ipotizzare che la presenza di forzature e difetti può contribuire, indicativamente, ad abbassare la resa teorica di almeno un ulteriore 5-10%. Si tratta comunque di una percentuale molto variabile da zona a zona ed assolutamente interpretativa.

Infine, occorre menzionare come determinati blocchi di marmo presentino difetti non strettamente legati alla fratturazione, ma riconducibili a caratteri mineralogici il cui



**Figura 15** - Esempi di fratture di neo-formazione all’interno della Cava Romana.

*Figure 15* - Examples of brittle fractures in the Romana quarry.



**Figura 16** - Esempi di variazioni mineralogiche nel marmo riscontrati all'interno della Cava Romana.

*Figure 16* - Examples of marble mineralogical differences in the Romana quarry.

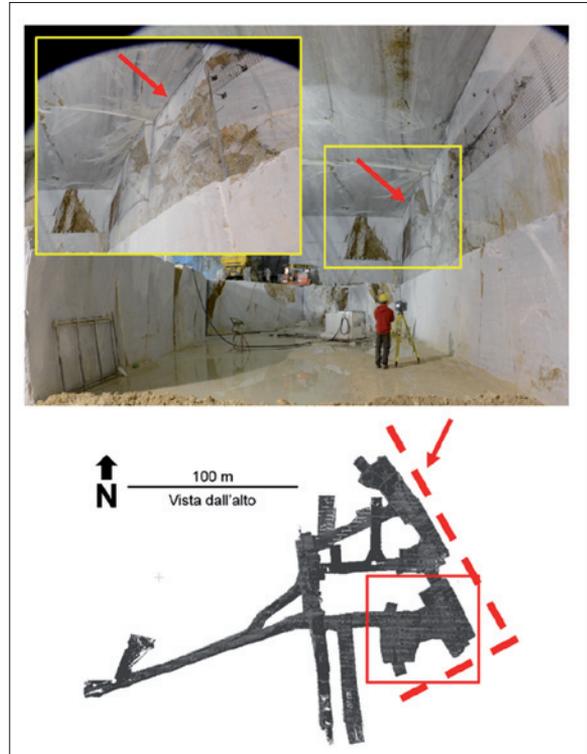


**Figura 17** - Confronto tra immagini fotografiche acquisite nel 2012 e nel 2016 delle medesime zone all'interno dell'area di studio con evidenziata a tratteggio rosso la porzione di ammasso oggetto di escavazione.

*Figure 17* - Comparison of multitemporal photos (date: 2012 and 2016) showing two examples of excavated areas of the quarry (red dashed line).

andamento può costituire una superficie di debolezza che rende il prodotto meno commerciabile. Nel caso specifico ci sono evidenze di intrusioni di marmo dolomitico e venature scure di fillosilicati che inficiano la qualità del prodotto (Figura 16).

In definitiva, la determinazione della resa presenta una serie di problematiche che ne rendono difficile la previsione corretta. L'approccio DFN permette di quantificare una resa ipotetica iniziale grazie all'avanzato algoritmo di generazione del pattern fratturativo, ad oggi il metodo più avanzato disponibile. Esso presenta una procedura standard riproducibile anche in altri contesti, e fornisce risultati molto importanti. Va comunque sottolineato che il valore ottenuto dal calcolo dei volumi rappresenta solo un punto di partenza da rivedere sulla base di informazioni tensionali sul sito e



**Figura 18** - Localizzazione di lineamenti tettonici di importanza regionale (linee rosse a tratteggio) riscontrati nell'area di indagine.

*Figure 18* - Regional tectonic faults (red dashed lines) identified inside the study area.

caratterizzazioni minero-petrografiche della roccia.

In questo senso, la scelta di applicare questo approccio alla Cava Romana nasce dalla possibilità di lavorare in un contesto ben noto dal punto di vista geomeccanico, a seguito di una serie di lavori di ricerca realizzati dagli autori nel corso degli anni (Mastrorocco et al. 2018; Salvini et al. 2014; Vanneschi et al. 2014b; Vanneschi 2015). A tale riguardo, va sottolineato come le informazioni ricavate durante i rilievi geomeccanici passati (Vanneschi et al. 2014b) indicavano una situazione migliore di quella poi effettivamente riscontrata in successivi rilievi. A prova di ciò, è possibile vedere in Figura 17, una documentazione fotografica relativa all'area analizzata in questo studio, dove si mettono a confronto immagini acquisite nel 2012 e nel 2016.

Da tale documentazione è possibile osservare il peggioramento delle qualità geomeccaniche dell'ammasso roccioso col proseguo dell'attività estrattiva, fattore che incide notevolmente sulla resa effettiva finale. Tale situazione si inserisce in un contesto geomeccanico in cui l'escavazione procede verso due lineamenti tettonici importanti, come visibile in Figura 18, che complicano l'assetto strutturale,

Resa da calcolo volumetrico	Diminuzione dovuta a limitazioni software	Diminuzione dovuta a fratture di neo-formazione	Diminuzione dovuta a difetti minero-petrografici	% Resa finale
29%	5%	5%	5%	14%

**Tabella 8** – Tabella riassuntiva dei risultati ottenuti relativamente alla determinazione di valori di resa percentuale per l'area estrattiva della Cava Romana.

**Table 8** – Summary of the results obtained in terms of yield prediction of Romana quarry.

penalizzandolo ai fini merceologici.

Riassumendo, è possibile evidenziare come le moderne tecniche di modellazione degli ammassi rocciosi permettano di giungere ad una stima realistica ma ancora semi-quantitativa dei valori di resa; in particolare, il valore di resa calcolato deve essere successivamente ridotto a causa di complicanze di tipo geomeccanico (fratture di neo-formazione) e merceologico (venature). Il contesto geo-strutturale e geomeccanico è infatti risultato molto complesso, indicando una scarsa vocazione produttiva della cava in questione, che presenta numerose problematiche legate alla stabilità degli scavi. La Tabella 8 riassume i risultati ottenuti in termini di resa percentuale, considerando un volume minimo di 5 m<sup>3</sup> e seguendo un approccio cautelativo (previsioni di resa ottimistiche).

## Conclusioni

La presente ricerca ha avuto come obiettivo l'applicazione di un moderno approccio di studio della fratturazione per migliorare le stime previsionali di resa, intesa come percentuale di blocchi commerciabili, relativamente a contesti estrattivi di pietre ornamentali. A tal fine si è scelto di applicare la metodologia DFN avvalendosi di numerose misure geomeccaniche effettuate direttamente *in situ*, per ricreare un modello fratturativo dell'area di studio, una cava di marmo in sotterraneo nel territorio Apuano. Tale metodologia, che si basa su un approccio prettamente stocastico, ha permesso di superare le limitazioni insite nei tradizionali approcci per lo studio della fratturazione, permettendo una più realistica analisi delle volumetrie estraibili. Nonostante ciò, si è visto come altri aspetti, egualmente importanti, non possono essere direttamente quantificati con le tecniche disponibili ad oggi. Questi fanno riferimento per esempio al conosciuto fenomeno delle forzature, cioè quelle fratture da detensionamento che si formano *ex-novo* al momento dell'estrazione dei blocchi. Tali fratture di hanno caratteristiche ben precise, ma risulta impossibile prevederle con esattezza la comparsa e quantificarne l'incidenza ai fini delle previsioni di resa produttiva. Oltre a ciò, eventuali difetti merceologici riscontrabili nei blocchi estratti sono di difficile previsione (come per esempio intrusioni e venature di marmo dolomitico) e concorrono a complicare il quadro conoscitivo. In definitiva, il presente lavoro ha dimostrato

come l'approccio DFN permetta di giungere a previsioni di resa coerenti e a carattere almeno semi-quantitativo, superando varie limitazioni insite nei metodi di studio classici. Le percentuali di resa ricavabili dallo studio della fratturazione costituiscono infatti un valido punto di partenza per tutta una serie di considerazioni qualitative successive, relative a problematiche geomeccaniche e merceologiche. Questo articolo dimostra dunque l'importanza, da parte della comunità scientifica, di proseguire in studi di questo tipo, che possono avere grande risvolto applicativo nei settori industriali. Nonostante il progresso tecnologico infatti, esiste ancora ad oggi un certo grado di incertezza negli studi degli ammassi rocciosi, che fanno sì che ogni attività estrattiva cominci con incertezze, senza avere la possibilità di conoscere esattamente la reale produttività di un determinato bacino estrattivo. Ovviamente, in geologia, data la disomogeneità tipica dei contesti naturali, questo aspetto è normale ma la ricerca deve provare ad andare nella direzione di diminuire tale aleatorietà delle previsioni, ed è questo l'obiettivo del presente lavoro che si spera possa essere da stimolo per nuovi futuri lavori che vadano in questa direzione.

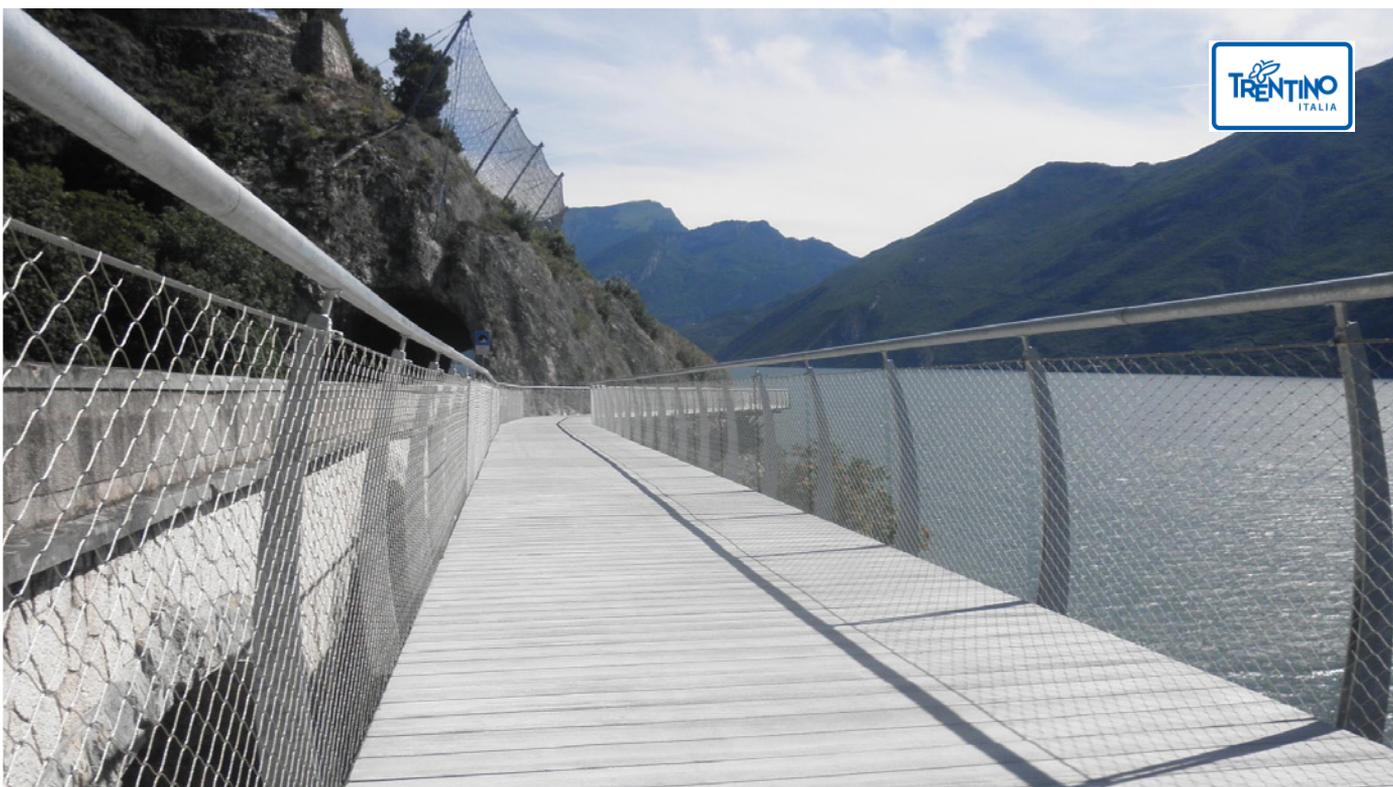
## Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare i proprietari e il personale della Cava Romana per aver reso possibile la realizzazione di questo studio e per il supporto ricevuto durante tutte le fasi della ricerca. Un particolare ringraziamento va alla Golder Associates per aver concesso la possibilità di utilizzo del software proprietario FracMan, fondamentale per il completamento del lavoro.

## Bibliografia

- ANDERSSON, J., SHAPIRO, A. M., AND BEAR, J. (1984). "A Stochastic Model of a Fractured Rock Conditioned by Measured Information." *Water Resour. Res.*
- BAECHER, G. B., LANNEY, N. A., AND EINSTEIN, H. H. (1977). "Statistical description of rock properties and sampling." *18th US Symp. Rock Mech.*, 8.
- BAHRANI, N., KAISER, P. K., AND VALLEY, B. (2014). "Distinct element method simulation of an analogue for a highly interlocked, non-persistently jointed rockmass." *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 71, 117-130.
- BAKUN-MAZOR, D., HATZOR, Y. H., AND DERSHOWITZ, W. S. (2009). "Modeling mechanical layering effects on stability of underground

- openings in jointed sedimentary rocks." *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 46, 262-271.
- BLASI, P., LISI, S., AND CRISCUOLO, A. (1998). "Il Marmo di Carrara : aspetti geologici , merceologici e minerari." *Eurominerals Soc. Min. Profr.*, Carrara.
  - BORGHI, A., RENARD, P., FOURNIER, L., AND NEGRO, F. (2015). "Stochastic fracture generation accounting for the stratification orientation in a folded environment based on an implicit geological model." *Eng. Geol.*, 187, 135-142.
  - BRIDGES, M. (1975). "Presentation of fracture data for rock mechanics." *2nd Aust. Zeal. Conf. Geomech.*, Brisbane, 144-148.
  - CARMIGNANI, L., FANTOZZI, P. L., GIGLIA, G., AND MECCHERI, M. (1993). "Pieghie associate alla distensione duttile del complesso metamorfico apuano." *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 49, 99-124.
  - CARMIGNANI, L., AND KLIFFIELD, R. (1990). "Crustal extension in the northern Apennines: The transition from compression to extension in the Alpi Apuane Core Complex." *Tectonics*, 9, 1275-1303.
  - CARMIGNANI, L., MASSA, G., SALVINI, R., PIERUCCIONI, D., TUFAROLO, E., CONTI, P., MANCINI, S., LORENZONI, V. (2015). "Acquisition of morpho-structural data by the use of aerial lidar and proximal sensing in the southern end of Monte Altissimo syncline (Apuan Alps, Italy)". *Rend. Online Soc. Geol. It.*, 35(2), 18.
  - CONTI, P., CARMIGNANI, L., MASSA, G., MECCHERI, M., PATACCA, E., SCANDONE, P., AND PIERUCCIONI, D. (n.d.). *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 249 - Massa-Carrara."* Roms.
  - DERSHOWITZ, W. S., AND EINSTEIN, H. H. (1988). "Characterizing rock joint geometry with joint system models." *Rock Mech. Rock Eng.*, 21, 21-51.
  - DERSHOWITZ, W. S., AND HERDA, H. H. (1992). "Interpretation of fracture spacing and intensity." *Rock Mech.*, 757.
  - DERSHOWITZ, W. S., LEE, G., GEIER, J., AND LAPOINTE, P. R. (1998). "FracMan: interactive Discrete feature Data Analysis. Geometric Modelling and Exploration Simulation." *Golder Associates*.
  - EINSTEIN, H. H., BAECHE, G. B., AND VENEZIANO, D. (1979). *Risk Analysis for Rock Slopes in Open Pit Mines*.
  - ELMO, D. (2006). "Evaluation of a hybrid FEM/DEM approach for determination of rock mass strength using a combination of discontinuity mapping and fracture mechanics modelling, with particular emphasis on modelling of jointed pillars." University of Exeter.
  - ELSWORTH, D. (1986). "A hybrid boundary element???finite element analysis procedure for fluid flow simulation in fractured rock masses." *Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech.*
  - GOLDER ASSOCIATES. (2018). "FracMan 7.7."
  - GRENON, M., BRUNEAU, G., AND KAPINGA KALALA, I. (2014). "Quantifying the impact of small variations in fracture geometric characteristics on peak rock mass properties at a mining project using a coupled DFN-DEM approach." *Comput. Geotech.*, 58, 47-55.
  - HUANG, H., LONG, J., LIN, H., ZHANG, L., YI, W., AND LEI, B. (2017). "Unmanned aerial vehicle based remote sensing method for monitoring a steep mountainous slope in the Three Gorges Reservoir, China." *Earth Sci. Informatics*, 10, 287-301.
  - HYMAN, J. D., KARRA, S., MAKEDONSKA, N., GABLE, C. W., PAINTER, S. L., AND VISWANATHAN, H. S. (2015). "DfnWorks: A discrete fracture network framework for modeling subsurface flow and transport." *Comput. Geosci.*
  - JING, L. (2003). "A review of techniques, advances and outstanding issues in numerical modelling for rock mechanics and rock engineering." *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*
  - KULATILAKE, P. H. S. W. (1993). "Application of probability and statistics in joint network modelling in three dimensions." *Conf. Probabilistic Methods Geotech. Eng.*, Canberra, 63-87.
  - LONG, J. C. S., GILMOUR, P., AND WITHERSPOON, P. A. (1985). "A Model for Steady Fluid Flow in Random Three Dimensional Networks of Disc Shaped Fractures." *Water Resour. Res.*
  - LONG, J. C. S., REMER, J. S., WILSON, C. R., AND WITHERSPOON, P. A. (1982). "Porous media equivalents for networks of discontinuous fractures." *Water Resour. Res.*
  - MAILLOT, J., DAVY, P., LE GOC, R., DARCEL, C., AND DE DREUZY, J. R. (2016). "Connectivity, permeability, and channeling in randomly distributed and kinematically defined discrete fracture network models." *Water Resour. Res.*
  - MASTROROCO, G., SALVINI, R., AND VANNESCHI, C. (2018). "Fracture mapping in challenging environment: a 3D virtual reality approach combining terrestrial LiDAR and high definition images." *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 77(2), 691-707.
  - MOLLI, G., AND MECCHERI, M. (2000). "Geometrie di deformazione nell'alta valle di Colonnata: un esempio di deformazione polifasica e composita nelle Alpi Apuane." *Boll. Soc. Geol. Ital.*, 119, 379-394.
  - PRIEST, S. D., AND HUDSON, J. A. (1976). "Discontinuity spacings in rock." *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*
  - ROBERTSON. (1970). "The interpretation of geologic factors for use in slope theory." *Symp. Theor. Backgr. to Plan. Open Pit Mines*, Johannesburg, 55-71.
  - ROCSCIENCE INC. (2018). "Dips 7.0, Graphical and Statistical Analysis of orientation Data." <<https://www.rocscience.com/software/dips/>> (Jun. 15, 2018).
  - SALVINI, R., MASTROROCO, G., SEDDAIU, M., ROSSI, D., AND VANNESCHI, C. (2017). "The use of an unmanned aerial vehicle for fracture mapping within a marble quarry (Carrara, Italy): photogrammetry and discrete fracture network modelling." *Geomatics, Nat. Hazards Risk*, 8, 34-52.
  - SALVINI, R., MASTROROCO, G., VANNESCHI, C., AND RICCUCCI, S. (2014). "Excavation stability analysis in an underground marble quarry in the Apuan Alps (Italy): Application of terrestrial LiDAR, conventional methods and numerical modeling." *Int. Discret. Fract. Netw. Eng. Conf.*, Vancouver.
  - SCHOLTÉS, L., AND DONZÉ, F.-V. (2012). "Modelling progressive failure in fractured rock masses using a 3D discrete element method." *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 52, 18-30.
  - SMITH, L., AND SCHWARTZ, F. W. (1984). "An Analysis of the Influence of Fracture Geometry on Mass Transport in Fractured Media." *Water Resour. Res.*
  - SPREAFICO, M. C., CERVI, F., FRANCONI, M., STEAD, D., AND BORGATTI, L. (2017). "An investigation into the development of toppling at the edge of fractured rock plateaux using a numerical modelling approach." *Geomorphology*, 288, 83-98.
  - STAUB, I., FREDRIKSSON, A., AND OUTTERS, N. (2002). *Strategy for a Rock Mechanics Site Descriptive Model Development and testing of the theoretical approach*.
  - TAKAKO, M., ELMO, D., AND ROGERS, S. (2018). "Influence of data analysis when exploiting DFN model representation in the application of rock mass classification systems." *J. Rock Mech. Geotech. Eng.*, In press, 18.
  - VANNESCHI, C. (2015). "Application of geomatic techniques for investigating and monitoring workplaces for security and geological risk reduction". Phd Thesis. University of Siena.
  - VANNESCHI, C., SALVINI, R., MASSA, G., RICCUCCI, S., AND BORSANI, A. (2014A). "Geological 3D modeling for excavation activity in an underground marble quarry in the Apuan Alps (Italy)." *Comput. Geosci.*
  - VANNESCHI, C., SALVINI, R., MASSA, G., RICCUCCI, S., AND BORSANI, A. (2014B). "Geological 3D modeling for excavation activity in an underground marble quarry in the Apuan Alps (Italy)." *Comput. Geosci.*, 69, 41-54.
  - WARBURTON, P. M. (1980). "A stereological interpretation of joint trace data." *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech.*
  - WEIR, F., AND FOWLER, M. (2014). "Application of DFN Modelling to Large Open Pit Slope Design in Australia. DFNE 2014." *Int. Conf. Discret. Fract. Netw. Eng.*, Vancouver.
  - ZHANG, L., AND EINSTEIN, H. H. (2000). "Estimating the intensity of rock discontinuities." *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 37, 819-837.



# Nuovi parapetti componibili Incofil Tech

## L'eleganza non è mai stata così facile da installare

Incofil Tech nasce nel 1985 come azienda specializzata nel settore delle funi in acciaio per applicazioni civili, d'architettura, per l'industriale e il forestale.

L'esperienza acquisita nel settore INOX per il civile e l'architettura ci ha consentito di realizzare dei parapetti modulari componibile di design estremamente facili nella posa e montaggio.

Oltre alla prefabbricazione del parapetto siamo in grado di eseguire servizi di consulenza mirati, progettazione 3D del parapetto, verifiche preliminari e la personalizzazione dei montanti.



Soluzioni in acciaio per la vostra sicurezza



Forestale



Sollevamento



Natura



Inox



Agricoltura

Via degli Artigiani, 52 – 38057 Pergine Valsugana (TN)

Tel +39 0461 534000 Mail. [info@incofil.com](mailto:info@incofil.com)

[www.incofil.com](http://www.incofil.com)

# AMBRGEO

Strumenti per Geofisica

• SISMOGRAFI

• HVSR

• TOMOGRAFIA ELETTRICA

• GEORESISTIVIMETRI

• ENERGIZZATORI SISMICI

• IDROFONI



Seismograph  
ECHO 48/2014 Seismic Unit - 24bit



Seismograph  
ECHO 24/2010 Seismic Unit - 24bit



ECHO Tromo HVSR3 - 24bit



Mangusta MC 24-120E  
Geoelectrical Tomography Equipment



Resistivity Meter Datares-10



3D/5D - 3D Twin Borehole Geophone



P/S Wave Borehole Energy Source



Borehole Deviation Probe



# L'acquifero dei Monti di Solofra (Irpinia – Campania): potenzialità idrica sotterranea ed interazioni con la Piana del Torrente Solofrana

**Sabino Aquino**, Università Telematica Pegaso; sabino.aquino@unipegaso.it

**Antonio Aquino**, Ingegnere Civile per l'Ambiente ed il Territorio - Docente di tecnologia; ing.antonioaquino@gmail.com

**Michele Ginolfi, Guido Leone, Libera Esposito**, Dipartimento di Scienze e Tecnologie dell'Università degli Studi del Sannio (BN); libera.esposito@unisannio.it

## Termini chiave:

Idrogeologia, Monti di Solofra, bilancio idrologico, pozzo, inquinamento

## Keywords:

Hydrogeology, Solofra Mountains, water balance, well, pollution

## Riassunto

La falda idrica dei Monti di Solofra costituisce una fondamentale risorsa alla quale il territorio Solofrano-Montorese deve buona parte del suo sviluppo essendo captata dagli acquedotti comunali e industriali di Solofra e Montoro. Oltre alla notevole potenzialità idrica, questa risorsa è caratterizzata, perlomeno all'origine, da eccellenti parametri chimico-fisici e microbiologici. Tuttavia, nell'ultimo trentennio, la massiccia pressione antropica subita da questo territorio ha amplificato notevolmente i fenomeni di contaminazione delle acque sotterranee sia da sostanze organiche sia da sostanze di origine sintetica riconducibili ai composti chimici impiegati prevalentemente nel settore industriale. Nel mese di gennaio 2014, in alcuni pozzi ad uso potabile per l'alimentazione di Montoro e Solofra, si rinvenne la presenza di tetracloroetilene oltre il limite di legge. Per far fronte alla crisi dell'approvvigionamento idrico la Società Solofra Servizi S.p.A., gestore del servizio idrico del comune Solofra, avviò la ricerca per l'individuazione di nuove risorse in grado di surrogare la portata idrica non più disponibile. Nel lavoro, oltre alla stima della produttività idrica dell'acquifero carbonatico interessato dalla nuova opera di captazione vengono anche illustrati, sulla base dei dati idrogeologici disponibili ed aggiornati, i rapporti intercorrenti tra la falda alluvionale del Torrente Solofrana e l'acquifero carbonatico dei Monti di Solofra.

## Abstract

*The water table in Solofra Mountains is a fundamental resource to which the Solofrano-Montorese territory owes a large part of its development, being captured by the municipal and industrial waterworks of Solofra and Montoro. In*

*addition to the remarkable water potential, this resource is characterized, at least at the origin, by excellent chemical-physical and microbiological parameters.*

*However, in the last thirty years, the massive anthropogenic pressure suffered by this territory has greatly amplified the phenomena of contamination of the water table both by organic substances and by substances of synthetic origin derived from the chemical compounds mainly used in the industrial sector. In January 2014, in some wells for drinking use that feed Montoro and Solofra municipalities, it was found the presence of tetrachloroethylene beyond the legal limit. To face with the water supply crisis, the company Solofra Servizi S.p.A., which was the manager of the water service of Solofra municipality, started the search about the identification of a new water source capable of substituting the water flow which was not available.*

*In addition to the estimate of the water productivity of the carbonate aquifer involved in the new catchment work, this work also illustrates, on the basis of the hydrogeological data available and updated to the current one, the relationships between the alluvial aquifer inside the Solofrana plain and the carbonate aquifer of Solofra Mountains.*

## Introduzione

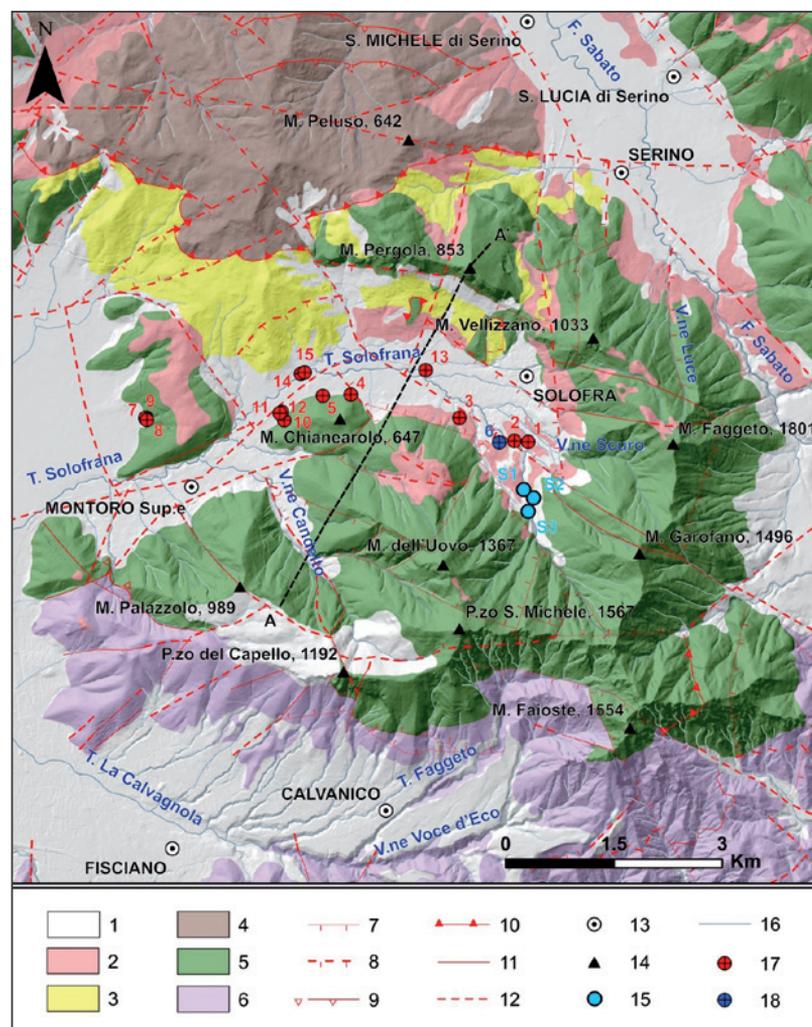
Le aree densamente urbanizzate sono spesso interessate da fenomeni di inquinamento puntuale o diffuso (ALBERTI *et alii*, 2018). Tra gli inquinanti provenienti da fonti industriali e domestiche diffuse si annoverano anche i solventi clorurati, tetracloroetilene o percloroetilene (PCE), il tricloroetilene (TCE) ed il tricloroetano (TCM) (BALDERACCHI *et alii*, 2013). Si tratta di composti potenzialmente cancerogeni (come il TCM;

BARRLO-LAGE *et alii*, 1987; Vogel *et alii*, 1985) o altamente cancerogeni (come PCE e TCE) che possono essere considerati gli inquinanti più diffusi nelle acque sotterranee (CARTER *et alii*, 2012; Cortés *et alii*, 2011; HUNKELER AND ARAVENA, 2000; KUEPER *et alii*, 2003; PARKER *et alii*, 2004). La loro limitata solubilità in acqua e le densità più elevate di quella dell'acqua consentono a questi contaminanti di formare una fase separata immiscibile non acquosa (DNAPL) che si diffonde verticalmente nell'acquifero occupando pori e fratture. La legislazione italiana (D.lgs. 152/2006) impone nelle acque sotterranee il limite di 1,1 µg/l. La bonifica dei siti contaminati da questi inquinanti è spesso molto difficile (KUEPER *et alii*, 2003; WANNER *et alii*, 2012) perché non sempre è possibile individuare la sorgente puntuale di contaminazione e la concentrazione di fondo del sito dovuta ai diversi fattori antropogenici (AZELLINO *et alii*, 2019). Spesso si ricorre alla tecnica del "pumping&treat" per limitare la migrazione e la concentrazione del pennacchio di

contaminazione (KAO AND LEI., 2000).

Nel mese di Gennaio 2014, l'Alto Calore Servizi S.p.a., ente gestore del servizio idrico integrato della quasi totalità dei comuni dell'Irpinia e di parte dei comuni del Sannio, rilevava la presenza di tetracloroetilene nelle acque captate da due pozzi ubicati nel Comune di Montoro (Av; n. 10 e 12, in Fig. 1) ed utilizzati per l'approvvigionamento idropotabile delle zone di Montoro e Solofra (46 µg/l). Successivi controlli sulle acque sotterranee evidenziavano elevate concentrazioni di tetracloroetilene (oltre 240 µg/l) in due pozzi ad uso idropotabile gestiti dalla Solofra Servizi S.p.A. addetta alla distribuzione della risorsa idrica per gli usi potabili ed industriali nel comune di Solofra (n. 4 e 5, in Fig. 1). Nuovi controlli, effettuati dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Campania (ARPAC, Compartimento di Avellino), consentivano il rilevamento dell'inquinante in molteplici pozzi ad uso industriale presenti nell'area di Solofra con valori di tetracloroetilene anche superiori a 1200 µg/l.

A seguito dei suddetti rilievi, venivano posti fuori esercizio tutti i pozzi contaminati e ciò produceva una sostanziale riduzione delle portate idriche utilizzate a scopo idropotabile. Per far fronte al deficit idrico fu valutata la possibilità di realizzare una nuova opera di captazione in grado di integrare le portate in difetto. La scelta del sito ove realizzare la nuova captazione doveva sostanzialmente soddisfare due essenziali requisiti: il primo era quello di intercettare un acquifero dotato di notevole potenzialità; il secondo era quello di individuare una falda con caratteristiche geochemiche tali da soddisfare i riferimenti di legge (D.Lgs. n.31 del 2001,



**Fig. 1.** Carta geologica dei Monti di Solofra. 1: Depositi quaternari 2: Depositi Piroclastici 3: Flysch 4: Unità di Bacino 5: Calcari Unità Monti Picentini-Taburno 6: Dolomite 7: Faglia normale 8: Faglia normale incerta 9: Faglia inversa 10: Sovrascorrimento 11: Faglia 12: Faglia incerta 13: Città 14: Vette 15: Sorgenti 16: Idrografia superficiale 17: Pozzi; 18: Pozzo San Francesco 19: Traccia di sezione.

**Fig. 1.** Geological map of Solofra Mountains. 1: Quaternary deposits 2: Pyroclastic deposits 3: Flysch 4: Basin Units 5: Limestones Unit Picentini-Taburno 6: Dolomite 7: Normal fault 8: Uncertain normal fault 9: Reverse fault 10: Thrust 11: Fault 12: Uncertain fault 13: Cities 14: Heights 15: Springs 16: Surface hydrography 17: wells 18: San Francesco well 19: Trace of section.

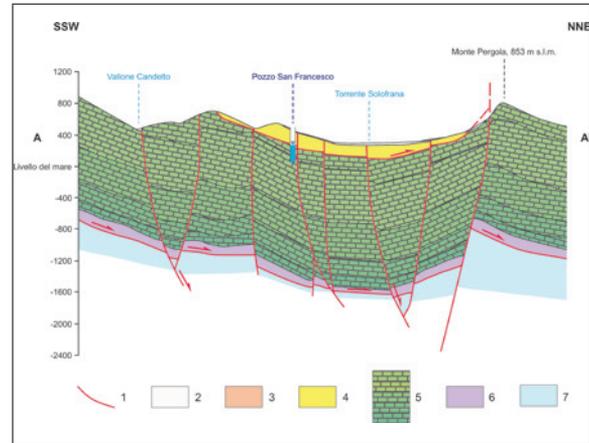
D.Lgs. n.27 del 2002 e D.Lgs. 152/2006) e comunque protetta da eventuali contaminanti. L'attenzione si concentrò sull'acquifero carbonatico dei Monti di Solofra sede di un'importante falda idrica sotterranea. In quest'area è stato realizzato un nuovo pozzo per l'approvvigionamento idropotabile (pozzo San Francesco, n. 6 in Fig. 1).

### Area di studio

L'area di studio si estende lungo il margine meridionale dei Monti di Solofra (Campania; Fig. 1) che costituiscono una dorsale carbonatica alle cui pendici sorge l'omonimo centro abitato. La zona degrada verso la piana interessata dall'incisione del Torrente Solofrana che scorre nel fondovalle principale. I termini affioranti, di origine marina e continentale, hanno età compresa tra il Giurassico inferiore ed il Quaternario (Fig. 1). Quelli carbonatico-dolomitici (Giurassico) sono ascrivibili all'unità stratigrafico-strutturale Monti Picentini-Taburno della piattaforma carbonatica campano-lucana (D'ARGENIO *et alii*, 1973; BONARDI *et alii*, 1988). Talora, in copertura, si rinvengono depositi clastici del Quaternario ai quali sono intercalati i prodotti piroclastici correlabili con l'eruzione di Sarno (17000 anni fa), di Ottaviano (8000 anni fa), di Avellino (3700 anni fa), del 79 d.C., del 477 d.C. e con l'ultima eruzione avvenuta nel marzo 1944 (ROLANDI *et alii*, 1993 a, b; LIRER *et alii*, 2001; Figg. 1 e 2).

Questi depositi costituiscono un potente materasso alluvionale sede dell'acquifero detritico-piroclastico-alluvionale della Valle del T. Solofrana (CELICO P., 1978; CELICO P., 1983; CELICO *et alii*, 1991;

CELICO & PISCOPO, 1994; CELICO F. *et alii*, 1995; ALLOCCA *et alii*, 1999). I rilievi calcarei non presentano recapiti sorgivi della falda di base, ma si rinvengono solo alcune sorgenti in quota tra le quali le più significative sono quelle denominate "Bocche Sottane",



**Fig. 2.** Sezione geologica (traccia riportata in Fig. 1; in sezione la proiezione del Pozzo San Francesco n. 6 in Fig. 1 e Tab. 1). 1: Faglie 2: Depositi quaternari 3: Depositi Piroclastici 4: Flysch 5: Calcari Unità Monti Picentini-Taburno 6: Dolomie 7: Unità di Piattaforma Appenninica.

**Fig. 2.** Geological section (Trace reported in Fig.1.; in section the projection of S. Francesco well n.6 in Tab.1. and Fig.1.). 1: Faults 2: Quaternary deposits 3: Piroclastic deposits 4: Flysch 5: Limestones Unit Picentino-Taburno 6: Dolomites 7: Appenninic Platform Units.

N. di riferimento e relativa denominazione delle sorgenti e dei pozzi		Quota p.c. (m slm)	Soggiacenza falda (m slm)	Quota assoluta (m slm)	Portata media annua (l/s)
S1	Bocche Sottane	573			13
S2	Lapazzeta	626			7
S3	Bocche Soprane	664			18
1	Pozzo ASI	513	233	280	
2	Pozzo Scorza	480	198	282	
3	Pozzo Pastena	414	173	241	
4	Pozzo Selvapiana (Eustachio)	329	148*	181	
5	Pozzo Consolazione	307	118*	189	
6	Pozzo San Francesco	472	199	273	
7	Campo pozzi S. Eustachio	234	n.r.	n.r.	
8		232	n.r.	n.r.	
9		233	n.r.	n.r.	
10	Campo pozzi Chiusa	295	60.2*	234.8	
11		279	n.r.	n.r.	
12		278	66.3*	211.7	
13	Carisma	352	51.5*	300.5	
14	COGEI	282	47.1*	234.9	
15	Marangelo	290	21.3*	268.7	

**Tab.1.** Elenco sorgenti e pozzi riportati in Fig.1 (\* dati rilevati nel 2014; i dati restanti sono stati forniti dall'Alto Calore S.p.a. e della Solofra Servizi S.p.a.).

**Tab. 1.** Tables of springs and wells shown in Fig.1. (\*Collected data in 2014; remaining data was provided by Alto Calore S.p.a. and Solofra Servizi S.p.a.).

“Lapazzeta” e “Bocche Soprane”, emergenti nel territorio comunale di Solofra, che complessivamente erogano una portata media annua pari a circa 38 l/s in media (S1, S2 e S3 in Fig. 1 e Tab. 1; AQUINO S. *et alii*, 2006).

La falda di base alimenta mediante travasi idrici sotterranei l'acquifero della Valle del T. Solofrana e, tramite questo, la vicina idrostruttura dei Monti di Avella-Partenio-Pizzo d'Alvano (CELICO P. 1978; CELICO P., 1983; CELICO *et alii*, 1991; CELICO & PISCOPO, 1994; CELICO F. *et alii*, 1995; ALLOCCA *et alii*, 1999).

I limiti dell'idrostruttura dei Monti di Solofra sono ben definiti. A Nord, il limite idrogeologico è rappresentato dal contatto con i depositi arenaceo-marnoso-argillosi a ridotta permeabilità relativa; ad Est con la valle del Fiume Sabato dove hanno recapito le sorgenti di Serino alimentate dal massiccio carbonatico dei Monti Terminio-Tuoro (FIORILLO *et alii*, 2007, 2018); a Sud il limite del bacino idrogeologico segue la linea tettonica Materdomini-Pellezzano (CELICO P. 1978; CELICO P., 1983; CELICO *et alii*, 1991; CELICO & PISCOPO, 1994; CELICO F. *et alii*, 1995; ALLOCCA *et alii*, 1999).

All'interno della successione carbonatica, a luoghi, è rinvenibile un'intercalazione di litotipi argillosi con carattere di wildflysch ascrivibili alla Formazione delle Argille Variegate (Messiniano inferiore; APAT, 2006; Fig. 2). Questi litotipi sono stati ritrovati in fase di perforazione del pozzo San Francesco con spessori di circa 200 metri compatibili con quelli riportati in bibliografia (ISPRA, 2018; Fig. 2; cfr. par. 3). Essi assumono un importante ruolo dal punto di vista idrogeologico in quanto costituiscono un *aquiclude* che protegge la falda circolante nel substrato carbonatico da eventuali fenomeni di contaminazione provenienti dalla superficie (cfr. par. 5).

## Materiali e metodi

La valutazione della potenzialità idrica sotterranea dei Monti

di Solofra è stata ottenuta applicando il metodo del bilancio inverso di Civita (CIVITA *et alii*, 1999) sulla base dei dati forniti dal Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile della Regione Campania e dagli enti gestori del servizio idrico nei comuni di Montoro e Solofra oltre che dalla Provincia di Avellino. I dati pluviometrici e termometrici si riferiscono al trentennio di osservazioni 1988-2018 per le stazioni di Montevegine, Avellino (Genio Civile), Montemarano, Montella, Solofra, Sarno, Baronissi e Giffoni V.P. I volumi idrici captati dall'Alto Calore Servizi e dalla Solofra Servizi si riferiscono al periodo di osservazione 2004-2018, per quanto riguarda i dati di portata inerenti ai campi pozzi Aterrana-Chiusa e S. Eustachio, e al 2011-2018 per i restanti pozzi e sorgenti; quest'ultima serie di dati è stata riportata nella tabella 2.

Alle uscite potabili, a cui fanno eccezione i pozzi Selvapiana e Consolazione (n. 4 e n. 5, in Fig. 1 e Tab. 2) utilizzati prettamente a scopo industriale, sono state aggiunte quelle dei numerosi pozzi ad uso industriale presenti nella piana di Solofra, tutti drenanti il substrato carbonatico sottoposto ai depositi alluvionali di piana. I dati utilizzati si riferiscono al periodo 2001-2012 e sono stati desunti dagli archivi dell'Amministrazione Provinciale.

Nei mesi immediatamente successivi al fenomeno di contaminazione, in alcuni pozzi della Piana utilizzati ad uso industriale (n. 13, 14 e 15 in Fig. 1) ed in quelli posti fuori esercizio ad uso idropotabile (n. 4, 5, 10 e 12 in Fig. 1) è stata misurata la soggiacenza della falda con freatometro modello PASI BFK300 (Tab. 1). Infine, in fase di perforazione del pozzo San Francesco, la Solofra Servizi S.p.A. ha effettuato il campionamento delle acque che sono state successivamente sottoposte ad analisi chimico-fisiche e batteriologiche per la determinazione delle concentrazioni dei principali elementi previsti dalla normativa vigente (D.Lvo31/2001 e 27/2002).

Denominazione		Anni di osservazione e portate medie annue (in l/s)								
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
S1	Sorgente “Bocche Sottane”	13.5	13	14.5	13	13.5	13.5	14.5	14	
S2	Sorgente “Lapazzeta”	7	7.5	7	7	7.5	7.5	7	7	
S3	Sorgente “Bocche Soprane”	19	18	19	18	18	19	18	18	
1	Pozzo Scorza “ASI”	25	25	25	25	25	25	25	25	
2	Pozzo “Scorza”	20	20	20	20	20	20	20	20	
3	Pozzo “Pastena”	25	25	25	25	25	25	25	25	
4	Pozzo “Selvapiana”	20	20	20	Fuori esercizio					
5	Pozzo “Consolazione”	20	20	20	Fuori esercizio					
6	Pozzo “San Francesco”	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	16	16	
7	Campo Pozzi “Aterrana-Chiusa”	95.4	83.7	75.4	70	82.5	96	101.6	75	
8	Campo Pozzi “S. Eustachio”	0	37.3	26.4	50	40.2	27.5	32.3	27.2	

**Tab. 2.** Portate prelevate alle sorgenti e/o pozzi per l'approvvigionamento idropotabile (dati in l/s; n.r.: dati non disponibili o non rilevati).

**Tab. 2.** *Whitdrawn waterflows at springs and/or wells for water friendly procurement (Data reported in l/s; n.r.: data non available or not collected).*

## Il pozzo San Francesco

Il nuovo pozzo per l'approvvigionamento idropotabile è stato realizzato dalla Solofra Servizi S.p.A. in località Scorza (n. 6 in Fig. 1) ad una quota topografica di 486 m slm. Per la sua perforazione sono stati impiegati diversi mesi di lavoro a causa del rinvenimento di un banco di argille e argille marnose e silteose con intercalazioni di elementi litici di natura calcarea o arenacea di varie dimensioni (Figg. 2 e 3) sovrapposte ai calcari della piattaforma carbonatica campano-lucana. Il loro attraversamento ha comportato, in aggiunta ai problemi di avanzamento della macchina perforatrice, la necessità di installare speciali camicie di acciaio per impedire fenomeni di franamento e collassamento delle pareti del perforo. In figura 3, oltre alla descrizione litostratigrafica dei terreni attraversati, è riportata in dettaglio la tipologia di condizionamento del pozzo.

La falda idrica è stata intercettata ad una profondità del pozzo dal piano di campagna di 199,57 m corrispondente ad una quota della falda di circa 286 m slm.. Al termine della fase di espurgo è stata condotta una prova di pompaggio di lunga durata (72 ore) con portata continua di 20 l/s che ha comportato una depressione di circa 25 metri totalmente recuperata nelle 7 ore successive alla fase di interruzione del pompaggio. Il rapido e totale recupero testimonia l'ottima potenzialità dell'acquifero intercettato dall'opera di captazione a tutt'oggi confermata dalle condizioni di esercizio del pozzo. Infatti, dal primo giorno di esercizio (16 aprile 2017) si deriva, ininterrottamente nell'arco delle 24 ore, una portata idrica di circa 16 l/s con una depressione indotta stabile anche durante la fase di magra della falda.

## Risultati

Nelle tabelle 3 e 4 sono sintetizzati i risultati del bilancio idrologico redatto ai fini della valutazione della potenzialità idrica dell'idrostruttura carbonatica.

In Tabella 1 e in Figura 4, invece, sono riportati i dati del livello di falda misurato nei pozzi ad uso industriale ubicati nella piana, alcune quote del Torrente Solofrana e la direzione del flusso idrico sotterraneo. Relativamente all'aspetto qualitativo della risorsa emunta, le analisi chimico-fisiche, batteriologiche e microbiologiche ne hanno evidenziato l'ottima qualità; le acque risultano ascrivibili alla facies bicarbonato-calcica tendente

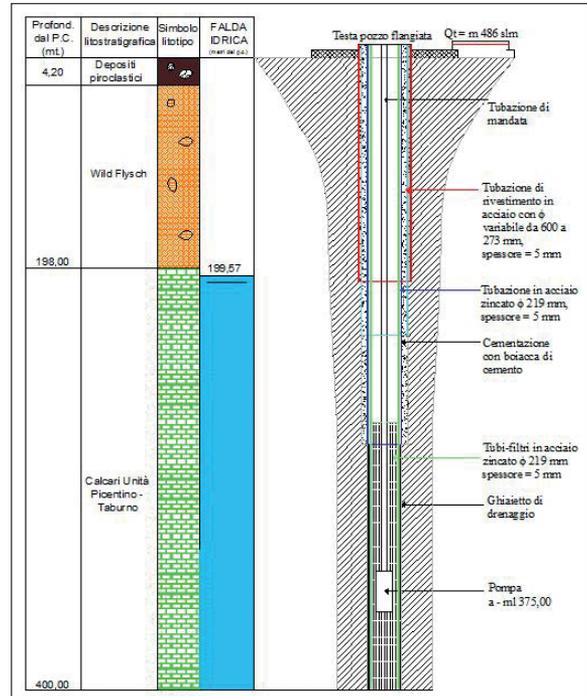


Fig. 3. Stratigrafia del pozzo San Francesco e relativo schema di condizionamento.

Fig. 3. Stratigraphy of S. Francesco well and related conditioning scheme.

alla bicarbonato-solfato-calcica. Entro i limiti di legge sono i valori rilevati di cloruro, manganese, ferro, nitrati, solfati e ammonio. Il residuo secco a 180° è pari a 180 mg/l evidenziando una media mineralizzazione delle acque ed una durezza totale di 18 gradi francesi (acque "molto leggere" in contenuto di sali); il pH oscilla tra 7.5 e 7.8. Sotto l'aspetto batteriologico e microbiologico le acque risultano pure, nel rispetto dei parametri di riferimento previsti dalla normativa per le acque destinate al consumo umano (D.Lgs. n.31 del 2001, D.Lgs. n.27 del 2002 e D.Lgs. 152/2006).

## Discussione dei risultati e considerazioni conclusive

Dalla tabella 4 risulta evidente l'enorme differenza tra i volumi

Volume annuo di precipitazione (m <sup>3</sup> /a)	Volume di evapotraspirazione (m <sup>3</sup> /a)	Deflusso globale (m <sup>3</sup> /a)	CIP medio (%)	Volume infiltrazione (m <sup>3</sup> /a)	Volume ruscellamento (m <sup>3</sup> /a)
12.893.440	4.618.878	33.098.247	0,914	30.251.798	2.846.449

Tab. 3. Dati riassuntivi del bilancio idrologico. | Tab. 3. Summary data of hydrological balance.

Volumi in entrata (m <sup>3</sup> /a)	Volumi in uscita (m <sup>3</sup> /a)	Differenza (m <sup>3</sup> /a)
30.251.798	9.751.551	20.500.247

Tab. 4. Tabella riassuntiva del bilancio. | Tab. 4. Summary table of balance.

medi annui in entrata e quelli in uscita dall'area del bilancio; tale differenza corrisponde alle aliquote di travaso idrico tra l'acquifero carbonatico dei Monti di Solofra e quello piroclastico-alluvionale della Piana del T. Solofrana. Infatti, degli oltre 30 milioni di metri cubi che si infiltrano nel bacino considerato, oltre 9 milioni di metri cubi l'anno sono utilizzati per scopi idropotabili ed industriali. In assenza di importanti sorgenti basali (cfr. par. 1) il surplus idrico, stimato in oltre 20 milioni di metri cubi d'acqua all'anno (circa 650 l/s), travasa nel substrato carbonatico sottoposto alla Piana della Solofrana raggiungendo i Monti di Sarno ed alimentando le omonime sorgenti (Santa Maria la Foce – Mercato e Palazzo – Santa Marina di Lavorate – San Mauro; cfr. par. 1). I volumi di travaso rappresentano, pertanto, l'ulteriore risorsa sfruttabile dell'idrostruttura considerata. Il pozzo San Francesco, progettato per colmare il deficit idrico connesso con il fenomeno di contaminazione da tetracloroetilene non sovrasfrutta l'acquifero carbonatico e consente il prelievo di acque le cui proprietà sono correlabili con la natura delle rocce-serbatoio e sono in linea con quanto previsto dalla normativa in materia di caratteristiche qualitative delle acque potabili. Ai fini della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero di base, risultano rilevanti gli aspetti che scaturiscono dal confronto tra le misure della falda rilevate nei pozzi ad uso industriale ubicati in Piana, quelle della lama d'acqua in corrivazione nel Torrente Solofrana e quella misurata nel Pozzo San Francesco (cfr. par. 3; Figg. 3 e 4). Da esse si deduce che l'acquifero alluvionale del Torrente Solofrana, nel tratto che attraversa la zona industriale ed il centro urbano di Solofra, si sviluppa ad una quota compresa tra 370 e 290 metri slm. (Fig. 4), ossia ad una quota più elevata di quella

dell'acquifero carbonatico ad esso sottoposto (pari a circa 286 metri slm.). Pertanto, le sostanze contaminanti ed i reflui urbani non depurati, provenienti dalle attività industriali, artigianali e commerciali, immesse direttamente nella falda di Piana, attraverso eventuali pozzi perdenti, o nelle acque corrivanti nell'asta idrografica della Solofrana, tramite fenomeni di drenanza verticale potrebbero, nel tempo, subire delle migrazioni verso l'acquifero carbonatico sottoposto e confinante con l'area di Piana. Ciò rende la risorsa che ha deflusso nell'acquifero carbonatico particolarmente vulnerabile soprattutto se il contaminante considerato è il tetracloroetilene; in questo caso, infatti, la drenanza è agevolata dal notevole peso specifico posseduto dal solvente clorurato con gravi ripercussioni sulla qualità della falda in calcare. All'attuale, le caratteristiche chimico-fisiche delle acque campionate dai pozzi con canne pescanti nell'acquifero carbonatico sono conformi alla normativa sulle acque potabili (cfr. par. 4) grazie all'*aquiclude* argilloso che esercita un'importante azione di protezione della risorsa ad esso sottoposta (cfr. par. 1). La presenza dell'*aquiclude* argilloso non può però preservare, nel tempo, la qualità delle acque sotterranee dell'acquifero carbonatico; infatti, l'elevata densità degli insediamenti civili ed industriali, l'incompletezza delle reti fognarie, gli scarichi in alveo anomali e non depurati, ed infine, la mancata bonifica dei terreni inquinati dallo stesso tetracloroetilene, produrranno un progressivo ed inevitabile peggioramento della qualità delle acque che circolano nella Piana con il relativo aumento del peso specifico della colonna inquinante. Alla luce di quanto evidenziato si deduce che eventuali ed auspicabili interventi di bonifica da attuare nel comprensorio in esame dovranno essere

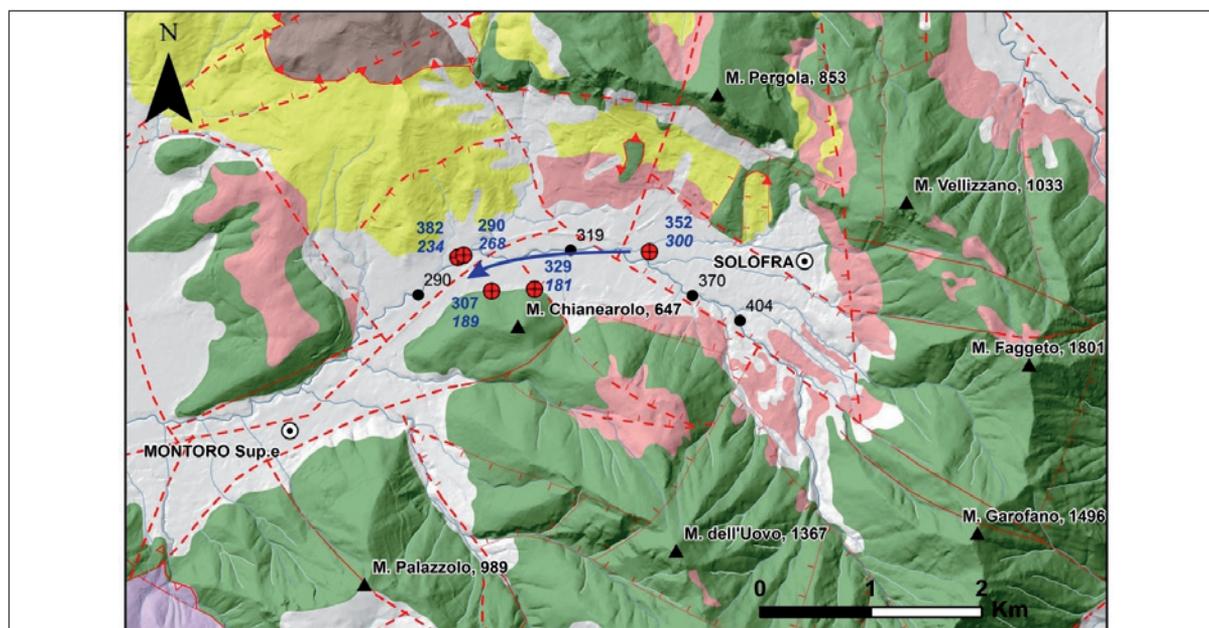


Fig. 4. Rilievo piezometrico (pozzi in carbonatico; per la legenda delle litologie affioranti si confronti la legenda di Fig. 1).

Fig. 4. Piezometric relief (wells in limestones; legend is the same shown in Fig. 1).

opportunamente progettati. A tal proposito è utile ricordare che la presenza del tetracloroetilene ed anche di alcuni metalli pesanti (ferro, piombo, rame, cadmio, alluminio, cromo ecc..) in acquiferi alluvionali, impone che gli enti istituzionalmente competenti attuino, con urgenza, adeguati piani di intervento, finalizzati alla salvaguardia delle risorse idriche sotterranee. Alla luce di tale esigenza, a breve si procederà alla stesura del piano di caratterizzazione della Piana del T. Solofrana interessata dall'inquinamento da tetracloroetilene e da altre tipologie di contaminazione che dovrà accertare, mediante specifiche indagini, le cause della contaminazione, la loro entità e l'attuale stato qualitativo dell'intero bacino idrografico del Torrente Solofrana utile per la messa in sicurezza e la bonifica definitiva dell'intero comprensorio. È importante evidenziare che la normativa vigente finalizzata alla bonifica dei siti contaminati (D.lgs. 22/97, D.M. 471/99 e D.lgs. 152/2006) non prevede "specifiche" indicazioni di carattere tecnico-operativo in materia. Pertanto, vanno attuati esclusivamente gli interventi di bonifica già consolidati nella prassi che possono effettivamente essere risolutivi. Tra questi il più antico ed efficace sistema d'intervento sulle acque sotterranee contaminate, ma anche quello ancora più utilizzato, è quello che prevede la realizzazione di barriere idrauliche, costituite da batterie di pozzi che assorbono le contaminazioni incanalandole verso la depressione della falda idrica creata dal pompaggio (tecnica del "pumping&treat"). Questo sistema provoca un'efficace interruzione della migrazione a valle del pennacchio inquinante e consente il prelievo dell'acqua contaminata che sarà successivamente sottoposta a specifici trattamenti prima dello scarico.

## Riferimenti bibliografici

- ALBERTI L., COLOMBO L. & FORMENTIN G. (2018a) - *Null-space Monte Carlo particle tracking to assess groundwater PCE (Tetrachloroethene) diffuse pollution in north-eastern Milan functional urban area*. Sci. Total Environ. 621.
- ALLOCCA V., CELICO F., CELICO P., DE VITA P., FABBRICINO S., MATTIA C., MONACELLI G., MUSILLI I., PISCOPO V., SCALISE A.R., SUMMA G. & TRANFAGLIA G. (1999) - *Note illustrative della Carta Idrogeologica dell'Italia Meridionale*. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato S.p.a..
- APAT (2006) - *Nuova Carta Geologica d'Italia - scala 1:50.000. Catalogo delle Formazioni. Unità tradizionali*. Quaderni serie III Volume 7 - Fascicolo VII.
- AQUINO S., ALLOCCA V., ESPOSITO L. & CELICO P. (2006) - *Le risorse idriche della provincia di Avellino*. Vol. unico, Arti Grafiche Cinque S.r.l., Avellino.
- AZZELLINO A., COLOMBO L., LOMBI S., MARCHESI V., PIANA A., MERRI A. & ALBERTI L. (2019) - *Groundwater diffuse pollution in functional urban areas: The need to define anthropogenic diffuse pollution background levels*, Science of the Total Environment 656 (2019) 1207-1222.
- BALDERACCHI M., BENOIT P., CAMBIER P., EKLO O.M., GARGINI A., GEMITZI A., GUREL M., KLÖVE B., NAKIC Z., PREDAA E., RUZICIC S., WACHNIEW P. & TREVISAN M. (2013) - *Groundwater pollution and quality monitoring approaches at the European level*. Crit. Rev. Environ.
- BARRLO-LAGE G., PARSONS F.Z. & NASSAR R.S. (1987) - Kinetics of the depletion of trichloroethene.
- BONARDI G., D'ARGENIO B. & PERRONE V. (1988) - *Carta Geologica dell'Appennino Meridionale (1:250.000)*. Atti del Congr. Soc. Geol. D'It., 13-17 settembre 1998, Sorrento (Napoli). Mem. Soc. Geol. It., Vol. 41, Roma.
- CARTER J.M., MORAN M.J., ZOGORSKI J.S. & PRICE C.V. (2012) - *Factors associated with sources, transport, and fate of chloroform and three other trihalomethanes in untreated groundwater used for drinking water*. Environ. Sci. Technol.
- CELICO F., CIRILLO R., ESPOSITO L., GUIDA M. & AQUINO S. (1996) - *La propagazione in falda degli inquinanti idroveicolati, in relazione alla morfologia della superficie piezometrica*. L'acqua, Rivista dell'Associazione Idrotecnica Italiana Volume IV°. Anno 1996.
- CELICO P. (1978) - *Schema idrogeologico dell'Appennino carbonatico centro-meridionale*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl., 14, (pp. 1-97), Napoli.
- CELICO P. (1983) - *Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale (Marche e Lazio meridionale, Abruzzo, Molise e Campania)*. Quaderni della Cassa per il Mezzogiorno 4/2, Roma.
- CELICO P., MALAFRONTA A. & PISCOPO V. (1991) - *Bilancio idrologico ed idrodinamica della piana del Sarno (SA)*. In "Ricerca Scientifica ed Educazione Permanente", Suppl. 93, (pp. 297-306), Milano.
- CIVITA M., DE MAIO M., VIGNA B. (1999) - *Una metodologia GIS per la valutazione della ricarica attiva degli acquiferi*. Atti "3° Conv. Naz. Sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee per il III Millennio". Parma 13-15/10/1999.
- CORTES A., PUIGSERVER D., CARMONA J.M. & VILADEVALL M. (2011) - *Biological remediation approach involving soils and groundwater-spilluted with chlorinated solvents in a Mediterranean context*. Recent Adv. Pharm. Sci. 661, 223-246.
- D'ARGENIO B., PESCATORE T. & SCANDONE P. (1973) - *Schema Geologico dell'Appennino meridionale (Campania e Lucania)*. Atti Acc. Naz. Lincei, 183, Roma.
- FIORILLO F., ESPOSITO L. & GUADAGNO F.M. (2007) - *Analyses and forecast of the water resource in an ultra-centenarian spring discharge series from Serino (Southern Italy)*. Journal of Hydrology, 36 (125-138).
- FIORILLO F., ESPOSITO L., TESTA G., CIARCIA S. & PAGNOZZI M. (2018) - *The upwelling water flux feeding springs: hydrogeological and hydraulic features*. Water, 10, 501.
- ISPRA (2018) - *Carta Geologica d'Italia, scala 1:50.000. Foglio 449 e relative note illustrative*.
- KAO C.M. & LEI S.E. (2000) - *Using a peat biobarrier to remediate PCE/TCE contaminated aquifers*.
- KUEPER B.H., WEALTHALL G.P., SMITH J.W.N., LEHARNE S. & LERNER D.N. (2003) - *An Illustrated Handbook of DNAPL Transport and Fate in the Subsurface*. R&D Publication (p. 133).
- LIRER L., PETROSINO P., ALBERICO I. & POSTIGLIONE I. (2001) - *Long-term volcanic hazard forecast based on Somma-Vesuvio past eruptive activity*. Bull. Volcan., 63(45-60).
- PARKER B.L., CHERRY J.A. & CHAPMAN S.W. (2004) - *Field study of TCE diffusion profile below DNAPL to assess aquitard integrity*. J. Contam. Hydrol.
- ROLANDI G., MARAFFI S., PETROSINO P. & LIRER L. (1993a) - *The Ottaviano eruption of Somma-Vesuvio (8000 y. B.P.): a magmatic alternating fall and flow-forming eruption*. Journ. Volcan. Geotherm. Res, 58 (43-65).
- ROLANDI G., MASTROLORENZO G., BARRELLA A.M. & BORRELLI A. (1993b) - *The Avellino Plinian eruption of Somma-Vesuvio (3769 y. B.P.): the progressive evolution from magmatic to hydromagmatic style*. Journ. Volcan. Geotherm. Res 58 (67-81).
- VOGEL T.M. & McCARTY P.L. (1985) - *Biotransformation of tetrachloroethylene to trichloroethylene, dichloroethylene, vinylchloride, and carbon dioxide under methanogenic conditions*. Appl. Environ. Microbiol. 49 (1080-1083).
- WANNER C., ZINK S., EGGENBERGER U. & MADER U. (2012) - *Assessing the Cr (VI) reduction efficiency of a permeable reactive barrier using Cr isotope measurements and 2D reactive transport modeling*. J. Contam. Hydrol. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2012.01.007>.
- WANNER C., ZINK S., EGGENBERGER U. & MADER U. (2012) - *Assessing the Cr(VI) reduction efficiency*. Water Res. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00213-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00213-4).

# X-PAD

U L T I M A T E



## X-PAD Ultimate

### Tutto in un unico software

X-PAD Ultimate è un software modulare, facile da usare per lavori topografici e del cantiere, come rilievi, tracciamenti, catasto, controlli BIM, strade, mappe, batimetria e GIS.

Il software è disponibile sulla piattaforma Android e porta le migliori tecnologie direttamente in campo nella tua mano: una completa visualizzazione 3D ed un sistema CAD per visualizzare e modificare i disegni,

integrazione dei tuoi dati con tutte le tipologie di mappe, supporti per la realtà aumentata e molto altro. XPad Ultimate ti assicura la produttività e ti permette di avere una perfetta integrazione con tutti gli strumenti.

Disponibile in due versioni, una dedicata a chi lavora nel campo della topografia ed una dedicata alle imprese di costruzioni, offrendo ad entrambi delle caratteristiche dedicate.



**geomax-positioning.it**

©2018 Hexagon AB and/or its subsidiaries and affiliates. All rights reserved.



# Morfologia e archeologia della valle dell'Alcantara

## *Morphological aspects of the valle of the Alcantara*

**Salvatore Patanè**, Geologo-libero professionista e presidente dell'associazione protezione ambiente "apa San Francesco"

**Maria Teresa Magro**, Archeologa-Soprintendenza BBCCA-Catania

### Termini chiave:

Morfologia, Formazione sedimentaria, Erosione, Stratigrafia, Invasioni di flusso di lava, Evoluzione della valle dell'Alcantara, Vulcano dell'Etna, Età greca, Tombe preistoriche, Palmenti rupestri

### Keywords:

Morphology, Sedimentary formation, Erosion, Stratigraphy, Invasions of lava flow, Evolution of the Alcantara valley, Mount Etna, Greek age, Prehistoric tombs, Rock palm trees

### Abstract

The examined area is located in the North-East of Sicily (fig.1). It is placed in the border area between the volcanic structure of Mount Etna and the slopes of Orogene-Maghrebides-Appennines called "Valle dell'Alcantara" [Alcantara Valley] (from the homonym Alcantara river). The area expands in the E-W and NW-SE, following the course of the Alcantara river; along which there are tectonic lines that separate the units of the Calabrian Arch from the external sectors of the Orogenes (Lentini F. et al., 1995).

The area is geologically characterized by some lava expansions, which come from the northern sector of Mount Etna in the south, and by the sedimentary formations of the Appennines in the north.

Such geological features provide the whole area with variegated and evocative aspects along the entire course of the river, starting from the spring of the river in the Nebrodi mountains, near Floresta town, passing through Gurrída lake, the lava flows, the small volcanoes of M. Dolce and Mojo Alcantara, the Gurne and the Alcantara gorges, up to reach the mouth of the Ionian Sea between Giardini Naxos and Calatabiano. The speech will mainly deal with the morphological aspect of the area, highlighting the most interesting sites.

The Alcantara River has lived a long millennium. Small groups of tombs carved into the rock, of the artificial grotticella type and of numerous palm trees are scattered throughout the valley. The chronology of such evidence is still uncertain, since the graves were probably emptied already in ancient times. The necropolises of Monte Olgari, Balsamà and Passo Moio have been placed in medieval times, but it

is not to be excluded that they are preistoriche. Rocca Pizzicata is rich in human activities. The entire area of the rock has different levels, connected by passages that often have stairs or holds carved into the rock.

### Riassunto

L'area presa in esame si trova nella Sicilia Nord-Orientale (fig.1), essa è collocata al limite tra l'edificio vulcanico dell'Etna e le falde dell'Orogene Appennino-Maghrebide denominata Valle dell'Alcantara (dall'omonimo Fiume Alcantara). L'area si estende in direzione E-O e NO.SE seguendo il corso del fiume Alcantara, lungo il quale sono presenti linee tettoniche che separano le unità dell'Arco Calabro dai settori esterni dell'Orogene (Lentini F. et al., 1995). L'area geologicamente è caratterizzata a sud da espansioni lavici provenienti dal settore nord dell'Etna, a nord dalle formazioni sedimentarie degli Appennini.

Tali caratteristiche geologiche danno all'intera area aspetti variegati e suggestivi, lungo tutto il tragitto del fiume, partendo dalle sorgenti del fiume nelle montagne dei Nebrodi presso la cittadina di Floresta, passando per il lago Gurrída, le colate laviche, i vulcanetti di M. Dolce e di Mojo Alcantara, le Gurne e le gole dell'Alcantara per arrivare alla foce nel Mar Ionio tra Giardini Naxos e Calatabiano. L'intervento tratterà principalmente l'aspetto morfologico dell'area, mettendo in risalto i siti di maggiore interesse. Il fiume Alcantara ha vissuto un lungo millennio.

Piccoli gruppi di tombe scavate nella roccia, del tipo grotticella artificiale e di numerosi palmenti sono sparsi in tutta la vallata. La cronologia di tali prove è ancora incerta, dal momento che le tombe sono state svuotate probabilmente

già nei tempi antichi. Le necropoli di Monte Olgari, Balsamà e Passo Moio sono state poste in età medioevale, ma non è da escludersi che siano preistoriche.

Rocca Pizzicata è ricca di attività umane. L'intera area della roccia ha diversi livelli, collegati da passaggi che spesso hanno scale o appigli scolpiti nella roccia.

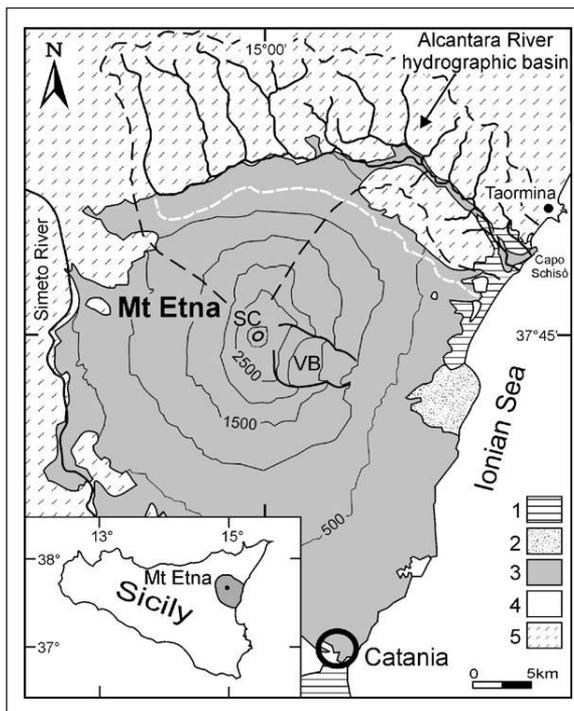


Fig. 1 - Inquadramento geografico dell'area.

## 1. Inquadramento geologico

L'area in esame si trova nella Sicilia Nord-orientale, tra l'edificio vulcanico dell'Etna e le falde più estese della Catena Peloritana. Quest'ultima è costituita da un complicato edificio a falde, formato da terreni sedimentari che si sono depositati in diversi domini paleogeografici: durante una fase tettonica eocenica, le falde hanno subito un accavallamento dai domini più interni a quelli più esterni (Finetti I. et al., 1996). Le coltri della catena Peloritana, detta anche Catena Appenninico-Maghrebide, poiché fa da naturale collegamento tra l'Appennino dell'Italia meridionale e il Maghrebide dell'Africa settentrionale, presentano generalmente una vergenza verso sud e sotto di esse, tramite un sistema a faglie a gradinata, denominato Avanfossa Gela-Catania, si immerge l'Avampaese Ibleo, che rappresenta l'attuale bordo della crosta continentale nord-Africana. In particolare l'area in esame è caratterizzata sia da espansioni lavici, ascrivibili al Mongibello recente che troviamo

lungo il fiume Alcantara, che dà formazioni a carattere pressoché torbiditico. Infatti nella zona affiora una potente successione dapprima conglomeratica e successivamente pelitico-arenacea, conosciuta in letteratura come Flysch di Capo d'Orlando (Oligocene superiore- Miocene inferiore), che costituisce una vasta copertura a carattere trasgressivo sulle varie unità Calabridi. Sul Flysch di Capo d'Orlando poggiano tettonicamente le Argille Variegate dell'Unità Antisicilide (Lentini F. et al., 1990).

I terreni che affiorano nella nostra area, studiati per la ricostruzione della successione litostratigrafica, hanno un'età compresa tra il Oligocene ed il Quaternario (Olocene).

## 2. Aspetti geomorfologici

Tale area si colloca in corrispondenza del versante settentrionale del Monte Etna, i Monti Nebrodi e i Monti Peloritani, con quote variabili da circa 1200m s.l.m. delle sorgenti del Fiume Alcantara (presso la cittadina di Floresta, sui M. Nebrodi) a quota 0m s.l.m. alla foce del fiume (fig. 2), dove il tracciato in blu indica il percorso del F. Alcantara.



Fig. 2 - In blu il corso del fiume Alcantara, in rosso il fronte delle colate laviche provenienti dal Vulcano Etna.

I terreni affioranti nell'area di natura sedimentaria, tipici di una formazione fliscioide a carattere torbiditico, noti in letteratura col nome di Flysch di Capo d'Orlando.

L'esame strutturale relativo all'area studiata assume degli aspetti piuttosto complessi in quanto il suo assetto mostra spesso delle strutture, a carattere locale, di difficile individuazione a margine delle strutture di significato regionale, quali possono essere le faglie su cui si è impostato il fiume Alcantara (Carbone S. et al., 1994).

Le strutture presenti nell'area in esame si riconducono essenzialmente a fasi tettoniche con carattere distensivo, aventi direttrici principali orientate in direzione NW-SE e NE-SW.

In funzione della presenza di tali strutture, la formazione flyscioide presenta un grado di disturbo dipendente essenzialmente dalla distanza da queste, infatti, in prossimità di tale linee di dislocazione la fratturazione è molto spinta, con sistemi di discontinuità a spaziatura brevissima, che riducono l'ammasso roccioso alla stregua di un deposito incoerente; aumentando la distanza, invece, il grado di disturbo tettonico diminuisce rapidamente. Nel complesso l'intera area risulta al quanto modificata dall'attività antropica, che ha parzialmente obliterato gli originali tratti morfologici.

La morfologia presenta nell'insieme aspetti abbastanza uniformi per l'omogeneità litologica che caratterizza l'intera area. Localmente si rilevano degli smottamenti legati alla natura dei terreni interessati, in quanto si tratta di alternanze argillose arenacee e quindi di litotipi che potenzialmente possono dare origine a fenomeni di instabilità, in relazione alla imbibizione ed all'erosione al piede dei versanti. L'azione erosiva delle acque di ruscellamento è particolarmente accentuata per l'elevata erodibilità dei terreni in affioramento ma risulta più contenuta in corrispondenza delle aree con abbondante copertura vegetativa. Quest'ultima è rappresentata da vegetazione spontanea, nocciuoli e vigneti. La zona in studio presenta gli elementi tipici del clima mediterraneo, caratterizzato da estati calde e secche e da inverni temperati e piovosi, il reticolo idrografico, data la bassa permeabilità della formazione affiorante, è ben rappresentato da numerose incisioni.

Questo tipo di formazione è caratterizzata da una permeabilità orientata dovuta all'alternanza che il flysch presenta, dove la permeabilità è variabile in funzione della litologia dello strato o livello a cui si riferisce. Nell'ambito della stessa formazione si possono riscontrare situazioni estreme, rappresentati dai livelli conglomeratici cementati o quelli pelitici impermeabili e dagli orizzonti arenarie fratturate permeabili. Ne consegue che l'alternanza nel suo complesso si comporta come terreno poco permeabile o addirittura impermeabile nella direzione ortogonale alla stratificazione, mentre una discreta permeabilità si può riscontrare nella direzione parallela alla stratificazione, nei livelli arenacei fratturati, dando origine talvolta a tipiche sorgenti di contatto se in affioramento. L'influenza della tettonica sulle condizioni idrogeologiche del flysch si esplica attraverso un elevato grado di fratturazione delle rocce con conseguente locale incremento della permeabilità. La presenza di uno strato di argilla, in corrispondenza dei piedi di una piccola scarpata, con spessore variabile da uno a due metri costituisce un letto impermeabile il quale favorisce il deflusso verso l'esterno di una esigua quantità di acqua dovuta all'infiltrazione meteorica attraverso le sovrastanti sabbie permeabili.

La circolazione delle falde idriche in generale è condizionata dalla distribuzione areale, sia in senso verticale che

orizzontale, dei terreni a differente permeabilità e quindi dalla trasmissività.

Il Fiume Alcantara sorge presso la cittadina di Floresta (Monti Nebrodi) ad una quota di circa 1200m s.l.m.

Il percorso del Fiume Alcantara è stato fortemente influenzato nel corso degli anni dalle colate laviche provenienti dall'Etna.

Da questo confronto si può notare come il Fiume scendendo dalle sorgenti, sulla formazione sedimentaria, nei pressi del centro abitato di Randazzo cambia bruscamente direzione (da N-S a O-E). Tutto ciò sta ad indicare che nel tempo le varie colate hanno spostato il letto del fiume cambiando la storia di tutta l'area in esame. Queste colate laviche hanno un'età compresa tra 15.000 e 30.000 anni (Branca S., 2003). A supporto di quanto detto nel 1995 ho seguito, come tesista, il prof. M. Cosentino (Docente della facoltà di Geologia dell'Ateneo di Catania) che ha effettuato una serie di S.E.V. nei pressi dell'area di Monte Dolce a S-E dell'abitato di Randazzo, per individuare la profondità del substrato sedimentario al di sotto delle colate laviche etnee. Da questi sondaggi si è potuto evidenziare non solo la profondità del substrato ma anche l'esistenza di un paleo-alveo lungo la direzione NO-SE, identificandolo come il vecchio alveo del fiume Alcantara, il quale nel tempo è stato spostato più a Nord fino all'attuale posizione dalle varie colate laviche che si sono succedute nel tempo (fig. 3).

In questo versante Etneo si possono notare diversi vulcanetti secondari, tra i più rappresentativi elenchiamo Monte Dolce (vulcanetto eccentrico) e il vulcanetto di Monte Mojo. Quest'ultimo di notevole importanza in quanto pur trovandosi in un'area molto distante dal Monte Etna, a N. del fiume, ha attinto direttamente dalla sua camera magmatica (Del Carlo P. et al., 2012) (fig. 4).

Vari ricercatori hanno attribuito la colata lavica che ha generato le famose "Gole dell'Alcantara" al vulcanetto di Mojo Alcantara, essendo quest'ultimo arealmente più vicino. Studi recenti (Del Carlo P. et al., 2012) invece hanno evidenziato due aspetti:

- le colate laviche di Monte Mojo si collocano nell'area dello stesso vulcanetto e non si ritrovano oltre tali limiti (fig. 4);
- nell'Area di Monte Dolce è stata individuata la colata che ha invaso il letto del Fiume Alcantara e ha dato vita alle Gole dell'Alcantara, datata a 6000anni fa.

Nella figura 3 si nota, tra gli abitati di Castiglione di Sicilia e Calatabiano, il contatto delle lave con la dorsale (di colore verde), di natura sedimentaria (Flysch di Capo D'Orlando), che bloccano il corso d'acqua facendolo deviare a Nord, nell'attuale valle dell'Alcantara. Tali colate laviche hanno un'età compresa tra i 15.000 e 6.000 anni (Branca S., 2003). Nella zona in cui le colate laviche vengono bloccate dalla dorsale sedimentaria, sbarrando il corso d'acqua, si viene a

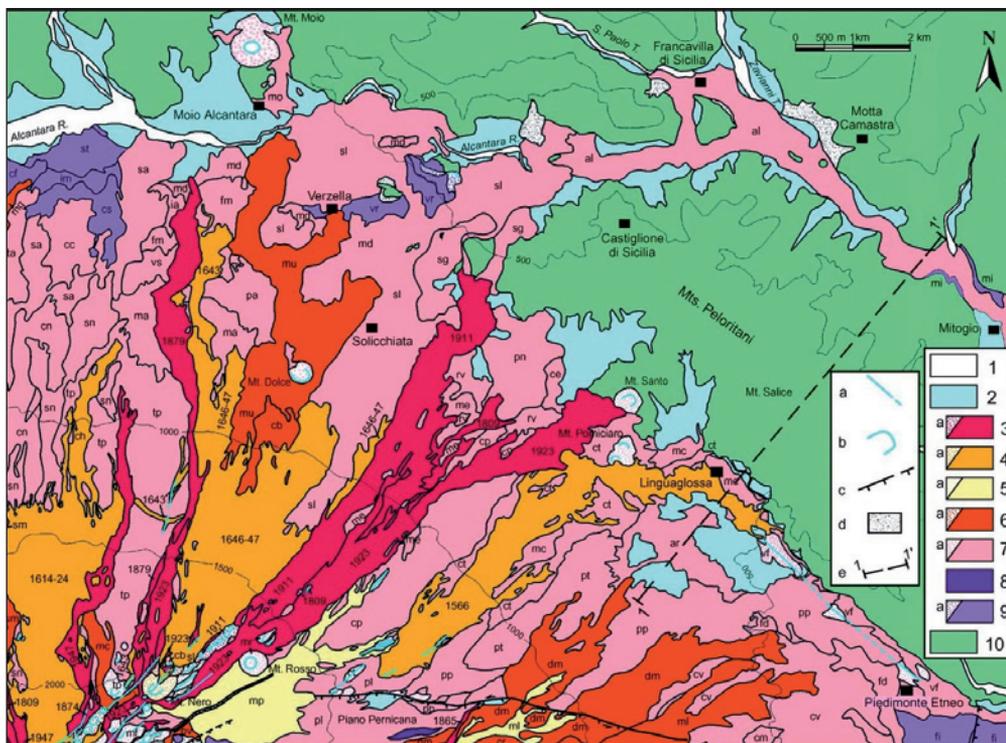


Fig. 3 - Le colate laviche che hanno invaso il F. Alcantara.

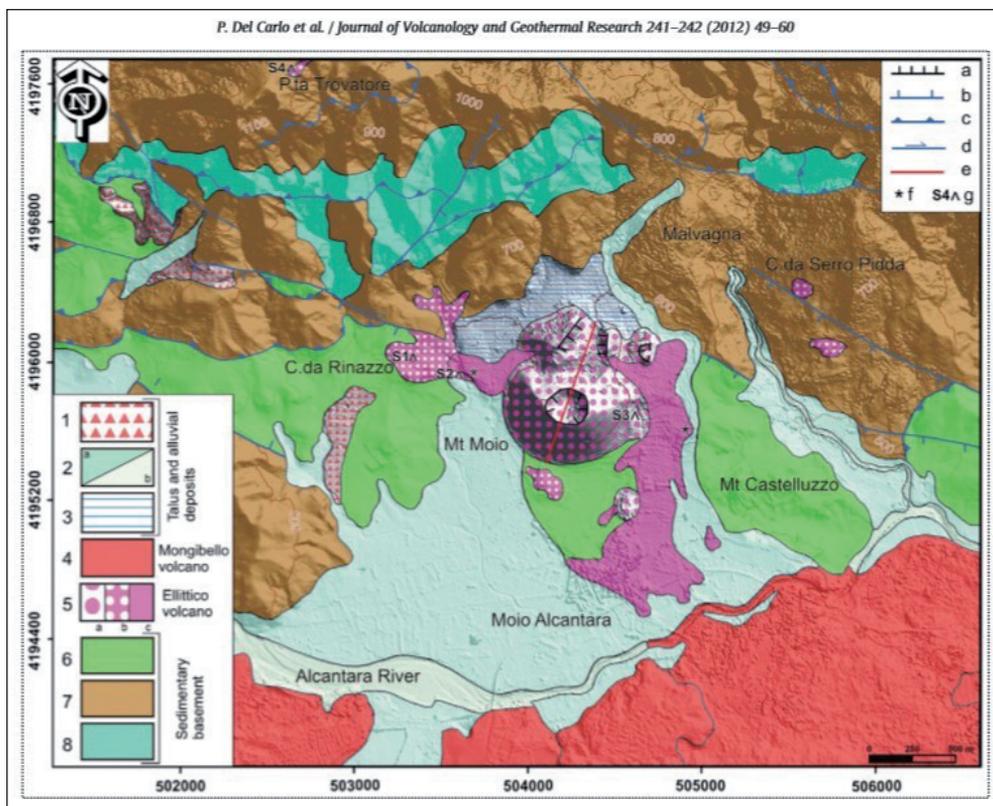


Fig. 4 - Geologia del Vulcanetto di M. Mojo.

creare un bacino di sedimentazione formando un deposito alluvionale denominato “U Pantanu” (il Pantano). Tale area è caratterizzata da punti in cui riemerge acqua proveniente dalle falde acquifere del M. Etna, dando origine a piccoli laghetti stagionali.

Continuando l'ungo l'Alcantara spiccano alcuni siti di notevole pregio geo-naturalistici, come: le Gole dell'Alcantara, con le caratteristiche lave a colonna, dovute sia al brusco contatto con le gelide acque del fiume e sia al contemporanea azione delle faglie trascorrenti dx. su cui è impostato il corso del fiume Alcantara (Carbone S. et al., 1994). Le Gurne formatesi dall'azione erosiva dei ciottoli trasportati dalle acque del fiume che riuscendo a scavare le dure lave del letto del fiume generano dei laghetti di forma circolare.

Per concludere nella figura 5 si mette in evidenza in blu il percorso attuale del Fiume Alcantara e in rosso il vecchio percorso del Fiume; inoltre va evidenziato come tutti i ritrovamenti Archeologici dell'area, trattati in seguito, si trovano nelle formazioni sedimentarie tranne uno, che si trova sulle colate laviche nei pressi di Giardini Naxos, l'attuale Parco Archeologico.

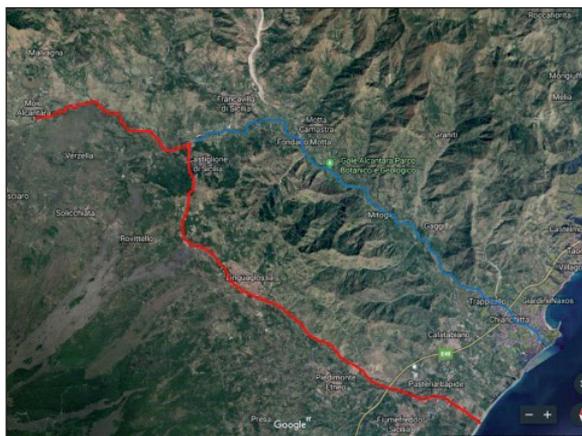


Fig. 5 - Confronto tra l'attuale corso del F. Alcantara in blu e il vecchio corso in rosso.

### 3. Archeologia

La Valle dell'Alcantara ha conosciuto una lunghissima frequentazione nei millenni, sebbene per quanto riguarda la preistoria e la protostoria, le testimonianze siano piuttosto frammentarie e discontinue, anche a causa della carenza di scavi sistematici. Mancano, ad oggi, testimonianze di insediamenti dalla fine del Paleolitico al Neolitico Medio, note solamente alla foce dell'Alcantara, a Naxos, sotto gli strati relativi alla presenza greca (Privitera F., 2008).

Per l'età del Rame si collocano i ritrovamenti di Contrada Marca, nel territorio di Castiglione, in una grotta di scorrimento lavico con tracce di frequentazione umana

e in particolare di utilizzo a scopi funerari tra tarda età del Rame e Antica Età del Bronzo (Privitera F., 2008) e nel centro urbano di Randazzo, in piazza Marconi. L'antica età del Bronzo è testimoniata da un pithos di grandi dimensioni, alto più di un metro, di età castellucciana, di forma cilindrica, desinente a punta, decorato a reticolo e dotato di tre robuste prese caratterizzate superiormente da un disco concavo per alloggiare un recipiente attingitoio rinvenuto in territorio di Randazzo, presso il bivio di Santa Caterina, durante i lavori di costruzione della strada denominata “Quota Mille” (Magro M. T., 2014).

Per il Bronzo Finale il ripostiglio di bronzi, acquistato dall'Orsi a Malvagna, la cui esatta località di rinvenimento è incerta. Indizi consistenti di presenza indigena pregreca, vengono anche dal centro di Francavilla, dove sono stati rinvenuti numerosi frammenti dell'Ausonio II. Per le attestazioni della presenza greca, a parte il sito di Naxos, prima colonia greca di Sicilia, posta alla foce del fiume, va ricordato l'abitato greco di Francavilla di Sicilia e quello di contrada Santa Anastasia di Randazzo, dove alla fine dell'Ottocento, fu rinvenuta una estesa necropoli di età greca, dal VI al III sec. a.C. che ha restituito reperti di grande rilevanza (Magro M. T., 1991; Magro M. T. & Privitera F., 1993; Magro M. T. & Barresi S., 2012; Magro M. T., 2016), e il saggio effettuato negli anni '90 in contrada Imbischi che ha messo in luce una piccola porzione di abitato di età ellenistica, che potrebbe essere pertinente alla necropoli (Privitera F., 2008). Rinvenimenti isolati inoltre sono molto significativi come l'elmo bronzeo decorato a rilievo con una criniera leonina acquistato da Orsi a Moio Alcantara, un tesoretto di monete, costituito da oltre 500 tetradrammi d'argento di Siracusa e di Messina (Arnold-Biucchi C., 1990) proveniente dalla stessa zona e un'hydria bronzea di V secolo a.C., con l'ansa configurata a kouros esposta allo Staatliche Museum di Berlino (De Miro E., 1976).

Lo studio dei siti rupestri scavati nelle rocce arenarie disseminati nella valle costituiti da piccole necropoli o gruppi di tombe a grotticella o pseudo-grotticella, purtroppo tutte violate in antico, e numerose strutture produttive, talvolta associate alle precedenti ha come obiettivo di aggiungere elementi di conoscenza delle dinamiche insediative.

Data l'estensione del territorio oggetto della ricerca, è stato realizzato un sistema informativo geografico (GIS), strumento idoneo a registrare e gestire un'ingente mole di informazioni. La costruzione di un data-base, implementabile nel corso della ricerca, è parsa utile ai fini dell'elaborazione delle informazioni e della loro interpretazione critica. La fase di raccolta dei dati ha previsto le ricognizioni sul campo e la raccolta dei materiali ceramici maggiormente diagnostici. Per le sepolture, talvolta, la ripulitura interna ha consentito di individuare frammenti di vasellame utili a fissare la cronologia. Nella maggior parte dei casi tuttavia, a causa del continuo utilizzo delle unità nei secoli, si è

riscontrata l'assenza di depositi stratigrafici e solo il rilievo dettagliato, anche mediante tecniche fotogrammetriche e l'analisi degli elementi caratteristici può fornire indizi utili ai fini dell'inquadramento cronologico.

I raggruppamenti rupestri ricadono in un vasto territorio ricadente nei comuni di Castiglione, Moio Alcantara, Trappitello e Calatabiano che si configura come l'hinterland della colonia di Naxos al momento della fondazione e nei primi rapporti con le popolazioni indigene, (fig. 6) aspetto su cui le fonti forniscono notizie contraddittorie se si pensa che Eforo parla chiaramente di assenza di indigeni mentre Diodoro accenna alle relazioni tra questi e i greci.

Tra i gruppi di sepolture, risulta inquadrabile nella Tarda Età del Ferro la piccola necropoli in contrada Pietraperciata a Trappitello (IGM F. 262 II NO e F), nell'immediato entroterra di Naxos.

Sulle pendici di un isolato sperone roccioso, presso le foci del torrente Santa Venera, è stato possibile rintracciare una ventina di tombe a grotticella, di modeste dimensioni, a pianta prevalentemente quadrangolare, sebbene gli angoli siano arrotondati, o sub-circolare, con calotta piana (fig. 7). Un puntuale studio delle tipologie planimetriche (sebbene il prospetto talvolta appaia crollato) ha consentito di confermare il confronto già in passato ipotizzato, sulla base di osservazioni preliminari, con la non lontana necropoli di Cocolonazzo di Mola, che fu scavata dall'Orsi (Orsi P., 1919) e restituiti materiali di importazione greca e indigeni databili tra gli ultimi decenni dell'VIII e il VII secolo.

Sempre all'età del Ferro vanno riferite, probabilmente, le tre sepolture del Castello di Lauria a Castiglione di Sicilia, adagate su una rupe di arenaria (IGM F. 262 IV S.E.), che ospita anche una chiesetta rupestre (Messina A., 2001) (fig. 8).

Alle due tombe a grotticella, ricavate, in posizione quasi inaccessibile, su una parete rocciosa posta ad O dell'ingresso principale del Castello, si può accostare quella a pianta circolare rintracciata a N della Piazza d'Armi. I seppur pochi frammenti di ceramica di produzione locale con decorazione geometrica, rinvenuti durante le operazioni di ripulitura di quest'ultima sepoltura sostengono la nostra ipotesi di inquadramento cronologico (Magro M. T. & Scavilli M. S., 2017).

Di datazione ancora incerta sono piccoli gruppi di tombe a pseudo-grotticella, differenti dalle tipologie più frequentemente attestate in Sicilia tra età del Bronzo e del Ferro, rintracciati a Mojo, in c.da Monte Passo Mojo (IGM F. 262 IV S.O) (fig. 9) e a Castiglione, nelle contrade Balsamà (fig. 10) e Olgari (IGM F. 262 IV S.E.), dove sono stati censiti anche palmenti rupestri. Si tratta di ambienti a pianta quadrangolare o trapezoidale che si sviluppano in senso assiale all'apertura rettangolare.

A Monte Passo Mojo una delle tre tombe presenta la peculiarità di un letto funebre trasversale all'ingresso. A Olgari quattro delle sette sepolture appaiono comunicanti per l'apertura delle pareti divisorie interne. Queste testimonianze sono state riferite all'età bizantina e alla tipologia "a forno" riscontrabile soprattutto in area iblea (Privitera M., 2009). La circostanza che si tratti di sepolture monosome, e non destinate ad inumazioni plurime, ben si accorda con questa interpretazione. Alcune di esse presentano anche una curiosa lavorazione a sesto acuto sopra l'apertura, finalizzata a favorire il dislivello delle acque piovane, che trova confronti in alcuni ambienti del villaggio rupestre bizantino di Canalotto a Calascibetta (Enna).

Di tipologia ancora differente paiono le tre sepolture

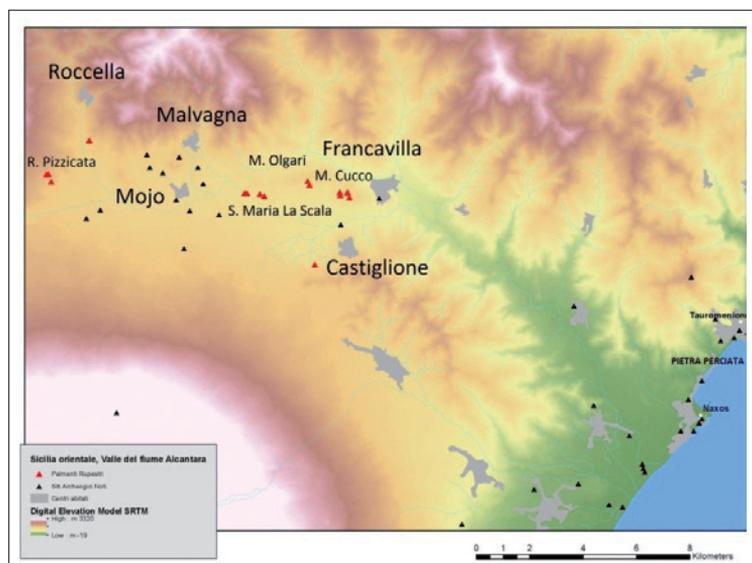


Fig. 6 - Palmenti censiti e siti archeologici citati nel testo. Mappa elaborata da Rodolfo Brancato.



Fig. 7 - La rocca di Pietra Perciata.



Fig. 8 - Tombe a grotticella nei pressi del Castello di Castiglione.

inedite, a pianta quadrangolare rintracciate a Malvagna nei pressi del centro abitato (IGM F. 262 IV S.O), che ripropongono la questione del probabile rimaneggiamento di precedenti escavazioni protostoriche.

Per quanto riguarda i palmenti rupestri ne sono stati censiti a Monte Cucco e Santa Maria La Scala nel territorio di Castiglione. Nella maggior parte dei casi si tratta di vasche comunicanti scavate nella roccia, che interpretiamo come impianti per la produzione del vino (palmenti), sebbene non manchino evidenze differenti, da leggere come frantoi per la spremitura delle olive. Il loro censimento si colloca sulla scia di altri progetti recentemente avviati nelle regioni centro-meridionali che intendono sovvertire la tradizionale scarsa attenzione riservata alle evidenze di questo tipo (Olcese G. & Soranna G., 2013). Lo studio della distribuzione e della densità dei palmenti e l'eventuale associazione tra essi e ed altri indicatori di attività produttive, ha permesso di inquadrarli cronologicamente.

In località Santa Maria La Scala (IGM F. 262 IV S.E.), in un settore pianeggiante (altitudine media 470 m s.l.m.) posto a ca. 6 km dai moderni centri abitati di Francavilla e Castiglione di Sicilia, sulla sponda sinistra dell'Alcantara, sono stati individuati quattro palmenti rupestri: un primo impianto a due vasche rettangolari pressoché interrato, è collocato a ca. 250 m dal fiume, a ca. 150 m di distanza, ad ovest, si incontra un secondo palmento, a tre vasche, con la vasca superiore, a pianta rettangolare; quella inferiore, più profonda, ma più piccola (i lati corti misurano ca. 1 m, quelli lunghi ca. 1,10 m) è a pianta quadrangolare irregolare, comunicante con la prima, la terza, laterale, non collegata alle altre, anch'essa di forma quadrangolare. Palmenti a tre vasche sono presenti sempre in territorio di Castiglione anche in località Pietra Marina e in località Chiappamacini. Nella parte più lontana della valle in territorio di Roccella Valdemone (ME), Santa Domenica Vittoria (ME) e Randazzo (CT) si innalza il complesso di Rocca Pizzicata.



Fig. 9 - Tombe preistoriche di Passo Moio.



Fig. 10 - Tombe preistoriche di contrada Balsamà.

La struttura principale del complesso si trova in cima ad un megalite di arenaria, con nove gradini intagliati nella roccia che conducono alla sommità del masso, dove insiste un altare completamente intagliato nell'arenaria con

una banchina ricavata dalle pareti rocciose (Platania V. & Scaravilli M. S., 2013)

Sul fianco di un altro monolite di arenaria si apre l'apertura con un'ampia risega di una grande tomba a grotticella artificiale a pianta circolare (IGM F. 262 IV S.O) che ricorda tipologie del Bronzo Tardo e Finale con tracce di un riutilizzo successivo a scopo abitativo. Ai piedi della Rocca, in cima ad un monolite di arenaria è ricavato un altare rupestre, di controversa datazione, forse coevo al riutilizzo della sepoltura. Il sito inoltre presenta numerosi palmenti rupestri, uno nella sommità del monolite a tre vasche digradanti e altri tre palmenti a due vasche comunicanti sono presenti nel fianco orientale (fig. 11).



Fig. 11 - Palmenti rupestri di Rocca Pizzicata.

#### 4. Conclusioni

Dall'esame degli aspetti geomorfologici e archeologici della valle dell'Alcantara si deduce una situazione variegata con modifiche del territorio dall'ere più antiche con la formazione di vulcanetti e con la presenza di antiche colate. Fondamentale è il corso del fiume Alcantara che ha creato con il suo evolversi un territorio di grande importanza archeologica di cui è in corso la mappatura. Gli studi archeologici permettono di individuare stanziamenti umani per tutta la valle già nel neolitico, con importanti attestazioni nell'età del bronzo e nella prima età del ferro costituite da gruppi di necropoli scavate nelle rocce arenarie sparse nella valle a cui si aggiungono gli impianti di spremitura della vite detti palmenti di cui è in corso lo studio tipologico, finora oggetto di scarsa attenzione, in virtù della difficoltà di trarre dal contesto elementi cronologici affidabili. La datazione dei palmenti rupestri della Valle dell'Alcantara rappresenta una questione problematica, sia per la loro natura di strutture architettoniche realizzate "in negativo", sia per l'assenza di depositi stratigrafici, a causa del continuo riutilizzo nel corso dei secoli, non necessariamente con la destinazione d'uso originaria (alcune vasche

sono tuttora utilizzate dai pastori come abbeveratoi). Uno studioso locale li fa risalire, per struttura, agli inizi del I millennio, dunque ad una fase precedente l'arrivo dei coloni greci, sulla base di alcune analogie con rinvenimenti medio-orientali. Tuttavia, definire la cronologia degli impianti su base meramente tipologica è complicato, poiché palmenti scavati nella roccia sembrano attestati in tutte le epoche e in aree molto lontane tra loro. In effetti le modalità costruttive degli impianti produttivi paiono legate a numerosi fattori, come contesto geomorfologico, capacità economiche del proprietario ed esigenze produttive. A tale proposito possiamo notare come, sebbene i palmenti siano stati censiti in differenti punti della valle, la maggior parte di essi risulta localizzata tra Castiglione e Francavilla di Sicilia. La penetrazione nassia nella media valle dell'Alcantara, con la fondazione dei suddetti centri, probabilmente, portò con sé, una viticoltura più avanzata, la cui importanza, nella più antica colonia greca di Sicilia è desumibile dai tipi monetali.

#### Bibliografia

- CARBONE S., CATALANO S., LENTINI F. & VINCI G. (1994) - *Carta geologica dei monti di Taormina*, Università di Catania, Istituto di Geologia e Geofisica, Ed. S.EL.CA.;
- ARNOLD-BIUCCHI C. (1990) - *The Randazzo hoard 1980 and Sicilian chronology in the early fifth century b.C.*, Numismatic studies, 18 New York 1990;
- BRANCA S. (2003) - *Geological and geomorphological evolution of the Etna volcano NE flank and relationships between lava flow invasions and erosional processes in the Alcantara Valley (Italy)*, in *Geomorphology* 53, 2003 pp. 247-261;
- DEL CARLO P., BRANCA S., DE BENI E., LO CASTRO M.D., WIJBRANS J.R. (2012) - *The Mt. Moio eruption (Etna): Stratigraphy, petrochemistry and determination with inferences on the relationship between structural setting and magma intrusion*, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 241-242 (2012) 49-60;
- DE MIRO E. (1976) - *I bronzi figurati della Sicilia greca. Periodo arcaico e quinto secolo*, Palermo 1976;
- FINETTI I., LENTINI F., CARBONE S., CATALANO S., DEL BEN A. (1996) - *Il sistema appennino meridionale arco calabro- Sicilia nel mediterraneo centrale: studio geologico-geofisico*. *Boll. Soc. geol.it.* 1996;
- LENTINI F., CARBONE S., CATALANO S., GRASSO M., MONACO C. (1990) - *Principali elementi strutturali del thrust belt appenninico-magrebide in Sicilia centro orientale* mem.soc.geol.it 1990;
- LENTINI F., CARBONE S., CATALANO S. (1995) - *Evoluzione del basamento sedimentario: esempio della sequenza dei Monti peloritani*, Teranova 1995;
- MESSINA A. (2001) - *Le Chiese rupestri del Val Demone e del Val di Mazara*, Palermo;
- MAGRO M.T. (1991) - *Il Museo Archeologico di Randazzo*, Randazzo *Notizie*, Organo Ufficiale del Comune n.38, 1991 pp 1-9;
- MAGRO M.T. (2014) - *Arte e natura nei musei civi di Randazzo*, 2014, Palermo;
- MAGRO M.T. (2016) - *Importazioni attiche e produzioni coroplastiche di VI e V secolo a.C. a Santa Anastasia di Randazzo* in *Se cerchi la tua strada per Itaca*. Scritti in onore di Lina di Stefano (a cura Elena Lattanzi e Roberto Spadea), Roma 2016 pp.247-258;
- MAGRO M. T., BARRESI S. (2012) - *Ad radices Aetna montis: ceramica figurata di V secolo a.C. secolo nella collezione Vagliasindi* in

- M. Ursino (a cura) *Da Evarco a Messalla. Archeologia di Catania e del territorio dalla colonizzazione greca alla conquista romana*, Palermo 2012;
- MAGRO M. T., PRIVITERA F. (1993) - *Collezione Vagliasindi, Supplemento a Etna e territorio*, 15, Catania 1993;
  - MAGRO M. T., SCARAVILLI M. S. (2010) - *Archeologia rupestre nella valle dell'Alcantara* in A. Pontrandolfo, M. Scafuro (a cura di), *Dialoghi sull' Archeologia della Magna Grecia e del Mediterraneo*, Atti del I Convegno Internazionale di Studi, (Paestum, 7-9 settembre 2016), Paestum 2017, pp. 357, 362;
  - MAGRO M. T., SCARAVILLI M. S. (2017) - *Archeologia nel territorio di Castiglione* in AGORÀ nn. 61-62/2017 pp.9-11;
  - MAGRO M. T., SCARAVILLI M. S. (2017) - *I palmenti rupestri nella Valle dell'Alcantara* in *Cenabis bene. L'alimentazione nella Sicilia greca e romana*, XIV Convegno di Studi sulla Sicilia antica. Caltanissetta 2017 (in corso di stampa);
  - OLCESE G., SORANNA G. (2013) - *I palmenti nell'Italia centro-meridionale. Studio storico-archeologico, topografico e archeobotanico in alcune aree di Campania e Sicilia*, in G. Olcese (a cura di), *Immensa Aequora workshop, ricerche archeologiche, archeometriche e informatiche per la ricostruzione dell'economia e dei commerci nel bacino occidentale del Mediterraneo, metà IV sec. a. C. - I sec. d. C.*, Atti del convegno (Roma, 24-26 gennaio 2011), Roma 2013, pp. 307-314;
  - ORLANDO A., MAGRO M. T., SCARAVILLI M. S. (2015) - *The oriented altars of Rocca Pizzicata and the rocky sites Alcantara Valley* in *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol. XX, No X, 2015;
  - ORSI P. (1919) - *Taormina, "Necropoli sicula al Cocolonazzo di Mola"*, in *NSc* 16, 360-369;
  - PATANÈ S. (1996) - *Studio geoelettrico dell'area tra Solicchiata e Passopisciaro (Etna-Nord)*, tesina sperimentale di laurea 1996 - Università di Catania;
  - PATANÈ S. (1996) - *Morfologia ed evoluzione neotettonica lungo la periferia Nord-Orientale dell'Etna*, Tesi sperimentale di laurea 1996 - Università di Catania;
  - PLATANIA V., SCARAVILLI M. S. (2013) - *Il complesso rupestre di Rocca Pizzicata* in AGORÀ n. 45/2013, pp. 56-61;
  - PRIVITERA F. (2008) - *La valle dell'Alcantara nell'antichità*, in U. Spigo, C. Rizzo, E. D'Amico, M. G. Vanaria, Francavilla di Sicilia, l'anonimo centro di età greca. L'area archeologica e l'antiquarium, 2008, Soveria Mannelli, pp. 23-36;
  - PRIVITERA M. (2009) - *Sepolture rupestri nella Valle dell'Alcantara*, in *Kokalos* 47-48, II, pp. 527-560.

Analisi di stabilità e interventi di stabilizzazione dei pendii

Testo aggiornato alle NTC 2018

Filippo Catanzariti  
Maurizio Ponte

A cura di  
Claudia Campilongo  
Rosario Pipitano  
Presentazione del Prof. Ing. V. Simeone

# Analisi di stabilità e interventi di stabilizzazione dei pendii

**Autori:**  
Filippo Catanzariti, Maurizio Ponte  
**Editore:** Geostru  
**Pagine:** 304  
**Anno:** 2020

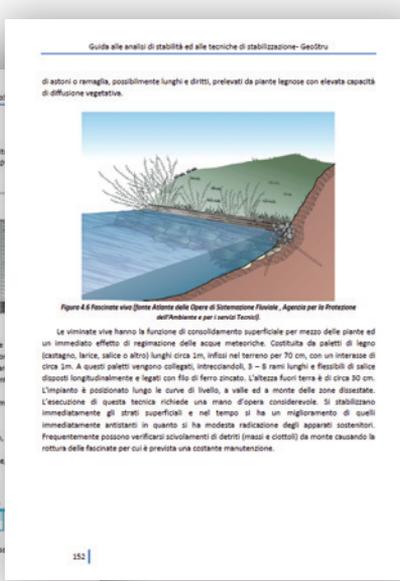
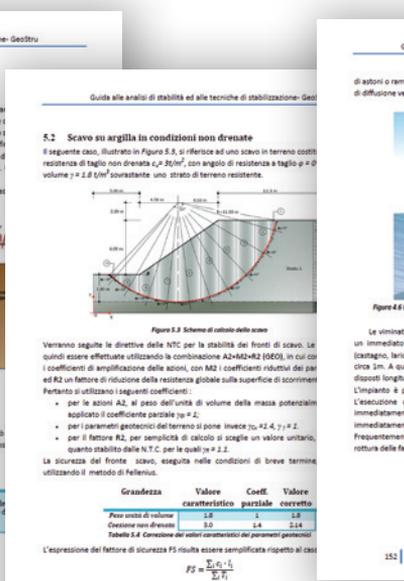
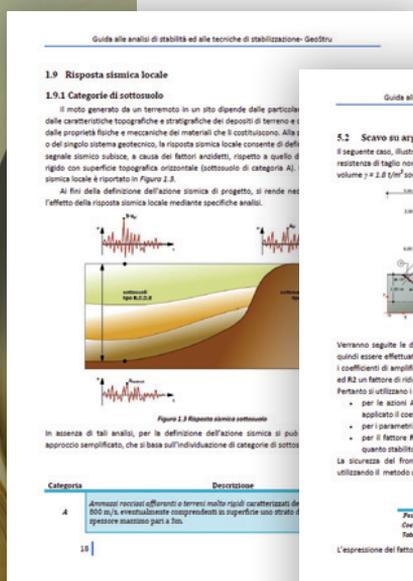
I due Autori Maurizio Ponte e Filippo Catanzariti propongono sinergicamente un testo che esprime tecnica ed esperienza in un settore della Geologia Applicata sempre di attualità e sempre di grande interesse professionale.

Il testo indica un approccio classico e diffuso nella pratica professionale basato sul metodo dell'equilibrio limite. Le procedure di verifica della stabilità dei versanti sono presentate con dovizia di elementi e cura nella esposizione in accordo con le recenti Norme Tecniche.

Ciò che impreziosisce e da spessore tecnico scientifico al testo sono gli elementi e le tecniche di ingegneria naturalistica per la stabilizzazione dei pendii tanto care ai geologi. In particolare sono efficaci le attenzioni che si devono porre per il corretto utilizzo dei materiali.

Un compendio che tratta normativa, teoria e applicazioni potranno aiutare i professionisti nelle scelte determinanti per individuare il grado di sicurezza degli interventi di stabilità.

Un testo fra quelli indispensabili per la professione.



NUOVA JEEP® RENEGADE **4xe** PLUG-IN HYBRID

# ISPIRATA DALLA NATURA



**PRENDIAMOCI CURA  
DEL NOSTRO FUTURO**

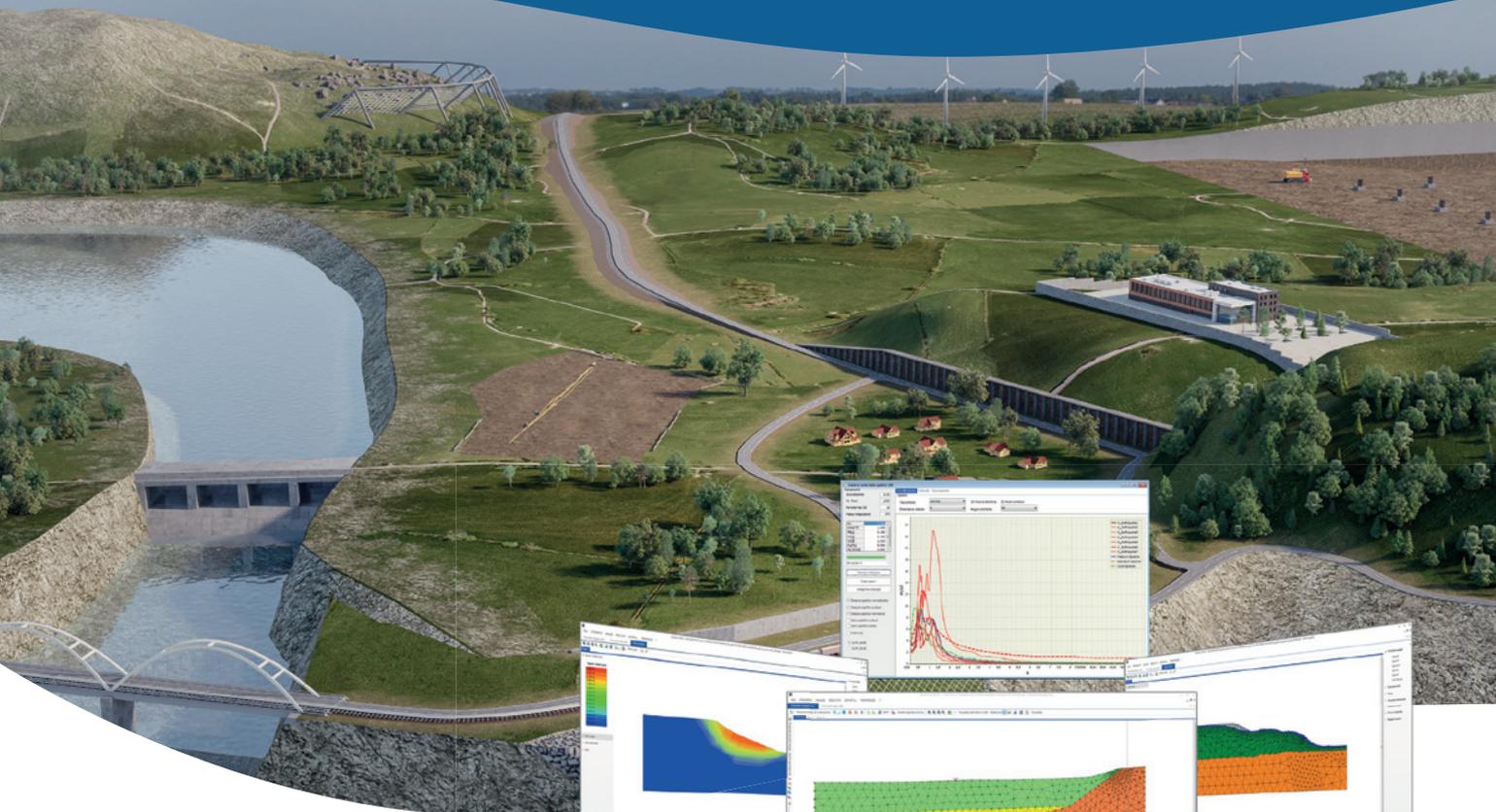
**Jeep**®

Gamma Renegade 4xe: emissioni di CO<sub>2</sub> (ponderate, combinate) (g/km): 46 - 44. Consumo di carburante (ponderato, combinato) (l/100km): 2.0 - 1.9. Valori omologati in base al metodo di misurazione/correlazione riferito al ciclo NEDC di cui al Regolamento (UE) 2019/1840 aggiornati al 30/09/20. I valori sono indicati a fini comparativi.

Jeep® è un marchio registrato di FCA US LLC.

# GEOSTRU IL PARTNER GIUSTO PER LA TUA PROFESSIONE

Produciamo software di successo a livello mondiale.



## GEOSTRU TI OFFRE I SOFTWARE PIÙ POTENTI ED AFFIDABILI PER LA TUA PROFESSIONE.

Produciamo software di successo a livello mondiale per numerosi settori professionali. I nostri software sono caratterizzati da un costo molto competitivo e da una qualità garantita da oltre 36.000 installazioni in più di 135 paesi nel mondo. I prodotti GEOSTRU sono caratterizzati da un'estrema facilità d'uso: ogni software risolve uno specifico problema, riducendo i dati di input a quelli strettamente necessari. Inoltre tutti i software sono integrati fra loro con la possibilità di esportare dati da/e per ogni applicazione della suite anche in formato AGS4.

Tutti i prodotti sono pienamente compatibili con Normativa Italiana (NTC) e gli Eurocodici.

**Un partner IT che risponde  
ad ogni tua esigenza professionale.**



Per i lettori  
in esclusiva un  
codice di sconto!

Leggi il QR code

### RSL 2D

Risposta Sismica Locale 2D + GFAS  
(Geotechnical and F.E.M.  
Analysis System)

### SOFTWARE

Ingegneria - Geologia e Geotecnica - Meccanica delle rocce - Prove in situ - Idrologia e Idraulica  
Topografia - Energia - Geofisica - Ufficio

### SERVIZI GRATUITI PER I NOSTRI CLIENTI

alla pagina: [geoapp.geostru.eu](https://geoapp.geostru.eu)

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

### NUOVI SOFTWARE E SERVIZI

- Nuove versioni Geostru 2021
- Risposta sismica locale 2D
- GFAS (Geotechnical and F.E.M. Analysis System)
- GeoDropbox
- GeoApp 2021 (<https://geoapp.geostru.eu>)
- GeoStru 365

Software, risorse,  
info, servizi e offerte  
sul nostro sito:  
[www.geostru.eu/it](https://www.geostru.eu/it)

