

GEOLOGIA

TECNICA & AMBIENTALE



CONSIGLIO NAZIONALE
DEI GEOLOGI

**Estratto
dell'articolo**

**NOTA ILLUSTRATIVA
DELLA CARTA
GEOLOGICA
DELL'AREA
SETTENTRIONALE
DEI MONTI DELLA
TOLFA, ITALIA
CENTRALE.**

di Ugo Chiocchini

Sismica attiva e passiva



**Sismografo
Geode**



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

Foto: Progeo-Forli

**Sensori e acquisitori
sismici**



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

**Sismografo wireless
Atom**



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



*Seleziona
il link!*



CODEVINTEC

Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare

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



Integrati in
GeoDropBox

Static
Probing

Static Probing

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 48.000 installazioni in più di 145 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 AGS. Tutti i prodotti sono pienamente compatibili con Normativa Italiana (NTC) e gli Eurocodici.

Guadagna con Geostru, ora puoi avere dei crediti nel tuo account che ti consentono di risparmiare sui tuoi prossimi acquisti.

Valla pagina delle
promozioni
esclusive GeoStru.



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

Corsi certificati in collaborazione con GoMeeting.
Visita il sito www.gomeeting.eu

- Nuove versioni Geostru 2026
- Risposta sismica locale 1D, 2D
- GFAS (Geotechnical and F.E.M. Analysis System)
- GeoDropbox 2026, integrato con visualizzatore di modelli BIM di estensione IFC, file DXF e interpretazione prove in situ e di laboratorio (geodropbox.com)
- GeoApp 2026 - Oltre 10 applicazioni aggiunte di recente (<https://geoapp.geostru.eu>)
- GeoStru 365
- Geostru Artificial Intelligence - GILA
- Soil Nailing Analysis – SNL
- Prove penetrometriche dinamiche - DYNAMIC PROBING 2026 integrato con Intelligenza Artificiale
- Invarianza Idraulica

Software, risorse, info, servizi e offerte sul nostro sito:
www.geostru.eu/it

RC Professionale per i Geologi

Fino 30-06-27

Liberi | Professionisti | Società | STP | Associazioni tra Professionisti | Studi Associati

Polizza selezionata e gestita da **Willis Italia** e **Tuscia Brokers di Michele Sensi**
con la Compagnia **MARKEL INSURANCE S.E.(***)**.



MARKEL

Premi Annui Lordi opz. escluso "Grandi Opere" (*) (**) (***)

(*) per i Premi Annui Lordi con copertura completa comprese Grandi Opere vai sul sito a pag 12 del Set informativo

(**) vedere a seguire per le estensioni "Retroattività" (***) Autorizzazione IVASS 40836

Massimale	€ 500.000	€ 1.000.000	€ 1.500.000	€ 2.000.000	€ 2.500.000	€ 3.000.000	€ 5.000.000
Franchigia per sinistro	€ 2.000	€ 2.000	€ 2.000	€ 2.000	€ 2.000	€ 2.500	€ 2.000
Fino a € 40.000	€ 255,00	€ 286,00	€ 348,00	n/a	n/a	n/a	n/a
Fino a € 60.000	€ 321,00	€ 550,00	€ 671,00	€ 769,00	€ 1.091,48	€ 1.330,86	n/a
Fino a € 100.000	€ 447,00	€ 609,00	€ 792,00	€ 905,00	€ 1.212,77	€ 1.719,03	€ 2.089,40
Fino a € 150.000	€ 849,61	€ 939,48	€ 1.199,16	€ 1.310,24	€ 1.495,25	€ 2.023,53	€ 2.405,67
Fino a € 200.000	€ 1.132,82	€ 1.252,63	€ 1.553,20	€ 1.738,95	€ 1.889,65	€ 2.227,13	€ 2.712,56
Fino a € 300.000	€ 1.444,34	€ 1.597,11	€ 1.892,96	€ 2.140,70	€ 2.409,30	€ 2.702,50	€ 3.020,43
Fino a € 350.000	€ 1.685,07	€ 1.863,29	€ 2.378,34	€ 2.675,88	€ 2.914,95	€ 3.152,92	€ 3.765,93
Fino a € 400.000	€ 1.925,79	€ 2.129,48	€ 2.523,95	€ 3.058,14	€ 3.331,38	€ 3.629,45	€ 4.457,63
Fino a € 500.000	€ 2.407,24	€ 2.661,85	€ 3.397,63	€ 3.822,68	€ 4.164,22	€ 4.504,17	€ 5.379,90
Fino a € 600.000	€ 2.646,87	€ 2.867,44	€ 3.584,64	€ 4.007,07	€ 4.393,43	€ 4.820,96	€ 5.859,12
Fino a € 700.000	€ 2.882,15	€ 3.216,68	€ 3.912,27	€ 4.391,59	€ 4.960,32	€ 5.261,59	€ 6.835,64

TARIFFA GIOVANI GEOLOGI: età fino a 35 anni con fatturato fino a 40.000,00 € e Massimale 1 Milione (escluse grandi opere).
Premio annuo lordo € 240,00. Se con grandi opere: a tabella.

PER INCLUDERE GRANDI OPERE¹ (*)

📄 Scarica il set informativo dalla nostra pagina Web per la tabella premi opz.A che le comprende.

¹ Gallerie naturali ed artificiali, dighe, ferrovie, relativi impianti tecnici ed infrastrutture, funivie e relativi impianti ed attrezzature portanti o traenti; Opere subaque.

TUTELA LEGALE

Varie opzioni vedi sul portale "Sicuri con Willis".

RETROATTIVITA' (**)

1. In caso di precedente copertura RC

Professionale: Allineamento alla stessa senza sovrappremio – sempreché la data di effetto della nuova polizza coincida con la data di scadenza della vecchia polizza.

2. In caso di prima copertura RC Professionale:

- ▶ Gratuita 3 anni
- ▶ Illimitata: pagamento di un sovrappremio del 20%
- ▶ General Contractor: +10%



PER APPROFONDIRE, SCARICARE IL MATERIALE INFORMATIVO E LE TARIFFE COMPLETE PRIMA DI ADERIRE E SAPERE COME ADERIRE

Collegarsi alla pagina web:

<https://crbclientportal.willis.it/SicuriConWillis/professionioni/geologo/rc-professionale>



Chiamaci!!! Per qualsiasi informazione o necessità non esitare a contattarci al numero dedicato **02 92 21 00 00**



Oppure invia una e-mail alla casella postale
ita_convenzionirc@willistowerswatson.com



WILLIS ITALIA Spa
Via Pola, 9 | 20121 - Milano (MI)
CF/P.IVA e Registro Imprese MI:
0390222496 - RUI n. B000083306
pec: willisitaly@willis.mailcert.it

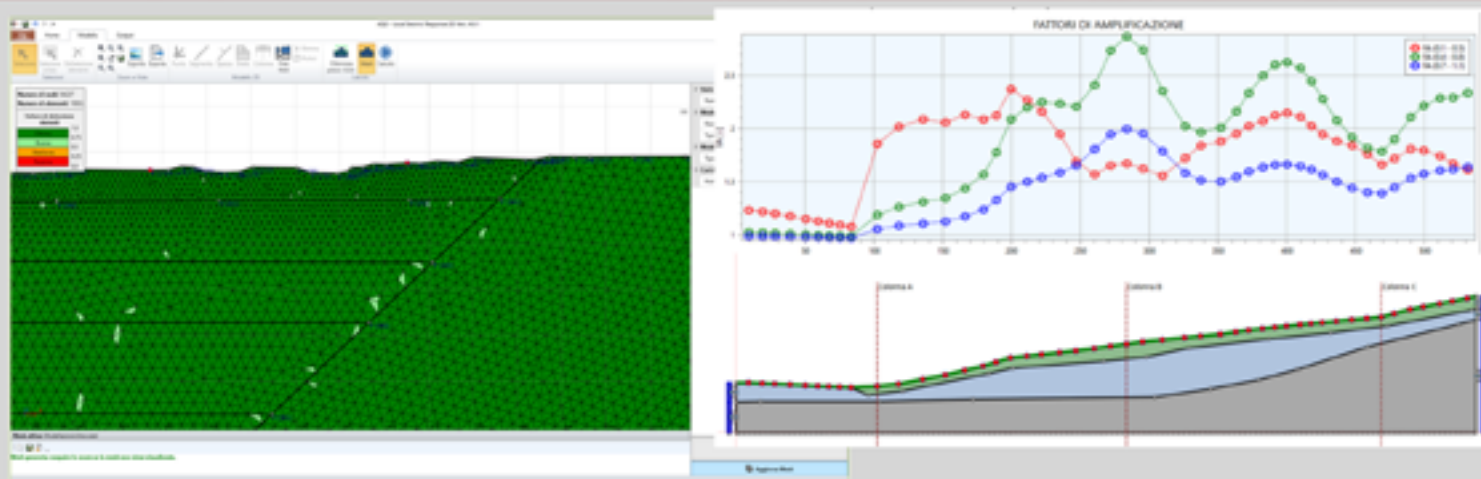


Di Michele Sensi

TUSCIA BROTHERS di Michele Sensi
Via Monte Nero, 2/A | 01100 - Viterbo (VT)
CF: SNSMHL63R23H501C
P.IVA: 01804940565
Registro Imprese: VT n. 130238 -
RUI n. B000013401
pec: tusciabrokers@pec.it

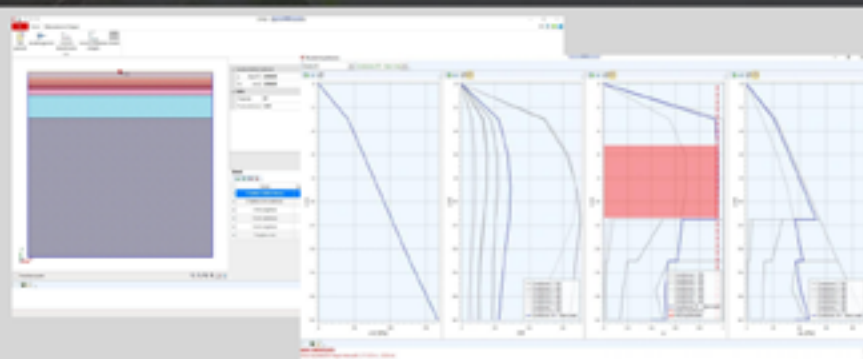
LSR_{2D}

SOFTWARE PER L'ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE 2D

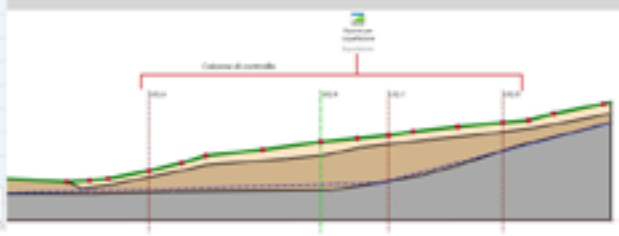


LIQUEFAZIONE[®]

SOFTWARE PER LA VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE
MEDIANTE IL CALCOLO DELLE SOVRAPPRESSIONI INTERSTIZIALI



INTEROPERABILITÀ CON LSR



comacchio.com



LA SICUREZZA DI GRANDI PERFORMANCE SU OGNI TERRENO.

GEO^{LINE}

Solidità, affidabilità, sicurezza e tutela dell'ambiente sono racchiuse in un design flessibile che rende queste perforatrici in grado di eseguire molteplici indagini e prove, garantendo la massima precisione con un'elevata semplicità di utilizzo.

La nostra idea di innovazione scende in profondità per garantirti le migliori prestazioni.



LEARN MORE

1986 - 2026
40th



COMACCHIO

DEEP INNOVATORS

Quadrimestrale dell'Ordine Nazionale dei Geologi
N. 2/3-2025

DIRETTORE RESPONSABILE

Alessandro Reina

CO-DIRETTORI

Eros Aiello

Rudi Ruggeri

COMITATO DI REDAZIONE

Roberto Troncarelli, Filippo Cappotto, Mario Nonne, Tatiana Bartolomei, Giovanni Capulli, Emanuele Emani, Giulio Iovine, Riccardo Martelli, Doriana Mastrangelo, Daniele Mercuri, Giovanni Pantaleo, Paola Pia Pino D'Astore, Valentina Casolini.

COMITATO SCIENTIFICO

Vincenzo Simeone, Guido Giordano, Antonio Martini, 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 Pamebianchi, Silvia Castellaro, Floriana Pergalani, Vincenzo Morra, Silvia Fabbrocino, Gabriele Scarascia Mugnozza, Massimiliano Imperato, Vincenzo Tripodi.

SEGRETERIA DI REDAZIONE

addebtostampa@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

addebtostampa@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

Stampa digitale

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

Questa rivista è disponibile online:

sfogliabile o scaricabile in formato PDF su cngceologi.it

È inoltre **disponibile su App Store o Play Store**
scaricando l'App dedicata.

La comunicazione di uscita del nuovo numero viene inviata per
email a tutti gli iscritti.

La rivista ha una distribuzione cartacea destinata agli Ordini
Regionali e ad un numero selezionato di indirizzi istituzionali.

*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, nell'area Rivista.



IN COPERTINA: Cave inattive di Flysch della
Tolfa nella zona di Monte Ferrara, 3 km circa
a NE di Civitavecchia.

7

l'editoriale

A. Reina

9

il punto del presidente

R. Troncarelli

12

Focus

R. Ruggeri

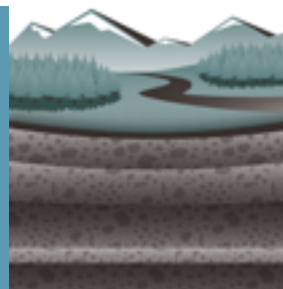
5° IPGC 2025

Congresso

internazionale dei

geologi professionisti,

Saragozza (SPAGNA)



19

**Nota illustrativa della
carta geologica dell'area
settentrionale dei Monti
della Tolfa, Italia centrale**

U. Chiocchini

39

**Un approccio alla definizione
dei parametri di resistenza al
taglio in argilliti anisotrope.**

E. Aiello F. Amantia Scuderi

57

**Caratterizzazione
geomeccanica e valutazione
della stabilità di un fronte
roccioso di una strada
a mezza costa**

F. Tucci, C. M. Tucci, C. Tucci, R. Carbone



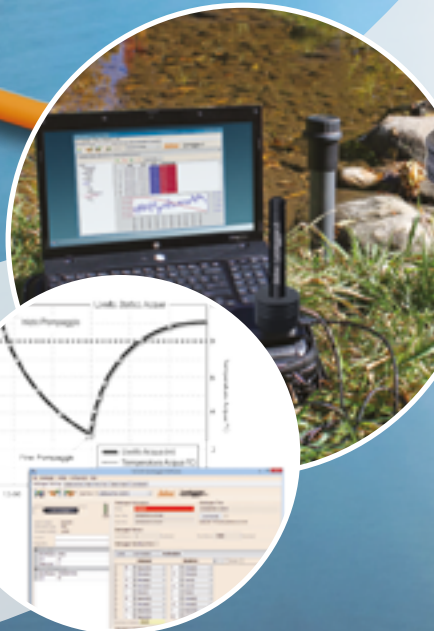
DATALOGGER E
TELEMETRIE

LEVELOGGER 5

LA QUINTA GENERAZIONE DEI DATALOGGER SOLINST®

NOVITÀ

SENSORE LIVELLO
TEMPERATURA
MODBUS • SDI-12



La precisione e l'affidabilità Solinst® si consolida con il rinnovo dell'intera gamma di datalogger per il monitoraggio di livello, temperatura, conducibilità e precipitazioni.

Caratteristiche*

- Sensore di pressione in Hastelloy con una precisione del $\pm 0,05\%$ FS.
- Disponibili con sensore di pressione di tipo assoluto o a tubo aperto.
- Rivestimento polimerico in PTFE interno ed esterno applicato a caldo PFAS-free.
- Batteria di lunga durata: 10 anni!
- 150.000 set completi di dati.
- Intervalli di campionamento programmabili da 1/8 di secondo a 99 ore.
- Disponibili in versioni di fondo scala da 5 a 200 m.
- Connettività ottica ad alta velocità.

Applicazioni

- Caratterizzazione degli acquiferi.
- Test di pompaggio.
- Fluttuazione del livello dei porti e delle maree.
- Studi sulla salinità e sulle intrusioni saline.
- Monitoraggio delle acque di scioglimento.
- Monitoraggio del plume nelle attività di bonifica.
- Monitoraggio a lungo termine in pozzi e piezometri.
- Monitoraggio di livello in corsi d'acqua, bacini, ecc.

*Le caratteristiche variano in base al modello.

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



PROFILAZIONE
MULTILIVELLO



BONIFICA
IDROCARBURI

Solinst®

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

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

EGEO +lab

WWW.EGEO.LAB.IT

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



Alessandro Reina

Direttore Responsabile

“La filosofia naturale è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi, io dico l'universo, ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua e conoscer i caratteri nei quali è scritto”. Questa attenta valutazione riportata ne *Il Saggiatore* di Galileo Galilei, esprime esattamente lo spirito del metodo scientifico: è questo che si traduce in un vantaggio tecnico per il geologo, in quanto osservatore, indagatore e conseguentemente conoscitore delle dinamiche esogene e endogene della Terra.

Il metodo scientifico è basato sull'osservazione dei fenomeni, la formulazione di ipotesi, la loro riproducibile verifica sperimentale e, se tutto torna, sulla formulazione di leggi di validità generale. La Geologia non ha delle Leggi, ma ha dei Principi, fonda la sua scienza sulle leggi della matematica, fisica, chimica, geometria, ecc. Grazie a questo meccanismo i geologi si capiscono e interagiscono, tra loro e con gli altri, consentendo di conoscere sempre più approfonditamente le dinamiche della Terra.

La ricaduta del metodo scientifico e del confronto tra tecnici nella vita sociale è potentissima. Ma affinché la scienza si propaghi sia tra gli addetti ai lavori sia al grande pubblico è necessaria la comunicazione. Nel nostro ambito il ruolo della rivista di Geologia Tecnica e Ambientale che, con grande impegno e dignità mi viene concesso l'onore ancora di dirigerne la responsabilità scientifica, vuole contribuire a questo tipo e contenuto di comunicazione.

In questo numero della rivista viene presentato un accurato lavoro di rilevamento geologico per la realizzazione della carta geologica dell'area settentrionale dei Monti della Tolfa condotto dall'illustrissimo collega Ugo Chiocchini. Con l'occasione, vorrei formulare una specifica citazione per sottolineare la passione e la rigorosa metodica fortemente

rappresentate e riconoscibili nel suo lavoro e per la eleganza e la cura che ha sempre mostrato nella sue interlocuzioni con me e i componenti della redazione della rivista.

L'Associazione Ufficiale Spagnola dei Geologi (ICOG), la Federazione Europea dei Geologi (EFG) e l'Associazione Portoghese dei Geologi (APG) hanno organizzato il 5° Congresso Internazionale dei Geologi Professionisti (IPGC) con il supporto di molte associazioni nazionali e mondiali, tra cui il Consiglio Nazionale dei Geologi (CNG), che si è tenuto a Saragozza (Spagna) dal 5 al 7 Novembre 2025. Il Consigliere Rudi Ruggeri ha curato un Focus sui temi e sugli esiti dell'evento.

Il gruppo di lavoro composto da Francesco Tucci, Clemente Marco Tucci, Carbone Andrea, Carlo Tucci e Carbone Raffele presenta un caso di studio condotto attraverso la caratterizzazione geomeccanica e la verifica della stabilità di un fronte roccioso in una strada a mezza costa che ha consentito, tra gli altri spunti di interesse professionale, la simulazione di caduti massi e la formulazione dei sistemi più idonei di mitigazione del rischio.

Un approccio alla definizione dei parametri di resistenza al taglio in argilliti anisotrope, viene proposta da Eros Aiello e da Francesco Amantia Scuderi. Nel lavoro viene dimostrato come una corretta interpretazione dell'anisotropia strutturale consenta di affinare la stima della capacità portante. Esprimo un augurio sincero al nuovo Consiglio eletto e al Presidente Roberto Troncarelli con la consapevolezza che svolgeranno un ottimo lavoro e sottolineo la piena collaborazione per la divulgazione di tutte le iniziative che saranno intraprese per la nostra categoria.

Auguro un buon anno a tutti colleghi e a tutti coloro che collaborano con la nostra categoria professionale.

Buona lettura.



AQUANEST



**Resiste a
carichi fino a 60
tonnellate**



**Garantito oltre
50 anni**

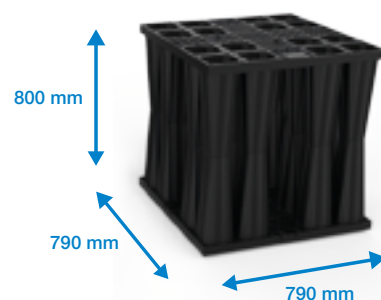


**960 litri di acqua
ogni metro cubo**



**Materiale
riciclabile al
100%**

Il modulo drenante per la gestione dell'acqua piovana!



Aquanest è la soluzione per la gestione delle piogge nelle aree urbane e industriali secondo i principi dell'invarianza idraulica, quindi attraverso l'infiltrazione, il rallentamento e la ritenzione delle acque piovane.

Classificato SLW60 secondo la DIN1072, resiste ai carichi pesanti fino a 60 tonnellate.

Aquanest permette di realizzare invasi interrati di qualsiasi estensione, composti da 3 livelli di moduli e posizionati ad una profondità massima di 6 metri dal piano campagna.

I moduli sono realizzati in polipropilene riciclato (in conformità al Decreto CAM). Rispetto alle soluzioni in calcestruzzo, non risentono dell'azione dell'umidità e del contatto con l'acqua, garantendo una longevità superiore ai 50 anni!

Seguici su:



www.valsir.it

MADE IN ITALY



valsir®
QUALITÀ PER L'IDRAULICA


Roberto Troncarelli

Presidente Consiglio Nazionale dei Geologi

Care colleghe e cari colleghi, da circa tre mesi si è insediato il nuovo Consiglio, che sarà chiamato a guidare e rappresentare la categoria per i prossimi cinque anni.

Dopo l'incessante ed efficace attività della consiliatura precedente, sotto la guida dell'amico Franco Violo, un compito delicato avrebbe comunque investito il nuovo Presidente.

Non posso nascondere l'emozione che ho provato quando la disponibilità a candidarsi in questo ruolo è stata richiesta proprio al sottoscritto dal Consiglio uscente; per non parlare dell'enorme senso di responsabilità che ho percepito in esito al successivo risultato elettorale registratosi nel luglio scorso. Pur provenendo da una lunga "carriera" ordinistica, ultraventennale, rappresentare un'intera comunità, costituisce un onere, oltre che un onore, che richiederà la massima dedizione e spirito di servizio.

Sono sicuro che il compito verrà agevolato dalla levatura del nuovo Consiglio, costituito da amici e colleghi, in parte uscenti ed in parte neoletti, tutti di grandissima competenza.

Il compito sarà gravoso e stimolante al contempo, soprattutto perché proiettato e calato in una fase caratterizzata da una serie di passaggi epocali per la nostra professione – sociali, economici, di politica internazionale, ambientali, energetici - di cui provo a descrivere la cornice, riassumendone i tratti salienti e gli obiettivi che ci prefiggiamo di raggiungere.

La nostra disciplina si inserisce in un contesto globale che ha registrato, negli ultimi anni, una vorticoso evoluzione, iniziando dai cambiamenti climatici, passando poi alla transizione energetica ed ecologica, alle frenetiche innovazioni tecnologiche, alla necessità di una corretta gestione delle risorse naturali, in particolare idriche e delle materie prime e strategiche, alla pianificazione territoriale, alla rigenerazione urbana, per arrivare alla sicurezza del territorio e delle infrastrutture.

Da professionisti dell'ambiente ci corre l'obbligo, tecnico e morale, di guidare il paese nella prevenzione e nella gestione dei rischi geologici, a maggior ragione in un periodo di transizione come quello che stiamo vivendo, caratterizzato dalle dinamiche in precedenza descritte.

La professione si trova di fronte a sfide impegnative, per affrontare le quali necessiteremo di tecnologie e strumenti all'avanguardia, che il Consiglio Nazionale dovrà proporre e promuovere attraverso l'aggiornamento professionale continuo e l'innovazione, innalzando il livello tecnico della categoria anche nei confronti dei rapporti con le istituzioni e con

il quadro normativo, diventando interlocutrice irrinunciabile dei decisori politici, rispetto ai quali dovremo porci come garanti del principio di sussidiarietà nel rapporto tra pubblica amministrazione e cittadini.

Le scelte che faremo nel prossimo futuro in tema di gestione del territorio, energia, mobilità e risorse naturali, avranno un impatto duraturo sull'ambiente dei prossimi decenni. Dovremo cercare pertanto di promuovere un uso consapevole e responsabile delle georisorse, integrando sempre più nelle nostre attività professionali la dimensione ecologica.

Prima di affrontare e tentare di perseguire gli obiettivi che collimeremo in prospettiva, vorrei preliminarmente, in questo mio primo editoriale, condividere con voi alcune considerazioni di carattere più generale.

Trasformazioni globali, nuove dinamiche del mercato mondiale, la rivoluzione digitale stanno ridisegnando i confini del mondo professionale, introducendo la necessità di aggiornare modelli consolidati ed aprendo al contempo spazi finora inesplorati di innovazione e crescita.

La demografia impone una riflessione sulla sostenibilità di una classe professionale che invecchia, con ricadute anche sull'E-PAP, atteso che il nostro Ente previdenziale certifica come i professionisti sotto i 50 anni in Italia siano passati, nell'ultimo decennio, dal 65% al 55%.

C'è pertanto necessità di riorganizzare, rivitalizzandolo, il sistema professionale, che si sostanzia come una rete irrinunciabile al servizio della Nazione, della quale costituisce lo scheletro intellettuale, non producendo beni materiali, bensì idee, fiducia, attrattività, legalità, scienza applicata.

Rappresenta l'anello di congiunzione tra collettività, imprese, istituzioni e politica; è l'organismo che consente di trasferire le conoscenze ed il rigore scientifico, derivante dai percorsi universitari, in azioni e proposte concrete che dovrebbero connotare e tradursi in scelte politiche al servizio del Paese.

Dopo decenni di liberalizzazioni, la concorrenza internazionale è tornata a basarsi su barriere, dazi e protezionismo, con ridefinizione dei rapporti energetici e sulle materie prime e strategiche; in questo scenario la domanda di competenze tecniche sta crescendo rapidamente e la nostra categoria non fa eccezione, assumendo anzi un ruolo da primattore, dovendo formare ed immettere sul mercato professionisti in grado di stare al passo con norme in continua evoluzione, avvalendosi anche dell'intelligenza artificiale, seppur senza diventarne

ostaggio, ma cercando anzi di governarla, avendo come base un assunto irrinunciabile, ovvero che l'innovazione non può essere sostitutiva dell'ingegno e del giudizio umano.

Ecco perché investire in cultura e professionalità genera produttività ed inclusività: la conoscenza è perciò un bene pubblico.

Con la ripresa post COVID, i bonus progressivamente introdotti dai vari Governi e l'enorme, seppur temporaneo, afflusso di fondi comunitari del PNRR, si è registrata una improvvisa crescita generale dell'occupazione, anche per la nostra categoria, trainata tuttavia da un incremento soprattutto nel comparto pubblico, mentre risulta in calo l'attenzione della politica e l'interesse, soprattutto dei giovani laureati, verso il mondo del lavoro autonomo e del comparto privato. Insomma, la ricerca quasi spasmodica del "posto fisso", anche per fasce di età oltre i 40 anni che, fino a qualche anno fa, vedevano preclusa questa "finestra" lavorativa, rischia di penalizzare, depredandone gli organici tecnici, un settore dirimente per lo sviluppo del paese, che necessita invece di linfa (iscritti) costantemente in crescita, per aggiornarsi e rendere efficacemente, nei riguardi della società, il ruolo di terzietà al quale è normativamente deputato. Stiamo registrando difficoltà, nel modo della libera professione, nel reclutamento di giovani da inserire negli organigrammi dei nostri studi e delle nostre società di progettazione, criticità che ci accomuna anche ad altri settori delle discipline tecniche. Anche se mai come in questo caso un mal comune può far intendersi come un mezzo gaudio, anzi!

Anche nei riguardi delle società che eseguono attività a servizio della geologia e della geotecnica, ambito dove pure opera una quantità considerevole di nostri iscritti, la principale criticità odierna è rappresentata dall'enorme difficoltà di inserimento di manodopera specializzata, anche da formare, che obbliga a ricorrere a personale inizialmente non qualificato e sempre più spesso di provenienza estera ed extracomunitaria, con difficoltà di formazione, già per quanto riguarda la lingua e scenari difficili da gestire, che alla lunga potrebbero determinare un corto circuito nel delicato equilibrio del rapporto tra domanda e offerta.

Quanto sopra per ricordare come il mondo della libera professione, con il settore degli studi professionali che continua a rappresentare, con un numero di circa 1.400.000 addetti ed un PIL dell'11,5% (dati Confprofessioni 2024), una componente insostituibile del tessuto economico e sociale italiano, dovrebbe godere di una considerazione certamente diversa da parte della politica. Il rinnovo del CCNL degli studi professionali, ha ulteriormente rafforzato la capacità del settore di abbinare competitività e tutela, proponendo politiche di welfare, che dovrebbero contribuire a riequilibrare uno scenario in cui attualmente la sezione tecnico-progettuale occupa una posizione certamente non in linea con il suo reale ruolo sociale ed economico.

In tal senso il CNG opererà, anche in sinergia con il nostro Sindacato SINGEOP, per vedere maggiormente tutelate le nostre prerogative e rappresentate le nostre istanze nelle sedi opportune.

Al riguardo ritengo fondamentale un deciso e definitivo spostamento dell'asse della nostra sfera di operatività verso il ruolo di progettista, in linea e nel rispetto del principio di interdisciplinarietà e con un inderogabile consolidamento della sinergia con il mondo accademico, al fine di aggiornare l'offerta formativa degli indirizzi maggiormente applicativi, per tentare di rendere maggiormente attrattivo il nostro percorso di studi e contribuire all'inversione di una tendenza che, numericamente, vede un costante decremento di iscritti nei nostri Corsi di Laurea e, di conseguenza, negli Albi dei nostri Ordini.

Implementare discipline maggiormente professionalizzanti, quali l'idraulica, l'urbanistica, la geotermia, la statistica, renderà l'offerta universitaria e post universitaria maggiormente attrattiva, consentendo ai nostri giovani di essere in grado di fornire il proprio contributo di competenza che viene ormai richiesto a tutto il mondo professionale.

L'evoluzione della figura professionale del geologo verso il ruolo di progettista, costituirà un valore aggiunto nel suo ruolo di attuatore delle politiche di tutela ambientale, di presidio dei territori, a servizio delle comunità e delle istituzioni.

In tal senso abbiamo, nei pochi mesi trascorsi dall'insediamento, già operato nei riguardi degli obiettivi in precedenza ricordati, partecipando ad audizioni in Senato per il DDL sulla riforma degli ordinamenti professionali per la revisione del Testo Unico sulle Acque, ad incontri con i Ministri Salvini e Calderone, per discutere su tematiche attinenti la nostra categoria; siamo parte di un sistema associativistico, con la Rete Professioni Tecniche e Professioni Italiane, per dare più forza alle istanze provenienti dall'universo professionale, nonché della Federazione Europea Geologi, nell'ambito della quale il confronto con altre realtà sta determinando un arricchimento di prospettive e di obiettivi da perseguire, come, a titolo esemplificativo, entrare a far parte del GGPG Global Geoscience Professionalism Group, organizzazione di settore di rilevanza mondiale; stiamo gettando le basi affinché venga finalmente riconosciuta la figura del Geologo, in ruoli apicali della Pubblica Amministrazione, attraverso incontri ed azioni concrete per sostenere tale rivendicazione.

Ho ricordato solo una piccola parte delle iniziative e delle azioni che è nostra intenzione concretizzare, non ultima quella di organizzare con periodicità, le consuete Riunioni di Consiglio, alternando la tradizionale sede romana, a quelle degli Ordini regionali, ai quali chiederemo ospitalità per programmare incontri con la base per confrontarci sullo "stato dell'arte".

In conclusione la nostra comunità geologica avrà una responsabilità sociale enorme: contribuire in modo significativo alla costruzione di un futuro più sicuro e sostenibile. Le sfide abbiamo detto che non mancano, ma dovranno rappresentare un'opportunità per dimostrare di aver raggiunto un livello di eccellenza nella nostra professionalità e nel nostro impegno civile. Non possiamo perdere tale occasione facendoci trovare impreparati.

Buon anno a tutti.

ETS X

credits
awards



we design for people

Professionalità, innovazione di processo, tecnologie proprietarie, investimenti in R&S e comunicazione d'impresa, ma soprattutto una inesauribile passione per il proprio lavoro. Queste le ragioni che hanno permesso ad ETS srl di essere tra le migliori 100 Società di ingegneria presenti nel panorama nazionale e tra le prime 1000 Società in Europa per crescita organica.

valore^D



FAI
CORPORATE
GOLDEN
DONOR
Noi sosteniamo il FAI





focus

5° IPGC 2025 CONGRESSO INTERNAZIONALE DEI GEOLOGI PROFESSIONISTI

Saragozza (SPAGNA)

A cura di **Rudi Ruggeri**



A cura di **Dott. Geol. Rudi Ruggeri**
Consigliere del Consiglio Nazionale
dei Geologi

Introduzione

L'Associazione Ufficiale Spagnola dei Geologi (ICOG), la Federazione Europea dei Geologi (EFG) e l'Associazione Portoghese dei Geologi (APG) hanno organizzato con il supporto di molte associazioni nazionali mondiali, tra cui il Consiglio Nazionale dei Geologi (CNG), il 5° Congresso Internazionale dei Geologi Professionisti (IPGC) che si è tenuto a Saragozza (Spagna) dal 5 al 7 Novembre 2025. Per il CNG, Gold Sponsor dell'evento, era presente il Dott. Rudi Ruggeri (delegato nazionale alla EFG) il quale ha successivamente partecipato dopo il termine del congresso al Council Meeting della EFG; durante tale incontro sono stati dibattuti i temi rilevanti e più urgenti per

la categoria professionale dei geologi da parte di tutti i delegati delle 27 associazioni nazionali europee appartenenti alla EFG la cui presidenza è guidata dal Dott. David Govoni.

Questo congresso ha rappresentato un forum geologico fondamentale per promuovere progetti, conoscenza e networking necessari a formare una piattaforma comune di scambio di idee per affrontare al meglio i temi cari alla categoria professionale dei geologi. Il 5° IPGC è stato dunque un evento di primo piano per i professionisti della geologia a livello mondiale.

Nonostante la domanda di geologia stia aumentando a livello planetario nel contesto della transizione energetica in atto, la professione sta osservando un calo vistoso del numero di professionisti.

Il 5° IPGC ha favorito la discussione su queste problematiche e ha promosso la creazione di un'Organizzazione Mondiale dei Geologi Professionisti volta a facilitare la diffusione delle nostre conoscenze e l'importanza del ruolo della nostra categoria a beneficio della società.

Il congresso si è svolto sotto il tema «Building on the Past, Advancing towards the Future: Geology in the Era of Technology» — ovvero: **“Costruire sul passato, avanzare verso il futuro: la geologia nell'era della tecnologia”**. Con questo motto si è voluto promuovere ulteriormente la missione dei geologi al servizio della comunità.



*5° Congresso
Internazionale
dei Geologi
Professionisti
(IPGC),
Saragozza
(Spagna),
Novembre 2025*

Tema e contesto

L'obiettivo generale era mettere in evidenza il ruolo cruciale dei geologi e delle geoscienze nel rispondere alle sfide globali – cambiamenti climatici, gestione sostenibile delle risorse, rischi naturali, transizione energetica, innovazione tecnologica.

Il congresso ha riunito professionisti, ricercatori, rappresentanti di aziende, istituzioni e giovani geologi da tutto il mondo: un'occasione di networking internazionale, con oltre 350 partecipanti registrati.

Programma scientifico e temi affrontati

Durante i tre giorni sono stati trattati numerosi ambiti delle geoscienze e della geologia professionale, con presentazioni, workshop, panel e momenti di riflessione. Tra i temi principali:

- Risorse minerarie e materie prime – uso sostenibile delle risorse, impatto economico-ambientale, esigenze legate a materie critiche.
- Geotermia, stoccaggio geologico di CO₂ e idrogeno – parte delle sessioni dedicate a energia e transizione energetica, riconoscendo il contributo della geologia alle energie rinnovabili e tecnologie sostenibili.
- Idrogeologia e gestione delle risorse idriche – studi su acque sotterranee, gestione sostenibile delle falde, impatto su ambiente e società.
- Rischi naturali e georischi – monitoraggio, mitigazione di rischi legati a terremoti, frane, inondazioni, cambiamento climatico, difesa del territorio.
- Geo-digitalizzazione e innovazione in geoscienze – uso di nuove tecnologie, digitalizzazione, remote sensing, strumenti per mappature geologiche, patrimonio geologico, sostenibilità.

- Geoetica e ruolo sociale del geologo – consapevolezza del valore etico e sociale della geologia, la responsabilità professionale in un'epoca di crisi ambientali e sociali.

In generale, il congresso ha enfatizzato che la geologia oggi non è solo ricerca accademica: è strumento strategico per politica, economia, ambiente e società.

Il programma scientifico del 5° IPGC copre un'ampia gamma di temi: risorse minerarie e materie prime critiche, energia geotermica e “natural hydrogen”, gestione acque e idrogeologia, geologia applicata all'ingegneria, rischi naturali, cambiamento ambientale, monitoraggio ambientale, geoscienze digitali, “geologia e società”, geo-etica, professione del geologo.

Sono stati realizzati numerosi workshop e corsi pratici, tra cui:

- Workshop “Advanced Strategies in Geological Modelling: Structural Approach with Leapfrog Geo” (5 novembre 2025) per modellazione geologica applicata all'esplorazione di depositi.
- Workshop “Revolutionising Geotechnical Assessment: Data Optimisation with Leapfrog Geo” (6 novembre 2025) per caratterizzazione geotecnica e modellazione geomeccanica.
- Workshop “Advanced Solutions in Environmental Management: GAC Modelling (Geology, Alteration and Contamination) with Leapfrog Works” (7 novembre 2025) per modellazione ambientale di siti minerari/contaminati.
- Corso “Introduction to CCUS – Carbon Capture, Utilisation and Storage” (6 novembre 2025), per discutere la cattura e lo stoccaggio geologico della CO₂, tecnologie di stoccaggio e rischi geologici.
- Corso post-congresso (8-9 novembre 2025) “Seismic Interpretation in 2D & 3D: Practical Applications for Energy & Geosciences”, organizzato da Associação Portuguesa de Geólogos (APG) con endorsement di European Federation of Geologists (EFG), per uso di dati sismici nell'esplorazione petrolifera, energia geotermica, stoccaggio CO₂, ecc.
- Sul fronte “geo-etica” / ruolo sociale / professione del geologo, una keynote molto attesa era quella di Silvia Peppoloni (presidente di International Association for Promoting Geoethics, IAPG), con titolo “Geoethics as a Foundation for Navigating the Ethical Responsibilities of Geologists in a Changing Age”.



*Il programma è ancora
disponibile
sul sito dell'evento*

<https://www.5th-ipgc.com/programme/>



Iniziative speciali e aspetti “socio-politici”

Un elemento distintivo del 5° IPGC è stata l'attenzione a come la geologia possa contribuire a sfide globali come sostenibilità, giustizia ambientale, pace e cooperazione internazionale.

In particolare, la partecipazione del soggetto italiano SINGEOP (rappresentato dal Presidente Dott. Guglielmo Emanuele) – Sindacato Nazionale Geologi Professionisti – con l'iniziativa Science for Peace: l'idea che le geoscienze possano avere un ruolo concreto nella ricostruzione post-conflitto, nella bonifica ambientale, nella tutela degli ecosistemi devastati dalla guerra (es. casi di Gaza e Ucraina) e nella promozione di pace e cooperazione.

Tale approccio ha suscitato interesse e consenso internazionale durante il congresso, ponendo la geologia come “scienza per la pace” oltre che come disciplina tecnica.

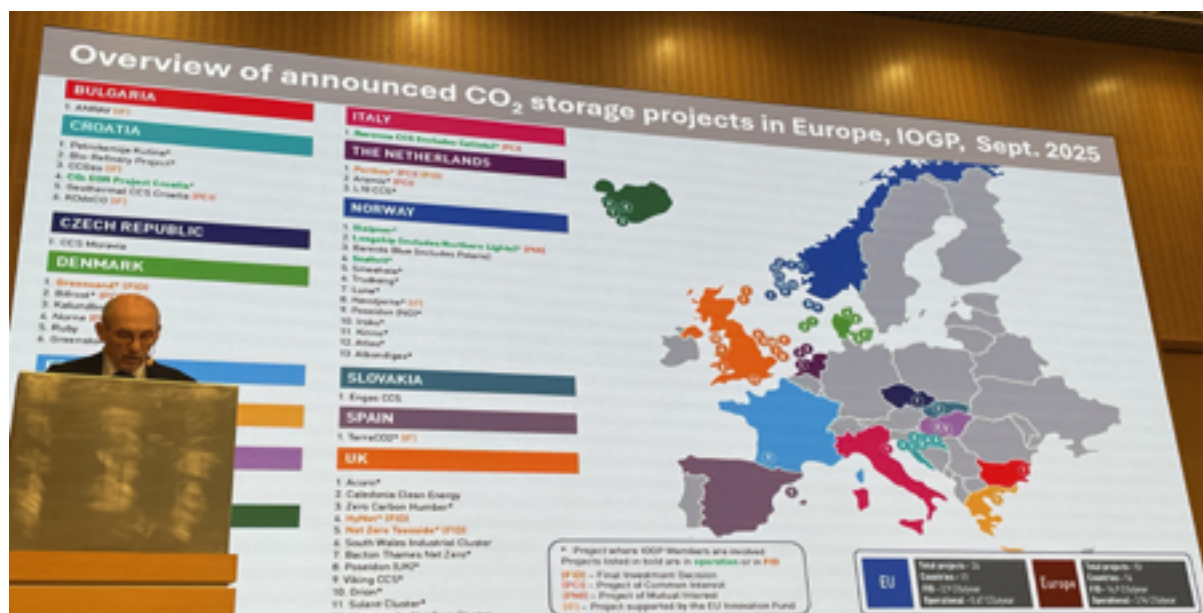
Inoltre, come parte del coinvolgimento sociale e formativo, è stato attivato un programma educativo rivolto a studenti delle scuole secondarie – per ispirare le future generazioni verso le geoscienze.

Premi, riconoscimenti e giovani ricercatori

Durante il congresso si è svolta una sessione di poster e presentazioni dedicate ai giovani ricercatori, con assegnazione di premi – per esempio legati alle materie prime critiche (CRMs).

Inoltre è stata evidenziata l'importanza della formazione continua, mobilità professionale e certificazione ed acquisizione del **TITOLO** di **EURGEOLOGO** (tramite l'European Federation of Geologists, EFG) per rispondere alla crescente domanda di competenze geologiche nei prossimi anni. Chi volesse acquisire il Titolo di EurGeologo si rivolga alla segreteria del CNG.





Conclusioni: implicazioni per la professione e il futuro della categoria dei geologi

Il 5° IPGC ha rafforzato l'idea che la geologia non sia solo legata alla ricerca pura, ma sia centrale per affrontare la transizione energetica, la crisi delle risorse, il cambiamento climatico, la gestione del territorio, la sostenibilità e la coesione sociale.

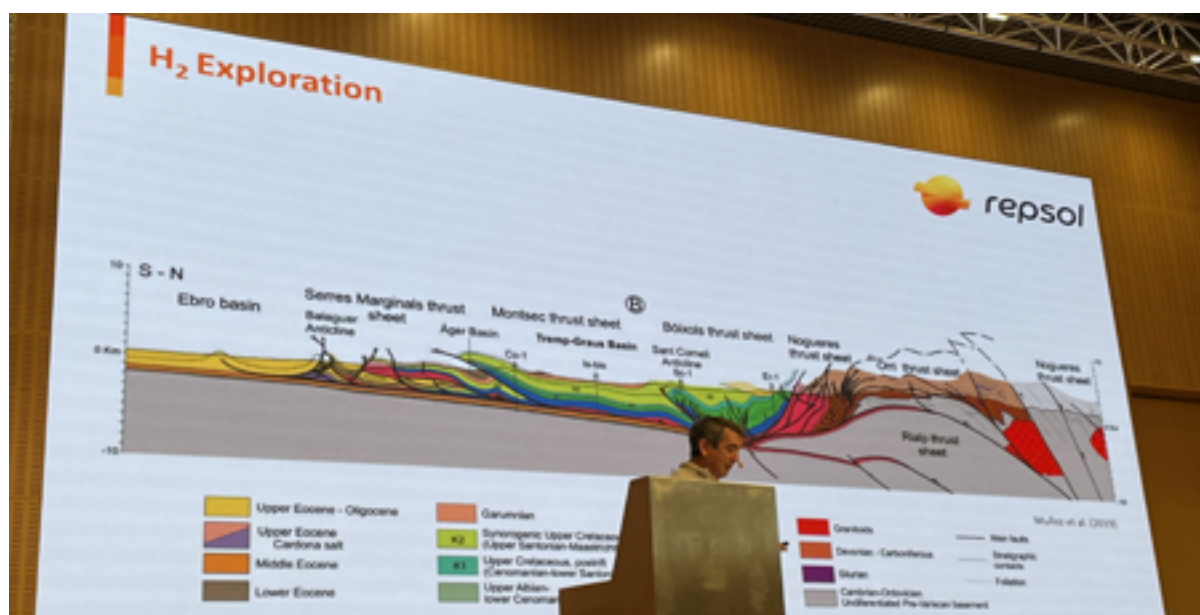
Il ruolo soprattutto dei geologi professionisti nel futuro, in particolare in un mondo che sta vivendo una transizione energetica profonda, diventa più centrale che mai.

Ecco una sintesi chiara e completa dei principali ambiti in cui i geologi soprattutto i professionisti saranno fondamentali nei prossimi decenni.

- 1. Fornire le materie prime critiche per la transizione energetica** Senza geologi non è possibile garantire i materiali necessari alla decarbonizzazione.
- 2. Sviluppo delle energie rinnovabili sotterranee: geotermia** La geotermia – sia profonda che superficiale – è una delle fonti più promettenti per produrre. Senza geologi, i progetti geotermici non possono essere sviluppati in sicurezza.
- 3. Stoccaggio geologico di CO₂ (CCUS)** Per raggiungere la neutralità climatica sarà essenziale catturare e stoccare CO₂ nel sottosuolo. Lo stoccaggio geologico è impossibile senza una forte componente geologica.
- 4. Gestione integrata delle risorse idriche** I geologi (idrogeologi) saranno fondamentali per studiare e ripristinare falde acquifere, prevenire sovrasfruttamento e contaminazioni, realizzare sistemi di ricarica artificiale delle falde (MAR), supportare politiche di gestione dell'acqua. **L'acqua sarà il "petrolio del futuro"**: il geologo ne sarà un gestore chiave.
- 5. Pianificazione del territorio e analisi dei rischi naturali** Con l'aumento di eventi climatici estremi, i geologi saranno fondamentali per prevenire frane, alluvioni, erosione costiera, pianificare infrastrutture resilienti, gestire rischio sismico e vulcanico, contribuire alla protezione civile con modelli e mappe aggiornate.
- 6. Geoscienze digitali e nuovi strumenti tecnologici** La geologia del futuro sarà sempre più digitale: monitoraggio satellitare (remote sensing), modelli 3D/4D del sottosuolo, AI e machine learning per interpretazione dei dati, sensoristica e reti IoT per monitoraggio.



*...l'importanza della cooperazione internazionale,
dell'interdisciplinarietà e dell'innovazione tecnologica...*



continui. Il geologo del futuro è un professionista interdisciplinare tra natura e tecnologia.

7. **Geoetica e ruolo sociale dei geologi**

Conflitti, cambiamento climatico, accesso alle risorse: il geologo avrà un ruolo anche politico ed etico. Sarà essenziale per garantire l'uso responsabile delle risorse naturali, supportare la pace e la ricostruzione post-conflitto (bonifiche, acqua, rischi), fornire dati oggettivi per decisioni ambientali. Le società future dipenderanno da competenze geologiche per scelte etiche e sostenibili.

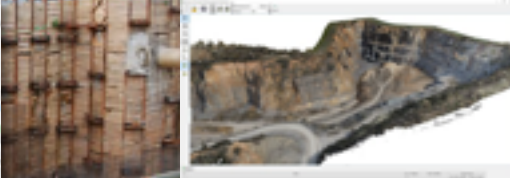
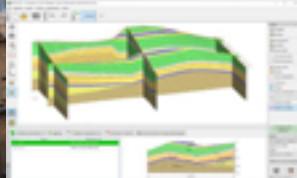
In sintesi

Nel futuro della transizione energetica **il geologo sarà:**

- un fornitore di risorse critiche
- un architetto dell'energia rinnovabile
- un garante della sicurezza del territorio
- un manager dell'acqua
- un protagonista della decarbonizzazione
- un professionista chiave per sostenibilità, pace e resilienza climatica

La conferenza ha anche ricordato la necessità di attrarre giovani e nuove professionalità, garantire formazione, mobilità e certificazioni — per far fronte alla domanda crescente di esperti nel settore. Infine, il convegno ha riaffermato **l'importanza della cooperazione internazionale, dell'interdisciplinarietà e dell'innovazione tecnologica** come leve per far evolvere la geologia nel XXI secolo. Il 5° IPGC ha evidenziato come la categoria dei geologi debba essere unita e compatta non solo a livello nazionale ma anche a livello sovranazionale e internazionale: serve **un'Organizzazione Mondiale dei Geologi Professionisti** che aiuti a fare circolare la competenza dei geologi fra un paese e l'altro e riconoscere nella società l'importanza del ruolo del geologo come driver necessario per realizzare una transizione energetica affinché l'utilizzo delle risorse naturali del pianeta e del territorio avvenga in modo sostenibile e al servizio dell'umanità intera.

Solo usando in modo equo e giusto le risorse e il territorio possiamo alimentare un futuro che appartiene a tutti.

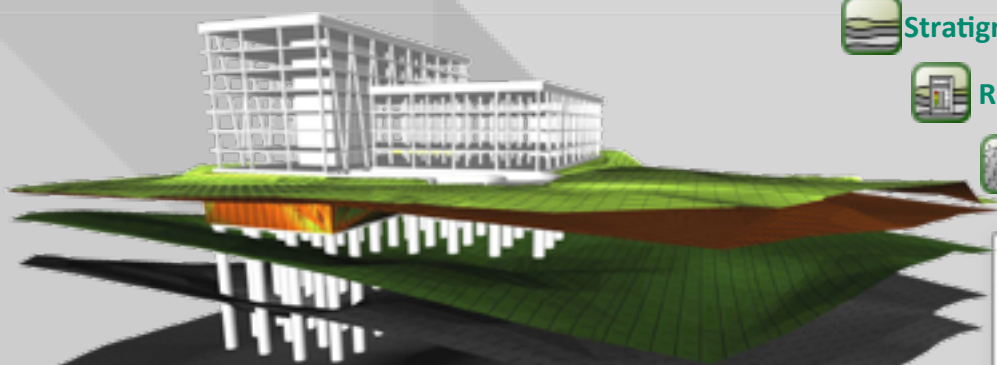


EISEKO
Software for building

GE05

Software per la GEOLOGIA

- Importazione da rilievi topografici con droni
- Modellazione 3D del Terreno
- Importazione oggetti IFC
- Creazione di Sezioni Stratigrafiche
- Inserimento dati da sondaggi
- Interpretazione prove di Laboratorio



Stratigrafia



Sezioni Geologiche



Registro



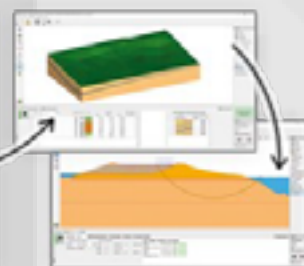
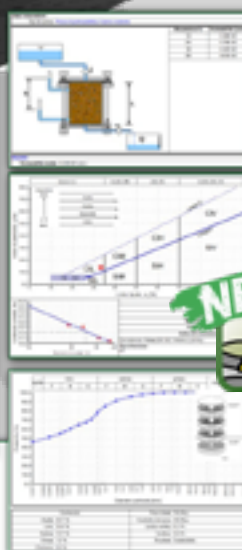
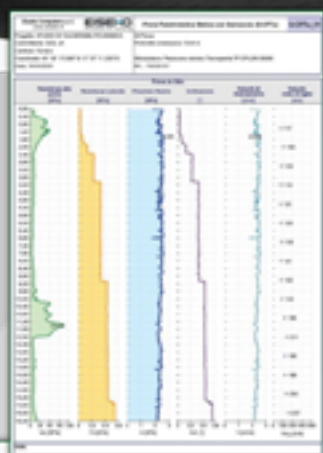
Movimento Terra



Point Cloud

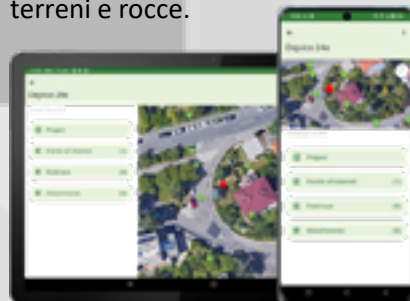
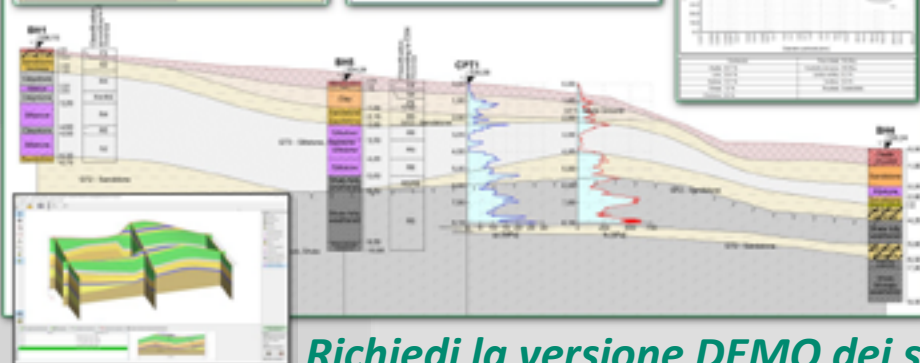


Data Collector



Laboratorio

Il nuovo programma **Laboratorio** fornisce un'efficace elaborazione ed analisi di prove di laboratorio su terreni e rocce.



Richiedi la versione DEMO dei software

SCONTO RISERVATO



PER I LETTORI

EISEKO
Software for building

EISEKO COMPUTERS S.R.L.

Viale del Lavoro, 17

37036 - San Martino Buon Albergo (VR)

informazioni@eiseko.it

www.eiseko.it

+39 045 8031894

Nota illustrativa della carta geologica dell'area settentrionale dei Monti della Tolfa, Italia centrale

Illustrative note of the geological map of the northern area of the Tolfa Mountains, central Italy

Ugo Chiocchini | Già professore ordinario di Geologia applicata, Università degli Studi della Tuscia
 E-mail: luca_chiocco@libero.it



Termini chiave: Carta geologica, area settentrionale, Monti della Tolfa, Italia centrale, supersintema, sintema

Keywords: Geological map, northern area, Tolfa Mountains, central Italy, supersynthem, synthem

Summary

The geological map of the northern area of the Tolfa Mountains in western Lazio illustrates the following sixteen units: (i) four of Holocene (debris, landslide deposits, alluvial deposits, eluvial colluvial deposits); (ii) three of the middle upper Pleistocene p.p. Aurelio-Pontino Supersynthem (Vicano Red Tuff with Black Scoria of the Marta River Synthem, Ignimbrite A of the Fiora River Synthem, Torrent Vesca Unit of the Biedano River Synthem); (iii) three of the lower Pleistocene p.p. Acquatraversa Supersynthem (Poggio dell'Aretta Unit, Poggio della Sorgente Unit, Macchia della Turchina Unit); (iv) two of the Tarquinia Supersynthem (the middle Pliocene p.p. - lower Pleistocene p.p. Casette Fatevoi Lavas, the lower-upper Pliocene p.p. Pian della Regina Unit); (v) one of the middle Pliocene p. p. Spalle della Ciuffa Supersynthem p.p. (Fosso di San Savino Unit); one unit of the late-orogenic sedimentary substrate with two members and one lithofacies of the upper Messinian-lower Pliocene p.p. (Poggio Terzolo Unit); (vi) two units of the pre-orogenic sedimentary substrate (the Oligocene Poggio San Benedetto Sandstones, the upper Cretaceous - Eocene Tolfa Flysch with two members and one lithofacies). The Tolfa Flysch is characterized by the following types of folds: (i) two recumbent synclines and a syncline with a NW-SE oriented axis and eastern vergence; (ii) more or

less symmetrical anticlines and synclines with a NW-SE oriented axial plane, in which antiforms and synforms on a decametric and metric scale are recognized. Locally, linear structures due to boudinage in the marly limestone and calcarenite beds, and foliations related to penetrative cleavage in the marls and clays are present, while in other areas the chaotic structure and low cylindricity of the outcrops do not highlight other macrostructures. There are few brittle tectonic elements, consisting of normal faults.

Riassunto

La carta geologica dell'area settentrionale dei Monti della Tolfa nel Lazio occidentale illustra le seguenti sedici unità: (i) quattro dell'Olocene (detrito, deposito di frana, depositi alluvionali, depositi eluvio colluviali); (ii) tre del Supersintema Aurelio-Pontino del Pleistocene medio superiore p.p. (Tufo Rosso con Scorie Nere vicano del Sintema Fiume Marta, Ignimbrite A del Sintema Fiume Fiora, Unità del Torrente Vesca del Sintema Torrente Biedano); (iii) tre del Supersintema Acquatraversa del Pleistocene inferiore p.p. (Unità Poggio dell'Aretta, Unità Poggio della Sorgente, Unità Macchia della Turchina); (iv) due del Supersintema Tarquinia (Lave di Casette Fatevoi del Pliocene medio p. p. - Pleistocene inferiore p.p., Unità di Pian della

Regina del Pliocene superiore p.p.); (*vi*) una del Super-sistema Spalle della Ciuffa del Pliocene inferiore p.p. (Unità del Fosso di San Savino); una unità del substrato sedimentario tardo-orogena con due membri e una litofacies del Messiniano superiore-Pliocene inferiore p.p. (Unità di Poggio Terzolo); (*vi*) due del substrato sedimentario pre-orogene (Arenarie di Poggio San Benedetto dell'Oligocene, Flysch della Tolfa con due membri e una litofacies del Cretacico superiore - Eocene). Il Flysch della Tolfa è caratterizzato dai seguenti tipi di pieghe: (*i*) due sinclinali coricate e una sinclinale con asse orientato NO - SE e vergenza orientale; (*ii*) anticlinali e sinclinali più o meno simmetriche con piano assiale orientato NO - SE, in cui si riconoscono antiformi e sinformi a scala decametrica e metrica. Localmente sono presenti strutture lineari dovute a *boudinage* negli strati di calcari manosi e calcareniti, e foliazioni connesse a clivaggio penetrativo nelle marne e argille, mentre in altre zone la struttura caotica e la bassa cilindricità degli affioramenti non evidenziano altre macrostrutture. Gli elementi tettonici fragili, costituiti da faglie dirette, sono scarsi.

Introduzione

I sedimenti terrigeni del Cretacico-Oligocene dei Monti della Tolfa del Lazio occidentale e della confinante Toscana meridionale sono indicati nei fogli della Carta Geologica d'Italia 1: 100.000 136 Tuscania (Servizio Geologico d'Italia, 1969 a), 142 Civitavecchia (Servizio Geologico d'Italia, 1969 b), 143 Bracciano (Servizio Geologico d'Italia, 1970). Nei primi due fogli è riportato il Gruppo del Flysch Cretacico-Paleogenico che comprende: Marne, argille e calcari (**pfm**; Cenomaniano superiore-Turoniano inferiore); Arenarie del tipo "pietraforte" (**pf-pafa**; Turoniano-Campaniano); Scisti policromi (**sp**; Cretacico superiore); Flysch calcareo argilloso arenaceo (Serie comprensiva) (**p, pa, par, pc**; Paleocene--Eocene-Oligocene inferiore); Arenarie del tipo "macigno" (**ar-arc**; Eocene superiore-Oligocene) (Alberti et al., 1970). Nel Foglio 143 Bracciano sono indicate le Formazioni in Facies di Flysch del Cretacico - Aquitaniano costituite da: Arenaria tipo "pietraforte" (**pf**; Turoniano-Campaniano); "Serie comprensiva" (**pa, par, pac**; Maastrichtiano-Eocene inferiore); Calcari, calcari marnosi e marne (**E, PC, Ea**; Paleocene superiore-Eocene superiore); Marne, argille e calcari (**O**; Oligocene s.l.-base del Miocene); Arenaria del tipo "macigno" (**Om**;

Oligocene superiore-Aquitano) (Bertini et al., 1971). Si evidenzia che le formazioni Scisti policromi e "macigno", appartenenti alla Successione toscana, sono state associate al Gruppo del Flysch da Alberti et al. (1970) e alle Formazioni in facies di Flysch da Bertini et al. (1971), che invece sono Unità Liguridi (Consiglio Nazionale delle Ricerche, 1990). Infatti, i suddetti sedimenti terrigeni sono stati ritenuti alloctoni da un secondo gruppo di Autori, come appresso specificato.

Nella rilevante ricostruzione relativa allo Sviluppo della Geosinclinale dell'Appennino Settentrionale Abbate & Sagri (1970) hanno descritto le numerose successioni della eugeosinclinale (Liguridi Esterne). In particolare, sono state individuate la Formazione di Sillano (Cretacico superiore - Eocene inferiore), la Formazione di Santa Fiora (Cretacico superiore - Eocene), la Pietraforte (Turoniano superiore - Senoniano), la Formazione di Monte Morello (Paleocene - Eocene medio) in Toscana, e la Formazione di Tolfa (Cretacico superiore - Eocene) nel Lazio occidentale. La Formazione di Tolfa comprende una unità inferiore composta principalmente da argilliti, a luoghi bituminose, con intercalazioni di arenarie e calcari marnosi grigi con fratturazione lenticolare, e una unità superiore costituita da marne, calcari marnosi grigi, e talvolta rosa, calcari di tipo pietra paesina subordinate argilliti. Lo spessore totale è circa 1000 m. La Pietraforte è composta da arenarie calcaree torbiditiche con intercalazioni di argilloscisti di colore grigio scuro e costituisce corpi lenticolari più o meno grandi intercalati nella Formazione di Sillano e nella Formazione di Santa Fiora in Toscana, nella Formazione di Tolfa nel Lazio. La suddetta interpretazione di Abbate & Sagri (1970) era stata proposta in parte da Losacco (1958), Bortolotti (1963), Malesani (1966).

Fazzini et al. (1972) hanno eseguito un'approfondita ricerca sui Monti della Tolfa, corredata da una pregevole carta geologica in scala 1: 50.000 in cui sono rappresentate venticinque formazioni raggruppate in: Depositi recenti (cinque formazioni) e Neoautoctono (otto formazioni), Semiautoctono (una formazione), Complesso alloctono (tre formazioni della Serie della Pietraforte e cinque formazioni della Serie dei Flysch tolfetani), Complesso basale (autoctono?) (tre formazioni della Serie toscana).

Il Complesso basale comprende i piccoli affioramenti di Calcare massiccio (**cm**) e di Calcare selcifero (**cs**) del Lias medio, e della Scaglia toscana (**st**) del Turoniano - Oligocene.

La Serie della Pietraforte mostra nella parte inferiore gli Argilloscisti varicolori manganiferi (**pfm**) del Cretacico superiore (spessore massimo 150-200 m), cui seguono la Pietraforte (**pf**) del Cretacico superiore (spessore circa 400 m), e le Argille e calcari (**pfa**) probabilmente del Paleocene con spessore di poche decine di metri.

La Serie dei Flysch tolfetani è composta dalla successione delle seguenti unità: Flysch argilloso calcareo (**fac**) del Cretacico superiore (spessore circa 600-700 m), Flysch calcareo (**fc¹**) del Cretacico superiore - Paleocene (spessore circa 700-800 m), Formazione del Mignone (**fm**) del Paleocene - Eocene medio (spessore non superiore a 150 m), Flysch calcareo (**fc²**) dell'Eocene superiore (spessore non superiore a 300 m), Flysch arenaceo (**far**) dell'Oligocene (spessore massimo 100-150 m). La Pietraforte è sovrapposta alla Serie dei Flysch tolfetani mediante sovrascorrimento.

Il Semiautoctono comprende solo l'Arenaria di Manciano attribuita al Burdigaliano e trasgressiva sul Flysch calcareo (**fc¹**).

I Depositi recenti comprendono i prodotti prevalentemente piroclastici dei distretti Vulsino, Sabatino, Cimino e di Vico (**θ**) (Pleistocene medio superiore), e le ignimbriti del distretto tolfetano cerite (**ρ**) (Pliocene superiore-Pleistocene inferiore); i depositi in grande parte continentali del Pleistocene superiore-Olocene indicati con le sigle **Q¹** (ciottolami) e **Q** (sabbie e conglomerati), **a¹-θ** e **a¹** (depositi fluvio lacustri e conglomerati), **a¹** e **tr** (depositi fluvio palustri terrazzati e travertini), **dt** e **a¹** (detriti e alluvioni recenti e attuali).

Le formazioni del Neautoctono sono: Calcareniti **M** (Miocene superiore), Conglomerati **MP** (Miocene superiore?- Pliocene inferiore), Argille **Pa¹** (Pliocene inferiore), Calcare di Tarquinia **cT** (Pliocene inferiore e medio?), Sabbie **Ps¹** (Pliocene inferiore e superiore?), Argille **Pa²** con ciottolame alla base **Pcg** (Pliocene medio superiore?), Sabbie **Pm²** (Pliocene superiore?), Conglomerati **P²¹** (Pliocene superiore).

L'interpretazione di Fazzini et al. (1972) è stata ripresa in parte da Dallan Nardi & Nardi (1974), Bettelli (1980), Bettelli et al. (1980), Bettelli (1985), Sestini et al. (1986), Consiglio Nazionale delle Ricerche (1990), Bonazzi et al. (1992), Costantini et al. (2002) per la Toscana meridionale, e da Civitelli & Corda (1982; 1993), De Rita et al. (1993), Fazzini & Gardin (1994), Nappi et al. (2016), Funicello et al. (in attesa di stampa - pubblicato sul web) per il Lazio.

Gli studi sulle associazioni con nannofossili di Gardin (1992) e sui radiolari e nannofossili di Marcucci & Gardin (1992) mostrano evidenze stratigrafiche che confermano l'interpretazione di Fazzini et al. (1972) e Fazzini & Gardin (1994). Questi ultimi due Autori, conservando i rapporti tettonici tra Pietraforte e Flysch della Tolfa, propongono una nuova ricostruzione del bacino che ospitava le unità tolfetane.

Nappi et al. (2016) riconoscono diversi affioramenti delle unità del substrato sedimentario nell'area sud-occidentale del Foglio 355 Ronciglione della Carta Geologica d'Italia 1: 50.000 (ISPRA-Servizio Geologico d'Italia, 2016). Questi affioramenti sono attribuiti a due gruppi: le unità pre-orogene meso-cenozoiche e l'unità post-orogena del Miocene superiore - Pliocene inferiore. Le prime sono rappresentate dal Flysch della Tolfa comprendente il membro di Poggio Vivo (**FYT₁**) con la litofacies delle argilliti del Mignone (**FYT_{2a}**) del Cretacico superiore - Eocene, e dalle Arenarie di Poggio S. Benedetto (**PSB**) dell'Oligocene. Unità di Poggio Terzolo (**PTZ**) post-orogena è costituita dal membro conglomeratico di La Banditella (**PTZ₁**) e dal membro pelitico conglomeratico di M. Monastero (**PTZ₂**) con la litofacies di Scuola (**PTZ_{2a}**).

Secondo Funicello et al. (in attesa di stampa - pubblicato sul web) i terreni del ciclo sedimentario pre-orogenico dei Monti della Tolfa compresi nel Foglio 354 Tarquinia della Carta Geologica d'Italia 1: 50.000 (ISPRA-Servizio Geologico d'Italia, in attesa di stampa - pubblicato sul web) sono rappresentati da depositi torbiditici ed emipelagici che appartengono a due formazioni: (i) la Pietraforte (**PTF**) con la litofacies delle Argilliti varicolori manganifere (**PTF_a**) e la litofacies della Pietraforte (**PTF_b**) del Turoniano-Santoniano e spessore complessivo circa 200 m; (ii) il Flysch della Tolfa (**FYT**), costituito alla base dal membro di Poggio Vivo (**FYT₁**) con la litofacies del Torrente Bidignone (**FYT_{1a}**), cui segue il membro del Fosso dell'Anitrel-la (**FYT₂**) con la litofacies delle argilliti del Mignone (**FYT_{2a}**) e la litofacies di Monte Fortino (**FYT_{2b}**). Lo spessore minimo di **FYT**, di cui non è esposta la base, è circa 2100 m. Il membro di Poggio Vivo (**FYT₁**), che comprende in prevalenza calcari, calcari marnosi e calcareniti torbiditiche, subordinatamente argille e argille marnose, è di tipo *calcareo argilloso*; lo spessore minimo è 1500 m e l'età è compresa nell'intervallo Campaniano medio - Paleocene superiore. Nella sua parte più alta è intercalata la litofacies del Torrente

Bidignone (**FYT_{1a}**), che, essendo composta prevalentemente da intervalli emipelagici e subordinatamente da torbiditi carbonatiche, è di tipo *argilloso calcareo*. Le torbiditi carbonatiche sono calcareniti medio fini, mentre la frazione pelitica è rappresentata da marne argillose, argille siltose ed argille fissili nelle quali sono intercalati, talvolta, sottili strati di calcareniti fini e calcilutiti. Il rapporto tra gli strati pelitici e quelli lapidei molto maggiore di uno indica che si tratta di una litofacies *argilloso calcarea*. Lo spessore della litofacies (**FYT_{1a}**) è circa 500 m e l'età è Paleocene superiore.

Il membro del Fosso dell'Anitrella (**FYT₂**) è caratterizzato da una maggiore abbondanza di argilliti, argilliti siltose, siltiti nelle quali sono intercalati calcari o calcari marnosi, e torbiditi costituite da calcareniti e microbreccie calcaree con macroforaminiferi interi e in frammenti. Pertanto, questo membro è di tipo *argilloso calcareo*. A varie altezze stratigrafiche sono presenti corpi olistolitici carbonatici non cartografabili. Inoltre, all'interno di questo membro sono intercalate: (i) la litofacies delle argilliti del Mignone (**FYT_{2a}**) (argilliti e siltiti fissili di colore grigio scuro e rosso vinaccio con intercalazioni di rari strati marnoso calcarei con spessore decimetrico) con spessore massimo 150 m; (ii) la litofacies di Monte Fortino (**FYT_{2b}**) (calcari micritici, calcareniti fini, marne, e marne calcaree in strati sottili e medi) con spessore massimo 200 m ed è interpretata

come un corpo olistolitico. Lo spessore del membro **FYT₂** è circa 600 m e l'età è Eocene.

Secondo De Rita et al. (1994; 1997) e Funiciello et al. (in attesa di stampa – pubblicato sul web) l'unità post-orogena (Unità di Poggio Terzolo **PTZ**) è composta da sedimenti argillosi, talora con cristalli di gesso e con intercalazioni di lenti e/o orizzonti conglomeratici (**PTZ₂**), attribuiti al top del Messiniano (evento Lago - Mare). La base di questa unità, che non affiora nel Foglio 354 Tarquinia, è costituita da una facies conglomeratica che giace sui litotipi del Flysch della Tolfa. Si deve precisare che Chiocchini F. (1994-1995), non citata da Funiciello et al. (in attesa di stampa – pubblicato sul web) e da De Rita et al. (1994; 1997), aveva già descritto, cartografato e documentato la successione stratigrafica di questa unità nella località tipica di M. Monastero, circa 1,1 km a SE di Poggio Terzolo.

La presente ricerca è stata svolta nell'interesse dell'Associazione Nazionale per gli Interessi del Mezzogiorno d'Italia (ANIMI) – Società Magna Grecia.

Ubicazione dell'area di studio

L'area di studio è ubicata nel settore settentrionale dei rilievi collinari dei Monti della Tolfa, che occupano la fascia peri-Tirrenica del Lazio occidentale a sud del confine con la regione Toscana (Fig. 1).



Figura 1 – Ubicazione dei Monti della Tolfa.

Materiali e metodi

Il rilevamento geologico dell'area settentrionale dei Monti della Tolfa è stato svolto nel periodo 2020 - 2022 utilizzando come supporto topografico le tavolette dell'Istituto Geografico Militare (IGM; 1955) in scala 1: 25.000 I NE Monte Romano e I SE La Farnesiana del Foglio 142 Civitavecchia, IV NO Vetralla e IV SO Civitella Cesi del Foglio 143 Bracciano, e localmente gli elementi 354112 Monte Romano, 354083 Poggio Ferleto, 363031 La Farnesiana, 363044 Monte Sassicari, 355133 Civitella Cesi della Carta Tecnica della Regione Lazio (CTR; 2014) in scala 1: 5000.

Circa il rilevamento sul terreno, si devono evidenziare le ridotte possibilità delle osservazioni dovute alle generali sfavorevoli condizioni di affioramento delle unità sia del substrato sedimentario pre-orogene e tardo orogena, sia delle successioni vulcaniche a causa delle estese coperture costituite dai depositi eluvio colluviali, dai boschi, e dalla densa macchia mediterranea. Per le unità del substrato sedimentario pre-orogene sono stati adottati il criterio litostratigrafico e l'analisi di facies (il tipo di limite geologico, la composizione e lo spessore delle unità litostratigrafiche, le facies e le strutture deposizionali, la provenienza degli apporti, ecc.), seguendo la normativa del Servizio Geologico Nazionale (1992; 1994; 1996) e dell'APAT-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico Nazionale (2007). Lo studio dell'unità tardo orogena, delle successioni vulcaniche, e dei depositi continentali quaternari è stato sviluppato mediante le Unità Stratigrafiche con Limiti Inconformi (UBSU; Salvador, 1987a; 1987b; AA. VV., 1983; Servizio Geologico Nazionale, 1992 e successive integrazioni), utilizzando i caratteri sedimentologici riconoscibili sul terreno e le paleocorrenti, come

suggerito dal Servizio Geologico Nazionale (1992; 1994; 1996) e da De Rita et al. (2000; 2002). Questa scelta è connessa alla possibilità di riconoscere e definire la natura delle superfici di discontinuità inferiori e superiori delle suddette unità in base al concetto di contatto inconforme (*unconformity*).

Per lo spessore degli strati di tutte le unità è stata adottata la classificazione di Campbell (1967) lievemente modificata da Bosellini et al. (1989).

L'attività di campagna è stata supportata da analisi di foto interpretazione del Volo Italia in scala 1: 70.000 e del Digital Elevation Model (DEM). Per la nomenclatura delle formazioni è stata utilizzata quella ufficiale della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 dei fogli 355 Ronciglione (ISPRA-Servizio Geologico d'Italia, 2016), 344 Toscana, 345 Viterbo, 354 Tarquinia (ISPRA-Servizio Geologico d'Italia, in attesa di stampa - pubblicato sul web). Il colore delle rocce delle unità litostratigrafiche è stato determinato mediante la Rock - Color Chart (Geological Society of America, 1991). Inoltre, la documentazione relativa ad un elevatissimo numero di analisi biostratigrafiche eseguite sulle unità del substrato sedimentario pre-orogene e tardo-orogene sia per i fogli 136, 142, e 143 della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 100.000, sia per i fogli 344, 345, 354, 355 della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000, sia dai numerosi Autori ricordati nell'Introduzione, ha suggerito di non eseguire ulteriori analisi biostratigrafiche. Pertanto, l'età di tutte le unità riportate nella carta geologica allegata è stata definita in base quanto indicato nei suddetti fogli della Carta Geologica d'Italia.

I toponimi citati nel testo sono riportati nella Figura 2 e nella **Tavola 1**.



TAVOLA 1

Vai alla carta
geologica



TAVOLA 2

Vai alle sezioni
geologiche



Scarica
il pdf
completo

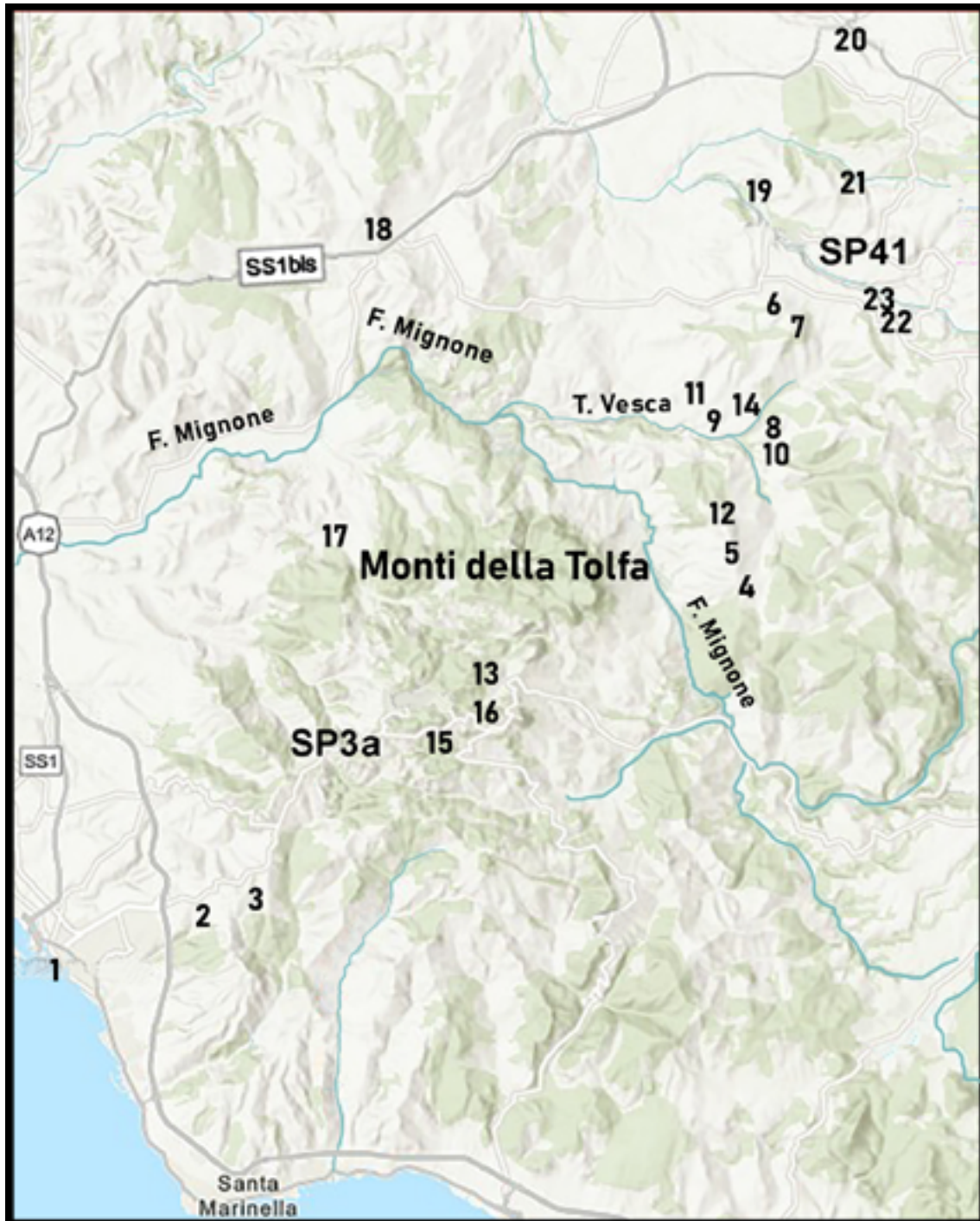


Figura 2 – Digital Elevation Model (DEM) dei Monti della Tolfa con l'indicazione dei toponimi citati nel testo. 1, Civitavecchia; 2, Bagni di Traiano; 3, M. Ferrara; 4, Fontanile dell'Uccello; 5, M. Monastero; 6, Poggio delle Larghe; 7, Poggio Imporco; 8, La Banditella; 9, Ara della Vecchia; 10, Civitella Cesi; 11, stazione di Civitella Cesi; 12, Fontanile Cammerata; 13, Castagneto dei Cinque Bottini; 14, Macchia Nuova; 15, Allumiere; 16, Tolfa; 17, la Farnesiana; 18, Monte Romano; 19, Blera; 20, Vetralla; 21, Villa San Giovanni in Tuscia; 22, Parte Ricotta; 23, Barbarano Romano; SS 1, strada statale 1 Aurelia; SS 1 bis, strada statale 1 bis; SP 3 a, strada provinciale 3 a; SP 41, strada provinciale 41.

Cenni di geomorfologia

La morfologia dell'area in esame, costituita per lo più da rilievi collinari le cui quote sono comprese tra 150 m nell'area ad ovest di Vetralla e 511 m s.l.m. a M. Piantanelli e a SO di Civitella Cesi, risente della presenza del limitrofo apparato vulcanico di Vico, che condiziona la maggior parte delle valli e delle profonde incisioni fluviali, a loro volta funzione dei caratteri geologici e topografici delle formazioni attraversate. I corsi d'acqua principali sono (**Tavola 1**):

(i) il Fiume Mignone che scorre in direzione SSE-NNO e successivamente E - O con gli affluenti di destra: Torrente Vesca, Fosso delle Stanghette, Fosso Cacciamano, Fosso del Nasso, e gli affluenti di sinistra Fosso della Puttanella, Fosso del Laghetto, Fosso della Melledra - Fosso Infernetto, Rio Melledra, Fosso dell'Asco;

(ii) il Fosso Biedano, con l'affluente in sinistra Fosso Bidignone a NE di Monte Romano, il Fosso Valle Paternostro - Acqua Fredda e il Fosso Rio Secco ad ovest di Vetralla; questi corsi d'acqua hanno inciso profondamente le formazioni piroclastiche mediante forre, producendo un paesaggio pittoresco, in particolare nella zona di Blera e dei suddetti fossi Valle Paternostro - Acqua Fredda e Rio Secco.

Unità del substrato sedimentario pre-orogene

Flysch della Tolfa (FYT)

Dal confronto tra la stratigrafia e la cartografia del Flysch della Tolfa del Foglio 354 Tarquinia (ISPRA-Servizio Geologico d'Italia, in attesa di stampa - pubblicato sul web; Funicello et al., in attesa di stampa - pubblicato sul web) e quelle della Serie dei Flysch tolfetani di Fazzini et al. (1972) emergono chiaramente sostanziali differenze. Infatti, come già evidenziato, nel Foglio 354 Tarquinia la successione stratigrafica del Flysch della Tolfa è costituita alla base dal membro di Poggio Vivo *calcareao argilloso* (**FYT₁**) con intercalazione della litofacies del Torrente Bidignone *argilloso calcarea* (**FYT_{1a}**), cui segue il membro del Fosso dell'Anitrella *argilloso calcarea* (**FYT₂**) con intercalazione della litofacies delle argilliti del Mignone (**FYT_{2a}**) e della litofacies di Monte Fortino (**FYT_{2b}**), mentre secondo Fazzini et al. (1972) la successione stratigrafica è l'opposto di quella del Foglio 354 Tarquinia, mostrando alla base il Flysch argilloso calcarea (**fac**), seguito dal Flysch calcarea (**fc'**), dalla Formazione del Mignone (**fm**), dal Flysch calcarea (**fc'**), e dal Flysch arenaceo (**far**). Si precisa, inoltre, che

l'area a NE di Monte Romano tra la S.S. 1 bis e Casal Novo comprendente la valle del T. Bidignone è attribuita da Fazzini et al. (1972) al Flysch argilloso calcarea (**fac**), mentre nel Foglio 354 Tarquinia tale area è riferita alla litofacies del Torrente Bidignone *argilloso calcarea* (**FYT_{1a}**) intercalata nel membro di Poggio Vivo *calcareao argilloso* (**FYT₁**).

La presente ricerca, in sostanziale accordo con Fazzini et al. (1972), indica che la successione del Flysch della Tolfa comprende alla base il membro argilloso calcarea (**FYT₁**), seguito dal membro calcareao argilloso (**FYT₂**) con intercalazione della litofacies delle argilliti del Mignone (**FYT_{2a}**), e dalle Arenarie di Poggio San Benedetto (**PSB**) (carta geologica). Inoltre, circa il Foglio 354 Tarquinia sopra ricordato si evidenziano alcune incongruenze: (i) l'uso non chiaro di litotipi come "calcareao detritico" e "calcareao arenaceo"; (ii) non si comprende come la composizione litologica del membro di Poggio Vivo (**FYT₁**), di tipo *calcareao argilloso*, possa essere assimilata a quella del Flysch argilloso calcarea (**fac**) di Fazzini et al. (1972); (iii) secondo Funicello et al. (in attesa di stampa - pubblicato sul web) le formazioni **fac** e **fc'** di Fazzini et al. (1972) sono eteropiche del membro di Poggio Vivo (**FYT₁**), mentre nella Legenda del Foglio 354 Tarquinia secondo questi Autori il Flysch calcarea 1 p.p. (**fc'**) corrisponde al membro del Fosso dell'Anitrella (**FYT₂**).

Membro argilloso calcareao (FYT₁)

Nell'area molto limitata di Poggio di Torcimina (**Tavola 1**; 142 I SE) affiora il membro argilloso calcareao (**FYT₁**) che mostra un rapporto tra gli strati argillosi e quelli lapidei molto maggiore di uno, riconosciuto anche da Fazzini et al. (1972) e da Funicello et al. (in attesa di stampa - pubblicato sul web), e si identifica con il Flysch argilloso calcarea (**fac**) di Fazzini et al. (1972) e alla Successione argilloso-calcarea di Civitelli & Corda (1993). Questo membro comprende in prevalenza argilliti di colore grigio molto chiaro N 8, grigio scuro N 3, marrone medio 5 YR 4/4, meno frequente rosso 10 R 4/6 e verde brillante 5G 6/6, che si scompongono in piccole scaglie, nelle quali si intercalano marne e calcari manosi tipo pietra paesina di colore marrone chiaro 5YR 5/6 in strati sottili e medi, calcari silicei tipo "palombino" di colore grigio scuro N 3 in strati sottili e medi, calcareniti torbiditiche di colore grigio leggermente verde 5G 8/1 e marrone chiaro 5YR 5/6 in strati medi e spessi (Fig. 3). Esso appare tettonicamente molto disturbato con

piani di taglio, pieghe a scala decametrica, strati calcarei competenti assottigliati e rotti ad intervalli più o meno irregolari, che formano corpi lenticolari a scala decametrica (*boudinage*; American Geological Institute, 2005). Pertanto, tale assetto strutturale non consente di valutare con precisione lo spessore di questo membro,

che è stimato circa 85 m. L'ambiente deposizionale è attribuibile alla base della scarpata continentale con scarsi apporti di torbiditi carbonatiche. L'età è Cretacico superiore – Paleocene (Fazzini et al. 1972; Civitelli & Corda, 1993; Nappi et al., 2016; Funicello et al., in attesa di stampa – pubblicato sul web).



Figura 3 – Argilliti di colore prevalentemente marrone con intercalazioni di calcari marnosi di colore marrone chiaro in strati sottili e medi del membro argilloso calcareo del Flysch della Tolfa nella zona di Bagni di Traiano, circa 3 km a NE di Civitavecchia.

Membro calcareo argilloso (FYT₂)

Nell'area di Monte Romano fino a Macchia di Blera e al versante meridionale della valle del F. Mignone, nei rilievi collinari immediatamente ad est di Civitella Cesi e M. Monastero, e, più limitatamente, nella zona di Villa S. Giovanni in Tuscia (**Tavola 1**) è presente il membro calcareo argilloso che è caratterizzato da un rapporto tra gli strati lapidei e quelli argillosi molto maggiore di uno (Fazzini et al., 1972; Funicello et al., in attesa di stampa – pubblicato sul web), e corrisponde in parte al Flysch calcareo (**fc¹**) e al Flysch calcareo (**fc²**) di Fazzini et al. (1972) e alla Successione calcareo-argillosa di Civitelli & Corda (1993).

Questo membro, il cui migliore affioramento si trova nella cava inattiva di M. Ferrara (Fig. 2 e 4) circa cinque chilometri a NE di Civitavecchia, comprende calcari marnosi di colore grigio chiaro N7 tipo pietra paesina, marne avana 5Y 8/4, calcari silicei di colore grigio scuro N3, calcareniti torbiditiche con Nummuliti e Alveoline di colore grigio chiaro N7 in strati medi e molto spessi, argilliti di colore grigio scuro N3 e marrone medio 5YR

4/4, marne di colore grigio scuro N3, torbiditi pelitico arenacee in strati medio sottili e, più raramente, arenaceo pelitiche in strati spessi nell'area di Vetralla; marne e calcari marnosi di colore arancio rosa 10 R 7/4 e rosso chiaro 5R 6/6 in strati medi nella parte superiore della successione. Lo spessore di questo membro non è valutabile con sufficiente attendibilità a causa della frammentarietà degli affioramenti ed è, quindi, stimato circa 150 m. Lungo la strada che costeggia Poggio della Mandriola nell'area di Macchia della Turchina, a ONO di Monte Romano (**Tavola 1**), Pietrangeli (2004-2005) ha riconosciuto fori di litodomi in uno strato di calcarenite, indicativi di una linea di costa, i cui depositi sono rappresentati dall'Unità di Poggio della Sorgente (**CPS**). L'ambiente deposizionale del membro calcareo argilloso è pressoché identico a quello del membro argilloso calcareo (base della scarpata continentale) con apporti di torbiditi carbonatiche e silicoclastiche. L'età è Eocene (Fazzini et al. 1972; Civitelli & Corda, 1993; Nappi et al., 2016; Funicello et al. (in attesa di stampa – pubblicato sul web).



Figura 4 – Il membro calcareo argilloso del Flysch della Tofa una cava inattiva di M. Ferrara è costituito da strati medi e molto spessi di calcari marnosi e silicei, marne, calcareniti tobiditiche, argilliti, con immersione media 10° verso NE.

Litofacies delle argilliti del Mignone (FYT_{2a})

Questa litofacies affiora nell'area di Macchia di Blera compresa tra Monte Romano e il versante settentrionale della valle del F. Mignone e nella fascia dei rilievi collinari allungata in direzione N - S a sud di Barbarano Romano (**Tavola 1**; 142 I SE, 142 I NE; 143 IV NO). Le giaciture indicano che la litofacies è intercalata nel membro calcareo argilloso (FYT₂) e il contatto lungo il bordo occidentale della suddetta fascia è tettonico mediante una faglia diretta

orientata NNO – SSE. La litofacies comprende argilliti di colore moderatamente rosso 10R 4/6, verde brillante 5G 6/6, più raramente marrone rossastro 10R 4/6 e nero N1, con intercalazione di strati medi e spessi di calcareniti torbiditiche di colore grigio chiaro N7 e di calcari marnosi e silicei di colore arancio giallo pallido 10 YR 8/6 (Fig. 5). Spessore circa 130 – 160 m. L'età è Eocene (Fazzini et al. 1972; Civitelli & Corda, 1993; Nappi et al., 2016; Funicello et al. (in attesa di stampa – pubblicato sul web).



Figura 5 – Argilliti rosse e verdi della litofacies delle argilliti del Mignone con intercalazioni di strati sottili e spessi di calcari marnosi e silicei sulla strada interpoderale in località Parte Ricotta, circa un chilometro a sud di Barbarano Romano.

Arenarie di Poggio S. Benedetto (PSB)

Tra Poggio Saracino e Poggio del Fattore nell'area di Macchia di Blera a SE di Monte Romano (**Tavola 1**; 142 I NE; 143 IV NO), a tetto del Flysch della Tolfa sono presenti due limitatissimi affioramenti di arenarie vulcanoclastiche con granulometria medio grossolana e stratificazione non evidente, di colore marrone chiaro 5YR 6/4, molto alterate. L'esame petrografico ha evidenziato che le arenarie sono male classate e contengono, in particolare, frequenti frammenti litici di andesiti e vetro, abbondanti miche, orneblenda, feldspato potassico, plagioclasti di tipo andesinico e matrice vetrosa, oltre a rari frammenti di rocce intrusive e di rocce metamorfiche (Chiocchini et al., 2005; Chiocchini & Madonna, 2005; Nappi et al., 2016). Pertanto, si tratta di arenarie feldspatiche o feldspatoareniti (Valloni et al., 1991), ovvero di arenarie vulcanoclastiche secondo Pettijohn et al. (1987), che propongono tale termine per le sabbie con abbondanti frammenti vulcanici. Questa composizione è molto simile a quella delle arenarie torbiditiche che affiorano nei dintorni di Viterbo (Chiocchini & Madonna, 2005) e nei pressi di Vetralla, nelle zone di Sutri e Tarquinia, e corrispondono al Flysch arenaceo di Fazzini et al. (1972) e alla Formazione arenacea di Civitelli & Corda (1993) dell'Oligocene.

Unità del substrato sedimentario tardo-orogene

Unità di Poggio Terzolo (PTZ)

Tale unità (Nappi et al., 2016; Funicello et al., in attesa di stampa – pubblicato sul web), che affiora in un'area allungata in direzione ONO – ESE tra Civitella Cesi, M. Monastero, e Blera (**Tavola 1**), comprende il membro conglomeratico di La Banditella (**PTZ₁**) e il membro pelitico - conglomeratico di M. Monastero (**PTZ₂**) con l'intercalazione della litofacies di Scuola (**PTZ_{2a}**) (Fig. 6 a), ed è sovrapposta con contatto inconforme sul membro calcareo argilloso (**FYT₂**) del Flysch della Tolfa. Tre sezioni stratigrafiche (Fig. 6 b) ricostruite da Nappi et al. (2016) indicano che: (i) il membro PTZ1 comprende sia i depositi ruditici che giacciono con contatto inconforme sul membro calcareo argilloso FYT2 del Flysch della Tolfa, sia quelli a tetto del membro pelitico - conglomeratico di M. Monastero PTZ2 con l'intercalazione della litofacies di Scuola PTZ2a; (ii) questo ultimo membro è caratterizzato da una geometria cuneiforme che tende ad assottigliarsi verso est. Lo spessore complessivo dell'unità è di circa 300 m. L'età è compresa tra il Messiniano superiore e la parte iniziale del Pliocene inferiore (Fazzini et al., 1972; Baldi et al., 1974; Carboni et al., 1993; Barberi et al., 1994; Nappi et al., 2016).

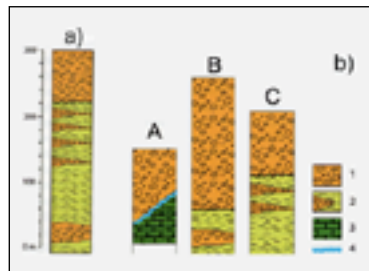


Figura 6 – a. Schema stratigrafico dell'Unità di Poggio Terzolo. **b.** Successioni stratigrafiche dell'Unità di Poggio Terzolo. La sezione A è relativa alla zona Poggio delle Larghe – Poggio Imporco – La Banditella; la sezione B si riferisce alla zona T.

Vesca – Ara della Vecchia – Stazione di Civitella Cesi; la sezione C comprende la zona di M. Monastero – Fontanile Cammerata. 1, membro conglomeratico di La Banditella; 2, membro pelitico conglomeratico di M. Monastero; 3, membro calcareo argilloso del Flysch della Tolfa; 4, contatto stratigrafico inconforme. Da Nappi et al. (2016) modificato.

Membro conglomeratico di La Banditella (PTZ₁)

Questo membro affiora a M. Monastero, La Banditella nei pressi di Civitella Cesi, e tra Macchia della Selva e il T. Vesca (**Tavola 1**). Per l'orientamento dell'embriciatura dei clasti, che indica l'andamento delle paleocorrenti, è stata seguita l'indicazione di Walker (1975; 1982) che utilizza la disposizione degli assi maggiore (a) e intermedio (b) rispetto al verso della corrente: a (t) b (i) indica che i clasti sono embriciati secondo l'asse intermedio (b) e l'asse maggiore (a) è disposto trasversalmente alla corrente; a (p) a (i) indica che i clasti sono embriciati secondo l'asse maggiore (a), disposto parallelamente alla corrente.

I conglomerati mostrano talvolta strati piano paralleli o concavi spessi e molto spessi incrociati a scala metrica (Fig. 7 a), sono clastosostenuti, con rapporto scheletro/matrice elevato, matrice polimodale di colore rosso porpora 5RP 4/2, grado di cementazione in genere medio e basso, e mostrano talvolta gradazione diretta e/o inversa. I clasti sono eterometrici e arrotondati (granuli, ciottoli, ciottoli grossolani, massi), costituiti da calcari marnosi, calcareniti, più raramente arenarie. Alcuni clasti sono embriciati secondo l'asse maggiore con dimensioni da pochi millimetri a circa un metro (Fig. 7 b). Nella località Casale Comunaletto (**Tavola 1**; 143 IV SO) mostrano le seguenti dimensioni: asse maggiore (a) = 0,95 m, asse intermedio (b) = 0,70 m, asse minore (c) = 0,45 m; (a) = 1 m, (b) = 0,55 m, (c) = 0,40 m (Nappi et al., 2016). Lo scorrimento delle paleocorrenti è in prevalenza verso S e SE, meno frequentemente verso SO e ESE, con disposizione a ventaglio e dispersione di 160° (Chiocchini F., 1994-1995; Nappi et al., 2016). Lo spessore di questo membro è compreso tra 80 e 100 m.



Figura 7a – Membro conglomeratico di La Banditella lungo la Strada Provinciale 41 Blera - Civitella Cesi circa un chilometro a nord della località Macchia Nuova. Si tratta di conglomerati in strati piano paralleli spessi incrociati, clastosostenuti, con rapporto scheletro/matrice elevato, grado di cementazione medio, i cui granuli, ciottoli, ciottoli grossolani, e massi sono costituiti da calcari marnosi, calcareniti, più raramente arenarie del Flysch della Tolfa.



Figura 7b – I ciottoli embriciati dei conglomerati secondo l'asse maggiore a (p) a (i) indicano una direzione di scorrimento delle paleocorrenti da sinistra verso destra (sud est).

Membro pelitico - conglomeratico di M. Monastero (PTZ₂)
Il membro in oggetto è costituito da argille e argille sabbiose di colore prevalentemente grigio blu chiaro 5B 7/1, con abbondanti bivalvi, e, localmente, noduli di gesso bianco e materiale carbonioso. In questi sedimenti, lungo il tracciato della ferrovia inattiva Orte-Civitavecchia, si intercalano siltiti ed arenarie fini in strati sottili, che nella parte inferiore passano a sabbie gialle ed arenarie grossolane di colore moderatamente rosso 5R 5/4 con lamine piane o inclinate con basso angolo. Nelle zone tra il Fosso Biedano e il T. Vesca e tra quest'ultimo e M. Monastero (**Tavola 1**; 143 IV NO, 143 IV SO) affiorano cinque corpi della *litofacies di Scuola (PTZ_{2a})*, con geometria cuneiforme (Fig. 6 a; sezione D – D' della **Tavola 2**), composta da conglomerati con caratteristiche sedimentologiche e composizionali pressoché identiche a quelle del membro di La Banditella (Fig. 8). I clasti embriciati secondo a (p) a (i) indicano che lo scorrimento delle

paleocorrenti è pressoché identico a quello del precedente membro, con dispersione di 140° (Chiocchini F., 1994-1995; Nappi et al., 2016). Lo spessore di questo membro varia tra 200 e 220 m.

Le numerose misure relative all'embriciatura dei clasti dei conglomerati nei due membri (**PTZ₁** e **PTZ₂**) dell'Unità di Poggio Terzolo suggeriscono che le paleocorrenti scorrevano con disposizione geometrica a ventaglio e dispersione di 160° nel membro **PTZ₁** e di 140° nel membro **PTZ₂**. In base alle caratteristiche sedimentologiche complessive dei conglomerati dei due membri si può ritenere, in accordo con Walker (1975) e Lowe (1982), che la deposizione sia avvenuta tramite flussi gravitativi di ghiaie con elevata concentrazione in un ambiente compreso tra il continentale di conoide alluvionale (membro **PTZ₁**) e di lago – mare (membro **PTZ₂** con litofacies **PTZ_{2a}**) in un bacino stretto e di limitate dimensioni (De Rita et al., 1994; 1997).



Figura 8 – La litofacies di Scuola (PTZ_{2a}) è composta da conglomerati con granuli, ciottoli, ciottoli grossolani, e massi di calcari marnosi, calcareniti, più raramente arenarie del Flysch della Tolfa, e con basso grado di cementazione nella zona di Fontanile dell'Uccello a sud di M. Monastero.



TAVOLA 2

*Vai alle sezioni
geologiche*

Supersintema Spalle della Ciuffa

Il Supersintema in oggetto giace sulle formazioni pre-orogene e tardo-orogene con superficie ad alto rilievo, è connesso alla trasgressione marina del Pliocene inferiore, e comprende solo l'Unità del Fosso di San Savino (**SBM**). Secondo Funicello et al. (in attesa di stampa – pubblicato sul web) le analisi micropaleontologiche di numerosi campioni non hanno individuato la biozona con *Sphaeroidinellopsis*. Tale lacuna biostratigrafica indica uno *hiatus* di sedimentazione all'inizio del Pliocene nell'area dei Monti della Tolfa.

Unità del Fosso di San Savino (**SBM**)

Questa unità, che affiora nella valle del F. Mignone, è sovrapposta con contatto inconforme sia al membro argilloso calcareo (**FYT₁**) nella zona di Poggio Torcimina (**Tavola 1**; 142 I SE), sia al membro calcareo argilloso (**FYT₂**) in destra e in sinistra del F. Mignone e nella zona della stazione di Allumiere (ex ferrovia Orte-Civitavecchia) e la Farnesiana, sia alle Lave di Casette Fatevoi (**LTM**) nella zona di Ripa Maiale. L'unità in oggetto è costituita da argille, argille sabbiose, e argille marnose di colore grigio blastro medio 5B 5/1, ed ha uno spessore variabile tra circa 50 e 90 m. La superficie di tetto è ubicata tra le quote 50, 85 e 125 m s.l.m. nella valle del F. Mignone, 125 m s.l.m. nella zona di Poggio Torcimino, 140 m s.l.m. nella zona della stazione di Allumiere. L'ambiente deposizionale è marino litorale – piattaforma. L'età è Pliocene inferiore p.p. Funicello et al. (in attesa di stampa – pubblicato sul web).

Supersintema Tarquinia

Il Supersintema in oggetto comprende l'Unità di Pian della Regina (**RGG**) e l'Unità di Casette Fatevoi (**LTL**). La prima unità giace con contatto inconforme sia sul membro calcareo argilloso del Flysch della Tolfa (**FYT₂**), sia sull'Unità del Fosso di San Savino (**SBM**).

Unità di Pian della Regina (**RGG**)

I sedimenti di questa unità sono sabbie e sabbie argillose ibride di colore giallo chiaro 10YR 8/6 con bivalvi interi e frammentati e si rinvencono solo sul versante settentrionale di Poggio del Forno a ovest di Monte Romano, dove giacciono sul membro calcareo argilloso del Flysch della Tolfa (**FYT₂**) a quota 185 m s.l.m., e nella zona di Piano d'Asco a quota 110 m s.l.m. e di M. Sassetto a quota 180 m s.l.m.,

dove poggiano sull'Unità del Fosso di San Savino (**SBM**) (**Tavola 1**; 142 I NE, 142 I SE).

Le sabbie dell'Unità di Pian della Regina sono eteropiche delle calcareniti e calciruditi organogene del Macco (Calcareniti di Tarquinia di Fazzini et al., 1972) in cui sono intercalate, e si sono depositate, insieme a quest'ultimo, con apporti prevalentemente intrabacinali in una zona di bassi fondali prossima ad un coralligeno di piattaforma (Chiocchini, 2001; Chiocchini & Potetti, 1998). In pratica, si sono verificati episodi alternati di sedimentazione bioclastica (strati di calcareniti e calciruditi) e di sedimentazione di fango carbonatico con apporti sia carbonatici sia silicoclastici (strati di areniti ibride) (Chiocchini, 2001). La matrice carbonatica (micrite) e i bioclasti delle areniti ibride sono giustificati dalla presenza del coralligeno di piattaforma con elevata produzione organogena. Lo spessore arriva a circa 20-25 m. L'ambiente deposizionale è circolitorale. L'età è Pliocene medio p.p. - Pliocene superiore p. p. (Funicello et al., in attesa di stampa – pubblicato sul web).

Unità di Casette Fatevoi (**LTL**)

Questa unità affiora nella estesa area compresa tra Ripa Maiale a ovest, M. S. Angelo-M. Riccio-Castellaccio a nord, M. Piantangeli a est, M. Rovello-Castagneto dei Cinque Bottini a sud. Inoltre, alcuni affioramenti minori sono presenti nelle zone di Centocelle, M. Sassetto, e, a SO di questo ultimo, in sponda sinistra del Fosso dell'Asco (**Tavola 1**; 142 I NE; 143 IV SO). Si tratta di lave ricche in silice della Provincia Magmatica Toscana (Poli et al., 1984; Van Bergen, 1984; Serri et al., 1992; Peccerillo & Donati, 2003; Peccerillo, 2005), che affiorano in molti domi, per lo più coalescenti, tra Tolfa, Allumiere e la valle del F. Mignone, formando un corpo unitario esteso su una superficie di circa 46 km². Si riconoscono domi isolati a Centocelle, M. Sassetto e in sponda sinistra del Fosso dell'Asco. I numerosi studi (Lauro et al., 1965; Lombardi et al., 1965a, 1965b, 1974; Negretti & Morbidelli, 1963; Negretti et al., 1966; Lauro & Negretti, 1969; Alberti et al., 1970; Ferrini et al., 1970; Taylor & Turi, 1976; Devoto & Lombardi, 1977; Vollmer, 1977; De Rita et al., 1994, 1997; Pinarelli, 1991; Chiocchini et al., 2023) e il diagramma alcali totali-silice (TAS) di Le Bas et al. (1992) suggeriscono che la composizione delle lave è in prevalenza trachitico dacitica.

Le lave non alterate sono molto compatte, di colore grigio chiaro N 7, mostrano localmente piccoli fori dovuti alla emissione dei gas, strutture da flusso (Fig. 9), fessure verticali o molto inclinate per lo più aperte dovute

alla contrazione della lava durante il raffreddamento, e fratture verticali o con inclinazione elevata connesse alle fasi della tettonica distensiva del Pliocene e Pleistocene. Inoltre, le lave mostrano molto frequentemente una intensa e diffusa alterazione superficiale secondaria, che le rende molto friabili e di colore bianco N 9 con chiazze e venature di colore giallo chiaro arancione 10YR 8/6 (Fig. 10). Questo stato di alterazione produce coltri detritiche con spessore fino a 6-10 m in alcuni versanti, valli, e valleciole, particolarmente estese nelle zone di M. Piantanelli, Ripa Maiale, Le Cantarecce, a est di M. Rovello, e la Farnesiana, hanno favorito lo sviluppo di boschi, talora con denso sottobosco, che ancora coprono una grande parte dell'area dell'Unità di Casette Fatevoi. Lo spessore dell'Unità di Casette Fatevoi è circa un centinaio di metri. L'età è Pliocene superiore p. p – Pleistocene inferiore (Funicello et al., in attesa di stampa – pubblicato sul web).



Figura 9 – La lava dell'Unità di Casette Fatevoi di colore grigio nella Rocca di Tolfa mostra strutture dovute a flusso.



Figura 10 – La lava dell'Unità di Casette Fatevoi è caratterizzata dal colore bianco dovuto all'alterazione superficiale secondaria sulla Strada Provinciale 3a Braccianese Claudia in prossimità di Tolfa.

Supersintema Acquatraversa

Il Supersintema in oggetto, che comprende l'Unità di Macchia della Turchina (**TNA**), l'Unità di Poggio della Sorgente (**CPS**), e l'Unità di Poggio dell'Aretta (**PGT**), mostra una superficie di base alquanto articolata, ben esposta nell'area di Macchia della Turchina, dove la superficie è orizzontale o inclinata verso SSO a quote 75 – 150 m s.l.m. (Funicello et al., in attesa di stampa – pubblicato sul web; Nappi et al., 2016).

Unità di Macchia della Turchina (TNA)

I sedimenti di questa unità, presenti nelle aree di Macchia della Turchina ad ovest di Monte Romano, di M. Riccio, in destra e in sinistra del F. Mignone (**Tavola 1**; 142 I NE; 142 I SE), comprendono argille di colore grigio leggermente blu 5B 7/1 molto ricche di bivalvi e coralli, tra i quali *Cladocora caespitosa* (Linneo 1767) associata a gasteropodi e lamellibranchi. Le argille poggiano con contatto inconforme non chiaramente evidente sui sedimenti argillosi dell'Unità del Fosso di San Savino (**SBM**) e in località Il Casalaccio alla base delle argille affiorano corpi lenticolari discontinui di ghiaie con clasti di calcari marnosi del Flysch della Tolfa (Fazzini et al., 1972). Lo spessore dell'unità arriva a circa 80 m nella zona di Casalaccio. L'età è Pleistocene inferiore p. p. (Funicello et al., in attesa di stampa – pubblicato sul web).

Unità di Poggio della Sorgente (CPS)

L'unità in oggetto affiora nella zona compresa tra le colline ad ovest di Monte Romano (Macchia della Turchina) e quelle in destra del F. Mignone (M. Riccio – le Spalle di S. Maria) (**Tavola 1**; 142 I NE, 142 I SE), e comprende sabbie e sabbie argillose ibride di colore giallo chiaro 10YR 8/6, con intercalazioni di corpi lenticolari di ghiaie costituite da clasti di calcareniti organogene e lave tolfetane con fori di litodomi, caratteristici di una linea di costa. Questa unità, che poggia con contatto inconforme sull'Unità del Fosso di San Savino (**SBM**) e sul membro calcareo argilloso del Flysch della Tolfa (**FYT₂**), mostra uno spessore fino a 35 m. Funicello et al. (in attesa di stampa - pubblicato sul web) evidenziano nella zona di M. Riccio la presenza di un livello ossifero in cui è stata riconosciuta una associazione con mammalofaune dell'Unità faunistica di Tasso, attribuita al Pleistocene inferiore basale. L'ambiente di sedimentazione è compreso tra continentale e marino litorale. L'età è Pleistocene inferiore p. p. (Funicello et al., in attesa di stampa – pubblicato sul web).

Unità di Poggio dell'Aretta (PGT)

Questa unità, che si rinviene in sette affioramenti ubicati nei rilievi ad ovest di la Farnesiana, lungo il tracciato della ferrovia inattiva Orte – Civitavecchia (**Tavola 1**; 142 I SE), e nei pressi della località la Lungara, è costituita da ghiaie con clasti di calcari marnosi del Flysch della Tolfa in abbondante matrice sabbioso argillosa talora di colore moderatamente rosso 5R 4/2, e da sabbie argillose contenenti ghiaie con ciottoli di lave tolfetane, subordinatamente di calcari marnosi del Flysch della Tolfa. Questi ultimi sedimenti sono correlati da Funicello et al. (in attesa di stampa - pubblicato sul web) alle ghiaie di Casaletto Calvignoni (località non compresa nella **Tavola 1**) in cui sono stati trovati resti di vertebrati del Villafranchiano superiore – Galeriano. L'unità in oggetto, che mostra uno spessore fino a 15 m, poggia con contatto inconforme sull'Unità di Macchia della Turchina (**TNA**) e sull'Unità di Poggio della Sorgente (**CPS**), più raramente sull'Unità del Fosso di San Savino (**SBM**) e sul membro calcareo argilloso del Flysch della Tolfa (**FYT₂**). L'ambiente deposizionale è di tipo continentale generico. L'età è Pleistocene inferiore p. p. (Funicello et al., in attesa di stampa - pubblicato sul web).

Supersintema Aurelio – Pontino

Questo Supersintema mostra una superficie basale di tipo erosivo, dovuta alla caduta eustatica relativa del livello del mare (Nappi et al., 2016; Funicello et al., in attesa di stampa - pubblicato sul web). Nell'area in esame sono presenti i sintemi Torrente Biedano, Fiume Fiora, e Fiume Marta.

Sintema Torrente Biedano

Il Sintema in oggetto comprende solo dall'Unità del T. Vesca del Distretto Vulcanico Sabatino (Funicello et al., in attesa di stampa - pubblicato sul web), che incide, con la superficie di base ad alto rilievo, i sedimenti dell'Unità del Fosso di San Savino (**SBM**).

Unità del Torrente Vesca (TVS₁)

Questa unità è presente in due limitati affioramenti sui rilievi di Ficoncella e Poggio Nebbia (**Tavola 1**; 142 I SE), in sinistra del F. Mignone, ed è costituita da un deposito con matrice cineritica vetrosa di colore rosso grigiastro 5R 4/2 che contiene scorie nere schiacciate, leucite, sanidino, pirosseni, plagioclasio, biotite, e litici di lava. Alla base affiora un deposito di surge con matrice cineritica, pomici grigie, e leucite in matrice vetrosa (Funicello et al., in attesa

di stampa - pubblicato sul web). I depositi di tale unità sono noti in letteratura come Peperini listati degli Autori, attribuiti alla parte inferiore del Tufo Rosso con Scorie Nere sabatino. Spessore 5 – 6 m. L'età è Pleistocene medio p. p.

Sintema Fiume Fiora

Il Sintema Fiume Fiora è composto solo dall'Ignimbrite A (Locardi, 1965) del Distretto Vulcanico di Vico, e mostra una superficie di base con alto rilievo che incide sia il membro calcareo argilloso del Flysch della Tolfa (**FYT₂**), sia i depositi piroclastici più antichi del Tufo Rosso con Scorie Nere vicano (**WIC**).

Ignimbrite A (WIA)

L'Ignimbrite A, che affiora nelle zone tra Villa San Giovanni in Toscana, Vetralla, Piano della Noce, Valle Caiana (Vetralla) (**Tavola 1**; 143 IV NO), comprende dalla base un livello di pomici pliniane con composizione fonolitica, cui seguono depositi di colata piroclastica con consistenza lapidea simile alla lava di colore grigio blu chiaro 5B 7/1 e rosso chiaro 5R 6/6 (Fig. 11), localmente soggetta ad alterazione superficiale secondaria di colore bianco N 9. In questi depositi si riconoscono tre unità di flusso che comprendono scorie grigie e nere frequentemente schiacciate e frammenti litici con ridotte dimensioni inglobati in matrice in parte saldata di colore grigio blu chiaro e rosso chiaro. Secondo Nappi et al. (2016) la composizione petrografica e chimica degli elementi juvenili consente di definire l'Ignimbrite A come fonolite tefritica. L'età è Pleistocene medio - superiore p. p. (Nappi et al., 2016; Funicello et al., in attesa di stampa - pubblicato sul web).



Figura 11 – L'Ignimbrite A in corrispondenza del Ponte delle Cese sulla Strada Provinciale 41 Blerana, ad est di Villa San Giovanni in Toscana, è costituita da tufo di colore rosso chiaro con scorie nere e consistenza lapidea. Il colore bianco è dovuto ad alterazione superficiale secondaria.

Sintema Fiume Marta

Il Sintema Fiume Marta comprende solo il Tufo Rosso con Scorie Nere vicano, la cui superficie di base è di rilievo molto alto, ed incide prevalentemente il membro calcareo argilloso del Flysch della Tolfa (**FYT₂**).

Tufo Rosso con Scorie Nere vicano (WIC)

Gli affioramenti principali di questa unità, che corrisponde all'Ignimbrite C di Locardi (1965), si rinvennero tra Vetralla (zona dei fossi Valle Paternostro - Acqua Fredda e Rio Secco), Blera, e il Fosso Biedano presso Civitella Cesi, lungo il T. Vesca, il F. Mignone, a Barbarano Romano (**Tavola 1**; 142 I NE, 142 I SE; 143 IV NO, 143 IV SO).

L'Unità del Tufo Rosso con Scorie Nere è composta da tre unità di colata piroclastica. Le prime due unità affiorano nelle zone più prossimali del Distretto Vulcanico di Vico. La terza unità, quella più tipica presente nei suddetti affioramenti, mostra consistenza lapidea ed una matrice cineritica di colore moderatamente rosso 5R 4/2, che contiene grosse scorie nere con leucite analcimizzata e sanidino (Fig. 12). Inoltre, nella matrice sono presenti clino pirosseno, plagioclasio, analcime, e litici di lava con composizione leucitico tefritica o fonolitico tefritica. L'età è Pleistocene medio - superiore p. p. (Nappi et al., 2016; Funicello et al., in attesa di stampa - pubblicato sul web).



Figura 12 – Il Tufo Rosso con Scorie Nere vicano a Civitella Cesi mostra la caratteristica matrice cineritica di colore rosso e le grosse scorie nere.

Unità oloceniche

Depositi eluviali e colluviali (b₂)

I depositi in oggetto sono costituiti da coltri in prevalenza sabbiose limose e limose prodotte ad opera dell'alterazione essenzialmente del membro calcareo argilloso del Flysch della Tolfa (**FYT₂**) nella zona di Macchia di Blera a SE di

Monte Romano, e del Tufo Rosso con Scorie Nere vicano (WIC) nella zona di Valle del Gatto – le Piane – Pontoncelli (**Tavola 1**; 142 I NE; 143 IV SO). L'età è Olocene.

Depositi alluvionali (b)

I sedimenti alluvionali attuali sono ubicati dentro il letto di magra dei corsi d'acqua principali, dei quali il più importante è il F. Mignone, e comprendono in prevalenza ghiaie con clasti calcarei e vulcanici, subordinatamente sabbie con corpi lenticolari di limi argillosi (**Tavola 1**; 142 I NE, 142 I SE; 143 IV NO, 143 IV SO). L'età è Olocene.

Detrito (a)

Questi depositi, messi in posto prevalentemente ad opera della gravità o per ruscellamento lungo i versanti, sono costituiti da materiale sciolto eterogeneo ed eterometrico (sabbie grossolane e ghiaie), in matrice sabbiosa e più raramente limoso argillosa. Sono presenti blocchi e massi derivanti dal Tufo Rosso con Scorie Nere vicano (**WIC**) nel versante destro del T. Vesca, dal membro calcareo del Flysch della Tolfa (**FYT₂**) a Poggio Cervario (est di Civitella Cesi), e dalle Lave di Casette Fatevoi (**LTL**) sul versante occidentale di Ripa Maiale, nelle zone di M. Sassicari e del Castagneto dei Cinque Bottini (Fig. 13), e sul versante orientale di M. Piantangeli (**Tavola 1**; 142 I SE; 143 IV SO).



Figura 13 – Coltre detritica (a) sulle lave dell'Unità di Casette Fatevoi lungo la strada interpodereale nella zona del Castagneto dei Cinque Bottini.

Deposito di frana (a₁)

Nell'area in esame è stato riconosciuto un limitato movimento franoso sul versante di Poggio Terrennuovo in destra del F. Mignone. Tale dissesto si è verificato in una zona di contatto tra il membro calcareo argilloso del Flysch della Tolfa (**FYT₂**) e il sovrastante membro conglomeratico di La Banditella (**PTZ₄**) dell'Unità di Poggio Terzolo (**Tavola 1** 142 I SE; 143 IV SO).

Tettonica

La scarsità di affioramenti significativi delle strutture tettoniche e dei relativi indicatori cinematici alla mesoscala non consente di ricostruire con sufficiente attendibilità le loro caratteristiche geometriche e cinematiche. Di conseguenza, la caratterizzazione geometrica delle strutture e l'interpretazione cinematica sono state dedotte essenzialmente in base alla ricostruzione stratigrafica.

Il membro calcareo – argilloso del Flysch della Tolfa (**FYT₂**) dell'area tra Fosso del Laghetto, il F. Mignone, e Macchia di Blera (segmento SO – NE della sezione A – A' della carta geologica allegata) mostra una sinclinale coricata e una anticlinale. Questa struttura tettonica si sviluppa in senso longitudinale per circa 5 km lungo il suo asse, orientato NO – SE, con vergenza orientale.

Nelle aree Macchia di Blera – Blera – Vetralla (segmenti OSO – ENE e SO – NE della sezione A – A' della **Tavola 2**) e Monte Romano – Casale Novo – Piano Morgano (sezione B – B' della **Tavola 2**) sono presenti anticlinali e sinclinali più o meno simmetriche (Nappi et al., 2016), con piano assiale orientato NO – SE, in cui si riconoscono antiformi e sinformi a scala decametrica e metrica. La dorsale tra Barbarano Romano e M. Cuoco (segmento ONO – ESE della sezione C – C' della **Tavola 2**) mostra l'anticlinale del membro calcareo – argilloso del Flysch della Tolfa (**FYT₂**) troncata da una faglia diretta con direzione N – S, il cui rigetto è stimato in diverse decine di metri (Nappi et al., 2016). Questa faglia, che mette in contatto l'anticlinale con la litofacies delle argilliti del Mignone (**FYT_{2a}**) intercalata nel membro calcareo argilloso del Flysch della Tolfa (**FYT₂**), è supportata dai dati gravimetrici di Toro (1978) nella carta delle anomalie residue del Lazio settentrionale. Localmente sono presenti strutture lineari dovute a *boudinage* negli strati di calcari manosi e calcareniti, e foliazioni connesse a clivaggio penetrativo nelle marne e argille, mentre nelle altre zone la struttura caotica e la bassa cilindricità degli affioramenti non evidenziano altre macrostrutture.

Negli affioramenti si rileva che gli elementi plicativi sono caratterizzati da geometrie di tipo concentrico con angolo di *interlimb* aperti e chiusi e con assi e piani assiali molto inclinati. Si evidenzia, inoltre, che: (i) la presenza di numerose intercalazioni con bassa competenza (argille) produce un effetto disarmonico, (ii) le mesopieghie sono caratterizzate da cilindricità ridotta, (iii) gli assi e i piani assiali privi di orientazione preferenziale indicano che gli affioramenti sono generalmente caotici, (iv) in alcuni

casi le mesopieghie possono essere connesse ad una frana sottomarina intraformazionale (*slump structure*), come segnalato da Chiocchini et al. (2023) nel membro **FYT**, del Flysch della Tolfa. Infine, gli angoli di interlimb chiusi delle strutture plicative maggiori suggeriscono la presenza di una superficie di scollamento alla base del Flysch della Tolfa con conseguente struttura disarticolata rispetto alla sottostante Unità della Falda Toscana.

Per quanto riguarda gli elementi tettonici fragili, costituiti da faglie dirette (sezioni della carta geologica), si evidenzia che sono poco numerosi, quindi non sufficienti per ricostruire l'assetto strutturale complessivo. Esistono elementi di distensione su piani orientati NO – SE con alto angolo e indizi di trascorrenza su piani con alto angolo e direzione variabile.

Diversi studi relativi ai sedimenti del Pliocene e Pleistocene inferiore nel Lazio nordoccidentale (Palieri et al., 1990; Carboni et al., 1994; Chiocchini & Potetti, 1998; Chiocchini, 2001; Chiocchini & Castaldi, 2009) hanno evidenziato come le litofacies siano caratterizzate dallo sviluppo di una successione di tipo regressivo, dai depositi di piattaforma del Pliocene inferiore a quelli di ambiente costiero del Pleistocene in conseguenza del sollevamento di questa area e con episodi di trasgressione e regressione di minore entità dovuti ai cicli climatici generali.

Pertanto, i caratteri principali dell'evoluzione tettonica dell'area in esame sono basati sugli elementi macroscopici più significativi, che mostrano assi con direzione NO – SE, in accordo con le principali direttrici tettoniche dell'orogenesi appenninica durante il Neogene.

ORCID

Ugo Chiocchini: <http://orcid.org.0000-0003-4106-3350>.

Ringraziamenti

La carta geologica e le sezioni sono una parte delle ricerche svolte dall'Autore durante la sua attività presso l'Università degli Studi della Tuscia, supportate anche dall'Associazione Nazionale per gli Interessi del Mezzogiorno d'Italia (ANI-MI). L'Autore è grato al comandante del Poligono di Monte Romano – 80° Reggimento “ROMA”, nella persona del colonnello Roberto Tosto, per l'autorizzazione ad accedere alla struttura dell'Esercito Italiano; al Prof. Alessandro Reina del Consiglio Nazionale dei Geologi per la possibilità di includere la carta geologica e le sezioni; a Luca Chiocchini e Erion Zhuzhuni per l'informatizzazione delle figure.

Riferimenti bibliografici

- AA. VV. (1983) North America Stratigraphic Code. AAPG Bull., 67, 841 – 875.
- Abbate E., Sagri M. (1970) The eugeosynclinal sequences. *Sedimentary Geology – Special Issue: Development of the Northern Apennines Geosyncline* edited by G. Sestini, 4, No 3-4, 251 – 340.
- Alberti A., Bertini M., Del Bono G., Nappi G., Salvati L. (1970) Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 136 Toscana e Foglio 142 Civitavecchia. Poligrafico & Cartevalori, Servizio Geologico d'Italia. Ercolano (Napoli), 141 p.
- American Geological Institute (2005) Glossary of Geology. Eds. Neuendorf K.K.E., Mehl J.P. Junior, Jackson J.A. Fifth Edition, 779 p.
- APAT-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico Nazionale (2007) Quaderni serie III, volume 7, Fascicolo VII. Carta Geologica d'Italia – 1: 50.000. Catalogo delle formazioni – Unità tradizionali. A cura di Cita M.B., Abbate E.,
- Baldi P., Decandia F.A., Lazzarotto A., Calami A. (1974) Studio geologico del substrato della copertura vulcanica laziale nella zona dei laghi di Bolsena, Vico e Bracciano. *Mem. Soc. Geol. It.*, 13, 575 – 606.
- Barberi F., Buonasorte G., Cioni R., Fiordalisi A., Foresi L., Iaccarino S., Laurenzi M. A., Sbrana A., Vernia L., Villa I. M. (1994) Plio-Pleistocene geological evolution of the geothermal area of Tuscany and Latium. *Mem. Soc. Geol. It.*, 15 (4), 575 – 606.
- Bertini M., D'Amico C., Deriu M., Tagliavini S., Vernia A. (1971) Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 100.000. Foglio 143 Bracciano. Servizio Geologico d'Italia. Nuova Tecnica Grafica, 77 p.
- Bettelli G. (1980) Le unità tettoniche del complesso ligure nell'area tra il F. Albegna e il F. Fiora (Toscana meridionale). *Mem. Soc. Geol. It.*, XXI, 157 – 161.
- Bettelli G. (1985) Geologia delle valli dei Fiumi Albegna e Fiora (Toscana meridionale). *Geologica Romana*, 24, 147 – 188.
- Bettelli G., Bonazzi U., Fazzini P. (1980 a) Il complesso alloctono ligure strutturale nella Toscana meridionale. *Mem. Soc. Geol. It.*, XXI, 137 – 141.
- Bettelli G., Fazzini P., Gelmini R. (1980 b) Evoluzione strutturale della Toscana meridionale. *Mem. Soc. Geol. It.*, XXI, 163 – 168.
- Bonazzi U., Fazzini P., Gasperi G. (1992) Note alla carta geologica del Fiume Albegna. *Boll. Soc. Geol. It.*, 341 – 354.
- Bortolotti V. (1963) Contributo alla conoscenza della stratigrafia della serie della Pietraforte-Alberese. *Boll. Soc. Geol. It.*, 81 (2), 225 – 304.
- Bosellini A., Mutti E., Ricci Lucchi F. (1989) Rocce e successioni sedimentarie. UTET, Torino, XVI – 396 p.
- Campbell B. (1967) Lamina, laminaset, bed, and bedset. *Sedimentology*, 8, 7 – 26.
- Carboni M. G., Conti M. A., Esu D. (1993) The Neoautochthonous Cycles (Plio – Pleistocene). In: De Filippo M. Ed. Sabatini Volcanic Complex. Consiglio Nazionale delle Ricerche. Quaderni della Ricerca Scientifica, 114, 28 – 32.
- Carboni M. G., Conti M. A., Esu D. (1994) Dati preliminari sull'evoluzione geologica della fascia costiera tirrenica del Lazio settentrionale durante il Pliocene. *Mem. Descr. Carta Geol. d'It.*, 49, 177 – 188.
- Chiocchini U. (1994 – 1995) Analisi di facies ed interpretazione paleoambientale della successione terrigena mio-pliocenica affiorante nell'area compresa tra Blera e il F. Mignone (provincia di Viterbo, Lazio nord-occidentale). Tesi di laurea sperimentale in sedimentologia, Università degli Studi di Roma La Sapienza, 110 p.
- Chiocchini U. (2001) Le arenite ibride del bacino di Tarquinia: significato e rapporti con le fasi eustatiche e la tettonica. *Boll. Soc. Geol. It.*, 120, 47 – 54.
- Chiocchini U., Potetti M. (1998) Caratteri sedimentologici e stratigrafici delle Calcarenitidi di Tarquinia (provincia di Viterbo). *Boll. Serv. Geol. d'It.*, CXVII, 33 – 52.
- Chiocchini U., Madonna S. (2005) Nuovi dati stratigrafici sulle unità cretaceo-paleogeneiche di Viterbo. *Rend. Soc. Geol. It.*, 1 (nuova serie), 19 – 28. *Rend. Soc. Geol. It.*, 1, Nuova Serie, 19 – 28.
- Chiocchini U., Madonna S., Carnicelli S., Portoghesi L. (2005) Studio geologico e pedologico dell'area di Macchia Blera (provincia di Viterbo) a supporto di un piano di gestione del bosco. *Rend. Soc. Geol. It.*, 1, Nuova Serie, 19 – 28. *Rend. Soc. Geol. It.*, 1, Nuova Serie, 3 – 17.
- Chiocchini U., Castaldi F. (2009) Caratteri sedimentologici e composizionali delle ghiaie del sintema di Poggio Martino, Bacino Plio-Pleistocenico di Tarquinia, Italia centrale. *Italian Journal of Geosciences (Boll. Soc. Geol. It.)*, 128, No 3, 695 – 713.
- Chiocchini U., Manna F., Portoghesi L. (2023) L'acquedotto dell'imperatore Traiano per il porto di Centumcellae, oggi Civitavecchia, nel contesto ambientale dei Monti della Tolfa, Italia centrale. *Geologia Tecnica & Ambientale*, 1, 40 – 72.
- Civitelli G., Corda L. (1982) Nuovi dati sulla Pietraforte: sue caratteristiche e rapporti con i flysch calcarei dell'area tolletana. *Geologica Romana*, 21, 191 – 216.
- Civitelli G., Corda L. (1993) The Allochthonous Succession. In: Quaderni de "La Ricerca Scientifica", 114, Progetto Finalizzato "Geodinamica" Monografie Finali, Vol. 11, Sabatini Volcanic Complex, Edited by M. Di Filippo. Roma, Consiglio Nazionale delle Ricerche, 19 – 28.
- Consiglio Nazionale delle Ricerche (1990) Structural Model of Italy. Progetto Finalizzato Geodinamica. S.E.L.C.A., Firenze.
- Costantini A., Lazzarotto A., Liotta D., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatore G. (2002) Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. Foglio 306 Massa Marittima. ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - Servizio Geologico d'Italia, 174 p. S.E.L.C.A., Firenze.
- Dallan Nardi L., Nardi R. (1974) Schema stratigrafico dell'Appennino settentrionale. *Mem. Acc. Lunig. Sc.*, 42, 1 – 212.
- De Rita D., Di Filippo M., Sposato A. (1993) Geological map of the Sabatini Volcanic Complex (scale 1: 50,000) In: Quaderni de "La Ricerca Scientifica", 114, Progetto Finalizzato "Geodinamica" Monografie Finali vol. II Sabatini Volcanic Complex, Edited by M. Di Filippo Roma, Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- De Rita D., Bertagnini A., Carboni M.G., Ciccacci S., Di Filippo M., Faccenna C., Fredi P., Funicello R., Sciacca P., Vannucci N., Zarlunga F. (1994) Geological-petrographical evolution of the Ceriti Mountains area (Latium, Central Italy). *Mem. Descr. Carta Geol. d'It.*, 49, 291 – 322.
- De Rita D., Bertagnini A., Faccenna C., Landi P., Rosa C., Zarlunga F., Di Filippo M., Carboni M.G. (1997) Evoluzione geopetrografica-strutturale dell'area tolletana. *Boll. Soc. Geol. It.*, 116, 143 – 175.
- De Rita D., Fabbri M., Giordano G., Rodani S., Trigari A. (2000) L'utilizzo delle unità stratigrafiche a limiti inconformi in ambiente vulcanico e vulcanoclastico: proposta di una metodologia di terreno e di organizzazione informatica dei dati. *Boll. Soc. Geol. It.*, 119, 749 – 760.
- De Rita D., Fabbri M., Mazzini I., Paccara P., Sposato A., Trigari A. (2002) Volcaniclastic sedimentation in coastal environments: interplay between volcanism and Quaternary Sea level change. *Quaternary International*, 95, 96, 141 – 154.
- Devoto G., Lombardi G. (1977) Le formazioni sedimentarie ed eruttive del settore Tolfetano-Cerite (Lazio nord-occidentale). *Quad. Acc. Naz. Lincei*, 227 (2), 1-35.
- Fazzini P., Gelmini R., Mantovani P., Pellegrini M. (1972) Geologia dei Monti della Tolfa (Lazio Settentrionale; provincia di Viterbo e Roma). *Mem. Soc. Geol. It.*, XI, 65 – 144.
- Fazzini P., Gardin S. (1994) Ipotesi sull'evoluzione paleogeografica delle Liguridi esterne nella Toscana meridionale. Congresso Nazionale Società Geologica Italiana. Riassunti, 73 – 75.
- Ferrini V., Lombardi G., Morbidelli L., Negretti G.C. (1970) Studio geopetrografico del complesso vulcanico tolletano-cerite (Lazio). VI. Le manifestazioni ipoabissali. *Ist. Petr. Università di Roma*.
- Funicello R., De Rita D., Sposato A., Esposito A., Fabbri M., Marsili P., Mazzini I., Paccara P., Trigari A. (in attesa di stampa – pubblicato

- sul web) Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. Foglio 354 Tarquinia. ISPRA-Servizio Geologico d'Italia, 170 p.
- Gardin S. (1992) Biostratigrafia a nannofossili calcarei delle unità tolfetane nell'area tipo e nella Toscana meridionale. Implicazioni geologiche. Tesi di Dottorato di Ricerca, Università degli Studi di Bologna.
 - Geological Society of America (1991) Rock-Color Chart. Geological Society of America.
 - ISPRA-Servizio Geologico d'Italia (2016) Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. Foglio 355 Ronciglione.
 - ISPRA-Servizio Geologico d'Italia (in attesa di stampa - pubblicato sul web) Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. Foglio 344 Toscana.
 - ISPRA-Servizio Geologico d'Italia (in attesa di stampa - pubblicato sul web) Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. Foglio 345 Viterbo.
 - ISPRA-Servizio Geologico d'Italia (in attesa di stampa - pubblicato sul web) Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. Foglio 354 Tarquinia.
 - Lauro C., Negretti G.C., Morbidelli L., Lombardi G. (1965) I. Studio geopetrografico del complesso vulcanico tolfetano-cerite. Lineamenti geotutturali della Tuscia Romana centro-occidentale, con particolare riguardo alle regioni tolfetana, cerite e manziate, e notizie bibliografiche. Istituto di Petrografia Università di Roma, 53 p.
 - Lauro C., Negretti G.C. (1969) Il vulcanismo della tuscia romana: le manifestazioni vulcaniche acide del settore centro-occidentale. Istituto di Petrografia Università di Roma.
 - Locardi E. (1965) Tipi di ignimbriti di magmi mediterranei: le ignimbriti del vulcano di Vico. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., 72 a, 55 – 173.
 - Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Woolley A.R. (1992) The construction of the total alkali-silica chemical classification of volcanic rocks. Mineral. Petr., 46, 1 – 22.
 - Lombardi G., Morbidelli L., Negretti G.C. (1965 a) Lineamenti geopetrografici e strutturali degli affioramenti vulcanici del settore tolfetano (Lazio). Rend. Soc. Min. Ital., 21, 151-156.
 - Lombardi G., Morbidelli L., Negretti G.C. (1965 b) Gli affioramenti eruttivi della Tolfaccia (Monti della Tolfa). Rend. Soc. Min. Ital., 21, 157-164.
 - Lombardi G., Morbidelli L., Negretti G.C. (1974) Età delle vulcaniti acide dei complessi Tolfetano, Cerite e Manziate (Lazio Nord-occidentale). Per. di Min., 43, 181 – 204.
 - Losacco U. (1958) Osservazioni geologiche sulle arenarie della Toscana meridionale. Boll. Soc. Geol. It. 77 (2), 43 – 75.
 - Lowe D. R. (1982) Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. Journ. Sed. Petrol., 49, 553 – 562.
 - Malesani P. (1966) Ricerche sulle arenarie XIV: la formazione di Sillano. Boll. Soc. Geol. It., 85 (2), 371 – 402.
 - Marcucci M., Gardin S. (1992) The Fosso Cupo Formation: redefinition and new age data from radiolarian and nannoplankton biostratigraphy. Cretaceous Research, 13, 549 – 563.
 - Nappi G., Mattioli M., Valentini L., Chiocchini U. (2016) Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. Foglio 355 Ronciglione. ISPRA - Servizio Geologico d'Italia, 175 p.
 - Negretti G.C., Lombardi G., Morbidelli L. (1966) Studio geopetrografico del complesso Tolfetano-Cerite. IV. Le manifestazioni vulcaniche acide del settore Cerite. Istituto di Petrografia Università di Roma.
 - Negretti G.C., Morbidelli L. (1963) Studio geopetrografico del complesso Tolfetano-Cerite. III. Le manifestazioni vulcaniche acide del settore civitavecchiese-tolfetano. Istituto di Petrografia Università di Roma.
 - Palieri L., Raffi I., Sposato A. (1990) Dati preliminari sul Pliocene nella fascia costiera del Lazio settentrionale. Rend. Soc. Geol. It., 13, 11 – 114.
 - Palieri L., Sposato A. (1988) Segnalazione di fauna a Strombus Bubonius nell'area compresa tra Tarquinia e Montalto di Castro. Il Quaternario, 1 (2), 161 – 166.
 - Peccerillo A. (2005) Plio-Quaternary volcanism in Italy. Petrology, Geochemistry, Geodynamics (Vol. 365). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
 - Peccerillo A., Donati C. (2003) The Tuscan Magmatic Province. Per. Mineral. 72, Special Issue, 27 – 39.
 - Studi della Tuscia, Facoltà di Agraria, 87 p.
 - Pettijohn F. J., Potter P. E., Siever R. (1987) Sand and sandstone. II edition, Springer-Verlag, 553 p.
 - Pinarelli L. (1991) Geochemical and isotopic (Sr, Pb) evidence of crust-mantle interaction in acid melts – Tolfa-Cerveteri-Manziana volcanic complex (central Italy): a case story. Chemical Geology, 92, 177 – 195.
 - Pietrangeli S. (2004/2005) Relazione tra substrato geologico, tipi di suoli e vegetazione forestale nell'area di Macchia della Turchina, Comuni di Monte Romano e Tarquinia, provincia di Viterbo. Tesi di Laurea sperimentale in sedimentologia, Università degli Studi La Sapienza, 108 p.
 - Poli G., Frey F.A., Ferrara G. (1984) Geochemical characteristics of the south Tuscany (Italy) Volcanic Province: constraints on lava petrogenesis. Chem. Geol., 43, 203 – 221.
 - Salvador A. (1987a) Unconformity Bounded Stratigraphic Units. Geol. Soc. Am. Bull., 98, 232 – 237.
 - Salvador A. (1987b) Stratigraphic classification and nomenclature of igneous and metamorphic rock bodies. ISSC. Geol. Soc. Am. Bull., 99, 440 – 442.
 - Serri G., Innocenzi F., Manetti P., Tonarini S., Ferrara G. (1992) Il magmatismo neogenico-quadernario dell'area toso-laziale-umbra: implicazioni sui modelli di evoluzione geodinamica dell'Appennino settentrionale. Studi Geologici Camerti, volume speciale, 1991/1, 429-463.
 - Servizio Geologico d'Italia (1969 a) Carta Geologica d'Italia. Foglio 136 Toscana. II edizione. Litografia Artistica Cartografica – Firenze.
 - Servizio Geologico d'Italia (1969 b) Carta Geologica d'Italia. Foglio 142 Civitavecchia. II edizione. Poligrafica & Cartevalori – Ercolano (Napoli).
 - Servizio Geologico d'Italia (1970) Carta Geologica d'Italia. Foglio 143 Bracciano. II edizione. Poligrafica & Cartevalori – Ercolano (Napoli).
 - Servizio Geologico Nazionale (1992) Carta Geologica d'Italia – 1: 50.000. Guida al Rilevamento. Quaderni serie III, volume 1. A cura del Consiglio Nazionale delle Ricerche – Commissione per la Cartografia Geologica e Geomorfologica. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 203 p.
 - Servizio Geologico Nazionale (1994) Carta Geomorfologica d'Italia – 1: 50.000. Guida al Rilevamento. Quaderni serie III, volume 4. A cura del Gruppo di Lavoro per la Cartografia Geomorfologica. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 42 p.
 - Servizio Geologico Nazionale (1996) Carta Geologica d'Italia – 1: 50.000. Guida alla Rappresentazione Cartografica. Quaderni serie III, volume 2. A cura di Gruppo di Marina Cosci, Silvana Fascetti, Domenico Tacchia – Servizio Geologico Nazionale – Ufficio Informatica e Produzione Editoriale. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 97 p.
 - Sestini G., Bruni P., Sagri M. (1986) The flysch basins of the Northern Apennines: a review of facies and of Cretaceous Neogene evolution. Mem. Soc. Geol. It., 31, 87 – 106.
 - Toro B. (1978) Anomalie residue di gravità e strutture profonde nelle aree vulcaniche del Lazio settentrionale. Geologica Romana, 55, 33 – 54.
 - Valloni R., Amorosi A., Casu U., De Donatis M., Di Nardo M., Farina M., Ghiselli F., Martelli L., Marini A., Ottria G., Piccini A., Pizzolo M., Severi P. (1991) Proposta di classificazione macroscopica delle areniti. Acta Naturalia de l'Ateneo Parmense, 27, 1 – 22.
 - Van Bergen M.J. (1984) Magmas and inclusions of Monte Amiata, Tuscany, Italy. Geologica Ultraiectina, 37, 175 p.
 - Vollmer R. (1977) Isotopic evidence for genetic relations between acid and alkaline rocks in Italy. Geoch. Cosm. Acta, 40, 283-295.
 - Walker R. G. (1982) Sphericity and roundness of rock particles. Journ. Geol., 40, 443 – 451.



MASSENZA
DRILLING RIGS

Impianti di perforazione
dal 1921

+100 YEARS
SINCE 1921
MADE IN ITALY

I nostri campi di applicazione:

Pozzi d'acqua
Geotecnica
Geotermia
Ricerche minerarie
Sismica
Fondazioni
Micropali e Ancoraggi





SARA ELECTRONIC INSTRUMENTS

IL TUO PARTNER IDEALE PER LA GEOFISICA

Semplifica il tuo lavoro con un unico interlocutore per strumenti e software di elaborazione.
Contattaci per esplorare le nostre soluzioni flessibili, modulari, competitive.

DoReMi©:

Sismografo modulare

a telemetria digitale.
Data quality check
direttamente in sito.



SSDH:

Nuova sonda slim per
indagini **downhole** con
cavo e sonda separabili.



GEOBOX:

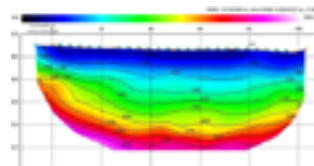
Il sensore ideale per
indagini **HVSR**.
Curva HV in tempo reale!



GEOEXPLORER:

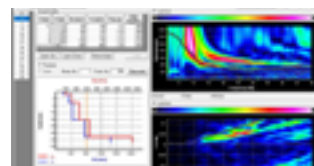
La soluzione completa
per la classificazione
della **categoria
di suolo**.

Licenze lifetime senza
canoni annuali.



Tecniche di:

- rifrazione
- hvsr
- masw
- downhole
- tomografia
- vibrazioni
- ricerche acquiferi



RICHIEDI UNA DEMO!



www.sara.pg.it



Via Angelo Morettini,
11 06128 Perugia (PG), Italia



+39 075 5051014



info@sara.pg.it



Un approccio alla definizione dei parametri di resistenza al taglio in argilliti anisotrope.

An approach to defining shear strength parameters in anisotropic clay rocks.

Eros Aiello | CGT - Centro di GeoTecnologie dell'Università di Siena
Francesco Amantia Scuderi | Libero professionista



Termini chiave: Anisotropia, argilliti

Keywords: Anisotropy, shale, clay rocks

Shear strength of rock materials is a key parameter for assessing the stability of rock masses and designing geotechnical and structural works. This article investigates the mechanisms governing shear behavior in rocks, distinguishing between shear along discontinuities and through intact rock matrix. It reviews major theoretical models, including Mohr-Coulomb, Barton-Bandis, and Hoek-Brown, with attention to cohesion, internal friction, surface roughness, and fluid presence.

The article outlines laboratory and field testing methods, referencing international standards (ASTM, ISRM), and offers a critical analysis of the factors influencing actual shear strength. Through case studies and practical applications, it highlights design implications in areas such as slope stability, tunnel construction, and foundations on rocky substrates. This contribution is intended for geotechnical and structural professionals, providing interpretative and operational tools for evaluating shear strength in real-world contexts.

Riassunto

La resistenza al taglio dei materiali lapidei rappresenta un parametro fondamentale per la valutazione della stabilità di ammassi rocciosi e per la progettazione di opere geotecniche e strutturali. Questo articolo analizza i meccanismi che governano il comportamento al taglio delle rocce, distinguendo tra taglio lungo superfici di discontinuità e taglio attraverso la matrice rocciosa. Vengono esaminati i principali modelli teorici, tra cui Mohr-Coulomb, Barton-Bandis e Hoek-Brown, con riferimento alle condizioni di

coesione, attrito interno, rugosità e presenza di fluidi.

L'articolo descrive le metodologie di prova in laboratorio e in situ, con particolare attenzione alle normative internazionali (ASTM, ISRM), e propone un'analisi critica dei parametri che influenzano la resistenza al taglio effettiva. Attraverso casi studio e applicazioni pratiche, si evidenziano le implicazioni progettuali in ambiti quali la stabilità di pendii rocciosi, la progettazione di gallerie e fondazioni su substrati lapidei. Il contributo si rivolge a professionisti del settore geotecnico e strutturale, offrendo strumenti interpretativi e operativi per la valutazione della resistenza al taglio in contesti reali.

Introduzione

La definizione della resistenza al taglio nelle formazioni dotate di spiccata anisotropia strutturale costituisce, in geotecnica, uno dei problemi di non semplice soluzione, giacché tale caratteristica può dipendere sia a livello microscopico dagli assetti tessiturali e strutturali dei granuli che compongono il litotipo in esame, sia a livello macroscopico dalla configurazione stratigrafica della formazione in esame.

La comprensione dei meccanismi di resistenza al taglio in rocce richiede l'integrazione di modelli teorici, prove sperimentali e osservazioni geologiche. I criteri classici, come Mohr-Coulomb, Barton-Bandis e Hoek-Brown, offrono strumenti interpretativi utili, ma devono essere calibrati in funzione delle condizioni geomeccaniche locali, della mineralogia, della morfologia delle superfici di discontinuità e della presenza di fluidi interstiziali.

Oltre ai modelli teorici di resistenza al taglio, è fondamentale considerare il comportamento volumetrico delle discontinuità rocciose, in particolare la tendenza alla dilatazione o alla contrazione durante il processo di taglio, che incide direttamente sulla risposta meccanica e sulla stabilità dell'ammasso roccioso.

Nel contesto della resistenza al taglio dei materiali lapidei, il comportamento dilatante o contraente delle rocce rappresenta una variabile cruciale nella definizione della risposta meccanica lungo superfici di discontinuità. Le rocce dilatanti, caratterizzate da asperità interbloccanti e superfici rugose, tendono ad aumentare il volume durante il taglio, generando una componente di resistenza addizionale legata alla dilatazione volumetrica. Questo fenomeno si traduce in un incremento dell'angolo di attrito mobilitato e può influenzare significativamente

la stabilità iniziale di pendii e strutture in roccia.

Al contrario, le rocce contraenti, spesso levigate, alterate o saturate, mostrano una tendenza alla riduzione volumetrica durante il taglio, con conseguente diminuzione della resistenza tangenziale. In questi casi, il comportamento meccanico è dominato da meccanismi di scorrimento plastico, con minore capacità di interblocco e maggiore propensione allo sviluppo di superfici di rottura persistenti.

La corretta identificazione del comportamento dilatante o contraente è essenziale in fase di prova e modellazione (cfr. Tabella 1), poiché incide sulla stima dei parametri di resistenza e sulla scelta del criterio di rottura più appropriato. In particolare, i modelli empirici come Barton-Bandis integrano la dilatazione nel calcolo della resistenza al taglio, mentre i criteri più classici, come Mohr-Coulomb, richiedono una calibrazione specifica per tenere conto di tali effetti.

Caratteristica	Rocce Dilatanti	Rocce Contraenti
Comportamento volumetrico	Aumento di volume durante il taglio (dilatazione)	Riduzione di volume durante il taglio (contrazione)
Superficie di discontinuità	Rugosa, con asperità interbloccanti	Levigata, alterata, con scarsa rugosità
Resistenza al taglio	Maggiore resistenza apparente, incremento dell'angolo di attrito	Minore resistenza, comportamento più plastico
Influenza dei fluidi	Ridotta se la superficie è asciutta; può diminuire la dilatazione se satura	Elevata: i fluidi facilitano lo scorrimento e riducono la coesione
Modello teorico più adatto	Barton-Bandis (include dilatazione)	Mohr-Coulomb (con parametri ridotti o corretti)
Implicazioni progettuali	Maggiore stabilità iniziale, ma rischio di perdita di resistenza post-rottura	Comportamento più prevedibile, ma con minori margini di sicurezza
Applicazioni tipiche	Versanti rocciosi con fratture attive, gallerie con interblocco strutturale	Fondazioni su rocce alterate, pendii con superfici di scorrimento consolidate

Tabella 1 – Caratteristiche delle rocce dilatanti e contraenti

In Figura 1 si riporta un diagramma esplicativo concettuale che confronta il comportamento delle rocce dilatanti e rocce contraenti in relazione alla resistenza al taglio.

Figura 1 – Resistenza al taglio delle rocce dilatanti e contraenti



Le rocce dilatanti mostrano un incremento iniziale della resistenza dovuto all'interblocco delle asperità, seguito da un plateau. Le rocce contraenti evidenziano una riduzione progressiva della resistenza per effetto della frantumazione, della lubrificazione e della perdita di coesione. Il comportamento dilatante o contraente di una roccia durante il taglio non è di per sé sinonimo di maggiore o minore resistenza al taglio; esso dipende da come e perché avviene la dilatazione o la contrazione (cfr. Tabella 2).

tale configurazione l'applicazione di uno sforzo di taglio mobilita superfici di rottura lungo le direzioni di minor resistenza, dati dai piani che separano i granuli dei fillosilicati, paralleli alla stratificazione; in direzione ortogonale la mobilitazione di superfici di taglio richiede uno sforzo nettamente superiore poiché deve provocare la "rottura" (taglio) dei granuli lamellari. Una classica configurazione macroscopica di una formazione altamente anisotropa è data dalla sovrapposizione

Tipo di comportamento	Effetto sulla resistenza al taglio	Motivazione
Dilatante	Aumento della resistenza apparente	L'interblocco tra asperità richiede energia per essere superato, causando dilatazione e maggiore attrito
Contraente	Riduzione della resistenza	Le superfici levigate o sature si compattano, facilitando lo scorrimento

Tabella 2 - Tipo di comportamento al taglio delle rocce

Questa è la base del modello Barton-Bandis, che considera la dilatazione come un contributo positivo alla resistenza al taglio. Inoltre vanno considerati contemporaneamente il comportamento fragile e quello duttile dei materiali (cfr. Tabella 3).

irregolare di bancate litoidi ed argillitiche dei flysch; anche in questo caso una superficie di taglio parallela alla stratificazione si mobilita facilmente lungo i piani di minore resistenza al taglio, in corrispondenza dei livelli di argilliti; viceversa per piani ortogonali alla stratificazione una su-

Comportamento	Deformazione volumetrica	Resistenza al taglio	Tipo di roccia
Fragile-dilatante	Aumento di volume	Picco + plateau	Rocce dure, fratturate con asperità
Fragile-contraente	Riduzione di volume	Picco basso + calo	Rocce levigate, alterate
Duttile-contraente	Riduzione graduale di volume	Nessun picco, curva piatta	Rocce foliate, profonde

Tabella 3 - Comportamento fragile e duttile delle rocce

L'aspetto appena trattato sarà oggetto di approfondimenti in un prossimo articolo. In precedenza, si è detto che nelle formazioni dotate di spiccata anisotropia strutturale tale caratteristica può dipendere sia dagli assetti tessiturali e strutturali dei granuli che compongono il litotipo in esame, sia dalla configurazione stratigrafica della formazione in esame. Un esempio è dato dalle le argille con struttura orientata, in cui i granuli con forma lamellare dei fillosilicati (minerali argillosi quali montmorillonite, illite, etc..) sono disposti parallelamente al piano di stratificazione; in

perficie di taglio deve attraversare sia gli strati di argilliti, sia le bancate litoidi, con uno sforzo di taglio che dipende dalle discontinuità presenti nell'ammasso litoidi. Fenomeni del tutto simili si riscontrano anche in rocce semi-metamorfiche con struttura a scaglie orientate, quali le filladi e gli scisti e anche nelle argille a scaglie (argille scagliose auctorum). Molti Autori hanno affrontato l'argomento in questione studiando le modalità esplicative delle superfici di taglio nelle varie direzioni rispetto ai piani di stratificazione. Tale concetto è visualizzato nella Figura 2, ove sono

riportati qualitativamente i risultati di prove effettuate su campioni prelevati con differenti inclinazioni rispetto al piano di stratificazione predominante (da P. CONTI, 2015; RIDISEGNATO); in detta figura la resistenza al taglio di una roccia anisotropa risulta minima quando la superficie di anisotropia (superficie di strato) è parallela alla superficie di taglio preferenziale (nella figura corrisponde all'angolo $\delta = 30^\circ$).

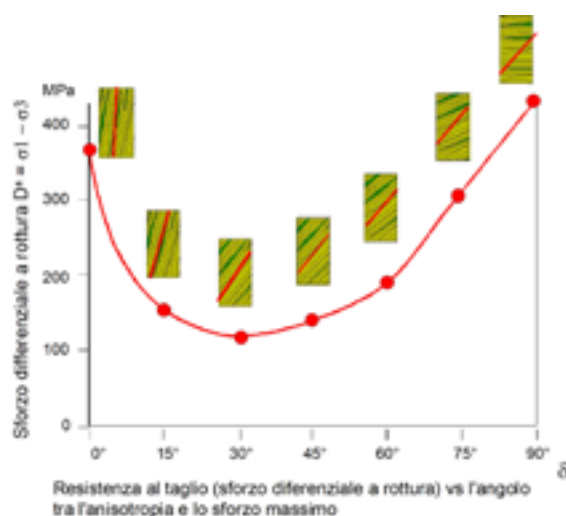


Figura 2 – Resistenza al taglio rispetto all'angolo tra l'anisotropia e lo sforzo principale massimo [1]

La resistenza al taglio risulterà invece massima allorché la roccia dovrà rompersi secondo piani di fratture che tagliano le superfici di strato, come il caso in figura in cui l'angolo $\delta = 90^\circ$.

BILLOTTA E. & UMILTÀ G. (1980) hanno analizzato il comportamento meccanico delle argille a scaglie (località Bifarera tra i Comuni di Marone e Corleone e Piano del Campo in prossimità degli abitati di S. Cipirello e S. Giuseppe Jato in Sicilia), con scaglie sia appiattite che romboedriche, effettuando numerose prove triassiali e di taglio diretto, da cui è emerso che l'andamento delle curve sforzi-deformazioni è strettamente legato alle dimensioni delle scaglie di argille ed alla struttura generale del materiale testato. In particolare hanno analizzato il comportamento meccanico di campioni con scaglie di forma appiattita, con struttura isorientata, dello spessore dell'ordine del mm e di dimensione massima inferiore al cm (provini designati come AS1), e di campioni con

scaglie di forma prismatica o affusolata con dimensione centimetrica (provini designati come AS2). I valori di resistenza al taglio sono risultati sempre più elevati per i terreni con scaglie più grosse (AS2), con $c' \approx 31 \div 33$ kPa e $\varphi' \approx 24^\circ \div 26^\circ$, mentre per i campioni AS1 si ha $c' \approx 12 \div 27$ kPa e $\varphi' \approx 19^\circ \div 24^\circ$.

Il comportamento anisotropo delle argille marnose a scaglie è stato ancora oggetto di studio da BILLOTTA E. (1986), sottoponendo a prove di taglio diretto, con piano di taglio sia parallelo (P) che normale (N) al piano di clivaggio, coincidente con il piano di stratificazione, dei campioni della formazione di S. Cipirello del Miocene Medio-Serravalliano (Sicilia). È stata riscontrata una differenza tra l'angolo di attrito per taglio normale (N) e parallelo (P) da $\varphi' = 24^\circ$ a $\varphi' = 17^\circ$, con coesione efficace prossima a zero; tale condizione è probabilmente dovuta al fatto che le superfici di taglio si mobilitano lungo le discontinuità esistenti tra le singole scaglie, in cui la resistenza al taglio è riferibile solo all'attrito reciproco tra le superfici delle stesse.

L'influenza delle caratteristiche strutturali sull'anisotropia delle rocce è stata trattata in un lavoro di CREA C., MARTINO D., RIBACCHI R. (1980) in cui viene dimostrato come l'influenza delle microfessure ad orientamento non casuale sia determinante nel comportamento elastico del mezzo; le microfessure aperte inducono nella roccia un comportamento di tipo ortotropo (cioè caratterizzato da proprietà meccaniche indipendenti nelle tre direzioni reciprocamente perpendicolari), mentre quelle chiuse inducono nella roccia un comportamento elastico non lineare con simmetria risultante di tipo triclinico (totalmente anisotropo). NOVA R. (1979) analizza la resistenza al taglio in condizioni non drenate nelle argille, individuando come essa dipenda, oltre che dal grado di consolidazione, anche dall'angolo δ dell'asse del carotaggio per il prelievo dei campioni. Dall'assunzione di un modello costitutivo che tiene conto solo dell'anisotropia strutturale, risulta possibile prevedere qualitativamente e in alcuni casi anche quantitativamente l'andamento della resistenza al taglio non drenata C_u nelle argille normalmente consolidate.

Nel presente lavoro si analizzano le probabili modalità con cui si possono mobilitare i piani di taglio nelle formazioni con particelle o granuli orientati, come nelle argilliti a scaglie, in cui le superfici possono essere sia di stratificazione che di clivaggio, come nelle filladi e scisti, o ancora nelle formazioni costituite da alternanze tra litotipi con caratteristiche meccaniche differenti, quali i flysch, in cui

1 Figura ridisegnata, tratta da P. Conti (2015) – *Analisi Geomeccanica* – Università di Siena – Centro di GeoTecnologie

l'alternanza tra argilliti e bancate litoidi conferisce ad essi una anisotropia di grado molto elevato.

Viene, quindi, valutato il comportamento meccanico delle argilliti anisotrope, semplificato e schematizzato sulla base delle seguenti osservazioni e considerazioni:

- le superfici di taglio parallele ai piani di stratificazione si mobilitano sempre in corrispondenza dei livelli meno resistenti, come nel caso degli orizzonti di argilliti nelle alternanze dei flysch; (cfr. Figura 3.a); nell'ambito delle stesse argilliti, se costituite da una struttura di fillosilicati orientata, le superfici di taglio di minore resistenza sono quelle parallele alla dimensione
- maggiore delle particelle che compongono le argille;
- le superfici di taglio ortogonali alla stratificazione devono attraversare necessariamente tutte le facies litologiche che compongono la formazione, siano esse date da argilliti che da bancate litoidi; in questo caso le superfici si mobilitano in gran parte lungo le discontinuità esistenti, normali ai piani di strato (cfr. Figura 3.b);
- superfici di taglio comunque inclinate si mobilitano lungo piani complessi, costituiti dall'involuppo a "gradini" di piani ortogonali e paralleli alla stratificazione, soprattutto lungo le discontinuità presenti nell'ammasso (cfr. Figura 3.c).

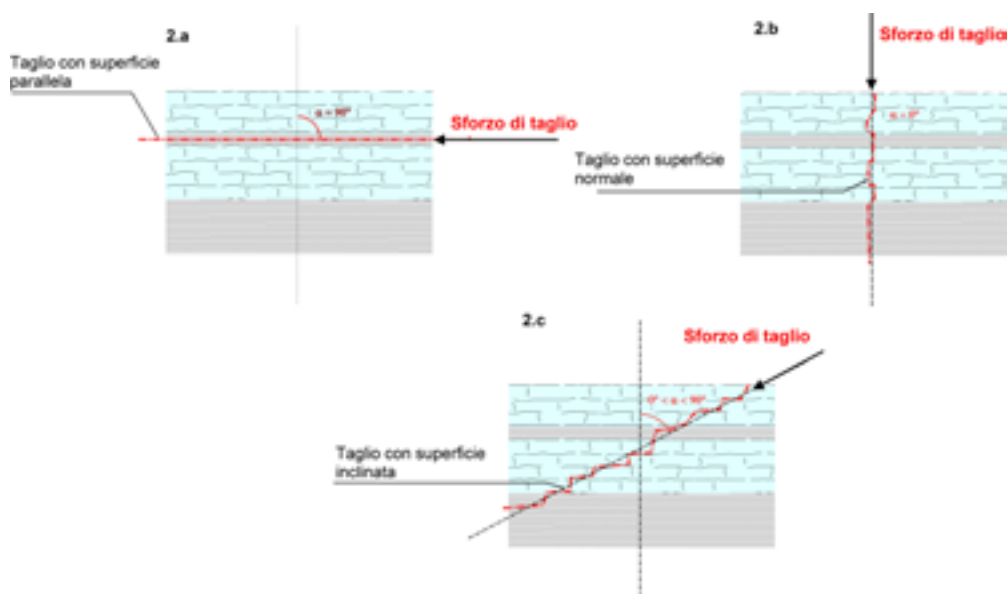


Figura 3 – Superfici di taglio

Argille ed argilliti

Nelle *argille* l'anisotropia a livello *microscopico* è data dalla configurazione geometrica dei fillosilicati, cui appartengono i minerali argillosi, che si dispongono secondo dei "fogli" (fillosilicati = silicati a fogli) con struttura tetraedrica (T) Figura 4a) o ottaedrica (O) (Figura 4b)

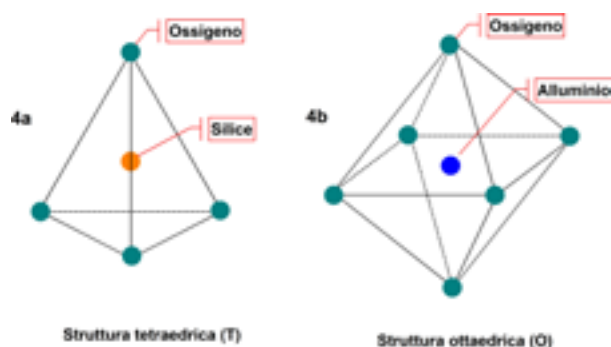


Figura 4 – Disposizione tetraedrica ed ottaedrica delle particelle di argilla

Si vengono così a formare dei piani tetraedrici (Figura 5a) o ottaedrici (Figura 5b) variamente sovrapposti, che danno luogo ai vari tipi di minerali argillosi, tra cui i principali sono:

- *Caolinite*, minerale argilloso di alluminio, che ha una struttura a doppio strato con struttura T-O
- *Montmorillonite*, minerale di alluminio e magnesio, con struttura a tre strati (T-O-T)
- *Illite*, minerale potassico, chimicamente simile alla mica muscovite, anch'essa a tre strati (T-O-T).

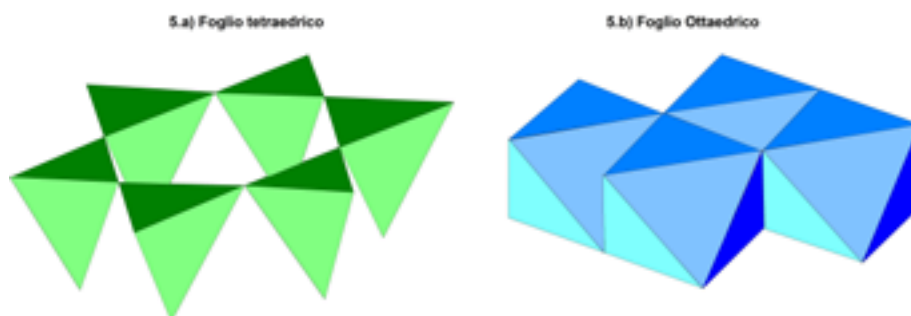


Figura 5 [2] – Assemblaggio dei “fogli” tetraedrici (T) ed ottaedrici (O) dei fillosilicati

L'anisotropia di comportamento meccanico nelle argille è variabile in relazione all'orientamento delle particelle, che può essere di tipo “*disperso*” (Figura 6.a), “*flocculato*” (Figura 6.b), “*semi-orientato*” (Figura 6.c) o “*orientato*” (Figura 6.d); la struttura caratterizzata da anisotropia più elevata è quella *orientata*.

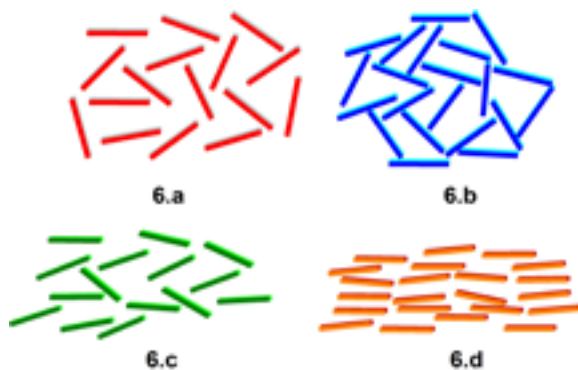


Figura 6 – Microstrutture delle argille [3]

2 Ridisegnato dal Sito Keweenaw Geoheritage – Geoelements – (<https://www.geo.mtu.edu/KeweenawGeoheritage/KeweenawGeoheritage/>)

3 Foto tratta e ridisegnata da “Elementi di Geologia - Scienze e tecnologie per i Beni Culturali - Maria Chiara Turrini - Università degli Studi di Ferrara”

A livello *macroscopico* l'anisotropia delle argille può essere di tipo *stratigrafico*, legata ai fenomeni che ne hanno determinato la deposizione, o di tipo *diagenetico* o *tettonico* che ha dato luogo ad un complesso di scaglie appiattite, giustapposte e combacianti.

Un esempio di anisotropia *stratigrafica* è dato dalle argille laminate o varvate, costituite da un'alternanza millimetro-ritmica o centimetro-ritmica di piani di argilla e silti fini (v. Figura 7).

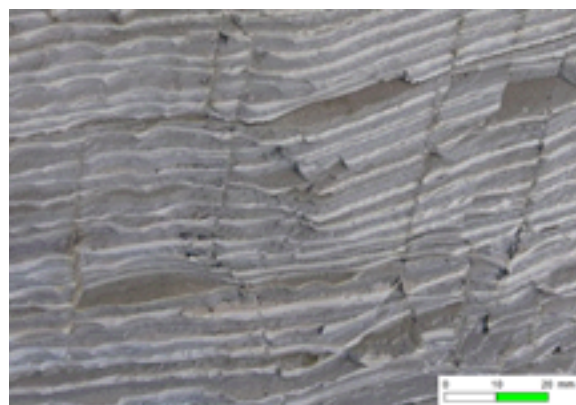


Figura 7 - Esempio di argilla varvata

Nelle *argilliti* la struttura è costituita da un insieme di scaglie appiattite, di forma grossolanamente romboedrica, giustapposte e combacianti, dovuta a processi diagenetici o tettonici, in cui è facilmente distinguibile il reticolo di discontinuità generalmente con spaziatura dell'ordine di qualche centimetro.

In questo caso si ha una elevata anisotropia dovuta sia all'orientamento ed alla forma appiattita delle scaglie, sia alla presenza di piani di discontinuità sub orizzontali (paralleli alla stratificazione) che costituiscono dei piani di spiccata debolezza.

Nella Figura 8 sono schematizzate le probabili superfici di taglio che si possono mobilitare nelle varie direzioni in

una formazione di argilliti a scaglie; sul piano *parallelo* alla stratificazione (Figura 8.a) una superficie di taglio si sviluppa in maniera preferenziale lungo le discontinuità esistenti, con una resistenza al taglio (τ_p) alquanto bassa; su un piano *normale* alla stratificazione (Figura 8.b) la superficie di taglio (τ_n) per mobilitarsi deve provocare la rottura (per taglio) delle scaglie di argilliti; su un piano comunque *inclinato* (Figura 8.c-c1) la superficie di taglio si mobilita lungo piani complessi (c2), dati dall'involuppo di parti parallele alla stratificazione e parti ad essa ortogonali (τ_i); in linea generale si può assumere

$$\tau_n > \tau_i > \tau_p$$

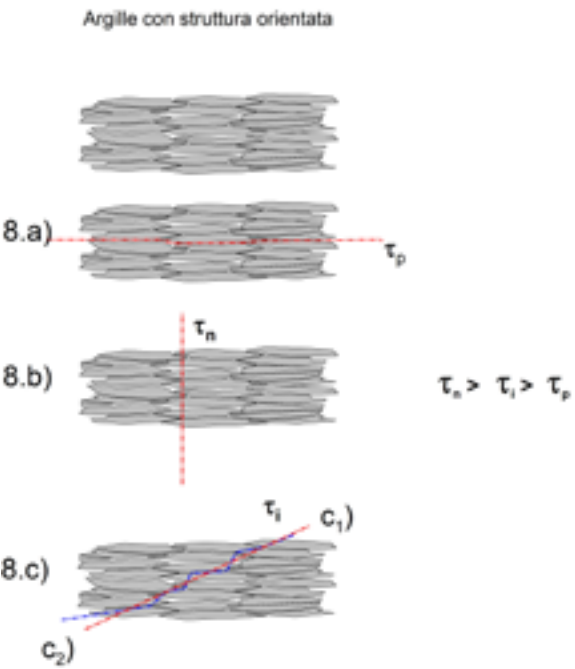


Figura 8 - Probabili superfici di taglio nelle argilliti a scaglie

Caso di studio

Per poter formulare delle considerazioni verosimili circa la mobilitazione delle superfici di taglio in formazioni di argille anisotrope, si analizzano i dati disponibili derivanti dai risultati di alcune prove di taglio diretto effettuate sia ortogonalmente che parallelamente ai piani di strato su campioni prelevati durante una campagna di indagini geognostiche condotte nel 2005 in Nigeria nel Borno State, il cui sito è riportato nello stralcio planimetrico della Figura 9.



Figura 9 - Sito delle indagini 2005 nel Borno State (Nigeria)

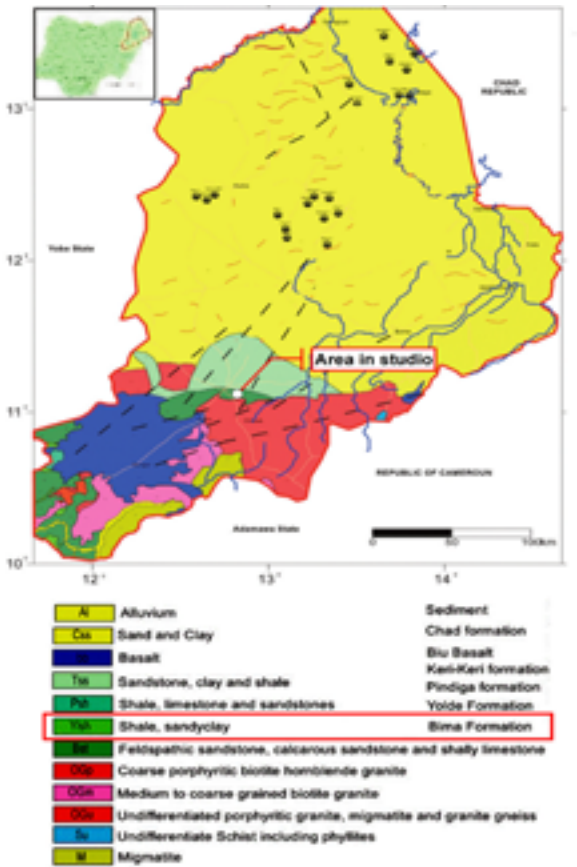


Figura 10 - Carta Geologica dell'area in esame con ubicata l'area di studio

Nello Schema Geologico (Figura 10) del Borno State, ricavato dalla Geological Map pubblicata dal Geological Survey Department of Federal Ministry of Mines, Power & Steel (1984) risulta affiorante la Bima Sandstone and Yolde Formation, che è uno spesso deposito continentale costituito da riempimenti di graben semi-isolati, con uno spessore variabile che varia da 0 a più di 1500 m. I sedimenti sono costituiti da arkosi scarsamente gradate, granulari, ciottoli e conglomerati. Il colore varia dal rosso alla screziatura avana.

Lo spessore medio della facies arenacea della Bima sandstone varia da 100 a 150 m; essa è costituita da arenaria feldspatica ghiaiosa a grana grossa caratterizzata localmente da stratificazione incrociata o tabulare con interposti strati di argille diagenizzate. L'età della formazione è riferibile al Cretaceo Inferiore (Aptiano – Albiano).

Nel sito delle indagini è stata però rinvenuta una formazione di argilliti, presente in un piccolo lembo non cartografato nello schema geologico, di dubbia attribuzione, probabilmente riferibile alla formazione Ciad, che affiora estesamente nell'estrema parte settentrionale dell'area del Borno State ed è costituita da sabbia grigio-blu, a grana fine o grossa, con intercalazione di argilla sabbiosa, argillite, graniglie, ghiaia e diatomite. Età Pliocene-Pleistocene.

Nella Tabella 4 sono riportati i dati delle analisi di laboratorio effettuate sui suddetti campioni, da cui risulta che i campioni appartenenti al BH01 hanno un minor contenuto di acqua (Wn) con conseguente grado di saturazione (Sr) più ridotto:

Campioni del gruppo BH01	Wn = 8,89 ÷ 13,40 % Sr = 43,96 ÷ 68,99 %
Campioni del gruppo BH02	Wn = 16,84 ÷ 19,34 % Sr = 78,68 ÷ 79,04 %

Tutte le prove di taglio diretto consolidate drenate sono state effettuate su N° 3 provini con carico di consolidazione 100 – 150 – 200 kN/m² e con velocità di taglio pari a V = 0,002 mm/min.

Nella Tabella 5 sono riportati i parametri di resistenza al taglio per ciascuna delle prove effettuate, in cui la dicitura “parallela” o “normale” si riferisce al piano di taglio rispetto al piano di stratificazione della formazione.

Nelle prove effettuate su piano di taglio parallelo alla stratificazione i valori dei parametri di resistenza al taglio sono risultati sensibilmente inferiori a quelli delle prove effettuate per piano di taglio normale alla stratificazione:

- Prove parallele $c' = 18 \div 23 \text{ kPa}$
 $\varphi' = 15^\circ \div 22^\circ$
- Prove normali $c' = 30 \div 38 \text{ kPa}$
 $\varphi' = 28^\circ \div 29^\circ$

Bore Hole	Campione	Profondità		Coesione c'	Angolo di attrito φ'	Direzione di taglio P = parallela N = normale
		da m	a m			
BH01	CI1	2,00	2,50	18,0	22,0	P
	CI2	2,50	2,90	30,0	29,0	N
	CI3	4,50	5,00	23,0	15,0	P
	CI4	5,00	5,50	30,0	29,0	N
BH02	CI1	3,00	3,50	18,0	16,0	P
	CI2	3,50	4,10	38,0	20,0	N

Tabella 5 - Prove di taglio diretto CD

Nei grafici della Figura 11.a e 11.b sono riportati i campi dei valori della coesione e dell'angolo di attrito per ciascun piano di taglio.

Bore Hole	Campione	Profondità		Contenuto naturale in acqua	Peso di volume naturale	Peso dei grani	Porosità	Indice dei vuoti	Saturazione
		da m	a m	%	kN/m ³	kN/m ³	%	J.	%
BH01	CI1	2,00	2,50	11,63	19,51	26,50	34,03	0,52	59,70
	CI2	2,50	2,90	10,12	19,05	26,80	35,45	0,55	49,38
	CI3	4,50	5,00	8,89	18,88	26,70	35,06	0,54	43,96
	CI4	5,00	5,50	13,40	19,79	26,40	33,90	0,51	68,99
BH02	CI1	3,00	3,50	16,84	20,04	27,10	36,71	0,58	78,68
	CI2	3,50	4,10	19,34	19,38	26,90	39,69	0,68	79,04

Tabella 4 - Sintesi dati di laboratorio

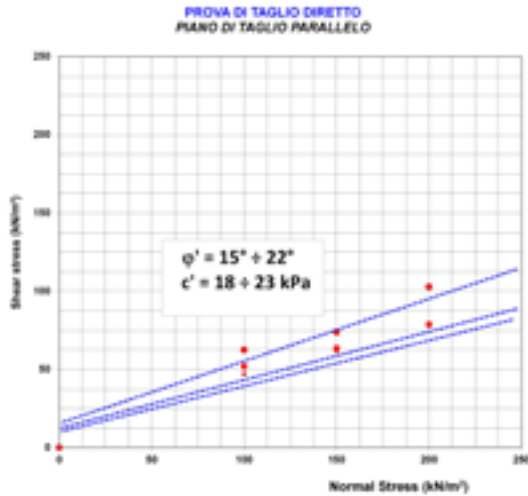


Figura 11.a - Grafico del campo di resistenza al taglio per piano parallelo

Mediando i valori si può assumere:

- per piano di taglio *parallelo* alla stratificazione, designato con la sigla "P"
 - Coesione $c' = 20,0 \text{ kPa}$
 - Angolo di attrito $\varphi' = 18^\circ$
- per piano di taglio *normale* alla stratificazione, designato con la sigla "N"
 - Coesione $c' = 34,0 \text{ kPa}$
 - Angolo di attrito $\varphi' = 27^\circ$

Per un piano di taglio inclinato in argilliti orientate si ritiene lecito formulare l'ipotesi che si possa mobilitare una superficie di taglio di tipo "composita", cioè costituita dall'insieme di più tratti di superfici normali e parallele, il cui involucro dà luogo ad una superficie di taglio a "gradini", come schematizzato in Figura 12.

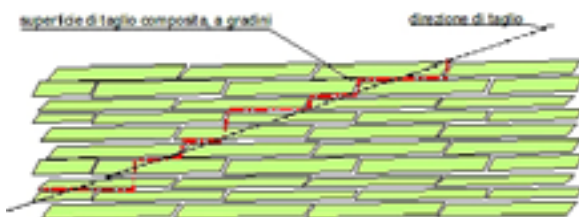


Figura 12 - Superficie di taglio composita, a gradini

Per poter pervenire ad una definizione quantitativa del problema viene valutata la resistenza al taglio lungo la suddetta superficie a gradini computando separatamente la resistenza al taglio dei tratti delle superfici parallele (P) e di quelle normali (N).

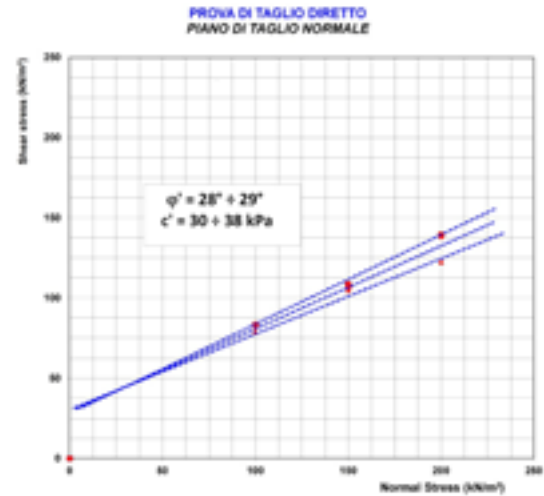
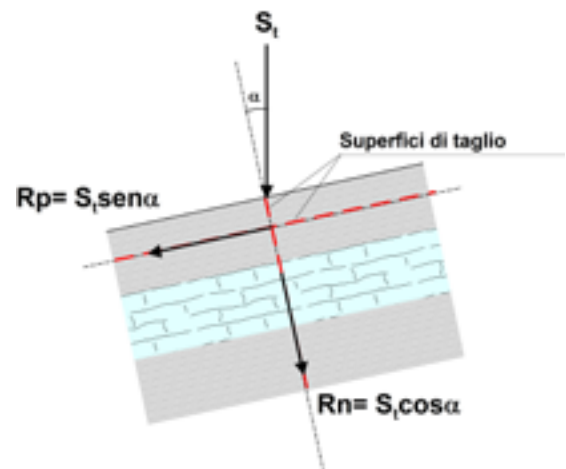


Figura 11.b - Grafico del campo di resistenza al taglio per piano normale

Lo sforzo di taglio S_t , inclinato di un angolo α rispetto alla normale al piano di stratificazione, viene quindi scomposto nelle risultanti normale (R_n) e parallela (R_p) come da schema di Figura 13, in cui

$$R_n = S_t \cdot \cos \alpha$$

$$R_p = S_t \cdot \sin \alpha$$

Figura 13 - Scomposizione dello sforzo di taglio S_t

Infine, l'individuazione dei valori di coesione ed attrito mobilitati lungo la suddetta superficie composita va effettuata computando i valori riferibili a ciascun tratto, effettuando quindi la media pesata.

Si valutano le risultanti dovute ad inclinazioni dello sforzo di taglio con inclinazioni con step di 15°, tralasciando l'applicazione normale ($\alpha = 0^\circ$) e parallela ($\alpha = 90^\circ$), in quanto le corrispondenti resistenze al taglio risultano definite dalle prove di taglio diretto CD citate in precedenza.

Vengono quindi analizzate le configurazioni riportate in Figura 14, corrispondenti ad inclinazioni tra la direzione di applicazione dello sforzo di taglio e la normale alla stratificazione di 15° - 30° - 45° - 60° e 75°.

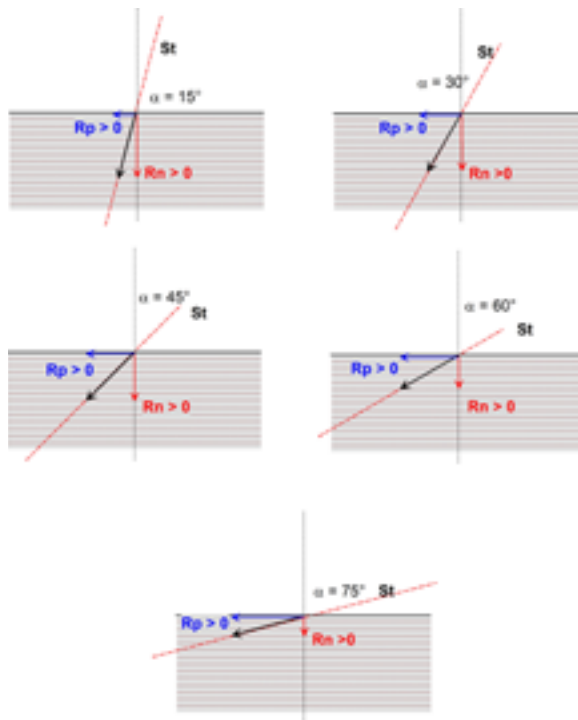


Figura 14 - Configurazioni di applicazione dello sforzo di taglio

Perché lungo un piano si mobiliti una superficie di taglio è necessario che le risultanti R_p ed R_n dello sforzo di taglio St siano maggiori delle corrispettive resistenze al taglio mobilitate τ_p e τ_n :

$$R_p > \tau_p$$

$$R_n > \tau_n$$

essendo le resistenze al taglio definite dalla nota espressione di COULOMB (1776):

$$\tau = c' + (\sigma_n - U) \cdot \tan \varphi'$$

in cui

σ_n è lo sforzo normale al piano di taglio

U è la pressione nei pori

C' è la coesione efficace

φ' è l'angolo di attrito efficace.

Ne deriva che, in relazione all'entità dello sforzo di taglio St applicato, qualora siano R_p od $R_n < \tau_p$ o τ_n non si hanno le condizioni perché si abbia la mobilitazione di una superficie di taglio.

Sono quindi state analizzate cinque possibili configurazioni dello sforzo di taglio, corrispondenti ai valori di 100, 200, 300, 400 e 500 kPa, calcolando per ciascuno di esso le risultanti R_p ed R_n e l'eventuale mobilitazione delle corrispondenti superfici di taglio.

a. Sforzo di taglio $St = 100$ kPa

Dal grafico della Figura 15 risulta che la resistenza al taglio τ_n è minore della componente normale dello sforzo di taglio R_n ($R_n > \tau_n$) per inclinazioni comprese tra 0° e 45° (area in tratto rosso) per cui si ha la mobilitazione di superfici di taglio normali N; la mobilitazione di superfici di taglio parallele P si ha per inclinazioni dello sforzo di taglio da 16° in su (area a tratto blu).

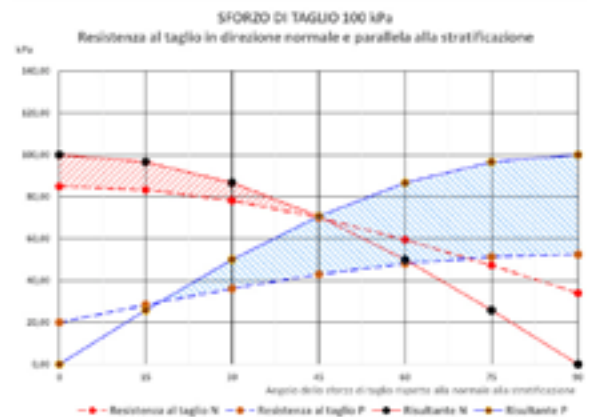
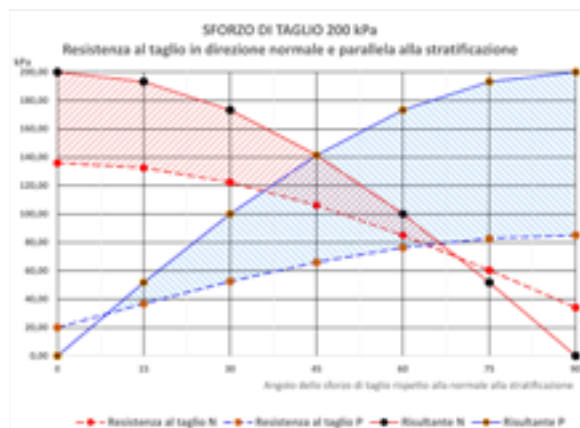


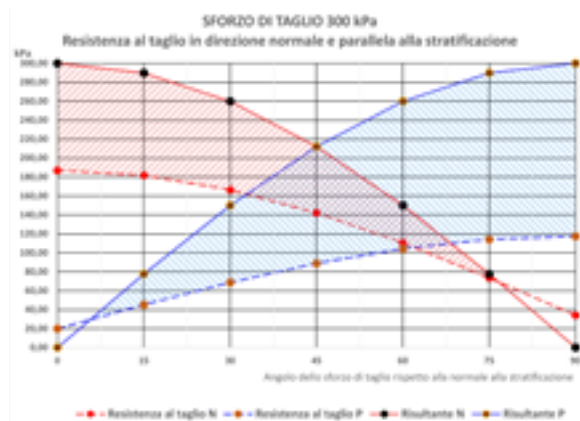
Figura 15 - Resistenza al taglio per varie inclinazioni, con $St = 100$ kPa

b. Sforzo di taglio $St = 200$ kPa

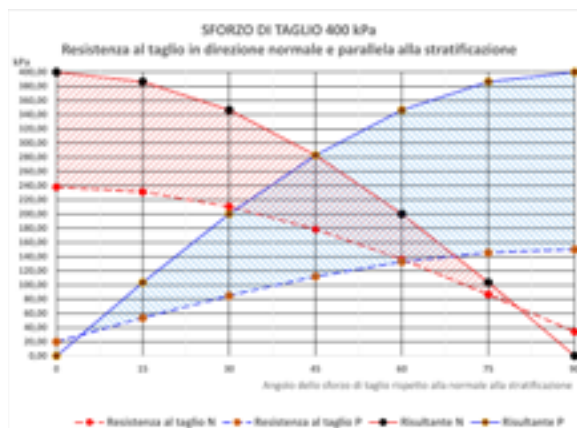
Anche in questo caso (cfr. Figura 16) la componente normale dello sforzo di taglio R_n è maggiore della resistenza al taglio ($R_n > \tau_n$) per cui si ha la mobilitazione di superfici di taglio normali N per inclinazioni della St comprese tra 0° e 68 CIRCA° (area a tratto rosso); analogamente si ha la mobilitazione di superfici di taglio parallele P per inclinazioni dello sforzo di taglio St da circa 10° in su (area a tratto blu nel grafico).

Figura 16 - Resistenza al taglio per varie inclinazioni, con $St = 200$ kPac. Sforzo di taglio $St = 300$ kPa

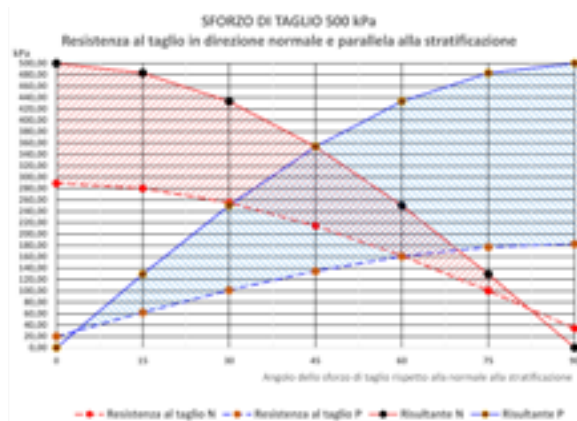
La componente normale dello sforzo di taglio R_n è maggiore della resistenza al taglio ($R_n > \tau_n$) (cfr. Figura 17) per cui si ha la mobilitazione di superfici di taglio normali per inclinazioni della St comprese tra 0° e 75° (area a tratto rosso nel grafico); analogamente si ha la mobilitazione di superfici di taglio parallele per inclinazioni dello sforzo di taglio St da circa 6° in su (area a tratto blu).

Figura 17 - Resistenza al taglio per varie inclinazioni, con $St = 300$ kPad. Sforzo di taglio $St = 400$ kPa

Anche in questo caso (cfr. Figura 18) la componente normale dello sforzo di taglio R_n è maggiore della resistenza al taglio ($R_n > \tau_n$) per cui si ha la mobilitazione di superfici di taglio normali per inclinazioni della St comprese tra 0° e 80° circa (area a tratto rosso); analogamente si ha la mobilitazione di superfici di taglio parallele per inclinazioni dello sforzo di taglio St da circa 4° in su (area a tratto blu).

Figura 18 - Resistenza al taglio per varie inclinazioni, con $St = 400$ kPae. Sforzo di taglio $St = 500$ kPa

Infine, nel grafico della Figura 19 risulta che la componente normale dello sforzo di taglio R_n è maggiore della resistenza al taglio ($R_n > \tau_n$) per cui si ha la mobilitazione di superfici di taglio normali per inclinazioni della St comprese tra 0° e 82° circa (area a tratto rosso); la mobilitazione di superfici di taglio parallele si ha per inclinazioni dello sforzo di taglio St da circa 3° in su (area a tratto blu).

Figura 19 - Resistenza al taglio per varie inclinazioni, con $St = 500$ kPa

Si noti come in tutti i grafici per inclinazione dello sforzo di taglio $St = 0^\circ$, cioè perpendicolare alle superfici di strato, non si ha alcuna mobilitazione di superfici di taglio parallele (p), ma solo superfici di taglio normali (N); viceversa per $St = 90^\circ$, cioè parallelo alle superfici di strato, non si hanno superfici di taglio normali (N), ma solo parallele (P).

Definizione dei parametri di resistenza al taglio

La coesione e l'angolo di attrito lungo le superfici di taglio mobilitate per le varie inclinazioni e per i vari valori dello sforzo di taglio vengono definiti rapportandone i valori alla percentuale di mobilitazione della resistenza al taglio, secondo le espressioni

$$c'_i = \left[\frac{(R_p - \tau_p)}{(R_n - \tau_n) + (R_p - \tau_p)} \right] \cdot c'_p + \left[\frac{(R_n - \tau_n)}{(R_n - \tau_n) + (R_p - \tau_p)} \right] \cdot c'_n \quad [5]$$

$$\varphi'_i = \left[\frac{(R_p - \tau_p)}{(R_n - \tau_n) + (R_p - \tau_p)} \right] \cdot \varphi'_p + \left[\frac{(R_n - \tau_n)}{(R_n - \tau_n) + (R_p - \tau_p)} \right] \cdot \varphi'_n \quad [6]$$

in cui:

c'_i = coesione globale efficace riferita al piano con inclinazione "i"

φ'_i = angolo di attrito globale efficace riferito al piano con inclinazione "i"

R_p = risultante sul piano parallelo

R_n = risultante sul piano normale

τ_n = resistenza al taglio sul piano normale

τ_p = resistenza al taglio sul piano parallelo

c'_p = coesione della prova di taglio diretto effettuata per piano parallelo (P)

c'_n = coesione della prova di taglio diretto effettuata per piano normale (N)

φ'_p = angolo di attrito della prova di taglio diretto effettuata per piano parallelo (P)

φ'_n = angolo di attrito della prova di taglio diretto effettuata per piano normale (N)

Nella Tabella 6 sono riportati i risultati dei calcoli effettuati applicando la [5] e la [6], in cui i valori assunti dei parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci sono quelli derivati dalla media dei valori delle prove di taglio diretto:

- taglio *parallelo* al piano di stratificazione

Coesione $c' = 20,0$ kPa

Angolo di attrito $\varphi' = 18^\circ$

- taglio *normale* al piano di stratificazione

Coesione $c' = 34,0$ kPa

Angolo di attrito $\varphi' = 27^\circ$

Nei grafici delle Figure 20, 21 e 22 sono riportate le variazioni della coesione e dell'angolo di attrito in funzione dell'angolo di inclinazione dello sforzo di taglio e dell'entità dello stesso.

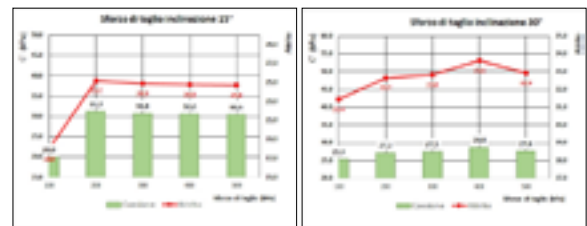


Figura 20 - Coesione ed angolo di attrito per St con $\alpha = 15^\circ$ e 30°

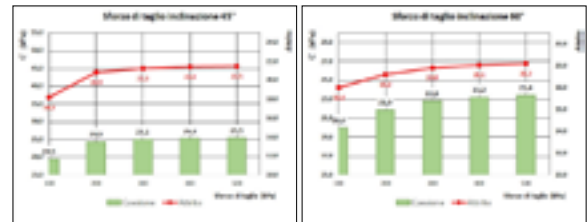


Figura 21 - Coesione ed angolo di attrito per St con $\alpha = 45^\circ$ e 60°

SFORZO DI TAGLIO kPa / [°]	15°				30°				45°				60°				75°			
	N	P			N	P			N	P			N	P			N	P		
100	13,98	0			8,98	13,75			0,88	27,38			0	38,46			0	45,21		
					0,00	0,00														
200	62,75	14,34			50,95	47,51			25,36	75,47			15,06	66,95			0	110,42		
					0,00	0,00														
300	108,15	52,42			95,45	81,35			39,05	129,21			29,57	255,39			4,08	179,62		
					0,00	0,00														
400	155,50	83,80			135,91	81,35			109,79	170,94			68,08	315,85			16,78	240,80		
					0,00	0,00														
500	202,88	67,36			178,58	548,77			159,83	218,58			88,82	212,82			29,47	506,54		
SFORZO DI TAGLIO	15°				30°				45°				60°				75°			
	N	P	RISULTANTE		N	P	RISULTANTE		N	P	RISULTANTE		N	P	RISULTANTE		N	P	RISULTANTE	
100	c'	φ'	c'	φ'	c'	φ'	c'	φ'	c'	φ'	c'	φ'	c'	φ'	c'	φ'	c'	φ'	c'	φ'
200	27,3	23,7	3,9	3,6	31,2	25,2	17,6	14,5	9,7	8,7	27,2	22,9	50,8	8,5	13,6	12,3	24,5	26,9	4,6	3,6
300	36,2	30,8	4,6	4,2	50,8	34,9	18,3	16,4	9,5	8,4	27,5	22,8	12,5	9,8	12,8	11,5	25,1	21,5	4,9	5,5
400	25,7	20,4	4,9	4,4	39,6	24,8	21,9	19,9	7,5	6,7	28,8	23,6	12,9	10,3	12,4	11,2	25,9	21,4	7,8	6,2
500	37,5	29,5	5,0	4,5	38,5	24,8	18,5	16,7	9,1	8,2	27,8	22,9	13,7	10,5	12,3	11,0	25,5	21,5	8,5	6,6

Tabella 6 – Risultati del calcolo dei valori di coesione ed angolo di attrito

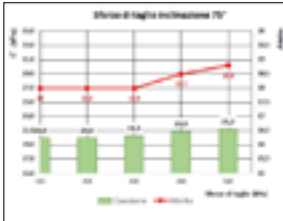


Figura 22 - Coesione ed angolo di attrito per St con $\alpha = 75^\circ$

Conclusioni

Nel presente lavoro si è cercato di valutare i parametri di resistenza al taglio (coesione c' e angolo di attrito φ') che si mobilitano lungo piani variamente inclinati sotto sollecitazioni di varia intensità, assunte variabili tra 100 e 500 kPa, con step di 100 kPa, al fine di poterne stabilire i valori conseguenti alla variazione dell'inclinazione dello sforzo di taglio, nel campo compreso tra sforzo ortogonale e parallelo alla stratificazione delle argilliti.

Per piani di taglio ortogonali o paralleli alle superfici di strato i valori sono quelli che derivano dalla media delle rispettive prove di taglio diretto consolidate drenate.

Per superfici di taglio inclinate sono state analizzate le resistenze al taglio lungo piani con inclinazione di $15^\circ - 30^\circ - 45^\circ - 60^\circ$ e 75° , assumendo che lo sforzo di taglio St possa scomporsi nelle due risultanti, una parallela e l'altra ortogonale, ai piani di stratificazione, assimilando di conseguenza l'intera superficie di taglio come derivante dall'involuppo di più tratti di superfici normali (N) e parallele (P) con andamento a "gradini".

Sono stati considerati sforzi di taglio di intensità variabile da 100 a 500 kPa per step di 100 kPa, da cui risulta che solo per il valore inferiore dello sforzo di taglio (100 kPa) e per una inclinazione rispetto alla normale di $\alpha = 15^\circ$ non si mobilita alcuna superficie di taglio normale o parallela alla stratificazione.

Nei piani di taglio inclinati i parametri di resistenza al taglio c' e φ' dipendono oltre che dall'inclinazione α dello sforzo di taglio St anche dalla relativa intensità, come sintetizzato nella seguente Tabella 7.

Inclinazione dello sforzo di taglio St nell'intervallo $= 15^\circ \div 75^\circ$				
Sforzo di taglio kPa	Coesione efficace c' (kPa)		Angolo di attrito efficace φ' (°)	
	min	max	min	max
100	20	25,3	18	21,4
200	20	31,2	18	25,2
300	20,3	30,8	18,2	24,9
400	20,1	30,6	18,6	24,8
500	21,2	30,5	18,8	24,80

Tabella 7 - Sintesi dei valori di c' e φ' per piani di taglio inclinati $15^\circ \div 75^\circ$ e per St 100 ÷ 500 kPa

Nella Tabella 8 è invece riportata la variazione dei parametri di taglio c' e φ' per inclinazione α compresa tra 0° e 90° e per step di 15° al variare dell'intensità dello sforzo di taglio St.

Inclinazione α di St	Parametri di resistenza al taglio	Intervallo di St (kPa)		
		100	÷	500
0°	c' (kPa)	24		
	φ' (°)	27		
15°	c' (kPa)	20,0	÷	30,8
	φ' (°)	18,0	÷	25,2
30°	c' (kPa)	25,3	÷	28,8
	φ' (°)	21,4	÷	21,6
45°	c' (kPa)	19,5	÷	25,5
	φ' (°)	18,2	÷	21,5
60°	c' (kPa)	20,0	÷	21,4
	φ' (°)	18,0	÷	20,2
75°	c' (kPa)	20,0	÷	21,2
	φ' (°)	18,0	÷	18,8
90°	c' (kPa)	20,0		
	φ' (°)	18,0		

Tabella 8 - Variazione di c' e φ' per ciascuna inclinazione ed intensità di St

Infine, nel grafico della Figura 23 è riportata la variazione dei parametri di resistenza al taglio per le varie inclinazioni e per uno sforzo di taglio St = 200 kPa.

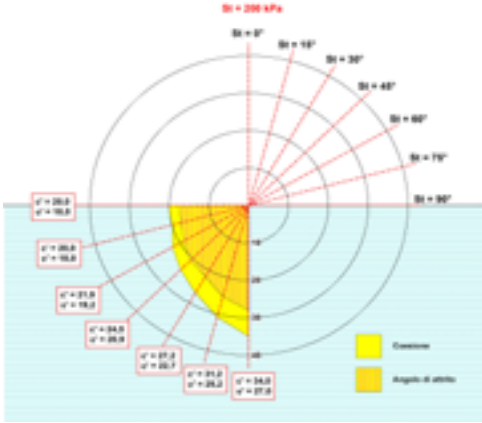


Figura 23 - Variazione di c' e φ' in funzione dell'inclinazione di St = 200 kPa

La grande variabilità dei valori dei parametri di resistenza al taglio ingenera non poche perplessità nel professionista che deve necessariamente adottare dei valori da introdurre nei calcoli delle verifiche geotecniche, atteso che nella maggior parte dei casi nei programmi di calcolo non è prevista la possibilità di applicare campi di valori che possano simulare il carattere anisotropo dei sedimenti in esame. Solo in casi specifici è possibile adottare dei parametri mirati, laddove è verosimile attendersi che una superficie di taglio possa mobilitarsi in una ben precisa direzione, come nel caso della verifica delle condizioni di equilibrio, laddove

l'inclinazione della stratificazione sia prossima all'angolo δ della superficie di scivolamento, come schematizzato in Figura 24.a; in questo caso si possono adottare i parametri relativi al taglio per piani paralleli alla stratificazione; viceversa laddove si ha una stratificazione all'incirca ortogonale alla superficie di scivolamento si possono adottare i parametri di taglio più elevati, caratteristici per piani di taglio normali alla stratificazione, come schematizzato in Figura 24.b.

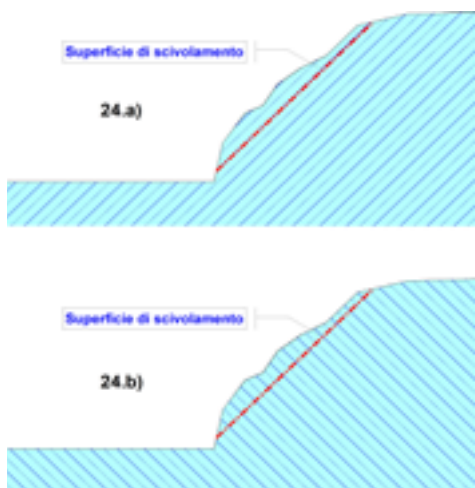


Figura 24 - Piani di scivolamento paralleli a) e normale b) alla stratificazione

Le valutazioni e considerazioni ricavabili dal caso riportato possono essere concettualmente estese ad altre configurazioni di formazioni anisotrope, purché si disponga di dati inerenti alle caratteristiche di resistenza al taglio nelle due direzioni, parallela ed ortogonale al piano di stratificazione (nelle rocce sedimentarie) o al piano di clivaggio o scistosità (nelle rocce metamorfiche).

Si riportano due esempi dell'applicazione dei concetti sopra esposti ad un problema di determinazione della capacità portante di una fondazione rettangolare sul substrato di argilliti precedentemente analizzato.

I dati del problema sono i seguenti:

- Larghezza della fondazione $B = 3,0 \text{ m}$
- Lunghezza della fondazione $L = 10 \text{ m}$
- Altezza di incastro nel terreno $D = 1,0 \text{ m}$
- Carico indotto sul piano di posa $P = 200 \text{ kPa}$
- Eccentricità $e = 0 \text{ m}$
- Inclinazione piano di campagna $i = 0$
- Peso di volume del terreno $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Coesione efficace $c' = 20 \div 34 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito efficace $\varphi' = 18^\circ \div 27^\circ$

- Angolo di stratificazione del terreno $\delta = 0^\circ$ (orizzontale) $\rightarrow 1^\circ$ caso
- Angolo di stratificazione del terreno $\delta = 20^\circ$ (inclinato) $\rightarrow 2^\circ$ caso

Il campo dei valori dei parametri di resistenza al taglio (c' e φ') è compreso tra un minimo, che caratterizza la resistenza in direzione parallela alla stratificazione, ed un massimo per direzione normale alla stessa.

Per l'elaborazione del modello del meccanismo di rottura del semispazio elastico (cfr. Figura 25) di PRANDTL L. (1921) si fa riferimento ad un angolo di attrito medio $\varphi' = 22^\circ$; la zona 1 rappresenta il cuneo attivo di RANKINE W.J.M. (1847); la zona 2 il ventaglio di Prandtl L. 1921) e la zona 3 la zona passiva di RANKINE W.J.M. (1847).

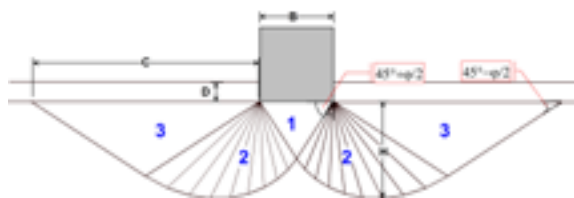


Figura 25 - Meccanismo di rottura di Prandtl L. (1921)

Assumendo $\varphi' = 22^\circ$ si ha:

$$C = (H + D) \cdot \tan(45^\circ + \varphi'/2) \quad [7]$$

$$H = B \cdot \tan(45^\circ + \varphi'/2) \quad [8]$$

da cui, risolvendo le [7] e [8] si ottiene:

$$C = 8,08 \text{ m}$$

$$H = 4,45 \text{ m}$$

1° caso: stratificazione substrato orizzontale ($\delta = 0^\circ$)

Per valutare la resistenza lungo le superfici di taglio che involuppano le zone 1, 2 e 3 si opera la semplificazione riportata in Figura 26, in cui è visualizzato l'andamento suborizzontale della stratificazione del substrato.

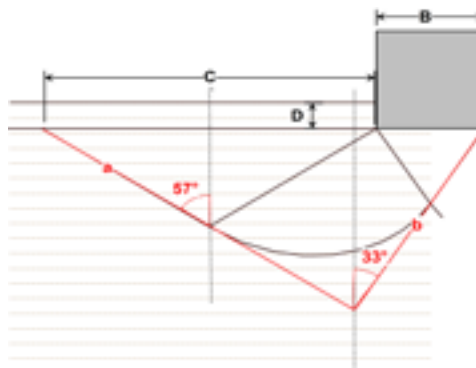


Figura 26 - Schema semplificato delle superfici di taglio

Elaborando in scala la Figura 26 si possono valutare i segmenti “a” e “b” come valore percentuali dell’intera superficie di taglio

Ponendo $a + b = 100\%$

si ottiene il segmento “a” = 61% che forma un angolo $\alpha = 57^\circ$ con la normale alla stratificazione ed un segmento $b = 39\%$ che forma un angolo $\beta = 33^\circ$.

I parametri di resistenza al taglio disponibili lungo le superfici rappresentate dai segmenti a e b si ricavano, per le rispettive inclinazioni α e β dal grafico della Figura 27:

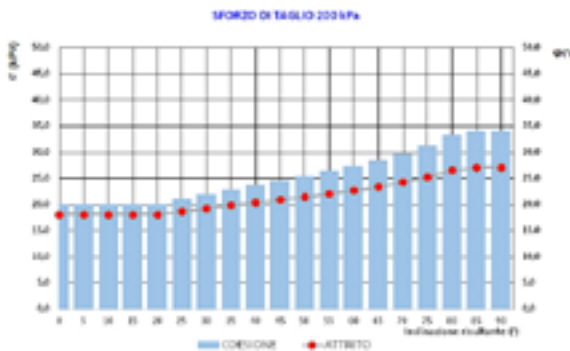


Figura 27 - Grafico dell'andamento dei parametri di taglio per $St = 200$ kPa per le varie inclinazioni

- **superficie segmento “a”**
- coesione $c'_a = 26,5 \text{ kPa} \times 61\% = 16,16 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito $\varphi'_a = 22,5^\circ \times 61\% = 13,72^\circ$
- **superficie segmento “b”**
- coesione $c'_b = 22,2 \text{ kPa} \times 39\% = 8,66 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito $\varphi'_b = 19,5^\circ \times 39\% = 7,60^\circ$

I parametri di resistenza al taglio medi lungo tutta la superficie (somma di a + b) sono dati quindi dalla somma

$$c' = c'_a + c'_b = 16,16 + 8,66 = 24,82 \text{ kPa}$$

$$\varphi' = \varphi'_a + \varphi'_b = 13,72 + 7,60 = 21,32^\circ$$

2° caso: stratificazione substrato inclinata $\delta = 20^\circ$

Anche in questo caso la resistenza lungo le superfici di taglio viene valutata in relazione all’inclinazione dei segmenti a e b rispetto alla normale alla stratificazione, come da Figura 28, in cui la stratificazione risulta inclinata di un angolo $\delta = 20^\circ$

Anche in questo caso i parametri di resistenza al taglio disponibili lungo le superfici rappresentate dai segmenti a e b si ricavano, per le rispettive inclinazioni α e β , dal grafico della Figura 27:

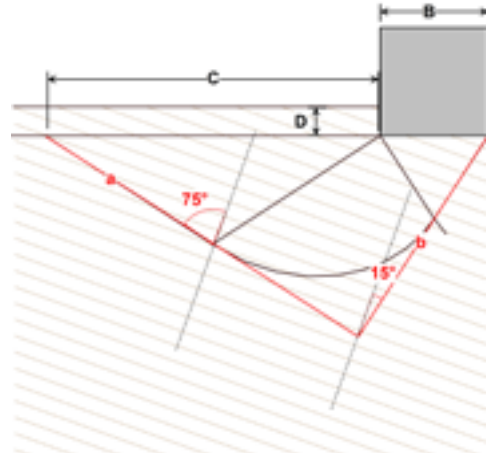


Figura 28 - Schema semplificato delle superfici di taglio

- **superficie segmento “a”**
- coesione $c'_a = 31,2 \text{ kPa} \times 61\% = 19,03 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito $\varphi'_a = 25,2^\circ \times 61\% = 15,37^\circ$
- **superficie segmento “b”**
- coesione $c'_b = 20,0 \text{ kPa} \times 39\% = 7,8 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito $\varphi'_b = 18,0^\circ \times 39\% = 7,02^\circ$

I parametri di resistenza al taglio medi lungo tutta la superficie (somma di a + b) sono dati quindi dalla somma

$$c' = c'_a + c'_b = 19,03 + 7,8 = 26,83 \text{ kPa}$$

$$\varphi' = \varphi'_a + \varphi'_b = 15,37 + 7,02 = 22,39^\circ$$

Dai risultati sopra esposti si possono trarre alcune considerazioni inerenti alla determinazione della capacità portante del substrato di fondazione, che nei casi di anisotropia del terreno induce nei progettisti molte perplessità; difatti nella maggior parte dei casi vengono adottati i valori inferiori del range dei valori proposti di resistenza al taglio, con conseguente assunzione di eccessiva cautela, che potrebbe comportare un rilevante sovradimensionamento delle strutture. Difatti, da un calcolo speditivo di esempio della capacità portante, effettuata con la nota formula di BRINCH HANSEN, J. (1970), senza applicare le restrizioni dell’attuale normativa NTC 2018 in campo statico, adottando i dati della fondazione sopra riportati, si ottengono i seguenti risultati:

- parametri di resistenza al taglio minimi del range fornito
- $c' = 20 \text{ kPa}$ $\varphi' = 18^\circ$ $Q_{lim} = 3.345,91 \text{ kN/m}^2$
- parametri di resistenza al taglio per stratificazione orizzontale ($\delta = 0^\circ$)
- $c' = 24,82 \text{ kPa}$ $\varphi' = 21,32^\circ$ $Q_{lim} = 5.175,7 \text{ kN/m}^2$
- parametri di resistenza al taglio per stratificazione inclinata ($\delta = 20^\circ$)
- $c' = 26,83 \text{ kPa}$ $\varphi' = 22,39^\circ$ $Q_{lim} = 6.018,4 \text{ kN/m}^2$

Si nota come per stratificazione orizzontale la Q_{lim} è superiore di circa il 155% rispetto a quella definita con i parametri minimi; per la stratificazione inclinata di 20° la Q_{lim} è superiore di circa il 180% rispetto a quella con i parametri minimi.

Normalmente per le formazioni anisotrope viene fornito un range di valore dei parametri geotecnici di resistenza al taglio, che può essere più o meno ampio in relazione al grado di anisotropia. È compito del professionista geotecnico suggerire i valori da scegliere, che possono essere più o meno cautelativi in relazione al problema geotecnico, alla conoscenza del modello geotecnico ed all'attendibilità dai dati sui quali esso viene elaborato. L'adozione dei parametri minimi di resistenza al taglio del terreno, dettata dalla scarsa conoscenza del comportamento meccanico derivante dalle caratteristiche di anisotropia, può indurre a una progettazione eccessivamente cautelativa, con conseguente sovradimensionamento delle strutture.

In conclusione, l'analisi condotta ha evidenziato come la resistenza al taglio nelle argilliti anisotrope sia fortemente influenzata dall'orientazione delle superfici di stratificazione e dalla direzione dello sforzo applicato. I risultati delle prove di laboratorio, integrati con modelli teorici e considerazioni geotecniche, confermano che:

- Le superfici di taglio parallele alla stratificazione mobilitano resistenze inferiori rispetto a quelle ortogonali, con differenze significative nei valori di coesione e angolo di attrito.
- Le superfici inclinate mostrano un comportamento composito, assimilabile a un involucro di tratti paralleli e normali, con parametri di resistenza variabili in funzione dell'inclinazione e dell'intensità dello sforzo di taglio.
- L'adozione di parametri cautelativi, spesso dettata dalla scarsa conoscenza dell'anisotropia del mezzo, può condurre a sovradimensionamenti progettuali non giustificati.

Il caso studio ha dimostrato come una corretta interpretazione dell'anisotropia strutturale consenta di affinare la stima della capacità portante in particolare e migliorare l'efficacia delle verifiche geotecniche in generale.

Inoltre, l'approccio proposto permette di:

- Integrare le prove sperimentali con modelli di calcolo che tengano conto della direzione di mobilitazione delle superfici di taglio.
- Ridurre l'incertezza nella scelta dei parametri da utilizzare nei software di calcolo, soprattutto in presenza di stratificazioni inclinate o complesse.

Infine, per quanto concerne la ricerca nel campo della geotecnica applicata ai materiali lapidei, l'evoluzione delle tecniche di indagine e modellazione apre nuove prospettive per una caratterizzazione sempre più accurata della resistenza al taglio. In particolare, l'integrazione tra prove sperimentali avanzate (come la tomografia digitale, le prove triassiali multistadio e le simulazioni numeriche 3D) e modelli costitutivi calibrati su base statistica consente di superare le limitazioni degli approcci tradizionali.

Un'area di sviluppo promettente riguarda l'analisi del comportamento al taglio in presenza di cicli di carico-rilascio, variazioni termo-idrauliche e processi di alterazione chimica, che possono modificare nel tempo le proprietà meccaniche delle rocce. Inoltre, l'impiego di tecnologie di monitoraggio continuo in situ, come i sensori a fibra ottica e le reti di microsismicità, permette di correlare le variazioni di resistenza al taglio con fenomeni dinamici e transitori.

Bibliografia

- BARLA G., CHIAPPONE A., SCAVIA C. (1988) - "Anisotropia di resistenza delle rocce in condizioni di compressione triassiale" - Riv. It. Geot. N° 3 - 1988 - pp. 105
- BARTON, N., BANDIS, S., & BAKHTAR, K. (1985). *Strength, deformation and conductivity of rock joints*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.
- BERARDI, R. (2012). *Meccanica delle rocce e degli ammassi rocciosi*. Università di Genova.
- BILLOTTA E. (1986) - "Contributo allo studio della resistenza al taglio di argille a scaglie con prove di laboratorio" - Riv. It. Geot. N° 4 - 1986 - pp. 133
- BILLOTTA E., UMITÀ G. (1980) - "Indagini sperimentali sulla resistenza a rottura di argille a scaglie" - Riv. It. Geot. N° 1 - 1980 - pp. 15
- BRINCH HANSEN J. (1970), "A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity", Bull. N. 28, Danish Geotechnical Institute, Copenhagen
- CAVALLERA L., SCARPELLI G. (1979) - "Anisotropia della resistenza non drenata di argille normalmente consolidate" - Riv. It. Geot. N° 3 - 1979 - pp. 181
- CREA G., MARTINO D., RIBACCHI R. (1980) - "Influenza delle caratteristiche strutturali sull'anisotropia delle rocce" - Riv. It. Geot. N° 4 - 1980 - pp. 235
- CONTI P. (2015) - *Analisi Geomeccanica* - Università di Siena - Centro di GeoTecnologie, 2015
- DI PIERRO M. (1981) - "Caratteri composizionali delle argille pleistoceniche della zona di Miglionico (MT)" - Rendiconti della Soc. It. Di Min. e Petr. 37 - 1981 - pp. 229-240
- FEDERAL MINISTRY OF MINES, POWER & STEEL (1984) - Geological Survey Department - Geological Map of Nigeria - 1984
- LO PRESTI, D., FROIO, F. (2005). *Resistenza al taglio residua di rocce tenere e terreni a grana fine*. Rivista Italiana di Geotecnica, 2/2005.
- NOVA R. (1979) - "Osservazioni sull'anisotropia della resistenza a taglio delle argille" - Riv. It. Geot. N° 4 - 1979 - pp. 234
- PRANDTL, L. (1921) "Hauptaufsätze: über die Eindringungsfestigkeit (Härte) plastischer Baustoffe und die Festigkeit von Schneiden". Journal of Applied Mathematics and Mechanics, 1, 15-20. (In German)
- RANKINE, W. J. M. (1857), "On the Stability of Loose Earth" Philosophical Transaction of the Royal Society, V. 147, 1857, pp. 9 - 27.
- SCARSELLI G. (1996) - *Terreni e frane tipiche: Argille sovraconsolidate*. AGI - Provincia di Pesaro Urbino

LA GEOLOGIA COME VOLANO DELLO SVILUPPO TURISTICO: IL CASO PIFORTE

La geologia rappresenta una risorsa strategica per il turismo sostenibile, poiché consente di valorizzare in modo integrato la geodiversità, il paesaggio e il patrimonio geologico. In questo contesto, il geoturismo si configura come un approccio che promuove la conoscenza del territorio, favorendo forme di turismo sostenibile che coinvolgono attivamente le comunità locali.

Un esempio consolidato di questa integrazione è rappresentato dagli UNESCO Global Geoparks, che costituiscono un modello internazionale in cui la tutela e la valorizzazione del patrimonio geologico si coniugano con programmi educativi, identità culturale e sviluppo economico sostenibile.

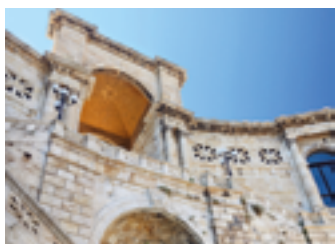
In questo contesto nasce PiForte, un progetto di geoturismo digitale finanziato dall'E.INS Spoke 2, finalizzato alla **creazione di itinerari geo-interpretativi guidati da un'APP dedicata**, sviluppata per valorizzare il patrimonio sardo della PietraForte.

La PietraForte, ampiamente impiegata nei monumenti storici di Cagliari, riveste per il capoluogo un'importanza che supera la sola dimensione materiale, configurandosi come una chiave interpretativa del paesaggio urbano e della storia geologica locale.

PiForte integra questi contenuti geologici e culturali con strumenti digitali quali mappe, narrazioni e itinerari, consentendo al visitatore di comprendere

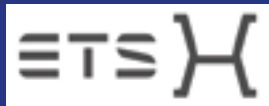
la geologia del territorio attraverso esperienze di visita consapevoli e accessibili, coerenti con gli approcci del geoturismo sostenibile. Cave, monumenti, edifici e spazi urbani diventano veri e propri punti di accesso alla conoscenza geologica.

Questo approccio collega interpretazione scientifica e valorizzazione culturale, e propone un **modello di sviluppo turistico replicabile** in altri contesti con patrimonio geologico distintivo.



Scarica l'App →





TECNOLOGIE INTEGRATE PER LA GESTIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO NELLE INFRASTRUTTURE FERROVIARIE: l'approccio MIRETS Mappatura Idrogeologica

Autori: Federico Foria, Serena Pantaneschi
Mario Calicchio, Gabriele Miceli



Fig 1

La crescente vulnerabilità delle infrastrutture di trasporto ai fenomeni idrogeologici impone soluzioni innovative per la sicurezza e la sostenibilità. ETS ha sviluppato **MIRETS Mappatura Idrogeologica**, un approccio integrato che combina **rilevi mobili, analisi geospaziali e modellazione informativa** per la caratterizzazione geomorfologica e la valutazione del rischio lungo le linee ferroviarie.



Fig 2

Il sistema utilizza dati da LIDAR, satellite e **Mobile Mapping** tramite il sistema proprietario **ARCHITA**, che genera nuvole di punti ad alta risoluzione (Fig. 2) e supporta anche la diagnostica delle gallerie tramite intelligenza artificiale con **MIRET-Tunnel AI** (Fig. 3).



Fig 3

Queste tecnologie sono integrate nell'analisi del rischio geomorfologico grazie agli algoritmi di **MIRETS Mappatura Idrogeologica**, consentendo anche di stimare i parametri chiave per la classificazione del rischio frane delle principali opere d'arte (ponti e gallerie) secondo le **Linee Guida italiane (DM 204/2022 e DM 247/2022)**, con maggiore efficienza e sicurezza, anche per infrastrutture lunghe e complesse.

Il risultato è una **mappa di rischio** (Fig. 4) che orienta interventi mirati e ottimizza la gestione del ciclo di vita delle opere. L'integrazione tra rilievi geomatici, analisi multi-criterio e diagnostica AI migliora la capacità di prevenzione e risposta, riducendo i rischi legati a frane e instabilità dei versanti.



Fig 4

Fig. 1: Sistema ARCHITA per rilievi mobili | Fig. 2: Nuvola di punti e DTM da ARCHITA nel caso studio tunnel e versanti
Fig. 3: Diagnostica AI delle gallerie con MIRET-Tunnel AI | Fig. 4: Mappa di rischio MIRETS Mappatura Idrogeologica

Caratterizzazione geomeccanica e valutazione della stabilità di un fronte roccioso di una strada a mezza costa

Francesco Tucci | Geologo libero professionista e responsabile tecnico della GeoTest di Carbone Andrea & C. s.a.s.

Clemente Marco Tucci | Geologo libero professionista e direttore tecnico della GeoTest di Carbone Andrea & C. s.a.s.

Carlo Tucci | Ingegnere civile e ambientale

Raffaele Carbone | Geologo libero professionista e direttore di laboratorio della GeoTest di Carbone Andrea & C. s.a.s.



Termini chiave: Rilievo geomeccanico, Stabilità dei versanti, Pericolosità da crollo, Caduta massi, Discontinuità strutturali

Keywords: Geomechanical survey, Slope stability, Rockfall hazard, Rockfall, Joints

Riassunto

Il presente studio si propone di valutare le condizioni di stabilità di un fronte roccioso situato lungo una strada interpodereale utilizzata dai residenti e lavoratori agricoli della zona. Attraverso uno studio geomeccanico, che include rilevamenti diretti in parete, prove geotecniche e verifiche di stabilità del versante, sono state analizzate le potenziali problematiche legate al rischio di distacco e crollo di blocchi dall'ammasso e stabilità globale. Inoltre, è stata condotta una simulazione numerica di caduta massi al fine di valutare ulteriormente la sicurezza dell'area.

Abstract

The present study aims to evaluate the stability conditions of a rocky slope located along a rural road. Employing a geomechanical investigation including direct wall surveys, geotechnical tests, and slope stability assessments, potential issues related to the risk of rock detachment and overall stability have been examined.

Additionally, a numerical simulation of rockfall has been conducted to further evaluate the area's safety.



Figura 1 - Foto con drone del fronte roccioso oggetto di studio e della strada interpodereale.

Premessa

Questo studio fornisce informazioni utili per la valutazione della stabilità di un ammasso roccioso e per la definizione della pericolosità di fenomeni da dissesto da crollo. Per valutare le condizioni di stabilità del fronte è stato adottato un approccio multidisciplinare, ai fini della caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso è stato eseguito un rilievo geomeccanico e delle prove di laboratorio geotecnico. Successivamente, sono state utilizzate le principali classificazioni geomeccaniche note in letteratura per la classificazione dell'ammasso, dai risultati ottenuti è stato definito il modello geomeccanico-geotecnico dell'ammasso. Le verifiche di stabilità del pendio sono state condotte utilizzando il software SSAP 2010, che sfrutta il metodo dell'equilibrio limite. Mediante la simulazione di caduta massi dal fronte sono state ottenute le potenziali traiettorie e le relative distanze massime percorribili dagli eventuali blocchi, definendo così l'area di pericolosità per eventi da crollo.

1. Inquadramento geologico

L'area di studio, situata nel comune di Rapolla (PZ), rientra nel territorio del Monte Vulture, vulcano non più attivo dal Pleistocene superiore, situato sul fronte orientale dell'Appennino Meridionale.



Figura 2 - Corografia dell'area di studio su foto aerea.

Dal punto di vista stratigrafico-strutturale l'area è posizionata sul margine esterno dell'Appennino Lucano che insieme alla Fossa Bradanica e all'Avampaese Apulo costituisce un sistema geodinamico unico originatosi in seguito alla subduzione verso W della microplacca adriatica sotto quella europea (Schiattarella M. et alii, 2005).

Questo sistema è attualmente configurato da una struttura a falde di ricoprimento, formatosi attraverso successive fasi deformative, e presenta una sovrapposizione tettonica di più unità stratigrafico-strutturali (Giannandrea P. et alii, 2006).

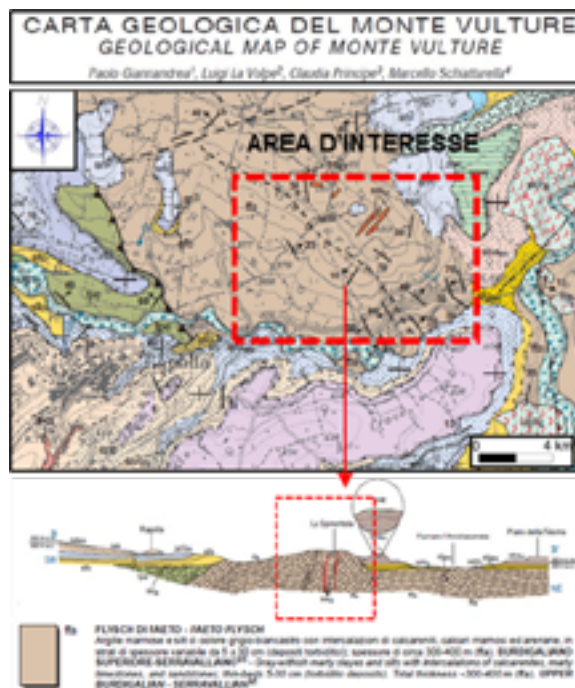


Figura 3 - Stralcio della carta geologica del Monte Vulture 1:25.000 e sezione geologica passante per l'area di interesse (Giannandrea P. et alii, 2004 mod.).

Il sito in esame è situato sul rilievo collinare noto come 'la Spinoritola', la formazione geologica affiorante è il Flysch di Faeto, appartenente alle unità tettoniche della Daunia. Questa formazione rappresenta il termine più recente delle successioni terrigene del Bacino Irpino (Cocco et alii, 1972; Pescatore, 1978, 1988) ed è costituita da calcari e calcari marnosi biancastri alternati a strati di calciruditi e calcareniti gradate, calcari organogeni teneri biancastri. La stratificazione risulta di difficile definizione e alquanto variabile dato l'elevato grado di tettonizzazione della formazione; infatti, l'area di interesse è stata soggetta a un'intensa attività tettonica e a deformazioni plicative.



Figura 4 - Zona cataclastica con comminuzione dei granuli dovuta al frizionamento, evidenza dei fenomeni deformativi che in passato hanno interessato l'area.

con implicazioni significative per la sicurezza delle persone e delle infrastrutture circostanti.

3. Rilievo geomeccanico

I rilievi geomeccanici sono stati condotti in conformità con le metodologie di acquisizione raccomandate dalla "International Society of Rock Mechanics" e finalizzati ad ottenere informazioni relative al numero di famiglie di giunti delle discontinuità, all'orientazione nello spazio delle singole famiglie, spaziatura, persistenza, scabrezza, apertura, eventuale presenza di riempimento o d'acqua, delle discontinuità. Tali dati sono fondamentali per la classificazione dell'ammasso roccioso secondo i metodi correnti

proposti in letteratura. La fase di elaborazione dei dati delle giaciture ha lo scopo di definire le principali famiglie di discontinuità presenti e di attribuire a ciascuna di esse i valori rappresentativi per la loro caratterizzazione. La maggior parte dei parametri misurati sono definiti lungo una linea di misura detta scanline.

Nel presente caso di studio, preliminarmente al rilievo sono stati delimitati i domini di roccia su cui eseguire le scanline, valutando l'altezza e la lunghezza dell'affioramento e naturalmente la giacitura del versante. Le stazioni di misura, tre scanline denominate rispettivamente: SL1, SL2 e SL3 sono state realizzate dove l'ammasso roccioso presenta condizioni di qualità sufficienti a condurre il rilievo statistico dei dati geomeccanici che riguardano l'ammasso stesso (figura 8). Le scanline sono state tutte orientate parallelamente al versante, e ortogonalmente ai piani di discontinuità che, nel caso in esame, sono rappresentati da: sistemi di joints (J) e superfici di strato (L).

2. Inquadramento geomorfologico

Il fronte roccioso, situato su un versante che degrada verso S con pendenza di 25-30° e posto alla quota di circa 368 m s.l.m., si estende in direzione E-W con una lunghezza lineare massima di circa 30 m. Le pareti sono subverticali, con una pendenza compresa tra 60 e 80°. Nella zona centrale, l'altezza massima rispetto al piano stradale è di 6,0 m, con una progressiva diminuzione dell'altezza ai lati del fronte, raccordandosi al pendio esistente. Alla base del fronte roccioso è presente un muro di sostegno alto 1,80 m. Dal rilievo geomorfologico è emerso un fenomeno di dissesto generalizzato per caduta blocchi di dimensioni variabili, con dimensioni dell'ordine di misura decimetrico. I blocchi caduti sono stati rilevati ai piedi dell'ammasso roccioso (figura 5) e in passato sono stati riscontrati anche sulla carreggiata stradale. I crolli in roccia rappresentano dei fenomeni di dissesto piuttosto gravosi da un punto di vista tecnico, caratterizzati da velocità elevate e scarsi segni premonitori, inoltre l'impatto al suolo e la traiettoria dei blocchi sono difficili da modellare e prevedere,

3.1 Scanline (SL1)

La scanline SL1 è orientata E-W, ha una lunghezza di 5,20 metri ed è stata eseguita su una porzione di parete del versante orientata N220/60 per un'altezza del fronte di 6 metri rispetto al piano strada. Sono presenti fasce cataclastiche e disturbo dovuto alla vegetazione.



Figura 5 - Scanline SL1, ai piedi del fronte si notano i blocchi di dimensioni decimetriche crollati dall'ammasso.

FAMIGLIA	DISCONTINUITÀ	DIREZIONE IMMERSIONE	SPAZIATURA MEDIA (cm)	JRC (Medio)	PERSISTENZA (m)
1	Stratificazione	220°-230°	36,0	10	2,0
2	Joint	240°-245°	118,0	10	1,0
3	Joint	110°-130°	100,0	10	1,0

Tabella 1 – Tabella riassuntiva delle principali famiglie di discontinuità rilevate per la scanline SL1.

3.2 Scanline (SL2)

La scanline SL2 è orientata E-W, ha una lunghezza di 3,40 metri ed è stata eseguita su una porzione di parete del versante orientata N220/70 per un'altezza del fronte di 5,80 metri rispetto al piano strada.



Figura 6 - Scanline SL2.

FAMIGLIA	DISCONTINUITÀ	DIREZIONE IMMERSIONE	SPAZIATURA MEDIA (cm)	JRC (Medio)	PERSISTENZA (m)
1	Joint	150°-180°	65,0	10	1,0
2	Stratificazione	200°-230°	105,0	10	1,0
3	Joint	280°-300°	60,0	10	1,0

Tabella 2 – Tabella riassuntiva delle principali famiglie di discontinuità rilevate per la scanline SL2.

3.3 Scanline (SL3)

La scanline 3 è orientata E-W, ha una lunghezza di 2,20 metri ed è stata eseguita su una porzione di parete del versante orientata N220/60 per un'altezza del fronte di 5,30 metri rispetto al piano strada. In quest'area del fronte la litofacies arenacea del flysch affiorante è prevalente. È presente un forte disturbo dovuto alla vegetazione.

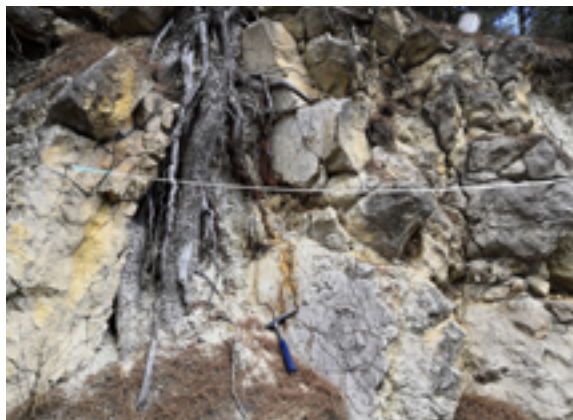


Figura 7 - Scanline SL3.

FAMIGLIA	DISCONTINUITÀ	DIREZIONE IMMERSIONE	SPAZIATURA MEDIA (cm)	JRC (Medio)	PERSISTENZA (m)
1	Joint	120°-140°	70,0	12	1,0
2	Stratificazione	230°-240°	95,0	-	1,0

Tabella 3 – Tabella riassuntiva delle principali famiglie di discontinuità rilevate per la scanline SL3.

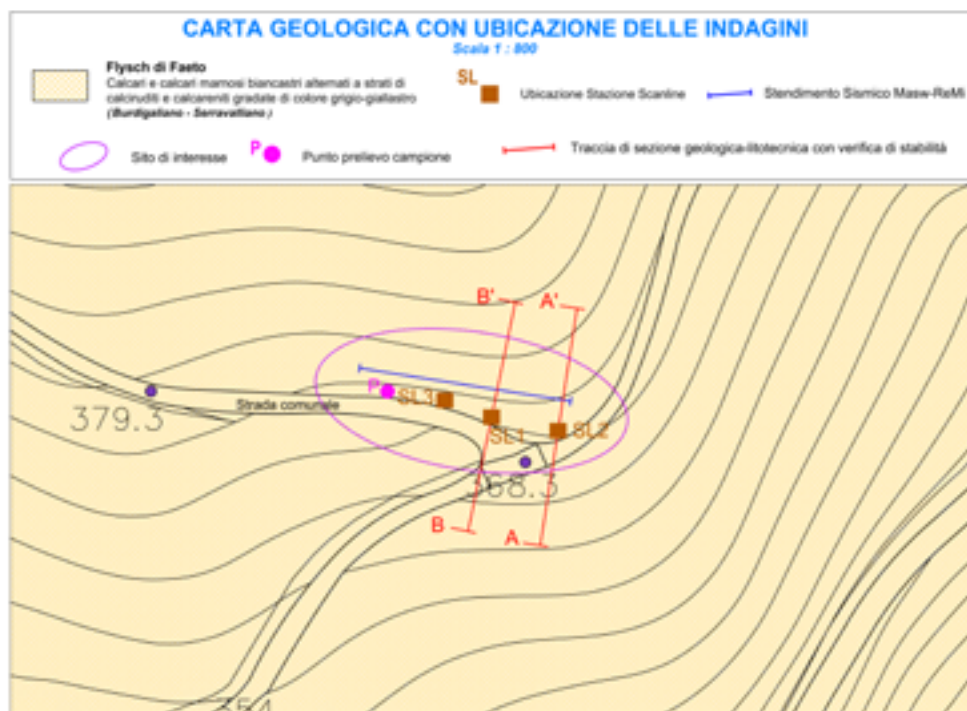


Figura 8 - Carta geologica con ubicazione delle indagini realizzate.

4. Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

Per la misura dei parametri dell'ammasso roccioso e per valutare il comportamento meccanico sono state usate le classificazioni di: Bieniawski, 1989 'RMR 89', Bieniawski, 1976 'RMR 76', Slope Mass Rating, Romana "SMR" (1972), GSI (Geological Strength Index) e Deere 'RQD' (1964). La definizione dei parametri caratteristici ha permesso di classificare l'ammasso roccioso suddividendolo in

differenti classi di qualità. Si specifica che il parametro di resistenza a compressione introdotto nei processi di calcolo è stato ricavato da prove di compressione uniaxiale effettuate su un campione di roccia prelevato dal fronte, di seguito in un apposito capitolo dell'articolo 'Caratterizzazione fisico-tecnica del litotipo' se ne discuterà diffusamente.

La classificazione geomeccanica delle 3 scanline sono sintetizzate nella tabella di seguito:

Scanline	RMR '76'	RMR '89'	SMR	GSI	RQD
SL1	RMR=49 Discreta	RMRC=40 Scadente	SMR=74 Buona	GSI=44 Discreta	RQD=94 Eccellente
SL2	RMR=49 Discreta	RMRC=42 Scadente	SMR=40 Scadente	GSI=44 Discreta	RQD=95 Eccellente
SL3	RMR=44 Discreta	RMRC=39 Scadente	SMR=69 Buona	GSI=44 Discreta	RQD=94 Eccellente

Tabella 4 – Tabella riassuntiva delle classificazioni geomeccaniche.

Dall'analisi dei risultati ottenuti si riscontrano alcune perplessità nel valore raggiunto dall'indice RQD, come menzionato da diversi autori (Bieniawski Z. T., 1973, 1984; Edelbro C. 2003), è indubbio che tale indice presenti alcuni limiti ed il caso in esame ne sembra essere un esempio lampante. L'indice RQD è una misura direzionale e a causa della metodologia con cui viene generalmente definito, esso risulta essere maggiormente sensibile alla direzione della scanline piuttosto che alla spaziatura delle discontinuità o alle misurazioni della frequenza delle fratture. Infatti, nel caso affrontato, pur avendo caratterizzato un ammasso contraddistinto da discontinuità molto fitte, l'indice RQD calcolato mediante le relazioni proposte da Deere (1964) assume un valore pari a 94-95 %. Per tali motivi, si ritiene di non considerare tale tipologia di classificazione per la stima della qualità dell'ammasso.

Dal metodo SMR si possono avere indicazioni generali sul grado di stabilità della scarpata e sul tipo di cinematiso di rottura che si può instaurare.

Nello studio in esame la classificazione SMR ha fornito le seguenti indicazioni sul grado di stabilità e cinematiso:

SCANLINE	STABILITÀ	CINEMATISMO
SL1	Stabile	Distacco di piccoli blocchi
SL2	<u>Instabile</u>	<u>Scivolamenti planari di medie dimensioni o grandi cunei instabili</u>
SL3	Stabile	Distacco di piccoli blocchi

Tabella 5 – Tabella riassuntiva delle indicazioni generali del grado di stabilità e potenziale tipologia di cinematiso a rottura derivante dalla classificazione geomeccanica Slope Mass Rating 'SMR' di Romana (1972).

L'analisi del potenziale cinematiso a rottura e di stabilità realizzata sulla scanline SL2 evidenzia un maggior numero di cunei instabili di medie e grandi dimensioni a differenza delle scanline SL1 e SL3 classificate sostanzialmente stabili con potenziale distacco di piccoli blocchi.

In conclusione, il fronte roccioso può essere mediamente classificato come di qualità discreta-scadente, con potenziali distacchi di piccoli-medi blocchi. Il cinematiso prevalente per il crollo è lo scivolamento su cuneo. I volumi rocciosi soggetti a crollo, stimati dal rilievo geomeccanico sono principalmente di dimensione dell'ordine di grandezza dei decimetri cubi.

5. Caratterizzazione sismostratigrafica per la risposta sismica locale

È stata eseguita un'indagine sismica con la metodologia Masw-ReMi per poter stimare l'azione sismica di progetto da introdurre nelle successive elaborazioni.

L'indagine è stata realizzata dalla ditta Geotest di Carbone Andrea & C. s.a.s..

Per il calcolo della $V_{s,eq}$ si fa riferimento all'indicazioni riportate nel D.M. 17.01.2018 ("Norme tecniche per le costruzioni"). Dai dati risultano valori di $V_{seq} = 644$ m/s, che permettono di classificare il terreno come di tipo B. Per quanto riguarda l'amplificazione topografica, il nostro versante, per la sua ubicazione e per le pendenze maggiori di 15°, la Categoria Topografica è la T2 il cui parametro ST è pari ad 1,2.

6. Caratterizzazione fisico-tecnica del litotipo

Nel presente lavoro, tenuto conto delle finalità dello studio, è stato prelevato un blocco roccioso direttamente dal fronte oggetto di verifica al fine di caratterizzarlo attraverso una serie di prove di laboratorio geotecnico presso la ditta GeoTest di Carbone Andrea & C. s.a.s., laboratorio ufficiale terre, rocce e aggregati.

L'ubicazione del punto di prelievo del campione è indicata nella figura 8. In laboratorio, è stato eseguito il carotaggio per ottenere quattro provini designati come C1, C2, C3 e C4. Successivamente, su questi provini sono state condotte le seguenti prove di laboratorio per la parametrizzazione geotecnica del litotipo:

- Misura del peso di volume;
- Prova di compressione uniassiale;
- Tilt Test.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti:

Provini	C1	C2	C3	C4
Resistenza a compressione uniassiale (Mpa)	100,11	38,40	82,47	61,04
Peso di volume (kN/m ³)	26,2	25,5	26,0	25,6

Tabella 6 – Tabella riassuntiva dei valori resistenza a compressione e peso di volume ottenuti.

In ottica cautelativa, è stato scelto come parametro caratteristico di resistenza a compressione dell'ammasso il valore inferiore tra quelli sperimentalmente ottenuti, pari a 38,40 Mpa. Questo valore è stato utilizzato per le elaborazioni di classificazione geomeccanica che di analisi di stabilità.



Figura 9 - Provino C4 dopo l'esecuzione della prova a compressione uniassiale, da notare la tipologia di rottura composta da una frattura longitudinale tale da dividere in due parti quasi simmetriche il provino.

Per determinare l'angolo di resistenza al taglio residuo dei giunti, valore implementato nella verifica di stabilità del fronte, si è proceduto ad effettuare sui provini C2, C3 e C4 la prova di Tilt Test.

Questi provini dopo essere stati sottoposti alla prova di compressione uniassiale hanno riportato una rottura composta da una frattura longitudinale che li ha divisi in due parti quasi simmetriche, come si evince in figura 9. Si è assunto che queste fratture siano riferibili a quelle naturali, simili in termini di asperità e casualità della superficie di rottura (non predefinita) delle fratture in situ.

Di seguito una tabella riassuntiva dei valori medi e inferiori ottenuti:

Angolo di resistenza al taglio residuo φ_r			
PROVINI			
φ_r	C2	C3	C4
Medio	36,4°	37,8°	38,7°
Min	35,0°	37,0°	38,0°

Tabella 7 – Tabella riassuntiva dei valori di φ_r ottenuti.

Il valore dell'angolo residuo di resistenza al taglio dei giunti dell'ammasso cautelativamente adottato e utilizzato nelle successive elaborazioni è quello corrispondente al risultato minore derivante dai test eseguiti sul provino

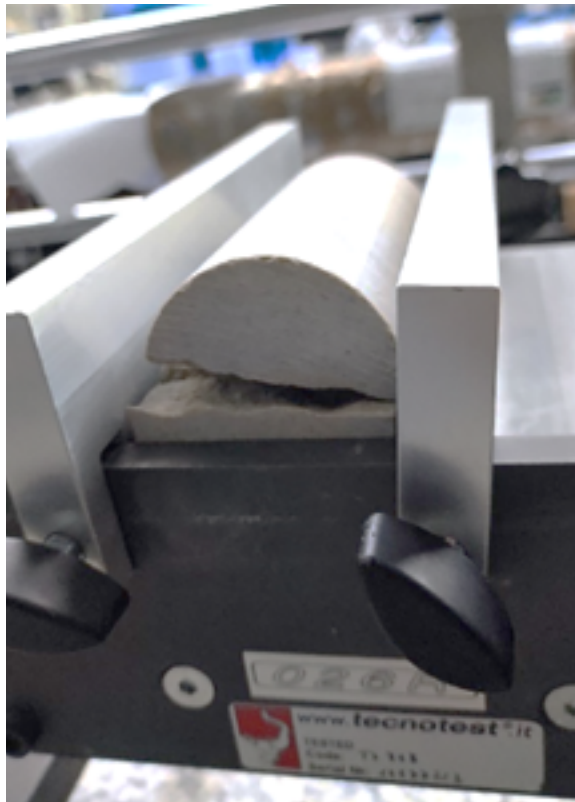


Figura 10 - Esecuzione della prova di Tilt Test con dettaglio su una delle combinazioni lungo il piano di rottura testata.

C2, cioè $\varphi_r=35^\circ$.

7. Verifiche analitiche di stabilità del versante

Le verifiche sono state eseguite lungo le tracce di sezione A-A' e B-B', riportate in figura 8, giudicate di particolare interesse, in quanto la prima sezione interessa la scanline SL2, definita secondo la classificazione geomeccanica 'SMR' instabile, invece, la traccia B-B' interessa la scanline SL1, ubicata nella parte centrale del fronte, corrispondente alla posizione che presenta l'altezza massima.

Per valutare il grado di stabilità del pendio rispetto a potenziali movimenti gravitativi si è utilizzato il software SSAP2010 (Slope Stability Analysis Program), il software utilizza metodi di calcolo rigorosi che operano nell'ambito della metodologia della verifica della stabilità dei pendii mediante il metodo dell'equilibrio limite. Per il metodo di calcolo si è utilizzato il metodo di ZHU et al. (2005) con l'applicazione del metodo dell'equilibrio limite di Morgenstern & Price (1965) (Borselli L., 2023). Il software permette di gestire gli ammassi rocciosi utilizzando il Criterio di Rottura di Hoek et al. (2002). Nel caso specifico è stato utilizzato un modello derivato dal modello geomeccanico-geotecnico elaborato corrispondente al valore GSI (Geological Strength Index) definito per le scanline.

La ricostruzione del modello geomeccanico-geotecnico dell'ammasso roccioso è stata realizzata attraverso l'integrazione dei dati ottenuti dall'esecuzione del rilievo geomeccanico, dalla classificazione e i parametri geotecnici ottenuti dalle prove di compressione uniaassiale e tilt test. Inoltre, nel modello sono state implementati i dati geometrici e geomeccanici delle principali famiglie di discontinuità, così facendo nell'analisi di stabilità se una specifica superficie di scivolamento generata incontri e segua una delle famiglie di discontinuità presenti, il criterio di rottura utilizzato dal software non sarà più quello GSI (Hoek et al. 2002), ma il criterio di rottura JRC-Barton-Bandis (1990) (Borselli L., 2023).

Le verifiche analitiche di stabilità e i relativi calcoli delle azioni sismiche sono stati svolti seguendo le indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018).

Nei calcoli, ai sensi del NTC2018, si è tenuto conto delle seguenti condizioni previste dalla normativa:

- a. punto 6.8.6. - previsto per i fronti di scavo, tipologia d'opera scelta per il presente caso di studio;
- b. le verifiche sono state eseguite con l'Approccio 1 - Combinazione 2: (A2+M2+R2);
- c. punto 6.2.4.1.2 - previsto per gli ammassi rocciosi; il software per gli ammassi rocciosi applica i fattori correttivi di progetto ai valori di c' e φ' equivalenti locali calcolati lungo la superficie di scivolamento considerata (Borselli L., 2023).
- d. punto 7.11.4 - previsto per i fronti di scavo nelle verifiche in condizioni sismiche;
- e. azioni sismiche calcolate per lo stato limite di salvaguardia della Vita (SLV), specifico dell'oggetto di verifica, e considerando una Vita nominale dell'opera = 50 anni, quindi Classe d'uso= II.

I parametri utilizzati nella verifica sono:
Per la verifica, sono state considerate le seguenti condizioni al contorno:

- assenza di falda;
- assenza di sovraccarichi;
- attivazione effetto tension crack superficiali (sviluppo di fessure di trazione);
- attivazione ottimizzatore tracciatore discontinuità sottili;
- inserimento del muro di sostegno in cemento armato che delimita alla base il fronte roccioso, a cui sono stati attribuiti i seguenti parametri geotecnici stimati facendo riferimento al documento EHE-98, Comisión Permanente del Hormigón (1998). Instrucción del Hormigón Estructural. Ministerio de Fomento, Centro de Publicaciones, Madrid.

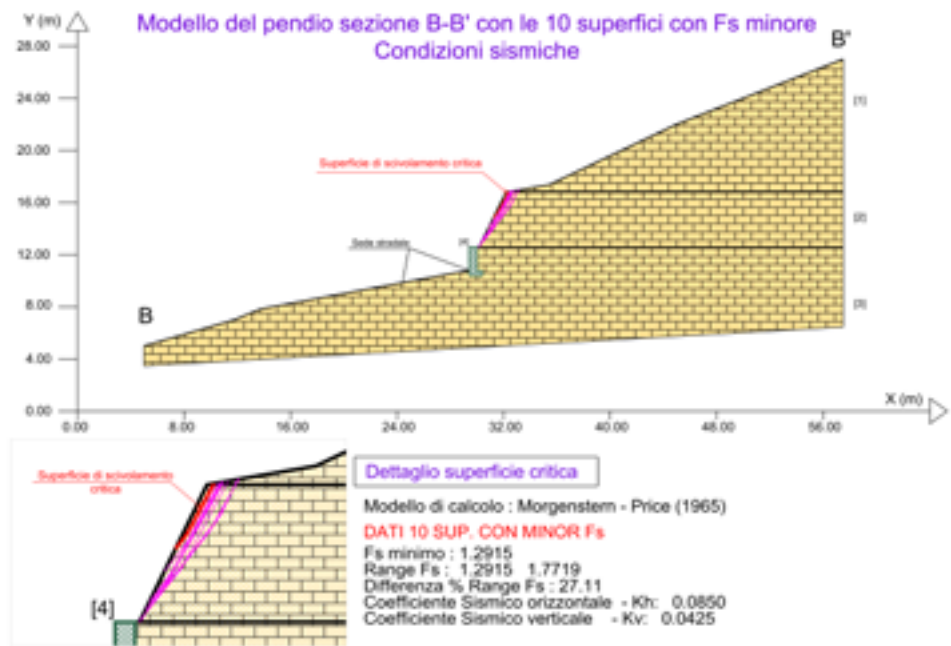


Figura 11 – Modello del pendio della verifica B-B', in condizioni sismiche, con le 10 superfici di scivolamento con Fs minore.

FLYSCH DI FAETO	
σ_c (MPa)	38,40
γ_n (kN/m ³)	26,00
GSI	44
m^i	8
D	0.7

Tabella 8 – Tabella dei parametri utilizzati nella definizione del modello geomeccanico-geotecnico.

Muro di sostegno	
γ_n	25,0 kN/m ³
φ	35,0°
c'	365,0 kPa

Tabella 9 – Parametrizzazione geotecnica del muro di sostegno.

Di seguito viene riportata una tabella con i risultati dei Fattori di sicurezza (Fs) minimi ottenuti nelle analisi eseguite:

FATTORI DI SICUREZZA (Fs)		
Verifica	Condizioni statiche	Condizioni dinamiche
A-A'	1.8363	1.7975
B-B'	1.3247	1.2915

Tabella 10 – Fattori di sicurezza minimi ottenuti per le verifiche di stabilità A-A', passante per la scanline SL2, e B-B' che interessa la scanline SL1.

Le verifiche hanno fornito un valore del coefficiente di sicurezza superiore a 1.1 (condizioni statiche) e 1.2 (condizioni dinamiche), valori che garantiscono un grado di sicurezza ritenuto accettabile in considerazione del livello di conoscenze raggiunto, dell'affidabilità dei dati disponibili e del modello di calcolo adottato in relazione alla complessità geologica e geotecnica, nonché sulla base delle conseguenze di un'eventuale frana. Quindi il versante oggetto di studio può essere definito stabile, sia in

condizioni statiche che dinamiche.

8. Simulazione caduta massi e definizione dell'area soggetta a pericolo crolli

Per valutare il potenziale distacco di piccoli e medi blocchi dal fronte, è stata condotta una simulazione numerica di caduta massi mediante il software "Is GeoMassi" della Dolmen srl. La geometria del versante è stata modellata attraverso una maglia di triangoli, generata a partire da un Digital Terrain Model (DTM) dell'area di studio, disponibile sul Geoportale della Regione Basilicata. L'analisi di caduta massi è stata eseguita utilizzando il metodo "Lumped Mass Ibrido", in cui il moto del corpo avviene, oltre che per caduta libera, con una serie di impatti e di rimbalzi o per rotolamento. Le velocità post-impatto sono state calcolate seguendo il modello CRSP (Colorado Rockfall Simulation Program), basato sulla conservazione dell'energia.

Considerando le osservazioni di campo e le analisi precedentemente esposte, si è deciso di utilizzare come blocco di progetto per le verifiche la tipologia di caduta di un singolo blocco, escludendo la possibilità di caduta di sciame di blocchi. Ai blocchi di progetto, sulla base delle osservazioni effettuate, sono stati attribuiti volumi variabili tra 1,0 e 27,0 dm³.



Figura 12 - Traiettorie ottenute dalla simulazione della caduta massi su foto aerea che interessano l'infrastruttura stradale.

Per quanto riguarda i tempi di ritorno del fenomeno da crollo, dai sopralluoghi effettuati e in relazione al numero di blocchi di volume significativo caduti negli ultimi anni e visibili al piede del fronte, oltre alle osservazioni fornite dai tecnici comunali nel corso degli ultimi anni, si è stimato una frequenza di caduta massi non superiore ai 3 blocchi/anno; per realizzare una simulazione che ricopre un arco di tempo di 30 anni è stata perciò eseguita un'analisi traiettografica comprendente un totale di 90 lanci.



Figura 13 - Traiettorie dei blocchi sul modello 3D del fronte.

Dall'analisi dei risultati emerge che la maggior parte dei blocchi termina la propria corsa nell'immediato piede della scarpata, ma alcuni potenziali blocchi possono interessare anche la sede stradale prospiciente il fronte. La maggior parte dei crolli è concentrata in corrispondenza della parte centrale e iniziale del fronte, partendo da Est.

Basandosi sui dati ottenuti, è stata definita l'area di pericolosità per eventi da crollo con una probabilità di accadere entro un intervallo temporale di 30 anni come l'area individuata dalle traiettorie dei blocchi che hanno raggiunto la massima distanza dal fronte (vedi figura 12).

9. Considerazioni tecniche conclusive

Lo studio condotto ha consentito la caratterizzazione geomeccanica e la verifica della stabilità del fronte roccioso in esame. Dai risultati ottenuti dalla verifica di stabilità possiamo definire il versante in esame globalmente stabile. Tuttavia, l'intensa fratturazione della formazione unita alla giacitura degli strati, spesso orientati a franapoggio rispetto all'orientazione del versante, e l'orientazione sfavorevole di alcune famiglie di joint non favoriscono la

stabilità puntuale dell'ammasso.

Di conseguenza, è stata eseguita una simulazione di caduti massi da cui risulta che la maggior parte dei blocchi, dopo il crollo, termina la propria corsa nell'immediato piede del fronte, mentre alcuni potenziali blocchi, seppur in minor numero, potrebbero interessare la sede stradale. Pertanto, si rende necessario mitigare i fenomeni di dissesto per crollo al fine di garantire la sicurezza e l'incolumità degli utilizzatori dell'infrastruttura stradale.

In considerazione dei risultati degli studi realizzati, possono essere adottate alcune soluzioni di opere di difesa massi passive, come l'applicazione di una rete elettrosaldata sulla parete del fronte fissata con chiodi speciali e cavi di acciaio tesi.

Inoltre, nei punti in cui i volumi rocciosi sono maggiormente fratturati, si potrebbero realizzare interventi di consolidamento mediante chiodature e l'utilizzo di miscele cementizie o resine al fine di ricreare una coesione d'insieme 'roccia armata' (Lunardi P. et al., 1994), quindi fissati all'ammasso omogeneo retrostante con bulloni di dimensioni adeguate.

Bibliografia

- APAT (2002). *Atlante delle opere di sistemazione dei versanti*. Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici.
- BARBAGALLO O., CALVI F. (2020). "Studio geomeccanico e di caduta massi nell'area di Forza d'Agrò finalizzato alla richiesta di variante al PAI dei bacini 097-098" *Geologia Tecnica & Ambientale*, n. 2/2020.
- BARTON N. (1978). "Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses" *International Society for Rock Mechanics. Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr*, 15, Pp. 319-368.
- BENEDUCE P., CAPUTO R. - "Una rassegna dei siti di interesse geologico e archeologico dell'area del Monte Vulture (Basilicata)" *Geologia dell'Ambiente - Periodico della SIGEA, Supplemento al n° 1/2003*.
- BIENIAWSKI, Z. T. (1973). "Engineering classification of jointed rock masses" *Civil Engineering Siviele Ingenieurswese*, 12, pp. 335-343.
- BIENIAWSKI, Z. T. (1984). *Rock mechanics design in mining and tunneling*. United States.
- BIENIAWSKI, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering*. John Wiley & Sons.
- BOENZI F., LA VOLPE L., RAPISARDI L. (1987). "Evoluzione geomorfologica del complesso vulcanico del Monte Vulture (Basilicata)" *Boll. Soc. Geol. It.*, 106, pp. 673-682.
- BORSELLI L. (2023). *Manuale di riferimento del codice SSAP2010 (Slope stability analysis program) Versione 5.2.3 del 2023*.
- BRANCUCCI G., MARIN V., SALMONA P. (2011). *Geomorfologia Applicata*. Libreria universitaria.it edizioni.
- BRUNO G. (2012). *Caratterizzazione geomeccanica per la progettazione geotecnica*. Dario Flaccovio Editrice.
- BRUNO G. (2020). "Preliminary evaluation of the reliability, through simulation with numeric code (UDEEC), of the stabilization

- measures suggested by SMR for a slope affected by rockfalls" *Geologia Tecnica & Ambientale*, n. 2/2020.
- BRUSCHI A. (2004). *Meccanica delle Rocce nella pratica geologica ed ingegneristica*. Dario Flaccovio Editore.
 - CARRANZA-TORRES C. (2004). "Some comments on the application of the Hoek-Brown failure criterion for intact rock and rock masses to the solution of tunnel and slope problems" In: Barla G, Barla M, editors, *MIR 2004 - X Conference on rock and engineering mechanics*, Torino, Italy, Pàtron Editore, Bologna; 24-25 November 2004, pp. 285-326.
 - COCCO E., CRAVERO E., ORTOLANI F., PESCATORE T., RUSSO M., SGROSSO I., & TORRE M. (1972). "Les faciès sédimentaires miocènes du Bassin Irpinien (Italie Meridionale)" *Atti Acc. Pont., Nuova Serie*, 21, pp. 1-13.
 - CONTI P. (2015). *Analisi Geomeccanica*. Centro di GeoTecnologie - Dipartimento di Scienze Fisiche della Terra e dell'Ambiente - Università degli Studi di Siena.
 - DEERE D. (1988). "The rock quality designation (RQD) index in practice" In *Rock classification systems for engineering purposes*. ASTM International.
 - EDELBRO, C. (2003). "Rock mass strength: a review."
 - ETAG (2008). *Guida per il Benessere Tecnico Europeo di Sistemi di Protezione Paramassi*. European Organisation for Technical Approvals.
 - GIANNANDREA P. (2006). "Carta geologica del Bacino di Venosa, scala 1: 25.000" *Litografia Artistica Cartografica*, Firenze. In: Principe C. (a cura di) "La Geologia del Monte Vulture". Regione Basilicata.
 - GIANNANDREA P. (2006). "Il Bacino di Venosa nell'ambito dell'evoluzione quaternaria della Fossa Bradanica (confine apulo - lucano, Italia meridionale)" Tesi di Dottorato, Università degli studi di Bari.
 - GIANNANDREA P., LA VOLPE L., PRINCIPE C. & SCHIATTARELLA M. (2004). "Carta geologica del Monte Vulture, scala 1: 25.000" *Litografia Artistica Cartografica*, Firenze. In: *Boll. Soc. Geol. It.* 125.
 - GIANNANDREA P., LA VOLPE L., PRINCIPE C. & SCHIATTARELLA M. (2006). "Unità stratigrafiche a limiti inconformi e storia evolutiva del vulcano medio-pleistocenico di Monte Vulture (Appennino meridionale, Italia)." *Boll. Soc. Geol. It.*, 125.
 - GONZALEZ DE VALLEJO L.I. (2004). *Geingegneria*. Pearson Education Italia.
 - HOEK, E. AND BROWN, E.T. (1980). "Empirical strength criterion for rock masses" *J. Geotech. Eng Div., ASCE* 106 (GT9).
 - HOEK, E., MARINOS, P. AND BENISSI, M. (1998). "Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation." *Bull. Engg. Geol. Env.*, 57(2).
 - HOEK, E., CARRANZA-TORRES, C., & CORKUM, B. (2002). "Hoek-Brown failure criterion-2002 edition." *Proceedings of NARMS-Tac*, 1, pp. 267-273.
 - HOEK, E., CARTER, T. G., & DIEDERICH, M. S. (2013). "Quantification of the geological strength index chart." In *47th US rock mechanics/geomechanics symposium*. American Rock Mechanics Association.
 - ISRM (1978). "Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses." *International Journal of Rock Mechanics, Mining Science and Geomechanics Abstracts*, 22, pp. 53-60.
 - ISRM (1981). *Rock Characterization, Testing and Monitoring: ISRM suggested methods*. Pergamon Press.
 - ISRM (1993). "Metodologie per la descrizione quantitativa delle discontinuità nelle masse rocciose" *Rivista italiana di geotecnica*, 2, pp. 151-197.
 - Ministero delle infrastrutture e dei trasporti (2018). "Decreto 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»"
 - LUNARDI P., SANTINI A., CRISÀ M. (1994). "La geingegneria e il restauro dei beni storico-ambientali studio dei dissesti e progettazione degli interventi di consolidamento - Il consolidamento della Rocca di Cefalù" *Quarry and Construction*, Agosto 1994, pp.68-82.
 - MARINOS, V.I.I.L., MARINOS, P., & HOEK, E. (2005). "The geological strength index: applications and limitations" *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64.
 - PESCATORE T. (1978). "Evoluzione tettonica del Bacino Irpino (Italia meridionale) durante il Miocene" *Boll. Soc. Geol. It.*, 97, pp. 783-805.
 - PESCATORE T. (1988). "La sedimentazione miocenica nell'Appennino campano lucano" *Mem. Soc. Geol. It.*, 41, pp. 37-46.
 - PFEIFFER T., BOWEN T. (1989a). *Colorado Rockfall Simulation Program*. Colorado School of Mines - U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Final Report.
 - PFEIFFER T., BOWEN T. (1989b). "Computer simulation of rockfalls" *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, XXVI, 1, pp. 135-146.
 - Regione Sicilia (2013). "Assessorato Regionale Territorio e Ambiente Dipartimento - Regionale dell'Ambiente D.D.G. n. 1067 "Direttive per la redazione degli studi di valutazione della pericolosità derivante da fenomeni di crollo" G.U.R.S. n. 53 del 2014."
 - RIG (1993). "Metodologie per la descrizione quantitativa delle discontinuità nelle masse rocciose" *Rivista Italiana di Geotecnica*, R.I.G. 2/93, Raccomandazioni ISRM, pp. 209-214.
 - ROMANA M. R. (1993). "A geomechanical classification for slopes: slope mass rating." In *Rock testing and site characterization*, pp. 575-600.
 - SCHIATTARELLA M., BENEDEUCE P., DI LEO P., GIANO S.I., GIANNANDREA P. & PRINCIPE C. (2005). "Assetto strutturale ed evoluzione morfotettonica quaternaria del vulcano del Monte Vulture (Appennino Lucano)." *Mem. Soc. Geol. It.*, 124.
 - Servizio geologico d'Italia (2010). "Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 451 - Melfi."
 - Servizio geologico d'Italia (2014). "Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 452 - Rionero in Vulture."
 - TSE, R., CRUDEN D. M. (1979). "Estimating joint roughness coefficients" *International journal of rock mechanics and mining sciences & geomechanics abstracts*, Vol. 16. No. 5.



valsir®
QUALITÀ PER L'IDRAULICA

AQUANEST: la soluzione innovativa per la gestione sostenibile delle acque meteoriche

Aquanest è un sistema modulare (SUDS) per la gestione sostenibile delle acque meteoriche in ambito urbano. I moduli drenanti favoriscono l'infiltrazione, il rallentamento e la ritenzione delle acque piovane, riducendo l'impatto delle precipitazioni più intense sulle infrastrutture.

Fedele al principio dell'invarianza idraulica, Aquanest tutela la naturale capacità del suolo di regolare il deflusso delle acque. Il sistema garantisce che, anche in contesti di intensa urbanizzazione, volume e velocità dell'acqua rimangano entro limiti di sicurezza, prevenendo allagamenti e sovraccarico della rete fognaria.

I moduli, efficienti e versatili, sono facili da installare e adattabili a diversi progetti. Realizzati con materiali resistenti (polipropilene riciclato e cariche minerali), assicurano lunga durata (oltre 50 anni) e azzerano i costi di manutenzione.

In un'epoca di cambiamenti climatici ed eventi meteorologici estremi, Aquanest contribuisce alla resilienza urbana, gestendo efficacemente grandi volumi d'acqua e prevenendo potenziali danni a cose e persone. Il sistema favorisce inoltre il ciclo dell'acqua riducendo il carico sui sistemi fognari.

Aquanest ha un elevato coefficiente di resa vuoto/pieno (96%) e resiste a carichi pesanti (60 tonnellate). Il sistema di aggancio dei moduli garantisce estrema stabilità nel tempo e facilita le ispezioni. La geometria dei moduli ha notevoli vantaggi anche sul piano logistico, semplificando il trasporto degli elementi.

Aquanest è ideale per realizzare bacini disperdenti, vasche di accumulo e di laminazione.



www.valsir.it





 KELLER

WE ARE KELLER PRESSURE

NEW BRAND – SAME QUALITY



«SWISS PRECISION» WORLDWIDE

KELLER Pressure established in 1974 is the market-leader in the production of piezoresistive pressure measurement technology.

Manufacturing takes place at the headquarters in Winterthur ensuring every product bears the «Swiss Made» seal of quality and embodies the Swiss understanding of quality, functionality, and reliability.

keller-pressure.com

