

GEOLOGI MARCHE

PERIODICO ORDINE DEI GEOLOGI DELLE MARCHE

Contiene I.P.
POSTE ITALIANE S.P.A. - SPEDIZIONE IN ABBONAMENTO POSTALE - AUT. N°388/2019
STAMPE IN REGIME LIBERO



**RISORSE PER IL TERRITORIO
E LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE**

**N° 1
2021**

Atom Sismografo wireless



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

Strumenti ad alta tecnologia anche a noleggio per:

Studio dei fondali e delle coste

Multibeam, SSS, SBP, sismica marina ...

Ingegneria civile

Georadar 3D, laser scanner, inclinometri ...

Monitoraggio sismico

Sismometri, strong motion, reti early warning ...

Studio del sottosuolo

Georadar, sismica, geoelettrica ...

Monitoraggio ambientale

Magnetometri, elettromagnetismo, sonde oceanografiche ...



CODEVINTEC

Tecnologie per le Scienze della Terra

Codevintec rappresenta anche:



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

GECEO

Servizi Geologici & Indagini Sismiche

Geognostica e prove in sito



- › Sondaggi a carotaggio continuo ed a distruzione di nucleo con prove in foro
- › Indagini Ambientali
- › Prove penetrometriche
DPSH-CPT-CPTe-CPTU
- › Sondaggi e prelievo di campioni con tecnologia Geoprobe®
- › Prove di emungimento su pozzi e piezometri
- › Prove di carico su pali, micropali
- › Prove di trazione e a sfilamento

Geofisica e Gеоelettica



- › Sismica a rifrazione, riflessione
Down Hole, Cross Hole
- › MASW, SASW
- › Sismica passiva: REMI, HVSR
ESAC, SPAC
- › Analisi di risposta sismica locale
- › Geoelettica SEV, SEO, FLV
- › Tomografia elettrica 2D e 3D
- › Rilievi Georadar
- › Log geofisici in foro

Monitoraggi



- › Monitoraggio frane e versanti
(inclinometri estensimetri, ecc..)
- › Monitoraggi idrogeologici e strumentali
(piezometri elettrici, misuratori di portata ecc..)
- › Monitoraggi ambientali
(stazioni meteorologiche, sonde soil gas
sensori fisico-chimici, campi elettromagnetici)
- › Monitoraggio strutturale (fessurimetri,
clinometri, estensimetri, assensimetri,
celle di carico ecc..)
- › Sistemi area velocity
- › Videoispezioni di tubature e pozzi

Andiamo in profondità, in ogni progetto

SONDAGGI GEOTECNICI

Carotaggio continuo e prove geognostiche in foro

Prova S.P.T. Standard Penetration Test / Tubo Piezometrico tipo "tubo aperto"
Tubo Piezometrico tipo "Casagrande" / Tubo inclinometrico / Permeabilità
(Lefranc) / Down-hole / Misure inclinometriche con Sonda SISGEO



SONDAGGI AMBIENTALI

Carotaggio continuo a secco, prelievo di campioni
e messa in opera di strumentazioni in foro

Sondaggi geognostici con carotiere a secco Strumentazione dei
fori di sondaggio con tubi Piezometrici di vario diametro / Spurghi e prelievi con
pompa dotata di booster per regolazione di flusso / Installazione di sistemi
automatici di misura dei livelli piezometrici



PROVE PENETROMETRICHE

Statiche, dinamiche ed elettriche

Prove penetrometriche statiche con punta meccanica Begemann (CPT)
Prove penetrometriche dinamiche anche con rivestimento (DPSH)
Prove penetrometriche elettriche con piezocono (CPTU) / Prelievo di campioni
indisturbati con campionatore semplice Shelby / Perforazione muratura per
drenaggi o saggi esplorativi con carotatrice Hilty



INDAGINI SISMICHE

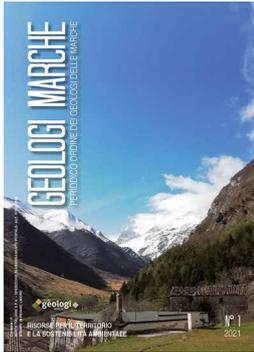
H.V.S.R. sismica passiva



INDAGINI CON TERMOCAMERA

Verifiche non distruttive





GEOLOGI MARCHE

PERIODICO ORDINE DEI GEOLOGI DELLE MARCHE

DIRETTORE RESPONSABILE
Michele Gliaschera

COORDINAMENTO EDITORIALE
Fabio Vita

REDAZIONE
Daniele Mercuri, Cinzia Marucci,
Michele Gliaschera, Fabrizio Bendia,
Roberto Ciccioli, Stefano De Angelis,
Fabrizio Iolò, Daniele Morganti,
Paola Pia Pino D'Astore, Fabio Vita

UFFICIO E SEGRETERIA
Corso Garibaldi n. 28 - 60121 Ancona
Tel 071.2070930 / Fax 071.2070716
ordine@geologimarche.it
geologimarche@epap.sicurezza postale.it

**GRAFICA, IMPAGINAZIONE
E PUBBLICITÀ**
Agicom srl
Viale Caduti in Guerra, 28 - 00060
Castelnuovo di Porto (RM)
Tel 06.9078285
agicom@agicom.it
comunicazione@agicom.it

STAMPA
Spadamedia
Viale del Lavoro, 31
00043 Ciampino (RM)

Distribuzione ai Geologi iscritti all'Albo
delle Marche, al Consiglio Nazionale ed ai
Consigli Regionali dei Geologi, agli Ordini
e Collegi Professionali delle Marche, agli
Enti e Amministrazioni interessati

Gli articoli e le note firmate esprimono
l'opinione personale dei loro Autori;
gli articoli firmati impegnano pertanto
soltanto le responsabilità degli Autori.

In copertina: vista del M. Vettore dalla frazione di
Foce di Montemonaco.
Foto di: Fabio Vita.

Immagini interne:
freepik.com

Registrato al Tribunale di Ancona
con il n° 1564/2008 già 11/08 del 09/05/2008

Indice

- PAG 4** **A tutti i lettori**
FABIO VITA
- PAG 5** **Editoriale**
MICHELE GLIASCHERA
- PAG 6** **Prove di sismica passiva col metodo HVSR a stazione
singola sul ghiacciaio dei Forni - Alta Valtellina**
PERGOLINI CLAUDIO, GLIASCHERA MICHELE e LANCI LUCA
- PAG 10** **Diaframmi per la messa in sicurezza di siti inquinati**
EVELINA FRATALOCCHI
- PAG 24** **“SIBILLA2173 sua altezza sopra il mare”**
SARA PRATI
- PAG 30** **Dubbi Certi**
(Recensioni semiserie e ironiche con intermezzi
di amenità varie...)
FABIO LATTANZI

A tutti i lettori:

a cura di **FABIO VITA**,
Vice presidente Ordine dei Geologi delle Marche
e Coordinatore Editoriale "Geologi Marche"

Un gran saluto a tutti i colleghi, questo è l'ultimo numero della rivista che mi vede come coordinatore editoriale.

Dopo 8 anni concludo l'esperienza all'interno dell'Ordine dei Geologi delle Marche.

Devo confessare che l'esperienza mi ha molto arricchito. Tornando all'inizio non avrei mai immaginato tutta l'attività che mi sarei trovato ad affrontare tra varie commissioni regionali, rapporti con altri Ordini professionali, Rete Professioni tecniche, problematiche legate alla gestione del terremoto, periodo Covid, e molto altro. E trovarsi componente di un gruppo di colleghi bene affiatati che si sono messi tutti al servizio in maniera assolutamente volontaristica mi ha permesso di non mollare mai e di essere sostenuto in ogni decisione.

Il sentirsi a volte riferimento per qualcuno per un problema per un chiarimento o anche solo per una condivisione di momenti non facili della professione ti fanno maturare e anche se oramai superati i 50 anni e pensi di aver raggiunto una buona "saggezza" c'è sempre qualcosa che ti fa fare un upgrade.

Ci sono stati momenti molto critici e qualche nostra iniziativa per definire alcune questioni si è infranta su ostacoli fatti di un intreccio tra burocrazia e politica.

Ma anche questo ha aumentato la mia conoscenza e più importante mi ha permesso di modificare la mia percezione verso certi aspetti burocratici, amministrativi e normativi di cui all'inizio non avevo assolutamente consapevolezza.

Pertanto, faccio i miei migliori auguri al prossimo Consiglio, a chi è rimasto del precedente, consapevole di poter continuare a dare il suo contributo maturato da 4 anni di esperienza e ai nuovi arrivati con la mia personale speranza che possano portare entusiasmo e nuova linfa per le attività che si troveranno ad affrontare.

E vorrei anche ringraziare di cuore il lavoro della Segreteria che per certi aspetti è stato il vero Deum ex machina.

Veniamo a noi.

In questo numero presentiamo un articolo che illustra una esperienza particolare di indagine sismica su di un ghiacciaio.

Per un altro articolo abbiamo coinvolto La Professoressa Evelina Fratolocchi della Politecnica delle Marche che ci ha fornito un contributo su di una tematica che tratta di realizzazione di diaframmi estremamente utile per la messa in sicurezza dei siti inquinati.

Per la nuova rubrica attivata nei numeri precedenti abbiamo la presentazione da parte della collega Sara Prati di un nuovo libro dal titolo "Sibilla2173" scritto da Geol. Fabio Pallotta e Geol. Giuseppe Crocetti. Il libro racconta il mito della Sibilla tutto immerso in un contesto storico e geologico.

La rubrica di Fabio Lattanzi ci porta sempre verso pensieri e mondi alternativi.....

Come al solito rinnovo l'invito ai colleghi geologi a mettersi a disposizione per collaborare alla redazione della Rivista condividendo una esperienza lavorativa peculiare, fare una riflessione su un aspetto particolare della nostra professione (sismica, geotecnica, idrogeologia, geomorfologia, geo-archeologia, ecc) oppure partecipare con la propria passione (geo-escursionismo, arte varia, ecc....).

Per l'invio delle proposte di articoli si prega di far riferimento ai seguenti recapiti:

- **ordine@geologimarche.it**

Editoriale

a cura di **MICHELE GLIASCHERA**,
Presidente Ordine dei Geologi delle Marche
e Direttore Responsabile "Geologi Marche"

È oramai accertato che gli anni 2020 e 2021 saranno ricordati da tutti come gli anni del COVID-19, una pandemia che ha cambiato il nostro modo di vivere, di lavorare ed interagire tra di noi.

Grazie alla campagna di vaccinazione messa in atto dal nostro Governo, cominciamo a parlare di ritorno alla normalità e quindi è arrivato il momento di immaginare e pensare a come sarà il DOPO. Per formazione e costituzione sono un ottimista e in questo momento mi sento di dire che l'Italia ha tutte le caratteristiche per essere protagonista del DOPO.

C'è tanto bisogno di cambiamento. Quel cambiamento che non è mai stato così a portata di mano. È il momento di puntare in alto e cominciare a progettarlo tutti insieme. Unitamente.

Noi Geologi possiamo esserne i grandi interpreti e dare un importante contributo per la ripresa economica del nostro Paese. Possiamo farlo solo se siamo coesi, non pensando solo a noi stessi ma agendo per il bene della categoria e in sinergia con i nostri colleghi. Per far ciò dobbiamo riscoprire la bellezza di essere GEOLOGI e di appartenere ad un Ordine.

E quale migliore modo per riscoprirlo se non partecipare alla vita ordinistica?

Bisogna tornare ad organizzare e frequentare le assemblee provinciali.

Spero, inoltre, che il prossimo Consiglio nascente, come principale punto dell'ordine del giorno del primo incontro metta l'istituzione delle commissioni di lavoro provinciali, **fucina di idee, di progetti e attività per creare nuove opportunità di lavoro per tutta la categoria**; crei, quindi, Tavoli di lavoro provinciali su: "Rischi e problematiche specifiche", dai quali potranno uscire importanti documenti, che indicano il futuro della geologia, del mercato e che si spingono a nuove proposte di legge. Documenti che l'Ordine regionale farà propri e porterà sugli opportuni contesti politici.

È un progetto sperimentale a livello nazionale interessante per tutti, dove poter discutere della vita professionale coinvolgendo i colleghi che lavorano negli enti pubblici, nell'industria, nelle scuole, e i colleghi in pensione che però hanno ancora tanto da raccontare ed insegnare.

L'Ordine deve essere visto non come ostacolo, non solo come l'Ente che ha il compito di salvaguardare il cittadino da eventuali esercitazioni illegittime, ma anche come punto culturale e laboratorio di idee. È necessario

confrontarci sui temi nuovi che possano rilanciare la categoria e bisogna che i colleghi riprendano il contatto vivo con il nostro Ordine, diventandone il lievito ed il motore propulsore, inserendosi pienamente in questa comunità fatta di donne e uomini che hanno messo le Scienze della Terra al centro dei propri interessi.

I prossimi mesi saranno decisivi per il rilancio economico della nostra nazione e anche per la nostra categoria.

È proprio di queste ore la notizia che dopo la lunga trattativa con la commissione Ue il Consiglio dei Ministri ha varato il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), che intende riparare i danni economici e sociali della crisi pandemica, contribuire a **risolvere le debolezze strutturali dell'economia italiana**, e accompagnare il Paese su un percorso di transizione **ecologica e ambientale**.

Il PNRR concentra la sua azione di rilancio attorno a tre assi strategici: la Digitalizzazione e l'innovazione; la Transizione ecologica e gli investimenti per la Coesione sociale. Ora dovremo dimostrare di essere all'altezza e saper cogliere questa grande opportunità che ci viene data.

Milioni di volte ci siamo detti che le calamità naturali che periodicamente colpiscono i nostri territori provocano enormi danni economici e soprattutto migliaia di vittime. Ora ci viene data l'opportunità di passare alla messa in sicurezza delle nostre comunità e programmare condizioni ideali per mitigare o eliminare il rischio causato dai cambiamenti climatici, dalle frane, alluvioni, erosioni costiere, subsidenza, etc. "La resilienza deve essere un obiettivo primario per il nostro Governo e ancor più se questa spinta proviene da moniti precisi del Parlamento Europeo".

Dopo la lunga sofferenza della nostra categoria dobbiamo entrare da protagonisti in questo piano di investimenti mai visto da quando è nata la comunità Europea; e noi Geologi non dobbiamo farci cogliere impreparati.

La messa in sicurezza dei territori, la transizione dalla economia dell'emergenza all'economia della prevenzione deve passare necessariamente attraverso i liberi professionisti, donne e uomini, creando in tal modo nuove opportunità di lavoro, soprattutto per i più giovani.



fig. 1

Prove di sismica passiva col metodo HVSR a stazione singola sul ghiacciaio dei Forni - Alta Valtellina

a cura di **PERGOLINI CLAUDIO***, **GLIASCHERA MICHELE**** e **LANCI LUCA*****

* Geologo Studio Geoambiente in Fossombrone (PU).

** Geologo Studio Geocon in Fano (PU).

*** Dipartimento di Scienze Pure e Applicate – Università di Urbino.

PREMESSA

Viene qui proposto un approccio metodologico di tipo geofisico per verificare l'applicabilità del metodo della sismica passiva HVSR a stazione singola per la misurazione dello spessore della parte terminale di una lingua glaciale sul ghiacciaio dei Forni in Comune di S.Caterina Valfurva (SO). Le indagini di tipo geofisico in ambiente glaciale sono senz'altro di difficile applicazione sia a causa degli alti costi d'esercizio che, e soprattutto, delle difficoltà logistiche legate ad un ambiente ostile come un ghiacciaio. Nei giorni 25 e 26 agosto 2020, su invito del Presidente del Servizio Glaciologico Lombardo, abbiamo voluto sperimentare questa "nuova" metodologia, nota anche come "metodo di Nakamura", in alcuni punti del ghiacciaio; erano con noi anche due alpinisti Erica e Gabriele che ci hanno accompagnato per la nostra sicurezza e ai quali vanno i nostri ringraziamenti.

METODOLOGIA

Il metodo HVSR a stazione singola, attraverso semplici misure di superficie, sfruttando l'acquisizione e l'analisi del rumore ambientale o di fondo, derivante dalla dinamica terrestre, dai microtremiti e dall'attività antropica, sempre presente e a costo zero, permette di caratterizzare siti in modo veloce ed economico semplicemente registrando il rumore di fondo con un'apparecchiatura digitale: il tromografo.

Lo strumento utilizzato, il Geobox della S.A.R.A. Srl di Perugia, consiste di tre sensori elettrodinamici ortogonali fra loro con acquisizione a 24 bit in un range di frequenze da 0,1 a 64 (o a scelta dell'operatore). Per ogni misura si acquisiscono gli spettri di risposta di ciascuna delle tre componenti del moto (EW, NS e Up-Down); il software dedicato al trattamento dei

dati visualizza in tempo reale le curve registrate e calcola, dopo aver eseguito una trasformata dal dominio del tempo a quello delle frequenze, il parametro Horizontal to Vertical Spectra Ratio (HVSR) cioè il rapporto tra l'ampiezza della trasformata di Fourier delle componenti verticale ed orizzontale del moto del terreno mediato su finestre temporali contigue definite dall'operatore. La varianza, calcolata in funzione delle frequenze, fornisce una indicazione dell'errore associato al rapporto H/V.

La curva media del rapporto H/V individua dei massimi (o picchi) che sono legati alle frequenze di risonanza del sistema indagato e al contrasto di impedenza sismica fra lo strato soprastante di ricoprimento (in questo caso il ghiaccio) e la struttura sepolta (bedrock). Valutati correttamente i picchi è possibile calcolare, nota la velocità delle onde trasversali nello "strato" di copertura, il suo spessore tramite la formula:

$$H = V_s / 4fr$$

dove:

V_s = velocità sismica delle onde trasversali nel ghiaccio (1.800 m/sec dalla bibliografia)

fr = frequenza di risonanza

H = spessore strato di copertura

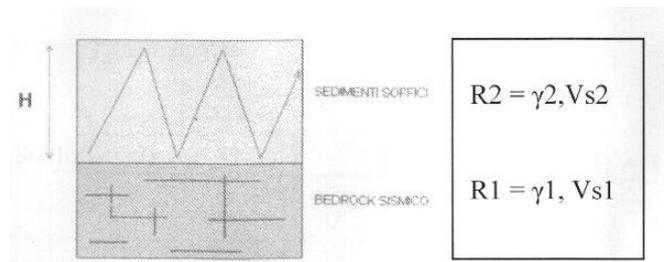




fig. 2

[...] APPROCCIO METODOLOGICO DI TIPO GEOFISICO PER VERIFICARE L'APPLICABILITÀ DEL METODO DELLA SISMICA PASSIVA HVSR A STAZIONE SINGOLA [...]



fig. 3

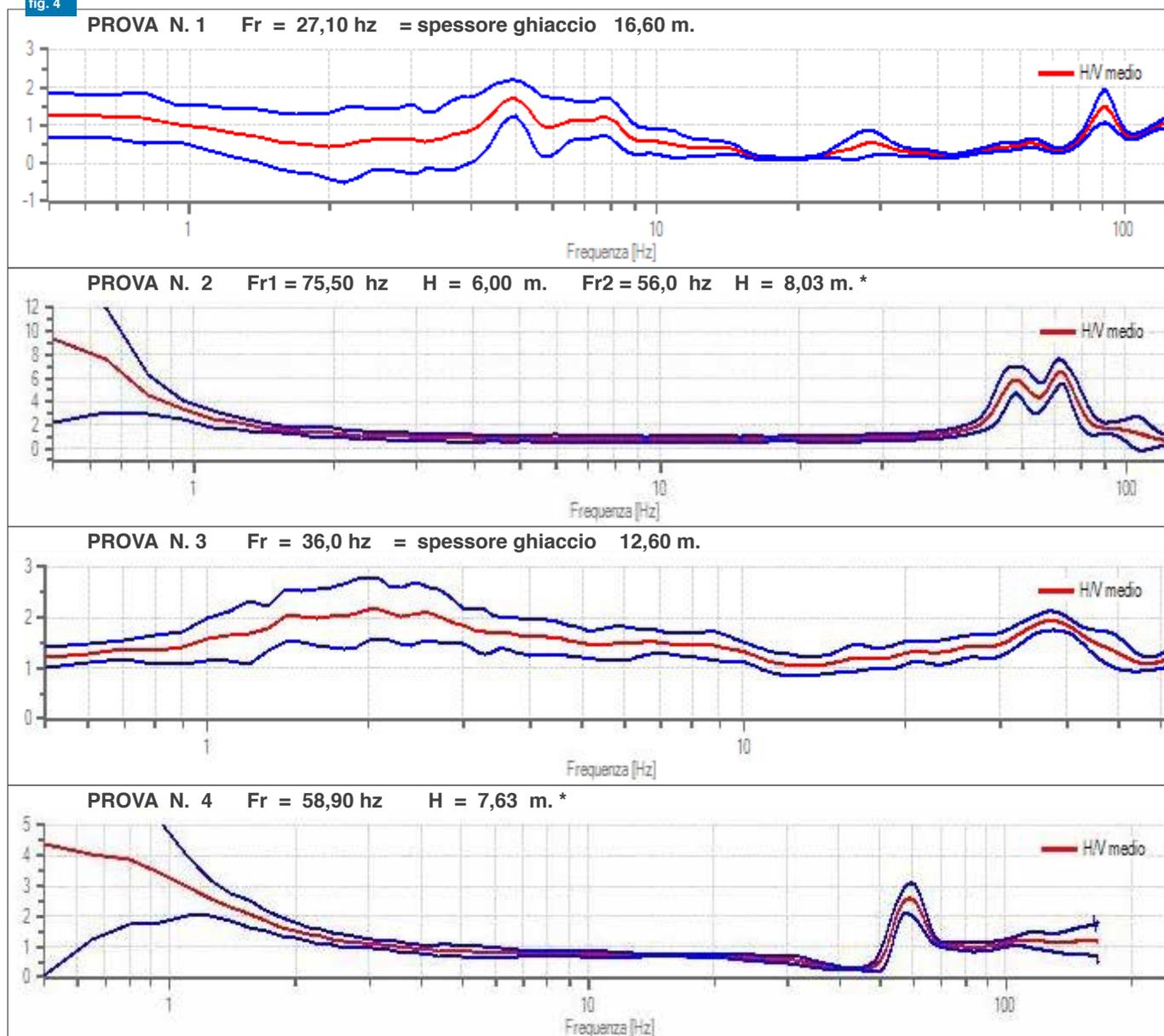
In particolare la ricerca si è focalizzata sulla individuazione di eventuali contrasti di impedenza generati dal passaggio dell'onda da un mezzo con impedenza $R1 (\gamma_1 \times Vs_1)$ substrato roccioso, ad un mezzo di copertura (ghiaccio) con impedenza sismica inferiore $R2 (\gamma_2 \times Vs_2)$; se $R2 < R1$ l'onda incidente dal basso rimane intrappolata all'interno dello strato di copertura

fig. 1
Il Ghiacciaio dei Forni.

fig. 2
Stazione di misura.

fig. 3
Area in studio.

fig. 4



N.B. I picchi molto scolpiti alle frequenze più alte (fra 58,90 e 89,0 hz) potrebbero essere “disturbi” generati dall’accoppiamento dello strumento col terreno (frequenze proprie dello strumento usato). Pertanto le frequenze più interessanti al fine del calcolo dello spessore del ghiaccio risultano essere quelle più basse individuate dal cerchietto verde.

a causa del contrasto di impedenza sia alla base, dove si ha il passaggio dell’onda dal basamento “rigido” alla copertura, sia in superficie dove il contrasto è dato dal contatto con l’aria (Albarello 2013). Inoltre si voleva cercare di valutare la possibilità di individuare l’ampiezza delle numerose cavità e grotte presenti all’interno della massa glaciale subito al contatto con il substrato roccioso più caldo; esse sono ben visibili man mano che si sale lungo le morene laterali. La loro presenza, producendo una diminuzione degli spettri orizzontali, poteva così essere “segnalata” da valori del rapporto H/V molto bassi, inferiori a 1,0.

ANALISI DEI RISULTATI

Sono stati eseguiti 8 sondaggi HVSR lungo una sezione trasversale della parte terminale della lingua glaciale mediana alla quota di circa 2.700 m. distanziati fra loro di circa 30 m. e 2 in posizione pressoché mediana alla traccia, uno a nord e uno a sud, ad una distanza di circa 30 m verso nord e 50 m. verso sud. Alcuni di questi sondaggi sono stati invalidati da un disallineamento dello strumento rispetto al

fig. 4
Rapporti H/V in funzione della frequenza. La linea rossa rappresenta la media calcolata su n finestre di lunghezza 20 s, le linee blu (deviazione standard) indica l’intervallo di confidenza.

fig. 5
Il Ghiacciaio dei Forni.

fig. 5



piano orizzontale causato dallo scioglimento del ghiaccio sotto lo strumento di misura, per effetto della radiazione solare. Si riportano quindi solo i risultati dell'interpretazione delle prove ritenute maggiormente significative.

I diagrammi in **fig. 4** mostrano il rapporto H/V medio (in rosso) e la deviazione standard (in blu). Si possono riconoscere i principali picchi di frequenza che rappresentano verosimilmente le frequenze di risonanza legate allo spessore della coltre di ghiaccio. Nelle prove un picco principale non è riconoscibile con chiarezza sebbene un buon candidato sia il picco a circa 27 hz nella prova n. 1 e a 36 hz nella prova n. 3; sono picchi abbastanza "blandi" ma possono dar ragione del modesto contrasto di impedenza esistente tra il substrato roccioso (velocità sismica dell'ordine di 2.500 m/sec) ed il ghiaccio (velocità di circa 1.800 m/sec) per cui il rapporto tra le componenti orizzontali e verticali non dovrebbe essere molto elevato. I picchi con rapporto H/V elevato e ben distinguibili a 89 hz nella prova n. 1, a 75 hz nella n. 2, a 81 hz nella n. 3 e a 59 hz nella n. 4, possono essere invece anche le frequenze proprie dello strumento (che possono generare una serie di "disturbi acustici" con la scatola metallica che contiene i geofoni stessi); sarà importante, nella prossima campagna dell'estate 2021, ripetere le misure per un confronto. In conclusione, assumendo una velocità sismica del ghiaccio dell'ordine di 1.800 m/s (valore assunto dalla bibliografia cfr.: Finotti F. – Zandonai F. – Tonelli A. – Castellaro S.: Rassegna di alcune correnti metodologiche per lo studio dell'estensione e spessore di ghiacciai e proposta di applicazione della sismica passiva a stazione singola.) queste frequenze di risonanza corrisponderebbero a spessori di ghiaccio comprese fra i 12,60 e 16,60 m. Considerato che le misure sono state eseguite sulla estrema punta a valle della lingua glaciale, le stesse possono essere ritenute significative e potranno essere confrontate con la prossima campagna di misure per la quale si sta valutando la possibilità di eseguire anche prove di sismica attiva col supporto tecnico di una Ditta specializzata nella costruzione di tali strumentazioni che ha già dato la sua disponibilità.

CONCLUSIONI

Seppure con qualche problema metodologico dovuto all'inesperienza su tale tipo di terreno, la metodologia di sismica

passiva HVSR a stazione singola applicata ad un ghiacciaio, a nostro avviso appare promettente per la stima dello spessore del ghiaccio.

Alcune difficoltà nella interpretazione dei dati potrebbero essere causate dalla particolare situazione ambientale che provoca una certa instabilità dei sensori a causa dello scioglimento del ghiaccio alla base dello strumento. Questo problema può essere migliorato progettando un supporto dedicato che potrebbe sensibilmente migliorare la qualità della registrazione.

Tale metodologia, inoltre, rispetto alle altre di tipo classico come la sismica attiva, la tomografia elettrica o il georadar, presenta i seguenti vantaggi:

- Bassissimi costi di esercizio;
- Velocità nell'esecuzione della prova;
- Non abbisogna di energizzazione del terreno che, nel ghiaccio, potrebbe diventare problematico se non addirittura pericoloso;
- Facilità di trasporto dell'attrezzatura (3 – 4 kg di peso).

Naturalmente presenta anche dei limiti, pure da noi riscontrati: innanzitutto per il difficile accoppiamento dello strumento col terreno, operazione essenziale per la buona riuscita della prova; a questo si potrà ovviare, per la futura campagna geognostica del 2021 e con l'esperienza acquisita dall'odierna, ponendo per esempio una base in legno o altro materiale rigido sotto lo strumento al fine di renderlo solidale col terreno.

Inoltre si consiglia di prolungare il tempo di misura al di là dei 20 minuti canonici in quanto in tali ambienti estremi il rumore di fondo è solo quello della dinamica terrestre.

In conclusione, la metodologia proposta e sperimentata sul ghiacciaio dei Forni, si può senz'altro annoverare, con le dovute cautele e accorgimenti che l'esperienza sul campo ci ha fornito, tra le prove geofisiche più interessanti ed economiche per il monitoraggio speditivo dell'ambiente glaciale. Naturalmente l'interpretazione sopra descritta è da intendersi del tutto soggettiva ma vuol rappresentare comunque il nostro contributo per analisi, verifiche, discussioni e scambio di esperienze tra addetti ai lavori e non.



Diaframmi per la messa in sicurezza di siti inquinati

EVELINA FRATALOCCHI

Ingegnere civile, docente di Geotecnica e responsabile del laboratorio di Geotecnica Ambientale presso l'Università Politecnica delle Marche.

INTRODUZIONE

I diaframmi aventi bassa conducibilità idraulica costituiscono una misura di contenimento passiva ampiamente adottata per la cinturazione di siti contaminati, per evitare la migrazione dei contaminanti in falda. Tale tecnica può inoltre essere impiegata per l'incapsulamento di discariche prive di rivestimento o con rivestimento di fondo e/o di sponda non più in grado di contenere il percolato. Anche nel caso di trattamenti di bonifica del terreno e/o delle acque di falda, il ricorso ai diaframmi può essere necessario, ad esempio, per convogliare il flusso della falda contaminata verso l'area del trattamento, come accade nella tecnologia "funnel & gate" (e.g. Starr e Cherry, 1994) o per evitare la dispersione degli inquinanti durante le operazioni di trattamento (e.g. soil flushing), particolarmente se di lunga durata. Si ricorre all'uso della cinturazione anche nel caso di interventi con carattere di urgenza, per i quali è necessario del tempo per mettere a punto le idonee tecniche di bonifica oppure quando le tecnologie di trattamento del terreno non consentono, per ragioni tecniche e/o economiche, di ridurre il livello della contaminazione al di sotto dei valori limite consentiti dalle norme vigenti.

L'efficacia e in generale le prestazioni dei diaframmi sono strettamente dipendenti dalle caratteristiche idrauliche, chimiche e meccaniche del materiale costituente il diaframma ed alla continuità del diaframma stesso, dipendente dalla tipologia e tecnologia esecutiva. Per quanto riguarda il materiale, è di fondamentale importanza lo studio della sua interazione con gli inquinanti da contenere e la previsione della sua durabilità, nonché la determinazione dei parametri di diffusione e assorbimento.

Di seguito saranno illustrate le principali tecnologie disponibili per la realizzazione di diaframmi, puntualizzandone aspetti salienti, vantaggi e limiti. Per ulteriori approfondimenti si

rimanda alla bibliografia di riferimento. Saranno poi trattati con maggiore dettaglio i diaframmi plastici costituiti da miscele acqua-cemento-bentonite (cosiddetti autoindurenti), ponendo l'accento su alcuni aspetti peculiari della loro progettazione e costruzione.

TIPOLOGIE DI DIAFRAMMI E RELATIVE PRESTAZIONI

La **Tab. 1** riassume le principali tecnologie di diaframma evidenziandone le caratteristiche essenziali, i possibili problemi esecutivi legati alla natura del terreno e ponendo l'accento sul materiale di risulta dalla costruzione del diaframma, aspetto importante per le implicazioni gestionali ed economiche che ciascuna tecnologia comporta. Sulla base del suddetto criterio si possono distinguere le seguenti categorie di diaframmi:

- (a) senza asportazione di terreno: palancole o elementi prefabbricati infissi, diaframmi sottili, diaframmi ottenuti per iniezione o per congelamento;
- (b) con materiale di risulta: miscelazione in sito, jet-grouting, sistemi combinati di scavo e iniezione, diaframmi in terreno-bentonite;
- (c) con scavo e sostituzione: diaframmi autoindurenti o in calcestruzzo plastico, pali secanti.

Costruire un diaframma per spiazzamento del terreno significa non avere terreno di scavo né materiale di risulta (e.g. jet-grouting) da smaltire o trattare, mentre quelle con scavo e sostituzione richiedono la gestione temporanea e finale del materiale scavato, potenzialmente contaminato, e il trattamento dei fanghi di stabilizzazione dello scavo, se necessari.

A fronte dello svantaggio della necessità di smaltimento del terreno scavato, i diaframmi con scavo e sostituzione garantiscono omogeneità e adeguato spessore rispetto alle altre tecnologie, caratteristiche entrambe fondamentali



[...] L'ARTICOLO ANALIZZA LE PRINCIPALI TECNOLOGIE DISPONIBILI PER LA REALIZZAZIONE DI DIAFRAMMI PER LA MESSA IN SICUREZZA DI SITI INQUINATI O DI DISCARICHE, PUNTUALIZZANDONE ASPETTI SALIENTI, VANTAGGI E LIMITI. VENGONO TRATTATI PIÙ IN DETTAGLIO I DIAFRAMMI PLASTICI COSTITUITI DA MISCELE TERNARIE ACQUA-CEMENTO-BENTONITE (COSIDDETTI AUTOINDURENTI), PONENDO L'ACCENTO SU ASPETTI PECULIARI DELLA LORO PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE [...]

per la tenuta nei confronti della migrazione di contaminanti. Con i diaframmi senza asportazione di terreno, pur con il vantaggio dell'assenza di materiale di risulta e di omogeneità di composizione, si può ottenere uno spessore assai modesto ed anche la continuità del diaframma non è sempre garantita. Fra i diaframmi senza asportazione di terreno vi sono i tradizionali palancolati metallici, utilizzati in ambito ambientale prevalentemente per interventi di messa in sicurezza di emergenza o per costruire vasche di colmata per sedimenti contaminati, per il vantaggio di un'agevole e rapida infissione (tranne che in terreni molto addensati o compatti). Gli aspetti critici della loro applicazione sono rappresentati dall'aggancio e quindi dalla tenuta degli elementi di giunzione, che possono

comunque essere garantiti mediante l'impiego di speciali resine sigillanti e di sistemi di controllo di aggancio (e.g. Pasqualini et al., 2014).

Sono documentati in letteratura diaframmi senza asportazione di terreno realizzati mediante l'inserimento di teli di geomembrana in HDPE (o altro materiale, e.g. vinile) dello spessore di circa 1 cm, muniti di giunti, che tuttavia non garantiscono prestazioni idrauliche adeguate a un diaframma definitivo e comportano notevoli difficoltà di installazione (Koerner e Guglielmetti, 1995).

Un'altra tipologia di diaframma sottile è quella che si realizza mediante l'infissione di profili in acciaio muniti di iniettori alla base, i quali, in fase di risalita (o anche di infissione), iniettano

tab. 1

| Tipologia | Dimensioni (m) | Terreno/materiale di risulta | Limitazioni esecutive |
|---------------------------------------|---|---------------------------------|----------------------------------|
| autoindurenti | $s_{\min} = 0.6$ $d_{\max} > 100$ | 100% scavo + fango se bifase | ghiaie ciottoli con k elevata |
| autoindurenti compositi | $s_{\min} = 0.6$ $d_{\max} = 30-35$ | 100% scavo + fango se bifase | ghiaie ciottoli con k elevata |
| pali secanti | $s_{\min} = 0.5$ $d_{\max} = 30-40$ | 100% scavo | blocchi, trovanti |
| terreno-bentonite | $s_{\min} = 0.6$ $d_{\max} = 20-25$ | fango di perforazione | ghiaie ciottoli con k elevata |
| diaframmi "sottili" | $s_{\max} = 0.15$ $d_{\max} = 25$ | no | terreni molto compatti |
| per iniezione | $s = 1-2$ $d_{\max} = 20-80$ | no | terreni con k elevata |
| Fresatura e miscelazione in sito, CSM | $s_{\min} = 0.8$ $d_{\max} = 40$ | 25-75% del volume del diaframma | |
| jet-grouting colonne secanti | $s_{\min} = 0.4$ $d_{\max} = 70-80$ | > 30% del volume del diaframma | terreni molto compatti |
| congelamento | $s_{\min} = 0.7$ $d_{\max} = 50-100$ | no | |

tab. 1

Tecnologie di diaframmi e caratteristiche essenziali (s = spessore; d = profondità; k = conducibilità idraulica) (Pasqualini et al., 2011).



fig. 1
Perforazione ed attrezzatura per diaframmi sottili e foto di una porzione di diaframma.

fig. 2
Trattamento con jet-grouting colonnare e nella versione "Candy-jet" (www.trevispa.com).

miscele bentonitiche e/o cementizie che occupano lo spazio lasciato dal profilo e formano il diaframma definitivo (**Fig. 1**). Tale tipologia, fattibile fino a profondità di circa 25 m, ha il vantaggio di una rapida esecuzione (da alcuni metri a qualche decina di metri al giorno, a seconda della profondità). Il diaframma si realizza mediante pannelli adiacenti creati in sequenza e parzialmente sovrapposti per almeno 20 cm, in modo da assicurare la continuità dell'opera (**Fig. 1**). Le tecnologie disponibili sono in grado di garantire la verticalità dell'infissione. Possono essere alloggiati all'interno del diaframma profili in acciaio o teli di geomembrana, opportunamente giuntati. La posa del telo è un'operazione estremamente delicata e difficoltosa.

Il principale svantaggio di tale tecnologia è rappresentato dal modesto spessore (≤ 15 cm), con possibili problemi prestazionali a causa del rischio di discontinuità (nel caso di franamento locale prima dell'indurimento della miscela, o di fessurazione) e di migrazione per diffusione, dipendente in ogni caso dalla tipologia di materiale che costituisce il diaframma stesso.

Fra le tecnologie che non richiedono l'asportazione di terreno si può annoverare anche la tecnica del congelamento che può essere applicata in un opportuno volume del terreno attorno al sito contaminato da isolare (Peterson e Landis, 1995). I lunghi tempi di realizzazione, funzione della granulometria, della composizione e del contenuto d'acqua del terreno, e gli elevati costi anche di manutenzione rendono tale tecnologia poco competitiva rispetto ad altre. Si può prendere in esame come applicazione temporanea durante la rimozione in sicurezza di un terreno contaminato. Sono documentati pochi casi di applicazioni di congelamento come confinamento laterale o di fondo, ai quali si rimanda per un'analisi di prestazioni e costi (Sayles e Iskandar, 1995; Pearlman, 1999).

Infine, anche i diaframmi realizzati mediante iniezione di miscele impermeabili a base cementizia e/o bentonitica o silicatica, resine organiche o miscele espansive (descritte in dettaglio da Manassero, 1999), sono tipologie di diaframmi che non producono materiali di risulta. Le iniezioni eseguite per permeazione del terreno sono applicabili in terreni caratterizzati da permeabilità medio-alta, nonostante sia possibile ridurre apprezzabilmente la viscosità delle miscele di iniezione mediante superfluidificanti o utilizzando speciali sospensioni bentonitiche (e.g. Hwang et al., 2011). Per evitare il rischio di fratturazione idraulica garantendo iniezioni sufficientemente rapide, si procede con la contemporanea iniezione da più punti dello stesso foro, eseguita in modo selettivo per poter valutare l'efficienza del trattamento eseguito mediante il controllo dei parametri di iniezione (Granata e Vanni, 2011).

Il raggio d'influenza delle iniezioni per permeazione dipende essenzialmente dalla permeabilità intrinseca del terreno, dalla viscosità della miscela di iniezione, dalla pressione e dal tempo di iniezione; per trattamenti in roccia, di fondamentale importanza sono le aperture delle discontinuità o delle fessure. Un ulteriore aspetto da considerare è la compatibilità chimica delle miscele di iniezione nei confronti degli inquinanti da contenere; a tale riguardo dalla letteratura è noto che le miscele a base di silicati o di acrilamide soffrono ambienti acidi o fortemente alcalini, mentre non sembra vi siano effetti negativi in presenza di solventi.

Alla luce delle esperienze documentate in letteratura si può assumere una riduzione di conducibilità idraulica del terreno dopo il trattamento di non più di 2-3 ordini di grandezza anche con iniezioni molto fitte (interasse < 1 m). Il rischio di scarsa omogeneità del trattamento esclude spesso questa tecnologia da quelle per diaframmi di cinturazione perimetrale.

fig. 2



I diaframmi che producono materiale di risulta sono quelli che richiedono la stabilizzazione dello scavo con fango bentonitico (diaframmi terreno-bentonite) o che comportano un refluo a boccaforo (jet-grouting, sistemi combinati jetting-scavo). Si ottiene in ogni caso un diaframma costituito da una miscela del terreno in sito con il materiale iniettato (miscela cementizia o bentonitica) che ne riduce la conducibilità idraulica a valori dipendenti dalla miscela aggiunta, dalle caratteristiche del terreno di base e dalla tecnologia di miscelazione.

Mediante miscelazione meccanica si possono ottenere diaframmi con colonne accostate, inserendo nel terreno un'attrezzatura predisposta tipicamente a tre eliche cave al centro che rimescolano il terreno e contemporaneamente iniettano a bassa pressione un fango bentonitico o miscela a base cementizia (Fiorotto et al., 2004). La continuità del diaframma si ottiene per parziale sovrapposizione delle colonne, con profondità massima di 12-15 m.

La conducibilità idraulica dei diaframmi per miscelazione dipende fortemente dal tipo di terreno e dalla tipologia di miscela aggiunta. Si ottiene, nella migliore delle ipotesi, una k di 10-6 cm/s, quindi inadeguata per le applicazioni di messa in sicurezza permanente. Vi è inoltre il rischio di disomogeneità del trattamento, per cui questa tecnologia è opportuna per interventi di stabilizzazione/solidificazione o di miglioramento delle caratteristiche meccaniche del terreno.

Il jet-grouting è una tecnologia ben nota in campo geotecnico (e.g. Croce et al., 2004), utilizzabile anche per la realizzazione di diaframmi con funzione di barriera idraulica mediante la realizzazione di colonne secanti. In tali applicazioni (ma non solo), la corretta previsione del diametro delle colonne rappresenta il requisito progettuale di maggiore importanza per la continuità e quindi la tenuta del diaframma. Le correlazioni empiriche disponibili in letteratura (basate principalmente sulla tecnologia e sul tipo di terreno) lasciano margini di incertezza; modelli teorici (e.g. Croce et al., 2004; 2011; Ho, 2005) consentono, tenendo conto dei fenomeni meccanici indotti dal trattamento, una previsione più affidabile del diametro delle colonne.

I diaframmi con jet-grouting possono anche essere realizzati con getto unidirezionale (jet-grouting lamellare), cioè senza rotazione del dispositivo di iniezione; in tal caso è raccomandata la realizzazione di più serie di pannelli adiacenti in quanto con un'unica sequenza si avrebbe un diaframma di spessore

modesto (5-20 cm) e con rischio di scarsa compenetrazione. Esiste una versione di jet-grouting, nota come jet-ellittico o anche candy-jet (Fig. 2), che consente di ottenere per ogni verticale di iniezione una colonna centrale con estensione in una direzione, riducendo così il numero di giunzioni rispetto al trattamento colonnare e garantendo adeguati spessori. Ulteriori vantaggi sono il minor consumo di cemento, la riduzione dei tempi di trattamento e la diminuzione del materiale di risulta.

Per le applicazioni in campo ambientale il fluido di iniezione è costituito solitamente da una miscela ternaria acqua-cemento-bentonite, cui possono essere aggiunti additivi con funzioni fluidificanti. Si possono impiegare altresì speciali miscele chimiche con elevate capacità sigillanti (Wang, 1995). I coefficienti di permeabilità che si possono ottenere dipendono principalmente dalla compenetrazione delle colonne (interasse delle perforazioni), dal tipo di iniezione (è preferibile la tecnica trifluido per maggiore garanzia di omogeneità) e dalla miscela di iniezione. Si raggiungono comunque valori di $k \geq 10^{-7}$ cm/s. Valori inferiori sono relativi a campioni indisturbati, non rappresentativi delle prestazioni globali del diaframma. In termini generali, il vantaggio associato al jet grouting riguarda il modesto ingombro delle attrezzature (operatività anche in zone spazialmente limitate) e la possibilità di eseguire il trattamento in direzione sub-orizzontale con sistema monofluido, utile, ad esempio, per realizzare l'isolamento artificiale di fondo per incapsulamenti di discariche incontrollate, senza attraversare il corpo rifiuti, operando all'interno di trincee perimetrali. Nel caso in cui sia richiesto l'isolamento di fondo e sia possibile l'attraversamento del terreno contaminato, il jet-grouting può essere utilmente applicato in quanto il trattamento che si effettua in risalita dopo la perforazione può essere eseguito per lo spessore necessario a creare la barriera di fondo. Molto importante è in tal caso la sovrapposizione delle colonne (interasse di perforazione) e quindi la valutazione del diametro delle colonne, per garantire l'uniformità dello strato che si viene a creare.

Oltre al jet-grouting, negli ultimi anni sono state collaudate tecnologie che consentono la combinazione di utensili di scavo dentati coadiuvati da sistemi di iniezione noti con denominazioni diverse a seconda dell'azienda di produzione (Cutter Soil Mixing, CSM, Cutter turbo-jet, CT-Jet, Fig. 3) così da ottenere una migliore uniformità del terreno trattato ed una geometria precisa, a vantaggio della impermeabilità del diaframma, che



fig. 3
Esempio di tecnologia di jet-iniezione combinata (CTJet®, www.trevispa.com).



fig. 4
Esempio di realizzazione di un diaframma terreno-bentonite e di posa della geomembrana all'interno dello scavo stabilizzato con fango bentonitico (Berthier et al., 2011).

fig. 5
Conducibilità idraulica di un terreno additivato con diverse percentuali di bentonite e permeato con diversi liquidi inquinanti (Schulenberg e Breslin, 2005).

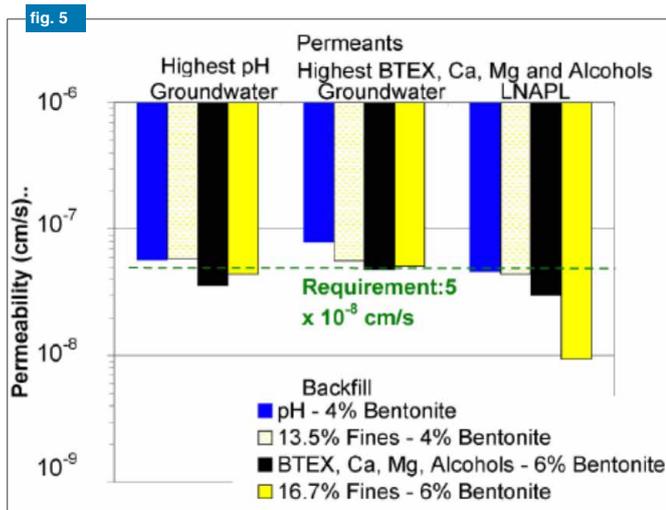
fig. 6
Conducibilità idraulica di bentoniti sodiche in funzione del volume di rigonfiamento libero (Kolstad et al., 2004).

fig. 7
Diaframma mediante pali secanti (CSP, www.trevispa.com).

viene realizzato mediante pannelli adiacenti. Anche i tempi di realizzazione vengono significativamente ridotti e si ha anche un risparmio in termini di terreno trattato rispetto al diaframma con colonne secanti di jet-grouting.

Così come per il jet-grouting, il sistema è applicabile in qualsiasi tipo di terreno. Lo svantaggio principale è legato alla presenza di materiale di risulta dal trattamento, stimabile in almeno il 30% del volume di terreno trattato, con percentuali maggiori per terreni fini, e variabile in funzione delle portate di iniezione. La permeabilità che si ottiene è dell'ordine di 10^{-7} cm/s (Pasqualini et al., 2011), comunque dipendente dal tipo di miscela, dalla pressione di iniezione e dal tipo di terreno. I diaframmi in terreno-bentonite consistono nello scavo della trincea, generalmente in presenza di fango bentonitico, nella miscelazione sul piano campagna del terreno scavato con bentonite e nel successivo riempimento della trincea con la miscela (Fig. 4), inizialmente condotto depositando il materiale a partire dal fondo dello scavo fino al suo affioramento in superficie, realizzando un primo strato inclinato di terreno-bentonite. I riempimenti successivi vengono condotti mediante scivolamento dal piano campagna nella trincea, lungo la superficie dello strato inclinato precedentemente costituito. La miscela di riempimento (acqua-terreno-bentonite) deve essere sufficientemente fluida durante la stesura (consistenza di una malta) per consentire lo scivolamento nella trincea.

Il vantaggio principale di questa tecnologia sta nella sua economicità rispetto ad altre tecnologie, mentre i principali svantaggi sono il rischio di scarsa omogeneità del trattamento e la necessità di spazio per le operazioni di miscelazione. La conducibilità idraulica che si ottiene, dell'ordine di 10^{-6} - 10^{-7} cm/s, è dovuta sia alla percentuale di bentonite aggiunta al terreno (k diminuisce all'aumentare della percentuale di bentonite), sia alla formazione del "filter cake" sulle pareti di scavo. Maggiore è la frazione fine del terreno, minore sarà la



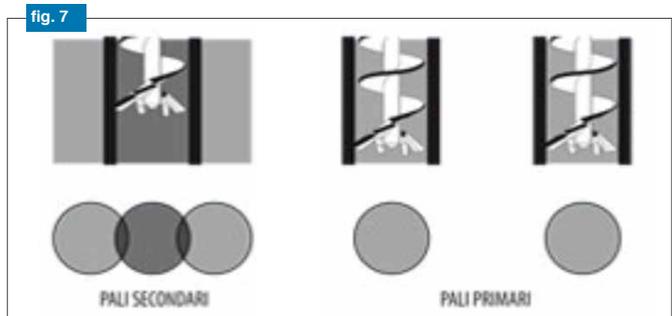
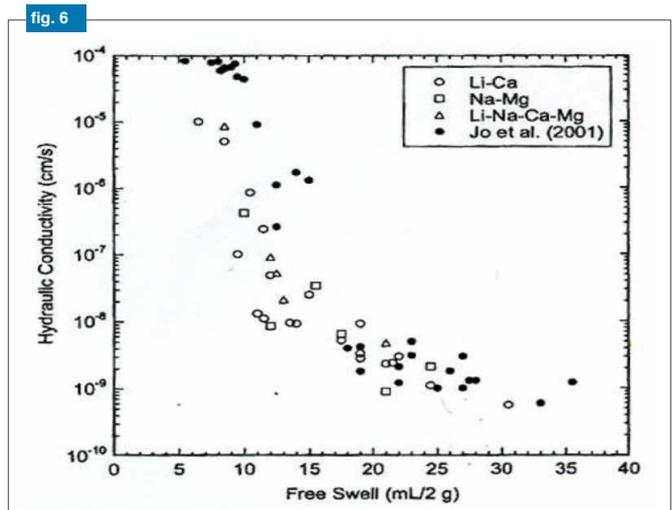
percentuale di bentonite da aggiungere; orientativamente per terreni sabbiosi è necessaria una percentuale di bentonite sodica di almeno il 5%.

I diaframmi in terreno-bentonite consentono anche l'alloggiamento di teli di geomembrana per avere un diaframma composito: la realizzazione prevede la posa dei teli all'interno dello scavo stabilizzato a fango, con procedura analoga a quella per i diaframmi compositi autoindurenti, con la successiva posa della miscela terreno-bentonite. Nel caso di diaframma a profondità non superiore alla larghezza dei rulli di geomembrana, si può calare il rullo stesso all'interno dello scavo con opportuna attrezzatura e stendere la geomembrana lungo lo scavo (Fig. 4), riducendo considerevolmente il numero di giunti. Per quanto riguarda le prestazioni dei diaframmi compositi in terreno-bentonite, sulla base di prove in sito è stato osservato (Lee e Benson, 2000) che la presenza della geomembrana nel diaframma, purché correttamente immerso, consente una riduzione della portata di un ordine di grandezza.

Poiché la funzione impermeabilizzante è affidata alla bentonite, è di fondamentale importanza la verifica della compatibilità chimica del diaframma nei confronti delle sostanze da contenere, in base alle quali si deve selezionare la tipologia (sodica, calcica) e la percentuale di bentonite idonea a raggiungere lo scopo (Fig. 5). In generale, è noto che il contatto della miscela terreno-bentonite con acidi e basi forti, composti organici, soluzioni concentrate di cationi monovalenti, soluzioni moderatamente concentrate di cationi bivalenti, genera un aumento di permeabilità anche superiore ad un ordine di grandezza (La Grega et al., 1994). In queste condizioni, compatibilmente con i costi necessari, si devono prevedere misure idrauliche atte a minimizzare la possibilità del contatto diretto contaminanti-barriera oppure si deve ricorrere ad altra tipologia di diaframma.

Un utile metodo di screening della compatibilità, prima di eseguire prove di compatibilità chimica quali column tests, consiste nella valutazione del volume di rigonfiamento libero della bentonite, V_{FS} (Kolstad et al., 2004): se $V_{FS} < 20$ ml/2g, la bentonite è con tutta probabilità non compatibile (Fig. 6), per cui non sono necessari ulteriori accertamenti, mentre in caso contrario si può procedere con una sperimentazione più approfondita.

Le metodologie esecutive per la realizzazione di diaframmi con sostituzione totale del terreno scavato si distinguono a seconda che il riempimento con il materiale che costituirà il diaframma sia successivo allo scavo (bifase) o contemporaneo



(monofase); ciò dipende dal tipo di materiale impiegato, dalla tecnologia esecutiva e dalle profondità da raggiungere.

La tecnica bi-fase (scavo e successivo riempimento) prevede lo scavo in presenza di fanghi a base bentonitica o di tubo di rivestimento (pali secanti), per garantire la stabilità delle pareti, e il successivo riempimento con materiali diversi (e.g. calcestruzzo plastico, miscele acqua-cemento-bentonite, miscele terreno-bentonite; Evans, 1993).

Lo scavo può essere eseguito in modo continuo (per profondità fino a circa 5-6 m, con escavatore) oppure a pannelli primari ai quali si interpone una successiva serie di pannelli secondari, parzialmente sovrapposti per garantire la continuità della cinturazione (con benna guidata o con idrofresa a seconda del tipo di terreno/roccia). La possibilità di controllare la verticalità dei pannelli durante la costruzione è di fondamentale importanza per la continuità dell'opera. Anche nel caso di pali secanti si garantisce la continuità mediante parziale sovrapposizione fra pali primari e secondari (Fig. 7). L'impiego del rivestimento consente elevata precisione sulla geometria (spessore e verticalità) ed evita l'utilizzo dei fanghi bentonitici di perforazione. Si possono eseguire in tal modo pali fino a profondità di 20 m e diametro di 1 m con il quale, con opportuno interesse, si crea un diaframma di adeguato spessore minimo. La procedura di costruzione monofase è basata sull'impiego delle miscele ternarie acqua-cemento-bentonite (CB), cosiddette "autoindurenti" che, in fase fluida, stabilizzano le pareti della trincea e poi, a seguito dell'indurimento del cemento, formano il diaframma definitivo. L'impiego delle miscele autoindurenti offre la possibilità di ottenere diaframmi senza giunti poiché la consistenza plastica della miscela consente lo scavo di parte dei tratti già in opera e l'immorsamento tra pannelli adiacenti. Nel caso di diaframmi profondi (indicativamente oltre i 30 m) è difficile mantenere la miscela fluida per il tempo necessario all'esecuzione dello scavo, anche mediante l'uso

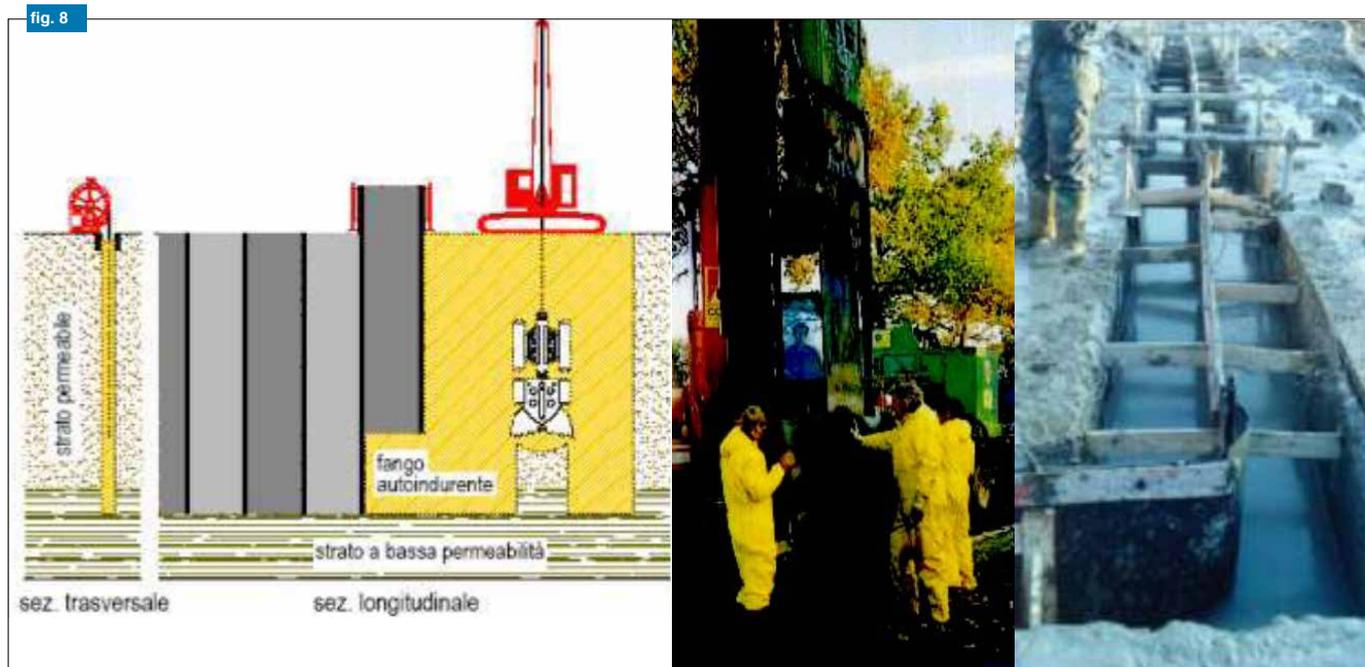


fig. 8
Realizzazione di diaframma CB composito.

fig. 9
Influenza del tipo e della quantità di cemento sulla riduzione della permeabilità nel tempo di miscele CB (cementi: BFS = altoforno, classe III-A; PZ = pozzolanico; PD = Portland ordinario) (Fratolocchi e Pasqualini, 2007).

di additivi fluidificanti; si devono quindi separare nuovamente le fasi di scavo e di getto, iniettando la miscela alla base della trincea.

I diaframmi autoindurenti sono ad oggi la tecnologia più utilizzata per la realizzazione di cinturazioni di siti contaminati per numerosi vantaggi: si tratta di una tecnologia collaudata, rapida e con prestazioni ottime in termini di conducibilità idraulica ($k \leq 10^{-8}$ cm/s) e di diffusione dei contaminanti, anche grazie alla possibilità di realizzare una barriera composta con geomembrana. La posa dei teli di geomembrana (Fig. 8) richiede maggiori oneri e tempi legati alla necessità di saldare i giunti ai teli di geomembrana, di agganciare e calare ciascun telo ancorato ad un telaio e di sostenere i teli fino all'avvenuto indurimento della miscela.

Di seguito sono analizzati alcuni aspetti peculiari relativi alla progettazione e realizzazione di tale tipologia di diaframma, evidenziandone criticità e recenti sviluppi di ricerca finalizzati al miglioramento delle prestazioni e della previsione delle prestazioni delle miscele ternarie, rimandando ai riferimenti bibliografici per ulteriori approfondimenti.

ASPETTI PROGETTUALI ED ESECUTIVI

L'approccio generalmente seguito per la progettazione dei diaframmi di cinturazione di siti inquinati è quello secondo il quale il diaframma deve rispondere a particolari requisiti prestazionali, definiti con riferimento a specifici parametri, primo fra tutti la conducibilità idraulica. Poiché è noto che per le miscele ternarie la conducibilità idraulica si riduce nel tempo, per i diaframmi autoindurenti generalmente si richiede che la conducibilità idraulica sia inferiore a 10^{-7} cm/s dopo 28 giorni di stagionatura. Esistono numerosi dati di letteratura che dimostrano che la riduzione della conducibilità idraulica nel tempo può essere molto rilevante (ordini di grandezza) anche dopo tale stagionatura e che il suddetto requisito può essere raggiunto con miscele ternarie non necessariamente ad 1 mese di stagionatura ma comunque entro tempi ragionevoli (Fratolocchi, 1996). Il riferimento a stagionature superiori, e.g. 60 o 90 giorni (come peraltro suggerisce anche ICE, 1999) potrebbe avere ripercussioni importanti dal punto di vista

economico, ad esempio evitando il ricorso a miscele additivate, garantendo comunque il raggiungimento del requisito in tempi compatibili con i controlli di qualità e di collaudo.

In fase di progetto è necessario considerare tutti i fattori che possono influenzare la conducibilità idraulica di un diaframma autoindurente in modo tale da ottimizzare le prestazioni del diaframma, selezionando i componenti ed i dosaggi più idonei e valutando mediante opportuna sperimentazione e leggi di previsione le prestazioni del diaframma in funzione delle procedure esecutive e delle condizioni ambientali in cui il diaframma si troverà una volta posto in opera. A tale scopo nei paragrafi seguenti sono analizzati e discussi in dettaglio i principali fattori che possono influenzare le prestazioni idrauliche di un diaframma plastico, anche con la finalità di porre l'accento su possibili problemi che possono essere trascurati e riconosciuti solo dopo che si siano manifestati. I fattori sono distinti fra intrinseci, costruttivi ed ambientali. I fattori intrinseci, oggetto di scelta diretta, sono legati alla composizione della miscela (materiali e dosaggi) ed alle procedure di miscelazione. I fattori costruttivi riguardano le procedure esecutive e le conseguenti possibili modifiche alla composizione, mentre i fattori ambientali riguardano l'ambiente fisico-chimico che il diaframma dovrà affrontare. Sono altresì fornite alcune raccomandazioni per la valutazione degli effetti dei suddetti fattori.

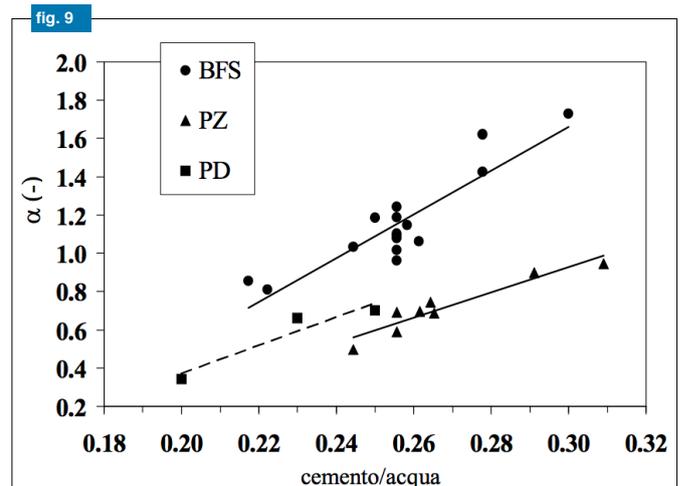
Fattori intrinseci

Il tipo ed il dosaggio dei componenti delle miscele ternarie vengono selezionati sulla base dei requisiti necessari allo stato fluido, ovvero stabilità alla decantazione, resa volumetrica, lavorabilità, ed allo stato indurito, principalmente bassa conducibilità idraulica e durabilità. Per garantire al contempo un'adeguata lavorabilità e stabilità alla decantazione, il dosaggio dei componenti può variare in un range piuttosto ristretto: cemento/acqua = 0.2-0.3; bentonite/acqua = 0.04-0.07. Nonostante ciò, la conducibilità idraulica può variare in modo molto evidente (persino di 3-4 ordini di grandezza) anche in funzione del tipo di componenti.

È ben noto che un incremento del contenuto di solidi riduce la permeabilità. È in ogni caso molto più conveniente incrementare la quantità di cemento anziché di bentonite (entro i limiti tali da garantire la lavorabilità) poiché in tal modo si ottiene anche una più rapida riduzione della permeabilità nel tempo (Fratolocchi e Pasqualini, 2007).

Per quanto concerne il tipo di componenti, per ottenere valori più bassi di permeabilità a parità di dosaggio senza modificare significativamente la rigidità e la resistenza, sono da preferire bentoniti sodiche e cementi d'altoforno. In particolare, si possono ottenere valori di conducibilità idraulica già bassi alle brevi stagionature (k dell'ordine di 10^{-8} cm/s a 30-60 giorni) impiegando cemento d'altoforno, il quale, oltre a dare benefici in termini di resistenza all'aggressione chimica e minore viscosità a parità di dosaggio, consente di incrementare la velocità di riduzione della permeabilità nel tempo rispetto ad altri tipi di cemento.

In considerazione dell'ampia gamma di bentoniti e cementi disponibili, la valutazione delle potenziali prestazioni idrauliche del tipo di materiale da impiegare richiede una sperimentazione di laboratorio per selezionare il tipo di componenti in grado di garantire a priori le migliori prestazioni del materiale una volta posto in opera, tenendo conto dei requisiti idraulici e meccanici richiesti per l'opera a breve e a lungo termine. In considerazione dei tempi di progetto, la selezione dei materiali si basa necessariamente su misure eseguite su campioni alle



brevi stagionature (al massimo di 1-2 mesi). Tenendo conto che la conducibilità idraulica tende a diminuire nel tempo per stagionature ben superiori a quelle generalmente indagate in fase di progetto e che il tipo e dosaggio dei componenti influenza in modo determinante anche le prestazioni idrauliche a lungo termine, risulta utile la correlazione, proposta da Fratolocchi (1996) e riportata anche in ICE (1999), che consente di stimare la conducibilità idraulica delle miscele autoindurenti a lungo termine in funzione del dosaggio dei singoli componenti. Tale correlazione esprime il coefficiente di permeabilità, k , in funzione del tempo di stagionatura, t :

$$k = k_r (t/t_r)^{-\alpha} \quad (1)$$

nella quale il coefficiente k_r [L/T] rappresenta il valore della conducibilità idraulica al tempo t_r , mentre il coefficiente α [-] esprime la riduzione di conducibilità idraulica all'aumentare del tempo di stagionatura. Tale riduzione è tanto maggiore quanto maggiore è il contenuto di cemento nella miscela (Fig. 9) e, a parità di contenuto di cemento, è maggiore per cementi d'altoforno e con maggiore contenuto di loppa.

La stima della conducibilità idraulica a breve e lungo termine delle miscele autoindurenti mediante l'eq. (1) richiede l'esecuzione di prove di laboratorio su campioni aventi pochi giorni di maturazione, per poter definire con sufficiente attendibilità il valore dei coefficienti k_r e α . Se l'interpolazione è relativa a misure continue di k in un arco di tempo di almeno 3-4 settimane, i valori di conducibilità idraulica stimati a lungo termine sono in buon accordo con quelli misurati (Fratolocchi e Pasqualini, 2007).

Poiché la riduzione di k delle miscele CB non dipende dal tipo e dal dosaggio di bentonite, in base ai risultati di Fig. 9 è possibile stimare il coefficiente α , per particolari tipi di cemento, dal rapporto cemento/acqua della miscela. In particolare, interpolando linearmente i valori di α in funzione del rapporto cemento/acqua (c/a), sono state ottenute le seguenti correlazioni, a seconda del tipo di cemento (Fratolocchi e Pasqualini, 2007):

cemento d'altoforno, classe III/A:
 $\alpha = 11.4 c/a - 1.8 \quad (2)$

cemento d'altoforno, classe III/B:
 $\alpha = 26.4 c/a - 3.2 \quad (3)$

cemento pozzolanico:
 $\alpha = 6.6 c/a - 1.0 \quad (4)$

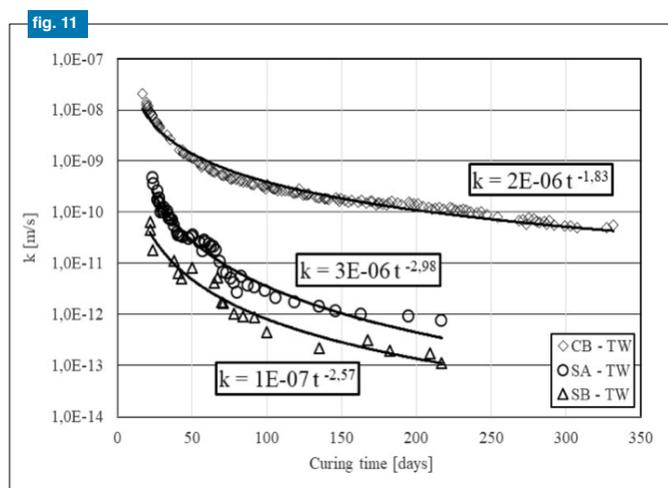
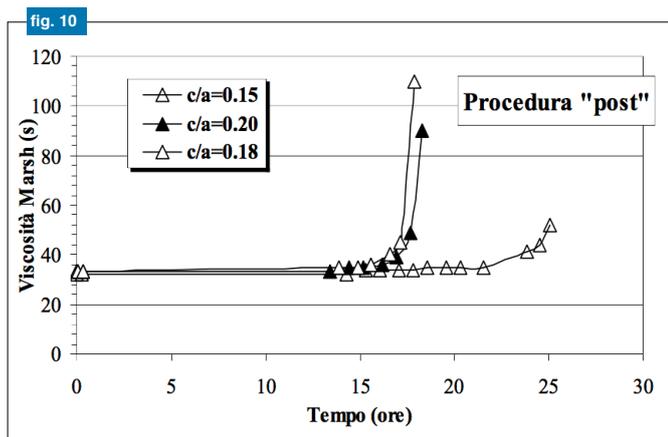


fig. 10
Tempo di lavorabilità di una miscela ternaria (cemento III-B, additivo = 2 l/m³ di miscela) con additivo aggiunto come ultimo componente (Fratolocchi e Pasqualini, 2007).

fig. 11
Confronto fra la conducibilità idraulica di una tipica miscela ternaria CB e di miscele speciali (SA e SB), al variare della stagionatura (Fratolocchi et al., 2013).

fig. 12
Confronto fra conducibilità idraulica di una miscela CB prelevata da impianto e da diaframma al termine dello scavo, a diverse profondità (Fratolocchi e Pasqualini, 1998).

fig. 13
Confronto fra la conducibilità idraulica di una miscela prelevata da impianto e da diaframma al termine dello scavo (Joshi et al., 2010).

fig. 14
Conducibilità idraulica di una miscela autoindurente al variare della concentrazione di SO₄²⁻ in soluzione (acido solforico; solfato di potassio; Fratolocchi et al., 2013).

In tal modo, misurando un valore di permeabilità ad un qualsiasi tempo di stagionatura (a breve stagionatura in fase di progetto), si può stimare il valore di permeabilità della miscela a lungo termine mediante l'eq. (1). Tale stima può essere utilizzata sia per la previsione della permeabilità a lungo termine fino ad un anno di maturazione delle miscele, sia come andamento di riferimento della permeabilità della miscela in acqua, evitando una sperimentazione prolungata, da confrontare con l'andamento della conducibilità idraulica misurata permeando la stessa miscela con il liquido inquinante da contenere (prove di compatibilità chimica e durabilità, cfr. § 3.3).

L'impiego di additivi ritardanti di presa (ICE, 1999), con dosaggi di 1-3 l/m³, può rendersi necessario per aumentare il tempo di lavorabilità della miscela, nel caso ad esempio di scavi profondi e/o in terreni particolarmente consistenti o per diaframmi compositi per i quali la posa dei teli di geomembrana al termine dello scavo richiede che la miscela abbia una consistenza fluida. Poiché l'additivo ha anche un'azione disperdente sulla bentonite, la sua aggiunta (che avviene al latte di bentonite, secondo la sequenza standard) comporta una riduzione della dimensione media dei pori e quindi si può ottenere una riduzione di permeabilità anche di 2 ordini di grandezza con un dosaggio di circa 3 litri di additivo per m³ di miscela (Fratolocchi e Pasqualini, 2007).

Variando la sequenza di miscelazione, ovvero aggiungendo l'additivo dopo aver aggiunto il cemento al latte di bentonite, si può ulteriormente incrementare il tempo di lavorabilità di una miscela additivata, rispetto alle usuali 3-6 ore, anche in presenza di percentuali di cemento piuttosto elevate (Fig. 10), senza modificare la conducibilità idraulica. Ciò comporta importanti vantaggi pratici: si può scavare con procedura monofase, più rapida, evitando di dover predisporre, gestire e smaltire il fango di stabilizzazione dello scavo; inoltre nel caso di posa della geomembrana si ha più tempo a disposizione prima dell'indurimento della miscela.

Fattori esecutivi

La sequenza di preparazione di una miscela in laboratorio è la stessa che viene seguita in sito, ma le quantità in gioco e la potenza degli impianti di miscelazione, quindi l'energia specifica, risultano ben diverse. I risultati riportati in letteratura (e.g. Fratolocchi e Pasqualini, 1998) dimostrano che in generale, quando le miscele non contengono additivi, si nota un buon accordo fra i valori di permeabilità della miscela di progetto, confezionata in laboratorio, e della stessa miscela preparata in impianto di cantiere. Se invece la miscela è additivata, si possono avere valori di permeabilità inferiori, quindi a sfavore di sicurezza, rispetto a quelli della stessa miscela di cantiere. La differenza risiede probabilmente nella diversa omogeneità: in laboratorio, dove sono preparate quantità molto minori rispetto al sito e in condizioni altamente controllate, è possibile ottenere una più uniforme miscelazione fra bentonite, acqua e additivo, e quindi una migliore dispersione delle particelle di bentonite e di cemento. È quindi opportuno adottare un coefficiente di sicurezza sulla conducibilità idraulica, che si suggerisce sia almeno pari a 2, nel selezionare una miscela additivata.

Per ottenere bassi valori di conducibilità idraulica fin dalle brevi stagionature ed avere garanzia, in fase di progetto, delle effettive prestazioni delle miscele in relazione al controllo dei dosaggi ed alle modalità di miscelazione, recentemente sono stati introdotti sul mercato premiscelati anidri costituiti da bentonite sodica, cemento, loppa d'altoforno (dosata nel range della classe III/B) e filler argillosi di diversa composizione mineralogica. Le speciali attrezzature di miscelazione predisposte per tali prodotti

fig. 12

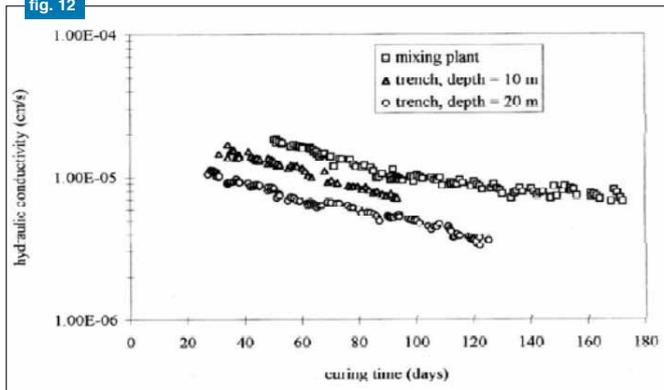


fig. 13

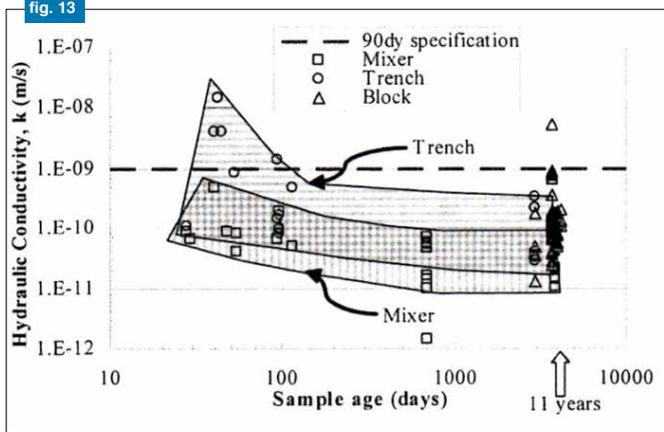
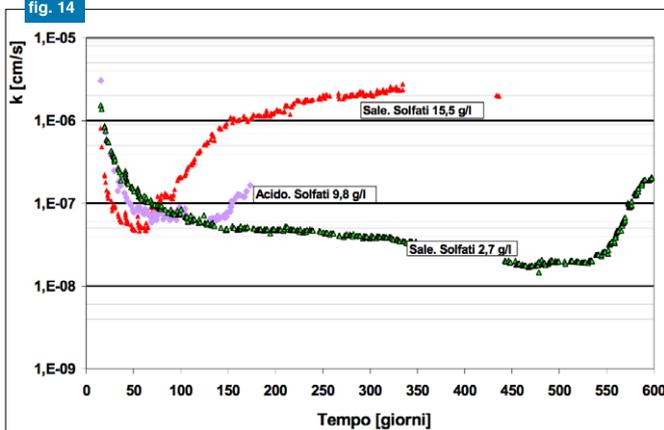


fig. 14



in laboratorio e in cantiere consentono di ottenere miscele con contenuto di solidi superiore rispetto alle tradizionali miscele ternarie e rendono possibile un'unica fase di miscelazione fra acqua e prodotto premiscelato, per cui la miscela risulta precisa nella composizione e nei dosaggi, omogenea e pronta in breve tempo, senza necessità di preidratazione. A titolo di esempio, la Fig. 11 mostra l'andamento della conducibilità idraulica con la stagionatura di una miscela ternaria tradizionale (non additivata, confezionata con cemento III/B e avente elevato dosaggio di componenti solidi) e di due premiscelati, Solidur® A (SA) e B (SB).

La costruzione del diaframma mediante procedura monofase (ed in minima parte anche per quella bi-fase) implica la "contaminazione" della miscela ternaria con l'acqua di falda e con il terreno durante lo scavo. È quindi importante in fase

di progetto valutarne gli effetti sulle prestazioni idrauliche e meccaniche.

La presenza di acqua tende a far peggiorare le prestazioni idrauliche in quanto si riduce il rapporto solidi/acqua ed inoltre vi può essere un effetto negativo legato all'interazione con la miscela fluida. Non essendo disponibili in letteratura dati in merito, si suggerisce (Fratolocchi e Pasqualini, 2007) di aggiungere una modesta quantità di acqua di falda nella miscela appena confezionata in fase di progetto e di valutarne la permeabilità parallelamente alla stessa miscela cui viene aggiunta acqua di rubinetto, così da verificare gli eventuali effetti di interazione, specialmente qualora l'acqua di falda sia contaminata da sostanze che possono compromettere la presa o l'indurimento del cemento. Si deve comunque tener presente che tale effetto negativo può essere almeno in parte compensato da un incremento della quantità di solidi per inglobamento del terreno nella miscela durante lo scavo, che si stima possa essere almeno del 10% (Jefferis, 1981; Rodrigues Carreto, 2013).

Nel caso di scavo in terreni a grana fine (non contaminati) i risultati di letteratura mostrano che a causa della presenza di terreno nella miscela, la conducibilità idraulica si riduce (nell'ordine di grandezza) rispetto alla miscela prelevata da impianto (Fig. 12). Nel caso invece di terreni grossolani, non sembra si abbiano modifiche significative, a patto che ovviamente il terreno sia omogeneamente distribuito nella miscela (Fratolocchi e Pasqualini, 2007). Joshi et al. (2010) documentano un caso in cui la conducibilità idraulica della miscela si incrementa a causa della presenza di acqua e terreno fine inglobato (Fig. 13) ma, trattandosi di un diaframma in un sito contaminato è ragionevole supporre che tale incremento possa essere almeno in parte dovuto all'interazione fra miscela, terreno e acqua contaminati.

L'esecuzione di diaframmi plastici di profondità considerevoli (50 m e oltre) comporta problematiche tecniche ed economiche importanti, legate innanzitutto alla necessità di ricorrere ad attrezzature più sofisticate (idrofresa), con costi fino a 5 volte superiori a quelli delle attrezzature tradizionali (benna a fune o guidata); inoltre, non essendo possibile realizzare un diaframma composito a tali profondità, è necessario che la miscela abbia una densità sufficientemente maggiore del fango di perforazione e nel contempo garantisca prestazioni idrauliche non inferiori a quelle delle miscele autoindurenti tradizionali. A tale scopo, si possono utilizzare prodotti premiscelati oppure occorre predisporre miscele ternarie con inerti opportunamente dosati e selezionati dal punto di vista granulometrico per ottenere prestazioni idrauliche equivalenti a quelle delle miscele CB, seppure con una rigidità superiore. Il fatto che si possano contenere incrementi della resistenza a compressione (in dipendenza ovviamente dal rapporto inerti/miscela) può essere importante alla luce del requisito (discutibile) frequentemente richiesto alla miscela di non superare specifici valori di resistenza a compressione (generalmente 1 MPa a 28 giorni di stagionatura).

I suddetti requisiti possono essere garantiti a patto che la miscela con inerti possa essere omogenea, il che richiede un adeguato sistema di miscelazione di cantiere, un corretto rapporto inerti/miscela ed una corretta esecuzione del getto per evitare segregazione o vespai.

Compatibilità chimica e durabilità

Con riferimento alle prestazioni nei confronti dell'interazione con i contaminanti, è noto che le miscele ternarie, così come qualsiasi miscela a base cementizia, soffrono gli ambienti

fig. 15

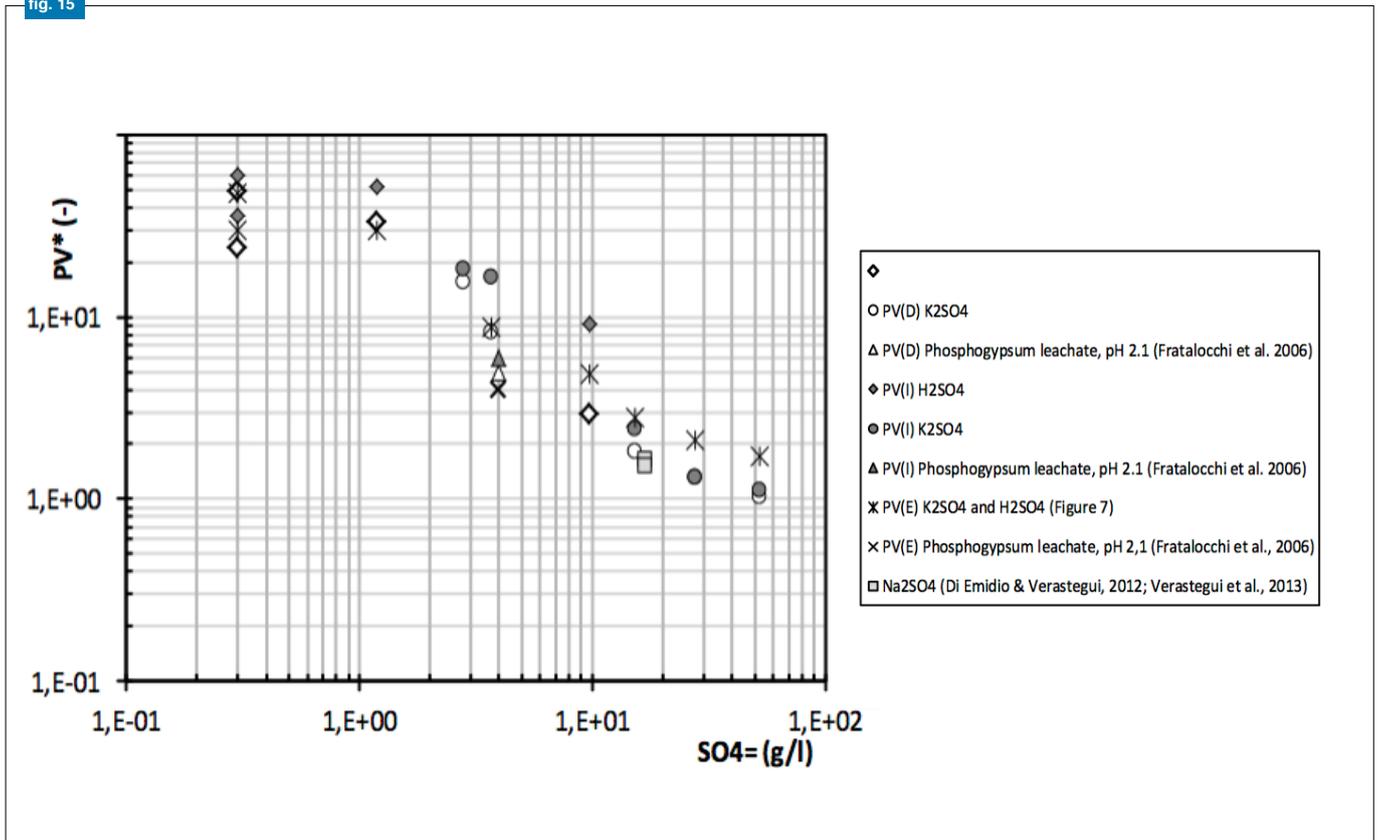


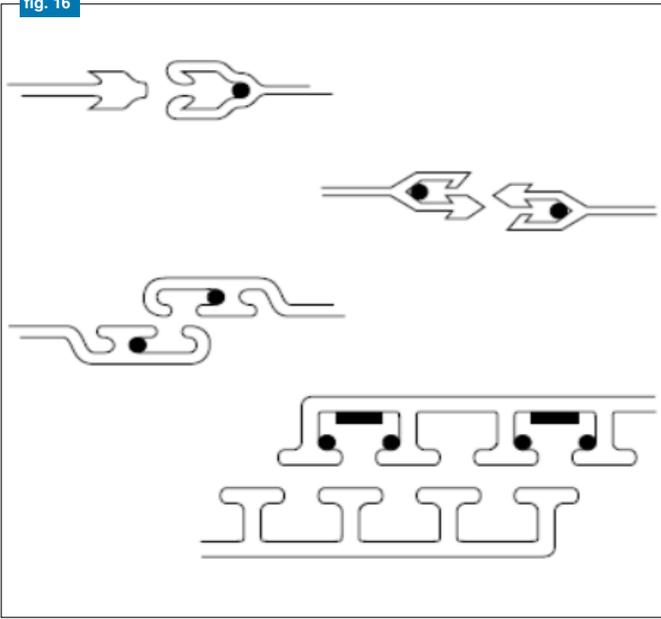
fig. 15
Numero di pore volumes critico, PV*, in funzione della concentrazione di SO₄²⁻ in soluzione (Fratolocchi et al., 2016).

fig. 16
Esempi di giunto con nucleo espandibile.

solfatici, acidi e le sostanze organiche, in misura diversa a seconda del tipo, del livello e della combinazione fra tali sostanze.

Come conseguenza della filtrazione di soluzioni solfatiche saline, le miscele mostrano tipicamente un'iniziale riduzione della permeabilità dovuta al clogging per la formazione di gesso, seguita da rigonfiamento per formazione di ettringite che determina una fitta rete di fessure interconnesse tale da incrementare la conducibilità idraulica e la diffusione effettiva. In particolare, i risultati pubblicati da Fratolocchi et al. (2013) hanno mostrato che la permeazione continua di soluzioni solfatiche saline a concentrazione ≥ 15 g/l incrementa la conducibilità idraulica già dopo pochi pore volumes (qualche settimana) di permeazione (Fig. 14). Gli effetti di clogging e di fessurazione sono tanto più rapidi quanto maggiore è la concentrazione di solfati in soluzione. La conducibilità idraulica a lungo termine si attesta su un valore dell'ordine di 10^{-6} cm/s, tale da non rendere più idoneo il diaframma di cinturazione. Per concentrazioni inferiori, il comportamento idraulico nei confronti delle soluzioni solfatiche è migliore (Fig. 14); tuttavia, anche in questo caso, si osserva un incremento della conducibilità idraulica a lungo termine, simile a quello osservato con le soluzioni a maggiore concentrazione a breve termine. Sulla base di tali andamenti, Fratolocchi et al. (2013; 2016) hanno correlate il numero di pore volumes critico (PV*), ovvero in corrispondenza del quale si verifica l'incremento di permeabilità, alla concentrazione di solfato in soluzione. Il grafico di Fig.15 consente di stimare la durabilità della miscela sulla base della portata prevista attraverso il diaframma. Si tratta di un criterio a favore di sicurezza sia perché riferito ad un valore di k che diventa crescente ma non necessariamente inaccettabile, sia soprattutto perché nella realtà il progetto di una cinturazione prevede l'aggettamento dell'acqua di falda

fig. 16



per controbilanciare il flusso diffusivo e pertanto l'acqua di falda che permea un diaframma non è contaminata.

La presenza di sostanze organiche nell'acqua di miscelazione o di permeazione può essere deleteria poiché è in grado di rallentare o addirittura inibire, in funzione della concentrazione, l'idratazione del cemento, processo che determina la riduzione della conducibilità idraulica nel tempo. La stagionatura alla quale avviene il contatto gioca un ruolo fondamentale. Dal punto di vista pratico, un tale effetto deve essere opportunamente valutato e ritardato quanto più possibile, ad esempio, aggotando acqua contaminata all'interno della cinturazione (procedura comunque necessaria per controbilanciare il flusso diffusivo verso l'esterno) subito dopo la realizzazione dell'opera, così da garantire una sufficiente stagionatura in acqua.

Gli acidi sono in grado di dissolvere i prodotti di reazione del cemento (idrosilicati e idroalluminati di calcio, idrossido di calcio) e quindi di danneggiare i diaframmi (Fig. 14). Jefferis (2003) e Fratolocchi et al. (2005) descrivono case histories di diaframmi autoindurenti utilizzati per la cinturazione di siti contaminati da solfati e fosfati (acqua di falda con concentrazioni dell'ordine dei g/l) con elevate acidità (pH = 2-3). Si rimanda agli articoli per l'analisi dettagliata dei meccanismi di reazione e dei metodi per la previsione della durabilità a lungo termine. Si segnala comunque che gli effetti deleteri della dissoluzione dei composti di idratazione possono essere almeno in parte compensati dalla precipitazione di idrossidi conseguente alla neutralizzazione degli acidi operata dalla miscela fortemente alcalina e/o dalla formazione di sali insolubili, che occludono parzialmente i pori.

Per la valutazione della durabilità di una miscela in fase di progetto, si possono eseguire semplici prove di immersione di campioni in acqua di falda contaminata, con ricambio continuo: la misura della variazione di peso, la comparsa di fessure e il controllo dell'indurimento (con penetrometro tascabile) forniscono indicazioni importanti delle possibili conseguenze a lungo termine del contatto con sostanze potenzialmente aggressive. In caso di buon esito delle prove di immersione, si dovrebbero eseguire prove di permeazione diretta con l'acqua di falda. Per accelerare i meccanismi di interazione e quindi stimare la durabilità in tempi compatibili con quelli di progetto, le prove possono essere eseguite con gradiente idraulico elevato per avere un maggior numero di pore volumes filtrati.

Diaframma composito

La geomembrana esercita indubbiamente un'azione di protezione nei confronti della porzione di diaframma non a diretto contatto con il terreno contaminato e pertanto migliora notevolmente le prestazioni del diaframma nel breve e lungo termine. Tale effetto benefico è comunque legato alla scelta ottimale della geomembrana (polimero, giunto fra i teli), alla corretta posa in opera dei teli ed ai fattori ambientali (fisici e chimici). A tale riguardo si evidenzia che è fortemente raccomandato l'impiego di geomembrane in HDPE, materiale intrinsecamente impermeabile (k al vapore acqueo = 10^{-12} - 10^{-14} cm/s); tuttavia la sua posa in opera non lo rende esente da difetti, legati principalmente al possibile mancato aggancio dei giunti lungo porzioni adiacenti dei teli e in minor misura a difetti di saldatura fra telo e giunto. Pertanto, la migrazione dei contaminanti attraverso una geomembrana può avvenire per flusso convettivo attraverso tali difetti, oltre che per diffusione molecolare.

Possibili danneggiamenti legati allo stress cracking o al decadimento delle proprietà del polimero per ossidazione o degradazione (Rowe, 2005; Needham et al., 2006) sono molto meno rilevanti rispetto a quelli che si possono avere nelle applicazioni sul fondo delle discariche controllate, soprattutto perché in un diaframma composito la geomembrana non è a diretto contatto con gli inquinanti e le sollecitazioni di trazione e la temperatura sono inferiori.

Il principale problema rimane il mancato aggancio fra i giunti o la scelta di un giunto di prestazioni scadenti, per cui è opportuno utilizzare giunti che abbiano installazione sufficientemente agevole e al contempo buone prestazioni di tenuta, quali ad esempio quelli con nucleo ad espansione (Fig. 16) o quelli a labirinto. Si possono ad ogni modo eseguire prove di tenuta al variare della differenza di pressione attraverso il giunto (e.g. Koerner e Guglielmetti, 1995). Sono disponibili in letteratura equazioni ed analisi parametriche per determinare il flusso attraverso difetti di geomembrane accoppiate a materiali di dimensioni e caratteristiche quali quelle dei diaframmi compositi (Giroud e Bonaparte, 1989.a,b; Manassero et al., 1995; Rowe, 2005).

Per quanto concerne la durabilità, vi sono numerose esperienze di laboratorio ed anche osservazioni del comportamento di geomembrane in servizio per anni in ambienti aggressivi (e.g. Rowe, 2005; 2007; e molti altri) che si sono rivelate positive, ma è ancora difficile fare previsioni nel lungo termine. Assumendo che le condizioni di una geomembrana in un diaframma composito siano assimilabili, dal punto di vista dell'esposizione, a quelle del rivestimento secondario di una doppia barriera di fondo di discarica, si può fare una stima di durabilità dell'ordine delle centinaia di anni con una temperatura non superiore a 20°C (Rowe, 2005).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In questo articolo sono stati esaminati solo alcuni dei numerosi aspetti relativi alla progettazione dei diaframmi plastici, rimandando ai riferimenti bibliografici e alla letteratura specialistica per i necessari approfondimenti e per gli aspetti cui è stato solo fatto cenno.

Dall'analisi della letteratura emerge che le barriere verticali sono frequentemente impiegate per il contenimento degli inquinanti, ma che sono piuttosto rari i casi documentati con dati esaurienti per quanto riguarda le loro prestazioni reali, per ragioni presumibilmente di riservatezza o anche per assenza di monitoraggio. Proprio il sistema di monitoraggio (oltre alle

prove di collaudo), è invece fondamentale per il riscontro definitivo delle ipotesi progettuali e delle procedure esecutive. Poiché le prestazioni idrauliche e meccaniche dei diaframmi possono essere fortemente condizionate dall'interazione con i contaminanti (in relazione al livello, alla tipologia ed alla combinazione dei contaminanti), è di fondamentale importanza per il successo dell'opera che in fase di progetto

sia programmata un'adeguata sperimentazione di laboratorio finalizzata a simulare le reali condizioni in cui si troverà un diaframma una volta posto in opera ed in base alla quale sia possibile valutarne la compatibilità chimica e la durabilità. Solo in tal modo ed abbinando una corretta progettazione ed esecuzione, l'opera può garantire le prestazioni richieste.

BIBLIOGRAFIA

- Berthier B., Ryan C.R. & Vincent P.J.P. (2011).**
Composite slurry wall and liner – A full scale test.
Proc. Geo-Frontiers 2011, ASCE GSP 211, pp. 986-995.
- Croce P., Flora A. & Modoni G. (2004).**
Jet-grouting – Tecnica, progetto e controllo.
Hewelius Ed.
- Croce P., Modoni G. & Carletto M.F.W. (2011).**
Correlazioni per la previsione del diametro delle colonne di jet grouting.
Proc. XXIV Convegno Nazionale di Geotecnica, Napoli.
- Evans J.C. (1993).**
Vertical cutoff walls.
Geotechnical Practice for Waste Disposal, Chapman & Hall Inc., London, 430-454.
- Fiorotto R., Bringiotti G., Bringiotti M. & Nicastro D. (2004).**
Dal cutter soil mix al triple auger.
Quarry and Construction, 09/2004, pp. 61-69.
- Fratalocchi E. & Pasqualini E. (1998).**
Permeability over time of cement-bentonite slurry walls.
III ICEG, Lisbona, Vol. 2, 509-514.
- Fratalocchi E. & Pasqualini E. (2007).**
Vertical barriers for site containment.
XXI Ciclo di Conferenze di Geotecnica di Torino, Novembre 2007.
- Fratalocchi E. (1996).**
Comportamento idraulico delle miscele ternarie acqua-cemento-bentonite.
Tesi di Dottorato, Politecnico di Torino.
- Fratalocchi E., Brianzoni V., Di Sante M., Mazzieri F. & Pasqualini E. (2013).**
Migration of aggressive solutions through CB walls.
1st CPEG, Torino, pp. 243-252.
- Fratalocchi E., Pasqualini E., Balboni P. & Mozzi R. (2005).**
Durability assessment of the confinement cut-off wall for a phosphogypsum landfill.
16th ICSMG, Osaka, 2257-2260.
- Fratalocchi E., Brianzoni V., Mazzieri F. & Pasqualini E. (2016).**
Durability of Cement-Bentonite Cut-Off Walls to Sulphate Solutions.
Geo-Chicago 2016, ASCE GSP 271.
- Giroud J.P. & Bonaparte R. (1989.a).**
Leakage through liners constructed with geomembranes - Part I Geomembrane liners.
Geotextiles and Geomembranes, 8(1), 27-67.
- Giroud J.P. & Bonaparte R. (1989.b).**
Leakage through Liners Constructed with Geomembranes - Part II Composite Liners.
Geotextiles and Geomembranes, 8(2), 71-11.
- Granata R. & Vanni D. (2011).**
Nuove tecnologie per l'iniezione di terreni fini.
XXIV Convegno Nazionale di Geotecnica, Napoli.
- Ho C.E. (2005).**
Turbulent fluid jet excavation in cohesive soil with particular application to jet grouting.
Thesis (Sc. D.) Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Civil and Environmental Engineering.
- Hwang H., Yoon J., Rugg D. & El Mohtar C.S. (2011).**
Hydraulic conductivity of bentonite grouted sand.
Geo-Frontiers 2011, ASCE GSP 211, pp. 1372-1381.
- ICE, Institution of Civil Engineers (1999).**
Specifications for the constructions of slurry trench cut-off walls.
Thomas Telford Ltd., London.
- Jefferis S.A. (2003).**
Long term performance of grouts and the effects of grout by-products.
3rd Int. Conf. on Grouting & Ground Treatments, ASCE GSP 120.
- Jefferis S.A. (1981).**
Bentonite-cement slurries for hydraulic cut-offs.
X ICSMFE, Stockholm, 435-440.
- Joshi K., Kechavarzi C., Sutherland K., Ng M.Y.A., Soga K. & Tedd P. (2010).**
Laboratory and in situ tests for long-term hydraulic conductivity of a cement-bentonite cutoff wall.
J. Geotech. Geoenv. Eng., 136(4), 562-572.
- Koerner R.M. & Gugliemetti J.L. (1995).**
Vertical barriers: geomembranes.
Int. Confinement Technology Workshop, Baltimore, Section 5.
- Kolstad D.C., Benson C.H. & Edil T.B. (2004).**
Hydraulic conductivity and swell of nonprehydrated geo-synthetic clay liners permeated with multispecies inorganic solutions.
J. Geotech. Geoenv. Eng., 130(12), 1236-1249.
- La Grega M.D., Buckingham P.L. & Evans J.C. (1994).**
Hazardous Waste Management.
McGraw-Hill Inc., New York.
- Lee T. & Benson C.H. (2000).**
Flow past bench-scale vertical groundwater cut-off walls.
J. Geotech. Geoenv. Eng., 126 (6), 511-520.
- Manassero M. (1999).**
I sistemi di incapsulamento dei siti contaminati.
XVII Conferenze di Geotecnica di Torino, 17.04.
- Manassero M., Fratalocchi E., Pasqualini E., Spanna C. & Verga F. (1995).**
Containment with vertical cut-off walls.
Geoenvironment 2000, New Orleans, ASCE GSP 46, 1142-1172.
- Needham A.D., Smith J.W.N. & Gallagher E.M.G. (2006).**
The service life of polyethylene geomembrane barriers.
Engineering Geology, 85(1-2), 82-90.
- Pasqualini E., Fratalocchi E. & Mazzieri F. (2011).**
Discariche controllate e siti contaminati: aspetti critici e tecnologici.
Relazione Generale XXIV Convegno Nazionale di Geotecnica, Napoli.
- Pearlman L. (1999).**
Frozen barriers.
In: Subsurface containment and monitoring systems: barriers and beyond. Overview Report per US EPA.
- Peterson M.E. & Landis R.C. (1995).**
Artificially employed floors and bottom barriers.
in.org/download/contaminantfocus/dnapi/Treatment_Technologies/Containment-1995.pdf
- Rodrigues Carreto J.M. (2013).**
Self-hardening slurry walls. A contribution for design, quality control and performance monitoring.
Ph.D. Thesis, Universidade de Lisboa, Instituto Superior Tecnico.
- Rowe R.K. (2005).**
Long term performance of contaminant barrier systems.
45th Rankine Lecture. Géotechnique, 55(9), 631-678.
- Rowe R.K. (2007).**
Advances and remaining challenges for geosynthetics in geoenvironmental engineering applications.
Soils and Rocks, 30(1), 3-30.
- Sayles F.N. & Iskandar I.K. (1995).**
Ground freezing for containment of hazardous waste.
International Confinement Technology Workshop, Baltimore.
- Schulenberg J. & Breslin J. (2005).**
Soil bentonite cut-off wall through free product at Indiana Harbor CDF.
US Army Corps of Engineers, www.dtic.mil/ndia/2005trisevice/track6/schulenberg.pdf
- Starr R.C. & Cherry J.A. (1994).**
In situ remediation of contaminated groundwater: the funnel-and-gate system.
Groundwater, 32(3), 465-476.
- Visudmedanukul P., Kamon M. & Katsumi T. (2007).**
Chloride transport through cement-bentonite barriers.
J. Geotech. Geoenv. Eng., 133 (2), 175-185.

La sicurezza di grandi performance su ogni terreno.

G E O



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

Guarda il video:
Deep Innovators
at work.



COMACCHIO

DRILLING HI-TECH

Quaderni del Museo
7.2020

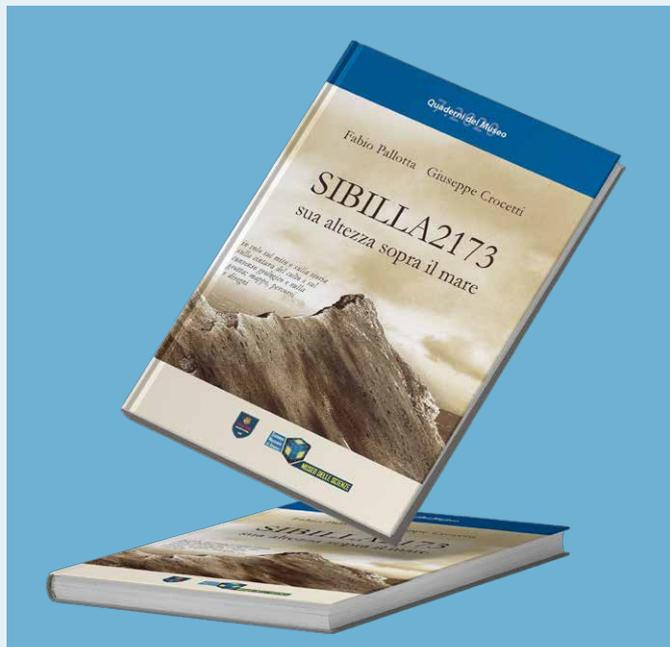
Fabio Pallotta Giuseppe Crocetti

SIBILLA2173

sua altezza sopra il mare

*in volo sul mito e sulla storia
sulla cintura del culto e sul
consenso geologico e sulla
grotta; mappe, percorsi
e disegni*





a cura di **SARA PRATI**

Ogni alba dalla mia finestra di Montemonaco, dove ho deciso di vivere, osservo il mare, quindi la padrona dei Sibillini: la Corona sul volto della Sibilla! da sempre percepisco uno stretto legame tra questi due orizzonti estremi.

... era sabato mattina; stavo riorganizzando una casa devastata dalla fretta e dalle scorribande dei bambini, quando Pallotta mi chiede di raggiungerlo con gli scarponi a Rocca di Montemonaco: il nostro vecchio presidente dell'Ordine era già lì con un gruppo di ricercatori dell'Università di Camerino e dell'Oriente di Napoli; in quella dolce mattina di sole, erano alla ricerca delle vestigia di Rocca Vecchia. Li raggiungo!

Dal caloroso abbraccio di Fabio e dalla particolare luce che aveva negli occhi quella mattina (chi lo conosce, sa a cosa mi riferisco), ancora ignara del motivo della chiamata, assorbo per empatia l'entusiasmo per una nuova e meravigliosa avventura. Non ci penso due volte, dopo un rapido giro di presentazioni con il resto della truppa, acquisto due bottiglie d'acqua e decido di seguirli, senza minimamente immaginare che saremmo rientrati nella tarda serata!

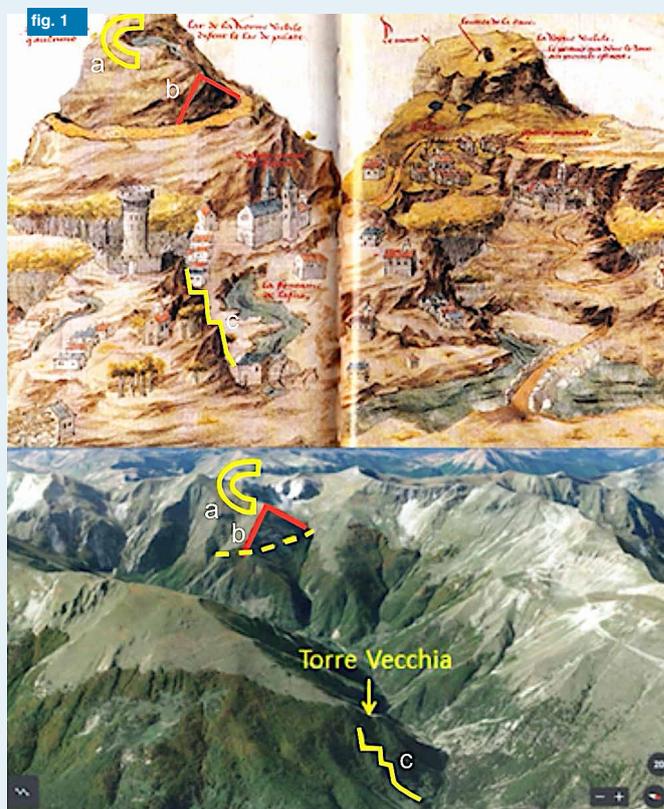
Ci inerpichiamo sulla montagna con il disegno che lo scrittore francese Antoine de la Sale, uscendo dalla parte occidentale di *Monte del Monaco*, eseguì nel lontano maggio del 1420.

Mentre Fabio, salendo, mi racconta tutto quello che aveva letto e studiato sull'argomento, mi rendo conto che la compagnia è stimolante e la giornata splendida... senza ombra di dubbio, sono nel posto giusto! Alzando gli occhi e, osservando la morfologia dei rilievi, come d'incanto, riconosciamo l'immagine storicamente impressa dal *de la Sale*!!!!

Guardiamo quindi la mappa. La parte destra è molto chiara: la corona, la grotta, Colino (Collina), Monte del Monaco (Montemonaco), ecc...; invece nella parte sinistra del disegno immaginiamo in alto Palazzo Borghese e, in primo piano più in basso, la Rocca Vecchia: ecco una buona corrispondenza tra l'affresco e la realtà.

Ci stupiamo per l'esatta prospettiva della rappresentazione del circo glaciale di Palazzo Borghese e del sottostante laghetto (laghetto della Sibilla e non il lago di Pilato, come -secondo noi-

[...] **IL MITO DELLA SIBILLA HA SEMPRE, DA SEMPRE, ATTRATTO PELLEGRINI, CAVALIERI, STUDIOSI E SAPIENTI DA TUTTA EUROPA, MA SOPRATTUTTO HA FATTO INCONTRARE TANTI POPOLI DI ETNIE DIVERSE CHE, NEL TEMPO, SI SONO CONOSCIUTI, AMATI E COMBATTUTI** PROPRIO QUI, SOTTO LA VETTA CHE AFFIDA IL NOME AI NOSTRI MONTI AZZURRI, AZZURRI COME IL MARE [...]



erroneamente interpretato fino ad oggi!), con le abbondanti acque che tracimano la soglia glaciale e si incanalano lungo il versante.

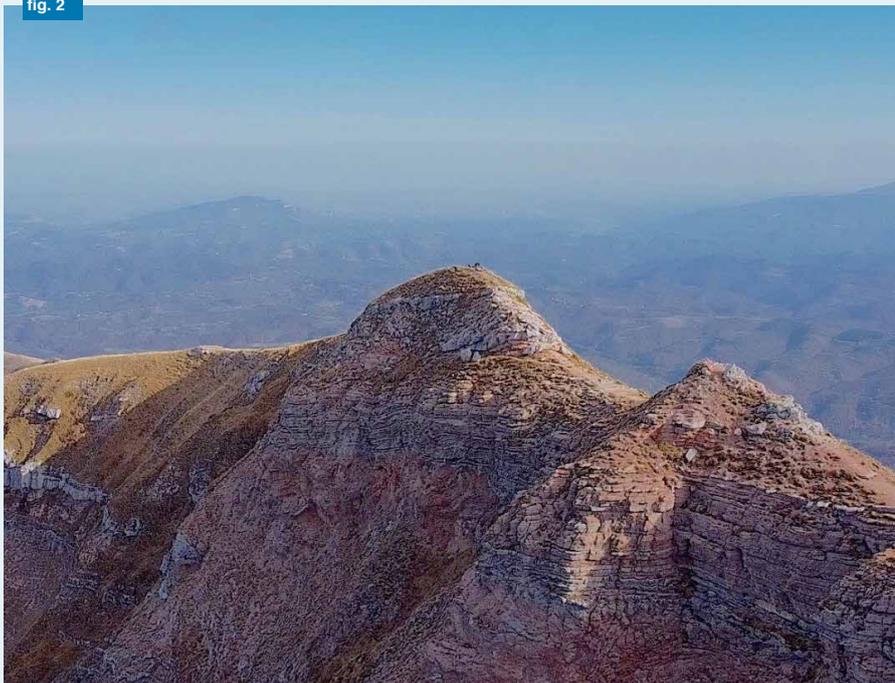
A tal proposito, ricordiamo che il de La Sale visitò quest'area nel maggio del 1420, in primavera, quando dopo lo scioglimento delle nevi, le acque scorrevano in gran quantità.

Sotto il laghetto, il versante viene disegnato in ombra (tonalità più scura) e con una geometria triangolare: stupefacente è la corrispondenza con quello che attualmente osserviamo.

Alla base del versante viene disegnata una strada (riportata in tratteggio giallo), i cui tratti si conservano ancora oggi. A valle della strada, si osserva un versante con minore pendenza, sul quale poteva sorgere la *chiesa di Santa Maria di Foje*. Di notevole rilievo è anche la rappresentazione della "nostra Rocca Vecchia", posta sullo sperone roccioso, i cui fianchi sono modellati a gradinata: questi gradini morfologici li osserviamo proprio oggi, qui, anche se mascherati dal bosco; e

fig. 1
 Disegno di de La Sale del XV sec. a confronto con immagine in 3D Google Earth: analisi integrata del paesaggio; legenda: a) circo glaciale; b) versante a faccetta triangolare; c) versante a gradinata.

fig. 2



progetto e partecipo con entusiasmo alla ricerca bibliografica dei molteplici appunti storici disponibili e, contemporaneamente, al rilevamento delle informazioni territoriali ed ambientali che, interpretate in veste geo-archeologica, restituivano l'impianto della ricerca. Ecco il prodotto: *"Sibilla 2173 sua altezza sopra il mare"*; l'affascinante leggenda della Sibilla Appenninica, narrata con gradevole fusione tra mito, storia, geologia e paesaggio, costituisce il settimo volume della collana *"Quaderni del Museo"* dell'Ateneo di Camerino. È un invito al Viaggio. Un quaderno di appunti sulle tracce della storia, quella della natura e degli uomini, che ha generato questo complesso panorama emotivo.

L'opera non vuole fornire risposte: le parole, semplicemente, sciolgono le immagini ed aprono all'infinito; disegni, foto, mappe e tavole grafiche, dalla sistematica ricerca scientifica, predispongono al sogno nella dimensione in cui tempo, spazio e luce sono una cosa sola. Il racconto, appunto, svela il meraviglioso percorso verso la consapevolezza scientifica ed antropologica, al quale è impossibile sottrarsi.

in questo sabato per me inaspettato, troviamo anche le tracce e gli elementi delle vestigia della Rocca! Interessante è anche l'effetto prospettico e di profondità che è stato dato a questo sperone roccioso; dietro di esso, infatti, si intravedono le case del villaggio di Foce, la *"sorgente dell'Asno"*, quindi il corso della valle del fiume Aso con mulini e chiese.

Ecco, da un disegno, una testimonianza di 600 anni fa (quella di Antoine de La Sale), una sintetica analisi integrata del paesaggio: un vero messaggio storico!

Sono coinvolta. Nei giorni successivi comprendo l'entità del

Gilberto Pambianchi, direttore del Sistema Bibliotecario Museale dell'Università degli Studi di Camerino, nella presentazione del libro, afferma: *"è un volo sulla storia e sull'architettura delle tante chiese che circondano il monte Sibilla e che gli Autori chiamano "la cintura del culto"; questi luoghi di amore e di rispetto costituiscono il segno tangibile del ricco giacimento*

fig. 3



fig. 2
Policrome stratificazioni: *la vie un rose della Sibilla.*

fig. 3
La corona triangolare della *Regina.*



spirituale e culturale, il cui suono diventa richiamo, oltrepassa il Mediterraneo e valica le Alpi, per ritornare e posarsi, come un velo di neve, sui Monti Sibillini. È un volo sugli aspetti geologici, esposti con linguaggio semplice, che non tradisce mai il rigore scientifico (gli Autori parlano anche di terremoti e di clima); il volume elabora ed inserisce mappe topografiche e temi geo-ambientali supportati da immagini in 3D. Il volo prosegue anche sui “sentieri delle tracce perdute”, dove vengono raccontati gli itinerari che Antoine de La Sale ed il Guerrino, detto il Meschino, percorsero per raggiungere il vestibolo della Sibilla. Infine, è un volo sulle principali spedizioni scientifiche effettuate nella Grotta della Sibilla nel XIX e XX sec.; fino a descrivere quella che proprio l’Università di Camerino realizzò nel 2000: i ricercatori effettuarono rilevamenti geologici ed indagini

geofisiche per una restituzione preliminare della grotta con i suoi stupefacenti cunicoli ipogei”.

Nella civiltà della Mesopotamia del secondo millennio a.C. è presente la figura di una donna con spirito profetico che, in preda all'estasi, invasata dalla divinità, pratica l'arte della divinazione.

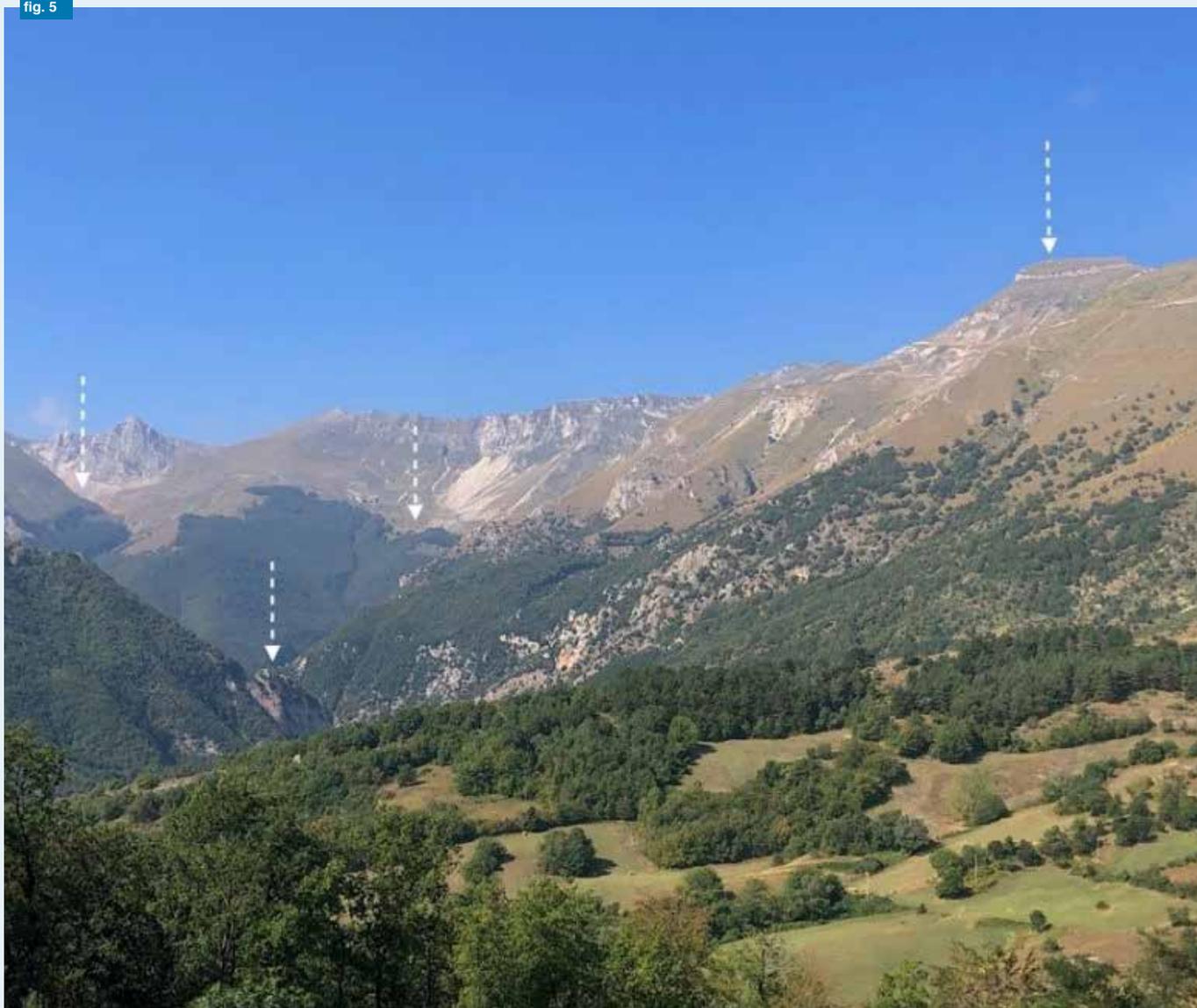
Sono stati però i Greci per primi ad usare, in riferimento ad una figura del genere, il termine **Sibilla** (di etimologia incerta, forse di derivazione orientale).

Sibilla indica, per l'appunto, una sacerdotessa che esercita la sua arte divinatoria in un centro oracolare collegato ad un santuario e, su ispirazione della divinità (solitamente Apollo), fornisce responsi profetici quasi sempre in forma oscura o ambivalente.

Già da Aristotele in poi, si allude a più Sibille, alcune delle quali

fig. 4
 Santa Maria in Pantano: come era prima del sisma (foto di Nicola Pezzotta) e dopo i terremoti del 2016.

fig. 5



certamente leggendarie, dislocate in diverse parti del mondo greco o in oriente; ad esempio Varrone, poeta romano del I sec. a.C., compila un elenco che ne riporta complessivamente dieci.

Non c'è dubbio che la leggenda sia stata influenzata dalle tradizioni sulle Sibille antiche, filtrate attraverso la ricca letteratura cristiana di epoca tardo-antica e soprattutto alto medievale.

Molto probabilmente, è già nell'Età del Bronzo che il valore strategico e spirituale di "quella grotta su quella particolare vetta" si sarebbe affermato e consolidato nel comune sentire della gente dei villaggi montani e nell'intimo sentimento di ogni singolo viaggiatore.

La grotta è posta sulla cuspide, sopra la corona: una cresta, un volto colorato con gli occhi nel vento! è così unica, misteriosa, come la vicina Luna.

La grotta, è su, in alto: vive fra le nuvole e l'azzurro.

Nelle aurore, quelle luminose, dal suo antro è possibile trovare, sopra l'orizzonte del mare, i monti lontani della Dalmazia.

È un ricovero sicuro, un rifugio: la sommità ed il colore della natura lo traducono in luogo mistico: posto ideale per respirare l'anima, avvicinarsi all'altrove!

Non conosciamo i riti, né le parole usate, né le funzioni assegnate dagli antichi ospiti arrivati da ogni confine, ma ne immaginiamo la meraviglia che precede, nella remota solitudine, all'identico grido d'aiuto: perdersi nelle eterne domande.

Poi, nel quaderno troviamo "La Cintura del Culto": ... deve esserci un filo che si dipana nel tempo e lega insieme i luoghi spirituali sotto il dominio del Monte Sibilla, dove sorgono antichi santuari dedicati a Maria (una tavola 3D ne riporta l'esatta ubicazione); come ad esempio Santa Maria in Pantano, collocata strategicamente nella via di valico per l'Umbria: la strada del grano o la via dei "Mietitori", antico percorso dei Sibillini utilizzato nei tempi passati da chi, nel periodo della mietitura, migrava verso la parte opposta della montagna in cerca di lavoro, offrendo braccia per la mietitura, per poi tornare a svolgere lo stesso compito nelle fertili piane di Castelluccio, dove il grano matura più tardi.

fig. 5

Le frecce indicano (da sx): i laghetti di Sasso Borghese; la Rocca Vecchia; i Campi di Santa Maria; la Sibilla.

fig. 6



Santa Maria in Pantano, a circa 1200 metri di quota, era un rifugio leggendario tra i confini trasparenti nella spina dorsale d'Italia; oggi, un importante edificio di culto e di storia antica, ferito a morte dai recenti eventi sismici.

L'opera, dopo aver descritto la geologia degli itinerari percorsi dai romanzieri medievali Andrea da Barberino e Antoine de la Sale, riporta la completa stesura del Libro V del "Guerrino detto il Meschino" ed il racconto e le leggende de "Il Paradiso della Regina Sibilla".

Il quaderno del Museo delle Scienze ci introduce alle prossime sistematiche ed interdisciplinari ricerche da realizzare con l'Università degli Studi di Camerino, l'Orientale di Napoli e con altre Università straniere, all'interno del progetto euro-mediterraneo chiamato "Progetto Sibilla 2173": rilanciare, intorno alla Sibilla ed ai Monti Sibillini, quel fermento di gente che, già nel Medioevo, veniva da tutta Europa e dal vicino Oriente, per visitare, studiare e conoscere il cuore del Piceno.

Ora, la domanda è la seguente:

vogliamo proseguire lo studio e l'indagine per tentare di svelare un po' di ciò che non sappiamo di lei?

Qualora la risposta fosse affermativa, l'unico comportamento gradito è "accarezzarla senza toccarle un pezzo di roccia".

NDR:

Ricordiamo a tutti i colleghi di partecipare sabato 26 giugno 2021 all'evento "SIBILLA2173 sua altezza sopra il mare", organizzato dal Comune di Montemonaco. Vivremo insieme un'esperienza artistica, culturale e... geologica.

(Per i dettagli, pubblicheremo la locandina sulla pagina Facebook dell'ordine).

"SIBILLA2173 sua altezza sopra il mare"
 di Fabio Pallotta e Giuseppe Crocetti

Edizione Quaderni del Museo delle Scienze
 dell'Università di Camerino – n. 7.2020

fig. 6

Ortofoto da drone sui Campi di Santa Maria, dove si osservano forme geometriche ascrivibili a strutture antropiche.



Dubbi Certi

(Recensioni semiserie e ironiche con intermezzi di amenità varie...)

a cura di **FABIO LATTANZI**

LA CARTOGRAFIA STA AL GEOLOGO COME I TAROCCHI STANNO AL CARTOMANTE...

Da sempre le carte (geografiche e non) hanno suscitato interesse e a volte stupore nelle genti...soprattutto quelle colorate e con tanti simboli...

Per i geologi sono pane quotidiano e base di partenza e riferimento per ogni tipo di lavoro.

Dalla mia esperienza e per quel ho imparato lo Scettro delle carte ora appartiene ai geologi...noi siamo i veri "Signori delle mappe"... e chi non ci crede è un cartomante!

Due note sull'autore: John Noble Wilford classe 1933, scrittore e giornalista scientifico ora in forza al New York Times, per il quale nel 1969 ha seguito il primo sbarco dell'uomo sulla Luna con alle spalle svariate collaborazioni sia con il «Wall Street Journal» che con il «Time», nonché vincitore per ben due volte del Premio Pulitzer e membro dell'American Academy of Arts and Sciences e dell'American Geographical Society... insomma uno tosto in quanto a divulgazione.

Ebbene questo distinto e compito signore con garbo e verve tutta anglosassone ci delizia ed erudisce sui segreti delle carte: ...partendo dall'inizio cioè dai greci, ovvero da coloro che tutto hanno pensato, infatti nel libro c'è Tolomeo (in questo tipo di libri è sempre presente...un po' come il "petrosino")...

...poi ci spiega l'uso dell'"odometro"...e le difficoltà cartografiche di rappresentare le pareti a 90°...

...scopriamo che il Capitano Cook non era un raccomandato...

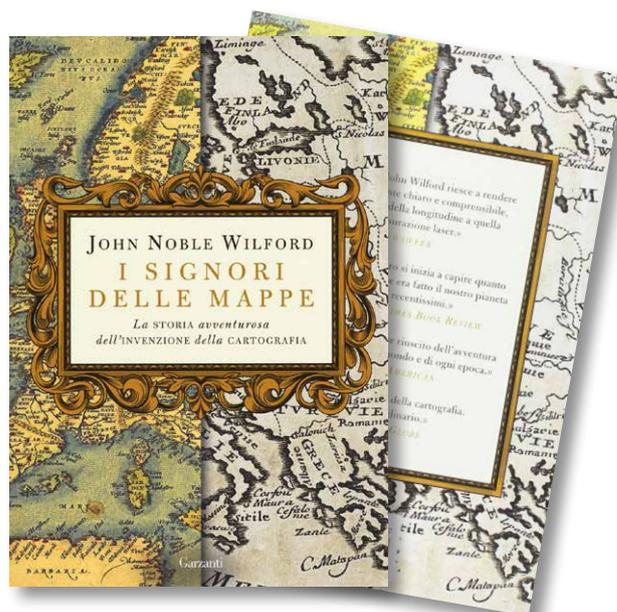
...che la navicella da sbarco di Apollo 11 era allunata su di un "pendio" con 3.5° di inclinazione...

...che Wegener (quello della deriva dei continenti) era un meteorologo...

...William Smith colui che ha per primo ha realizzato e colorato

a mano la prima carta geologica era assistente topografo/agrimensore (e che erroneamente nell'indice dei nomi a fine libro viene classificato come geologo)...e tanto altro ancora.

(John Noble Wilford - "I signori delle mappe" – Ed. Garzanti)
...Compratelo...mi raccomando con la mascherina...pagatelo (è meglio) disinfettatevi le mani...e poi finalmente una volta vostro ...assorbite lo...portatelo a letto, a spasso, con vostra moglie, con gli amici, a colazione...insomma leggetelo!



"I signori delle mappe"
di John Noble Wilford
Edizione Garzanti



Ed ora farò un'operazione che mai nessun recensore ha osato...ovvero vi consiglierò cosa bere e cosa fumare durante la sua lettura...

...Grappa Nonino Riserva Antica Cuvée Riserva aged 5 years...

...Sigari "Tornabuoni Cospaia".

Il nome di questo sigaro è legato alla "Repubblica di Cospaia"... ora vi racconterò la sua incredibile storia...

Il borgo di Cospaia posto tra il Granducato di Toscana e lo Stato Pontificio, ottenne, inaspettatamente l'indipendenza nel febbraio 1441. Quando papa Eugenio IV, (impegnato nel conflitto con il concilio di Basilea) fece un trattato con i Medici di Firenze che prevedeva la cessione del territorio di Sansepolcro come pegno per la restituzione di un'importante somma di denaro, prestata dai fiorentini.

Per errore, nella designazione del confine, una piccola striscia di terreno non venne inclusa nel trattato che delimitava le frontiere e i locali residenti dichiararono prontamente di non essere sottomessi ad alcuna autorità.

L'equivoco nacque dal fatto che, a Nord (lato Granducato) e a Sud (lato Stato Pontificio) ci fossero due torrenti con il medesimo nome "Rio" ed in mezzo era situato per circa 500 metri di larghezza il territorio di Cospaia

I delegati della repubblica fiorentina considerarono come nuova delimitazione il "Rio" che si trova più a Nord, i delegati





dello Stato della Chiesa, invece, quello più a sud, si creò quindi una sorta di terra di nessuno all'interno della quale sorgeva il borgo di Cospaia, villaggio contadino posto in cima ad una collinetta, con circa 350 persone in meno di 100 famiglie. Gli abitanti immediatamente si affrettarono a proclamare Cospaia "libera".

La bandiera della Repubblica recava un campo nero e uno bianco, divisi in diagonale, sui quali era raffigurato il Borgo tra i due fiumiciattoli, sovrastato dal motto, con due pesci sulla destra e una pianta di tabacco sulla sinistra.

Proprio la tabacchicoltura divenne la più importante fonte di sostentamento degli abitanti di Cospaia a partire dal 1574, anno in cui Alfonso Tornabuoni, vescovo di Sansepolcro, ricevette dal nipote Niccolò dei semi di tabacco provenienti dal nuovo mondo. Dall'orto ecclesiale, ove furono messi a dimora, e la Repubblica c'erano pochi chilometri e a Cospaia, ben presto, si cominciò a coltivare l'Erba Tornabuona, così chiamata in onore di Niccolò.

Le fonti non ci dicono di quali varietà si trattasse, ma si ricavava tabacco da fiuto e, solo più tardi, da fumo. La tabacchicoltura

fiorì a partire dal 1642, anno in cui papa Urbano VIII arrivò persino a scomunicare i fumatori, e divenne particolarmente redditizia per poi crescere ulteriormente di importanza nel 1724, quando papa Benedetto XIII ne tassò la coltivazione. La Repubblica sopravvisse fino al 1826, anno in cui, con un atto di libera sottomissione dei suoi abitanti, il territorio fu annesso allo Stato della Chiesa: ogni cospaiese ricevette un "papetto", una moneta d'argento raffigurante papa Leone XII, a titolo di risarcimento.

Tuttavia, tra le clausole dell'annessione figurava anche il permesso di continuare la coltivazione del tabacco che, infatti, crebbe ancora estendendosi a tutta l'alta Valtiberina. Proprio nell'Ottocento si iniziò a coltivare nella zona il tabacco "Kentucky", che è la varietà utilizzata per la confezione dei sigari "Toscani" proveniente dall'omonimo stato nordamericano, la storia della piccola Repubblica di Cospaia terminò così, dopo quasi quattrocento anni, ma l'epopea del sigaro toscano era appena cominciata.

Pensate cosa è nato da un errore cartografico!

New Date

PIACENZAEXPO

15 - 18 September 2021
Piacenza - Italy

GEO FLUID

Drilling & Foundations

23rd International Exhibition & Conference
of Technology and Equipment
for Prospecting, Extracting
and Conveying Underground Fluids

www.geofluid.it



2021 Mostra Internazionale
International Exhibition



Head Offices and Exhibition Centre: PIACENZA EXPO SpA - Tel.: +39 0523 602711 - geofluid@piacenzaexpo.it

International Representative: Mediapoint & Communications s.r.l. - Tel.: +39 010 5704948 - E-mail: info@mediapointsrl.it



CTD Logger multiparametrico (conducibilità, temperatura, pressione)

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



Competenza nella idrologia

Unità di trasmissione dati a distanza GSM

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

Logger di pressione e temperatura

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

