

# GEOLOGIA

## TECNICA & AMBIENTALE

Quadrimestrale dell'Ordine Nazionale dei Geologi

Poste Italiane S.p.A. - Spedizione in Abbonamento Postale - D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n. 46) art. 1 comma 1 DCB - ROMA/Contiene I.P. In caso di mancato recapito, rinviare a Ufficio Poste Roma Romanina per la restituzione al mittente previo addebito. Contiene I.P.



CONSIGLIO NAZIONALE  
DEI GEOLOGI

### In questo numero

Revisione e aggiornamento delle  
"Linee Guida al Rilevamento della  
Carta Geomorfologica d'Italia  
alla scala 1:50.000" e proposta  
di un modello di cartografia  
Geomorfologica "a oggetti"

Studio geomorfologico  
e idraulico finalizzato  
al dimensionamento di opere  
di difesa idrogeologica

Un nuovo metodo  
di telerilevamento da mezzo aereo  
a controllo remoto applicato  
alla geologia tecnica

Metodologia open source  
per la modellazione geologica  
tridimensionale mediante l'utilizzo  
di geodatabase relazionali

**NOVATEK**<sup>®</sup>  
Consolidamento fondazioni.



# TRACK PILE<sup>®</sup>

La rivoluzione nel mondo dei micropali

**MICROPALI A PRESSIONE PER EDIFICI E STRUTTURE DI NUOVA COSTRUZIONE**

BREVETTO EUROPEO DEPOSITATO

**TRACK PILE<sup>®</sup>** è una tecnologia rivoluzionaria che permette di infiggere i micropali a pressione a profondità elevate e con tempistiche straordinariamente brevi.

#### PRINCIPALI CAMPI DI APPLICAZIONE

- Fondazioni di qualsiasi tipologia
- Pavimentazioni industriali
- Manti stradali in calcestruzzo
- Basamenti in calcestruzzo
- Ponti autostradali e ferroviari
- Piste aeroportuali ed eliportuali

SOPRALLUOGHI  
E PREVENTIVI  
GRATUITI  
IN TUTTA ITALIA

Numero Verde  
**800-222273**

**novatek.it**



**Idr**  **Ricerche**

**UN APPROCCIO  
COMPLETO AL  
VOSTRO SERVIZIO**

#### PREMESSA

*La nuova normativa per il RICONOSCIMENTO delle nuove sorgenti è contenuta nel Decreto Ministeriale del 10/2/15 pubblicato in G.U n. 50 del 2/3/2015. La legge prescrive che devono essere eseguiti obbligatoriamente gli studi isotopici e deve esserci un monitoraggio secondo precise indicazioni metodologiche. Se la procedura riguarda poi il riconoscimento di una nuova sorgente, nell'ambito di una CONCESSIONE dove esistano già altre sorgenti autorizzate, occorre effettuare il monitoraggio isotopico anche su quest'ultime. L'iter per il RICONOSCIMENTO e il successivo sfruttamento della nuova sorgente presentano sicuramente aspetti che devono essere tenuti ben presenti e che potremmo riassumere nei seguenti.*

#### LE VARIABILI

• Il Calcolo di tutti gli afflussi nell'ambito del bacino, inclusi i corpi idrici e le precipitazioni. Attraverso lo studio

su modello matematico gli isotopi determiniamo la quota media ponderata di ricarica della sorgente.

- La Costruzione di pluviometri e/o manufatti per il prelievo da sottoporre ad analisi isotopica. Prelievi dedicati alle condizioni del cliente ed idonei alla campionatura corretta per evitare evaporazioni indesiderate o "denaturazioni" del campione da analizzare.
- Il Monitoraggio con prelievi mensile delle acque di pioggia da sottoporre ad analisi isotopiche.
- Il Calcolo delle perdite: traspirazione, evaporazione, perdite del bacino-deflussi naturali e prelievi.
- Il Calcolo della quota media isotopica della sorgente.
- Il Modello numerico di bilancio idrico calibrato su base isotopica al fine della determinazione del prelievo sfruttabile ideale.

IDRORICERCHE con le sue competenze e tecnologie si mette a fianco dei geologi del territorio per supportarli pienamente in questo lavoro. In sinergia con il professionista offre al cliente finale la possibilità di raggiungere l'obiettivo prefissato.

#### IL SERVICE OFFERTO

- Supporto tecnico e amministrativo nell'istanza di domanda di permesso di ricerca.
- Espletamento dell'iter tecnico e autorizzativo per il riconoscimento della nuova sorgente
- Consulenza al fine dello sfruttamento ideale della sorgente
- Preparazione della documentazione necessaria per l'iter autorizzativo della domanda di concessione e l'assistenza nelle fasi autorizzative, sempre in coordinamento col professionista del territorio.

**INTERPELLATECI SENZA IMPEGNO PER UN APPROFONDIMENTO**

**Idr**  **Ricerche**

Sede: Loc. Brucco - Fraz. Abrau | 12013 | Chiusa di Pesio | Cuneo - Italia  
Tel: + 39 0171.734154 Fax: + 39 0171.730043 | [www.idroricerche.com](http://www.idroricerche.com)

# I migliori lo dimostrano. Codevintec. Tecnologie superiori per le Scienze della Terra



## **Monitoraggio sismico**

Sismometri, Strong Motion, reti Early Warning ...

## **Studio del sottosuolo**

Georadar, sismica, geoelettrica ...

## **Ingegneria civile**

Georadar 3D, laser scanner, inclinometri ...

## **Rilievi costieri e fondali marini**

Multibeam, SSS, SBP, magnetometri ...

## **Monitoraggio ambientale**

Magnetometri, interferometri da terra ...



# **CODEVINTEC**

Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare

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

Voi mettete l'idea progettuale.

MoHo mette gli strumenti portatili e precisi per aiutarvi a realizzarla.

**GEOFISICA e  
INGEGNERIA  
CIVILE**



[www.moho.world](http://www.moho.world)

**CREIAMO OGGI  
GLI STRUMENTI  
PER IL DOMANI**

Venezia - Italia



# GEO SURVEYS

geofisica e geotecnica - servizi di indagine, ricerca e sviluppo



## INDAGINI GEOFISICHE E GEOTECNICHE IN SITO

### INDAGINI SISMICHE ATTIVE

Rifrazione - Riflessione - Down Hole e Cross Hole - Masw

### INDAGINI SISMICHE PASSIVE

Re.Mi. - Spac - Esac - HVSr

### INDAGINI GEOELETTRICHE

Sondaggi elettrici verticali (SEV) - Tomografie 2D e 3D

### INDAGINI GEORADAR

### CONTROLLI NON DISTRUTTIVI

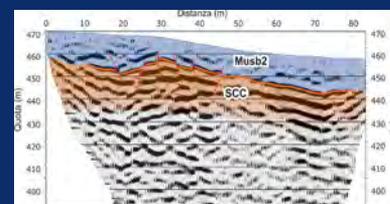
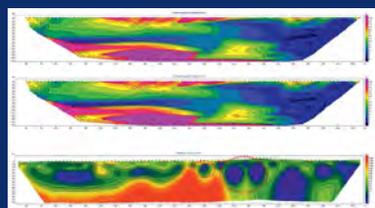
Misure di resistività termica

### INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO

Prove penetrometriche statiche (CPT e CPTU) e dinamiche (SCPT)

Campionatore ambientale

Campionatore Shelby



# GEOLOGIA

## TECNICA & AMBIENTALE

Quadrimestrale dell'Ordine Nazionale dei Geologi  
N. 2/2018

### DIRETTORE RESPONSABILE

Alessandro Reina

### COMITATO DI REDAZIONE

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

### COMITATO SCIENTIFICO

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

### SEGRETERIA DI REDAZIONE

Maristella Becattini  
maristella.becattini@cngeologi.it

### DIREZIONE, REDAZIONE, AMMINISTRAZIONE

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

### SITO INTERNET

www.cngeologi.it

### UFFICIO STAMPA

Ilenia Ingui  
addettostampa@cngeologi.it

### PUBBLICITÀ

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

### GRAFICA E IMPAGINAZIONE

Agicom srl  
Immagini: @shutterstock.com

### STAMPA

Spadamedia S.r.l.

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

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

Può essere scaricata online in PDF dal sito **www.cngeologi.it**  
Spedizione in abbonamento postale 45%, art. 2, comma 20/b,  
legge 662/96 - Filiale di Roma.

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

Versamenti sul c/c n. 347005 intestato a:

Consiglio Nazionale dei Geologi  
Via Vittoria Colonna, 40 - 00193 Roma, specificando la causale.  
*I manoscritti, anche se non pubblicati, non si restituiscono.*

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

Associato all'USPI, Unione Stampa Periodica Italiana.

### GARANZIA DI RISERVATEZZA

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

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

### PER GLI AUTORI:

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

### IN COPERTINA:

Roccaspinalveti (CH)

Foto di: Domenico Angelone

## Sommario

### **L'Editoriale]**

A. Reina

9

### **Il Punto del Presidente]**

F. Peduto

11

### **Professione e Società]**

C. Campobasso, A. Carton, A. Chelli, M.D'Orefice, F. Dramis,

R. Graciotti, D. Guida, G. Pambianchi, F. Peduto, L. Pellegrini 15

Revisione e aggiornamento delle "Linee Guida al  
Rilevamento della Carta Geomorfologica d'Italia  
alla scala 1:50.000" e proposta di un modello di  
cartografia Geomorfologica "a oggetti"

### **Dissesti e alluvioni]**

A. Savoca, G. Petroccelli, D. Giaffrida

29

Studio geomorfologico e idraulico finalizzato  
al dimensionamento di opere di difesa  
idrogeologica nella fraz. Acquavena  
del Comune di Roccagloriosa (SA)

### **Il geologo progettista]**

G. Lisi

37

Un nuovo metodo di telerilevamento  
da mezzo aereo a controllo remoto  
applicato alla geologia tecnica

### **Bonifica siti inquinati e discariche]**

V. Bisaglia, S. Alessi, C. Iasio

51

Metodologia open source per la modellazione  
geologica tridimensionale mediante l'utilizzo  
di geodatabase relazionali: il caso di un sito  
contaminato a Marghera - Mestre,  
Provincia di Venezia

GRUNDFOS 

**HCC**  
Soil & Water group



# Specialisti del Sottosuolo

## I migliori prodotti per le bonifiche ambientali



ACQUAGEO 

Valle D'Aosta, Piemonte, Liguria, Lombardia, Emilia Romagna, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia

General Manager: Juska Cudia  
Tel. +39 0298 80326  
info@acquageo.com

 **ELETRICA MILLY**

Lazio, Abruzzo, Molise, Campania, Puglia Basilicata, Calabria, Sicilia

General Manager: Stefano Callori  
Tel. +39 0773 523024  
callori@elettreamilly.com

SMARTGEO 

Toscana, Umbria, Marche

General Manager: Dario Trojanis  
Mobile +39 392 7577735  
commerciale@smartgeosrl.com

 **MBT**

Sardegna

General Manager: Mario Armeni  
Mobile. +39 366 3280026  
marioarmenimbt@gmail.com

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

[info@grouphcc.com](mailto:info@grouphcc.com)



**Alessandro Reina**

Direttore Responsabile

La Commissione istituita presso l'ISPRA, della quale oltre a docenti universitari e a tecnici dello stesso Istituto ha fatto parte anche il Presidente del CNG, è stata incaricata di riesaminare e aggiornare le linee guida al Rilevamento della Carta Geomorfologica. I lavori hanno rappresentato un passaggio istituzionale necessario ed efficace per dimostrare quanto sia fondamentale e propedeutica alle corrette scelte ingegneristiche, ma soprattutto nell'ambito dell'attività professionale e di ricerca geologica, la potenzialità offerta dalla Geomorfologia.

Prendendo spunto dai lavori conclusivi della Commissione ISPRA questo numero del GTA è stato dedicato alla geomorfologia e alle sue applicazioni nell'ambito della geologia professionale.

**L'articolo di Savoca, Petrocelli e Giafrida, propone un interessante studio geomorfologico con relativa modellazione degli scenari di dissesto.** Lo studio indica la strada che il professionista geologo può effettuare consapevolmente nelle scelte progettuali delle opere di mitigazione del rischio derivante dalla pericolosità idraulica da colata detritica.

**Il collega Lisi con il suo contributo scientifico ha evidenziato ancora una volta come la tecnologia digitale venga in aiuto del geologo migliorando anche la qualità del risultato professionale.** L'esempio descritto propone un risultato che ha di fatto migliorato il dato geologico e geomorfologico sui dissesti dell'ammasso roccioso in contrada Valdesi a Mondello (Palermo).

**I geologi professionisti Bisaglia, Alessi e Iaso con il lavoro proposto dimostrano l'efficace applicazione degli strumenti software open source per la modellazione 3D finalizzati alla ricostruzione e valutazione degli scenari geologici del sottosuolo.** Il caso proposto dello stabilimento Montefibre, inserito nel Sito di Interesse Nazionale di Venezia -Porto Marghera, ha evidenziato come la metodologia su descritta ha permesso la ricostruzione tridimensionale della struttura geologica ai fini del dimensionamento del sistema di argine alla contaminazione.

La presentazione di questo numero della rivista non può però assolutamente trascendere dal salutare **Maria Rosaria Giusberti**, preziosa e conosciutissima Capo ufficio del Consiglio Nazionale andata in pensione il primo luglio scorso. Una carriera cresciuta e formata attraverso il preciso ed inestimabile contributo quotidiano alla funzionalità ed efficienza del nostro Consiglio Nazionale. Ad maiora!

*Buona lettura*

# fresh SURVEYING

Porta il #fresh surveying nel tuo business con innovazioni uniche e pratiche di GeoMax



(video) Zoom3D



Catalogo Generale



Zenith 35 Pro



PART OF  
**HEXAGON**



[www.geomax-positioning.it](http://www.geomax-positioning.it)

**GEOMAX**  
works when you do



**Francesco Peduto**

Presidente Consiglio Nazionale Geologi

**S**iamo al giro di boa di questa consiliatura, i primi due anni e mezzo sono volati e quasi non ce ne siamo accorti, nel cercare di essere sempre sul pezzo, costantemente impegnati per la categoria. Il tempo, tuttavia, non è trascorso invano, tante cose sono state realizzate, ricordo che già dopo sei mesi (GT&A n° 1/2016) fu predisposto un primo bilancio, con un elenco lunghissimo di quanto fatto o avviato.

Pur evitando una nuova elencazione delle attività, vorrei quantomeno ricordare alcune delle cose significative degli ultimi mesi, quali:

- la quota unica, una ulteriore semplificazione per gli iscritti con a latere facilitazioni varie e la possibilità di rateizzare, alla quale hanno aderito per il primo anno otto ordini regionali;
- la polizza assicurativa di base dei rischi per i danni derivanti dall'esercizio dell'attività professionale gratuita a favore dei geologi iscritti alla Sezione A dal 1 gennaio 2018;
- il nuovo regolamento APC e la relativa circolare, definiti in concertazione con gli Ordini Territoriali e completamente condivisi con la Conferenza dei Presidenti;

- la manifestazione e le attività per l'Equo Compenso con la Rete delle Professioni Tecniche e il CUP, che hanno consentito la reintroduzione di dettati normativi chiari per l'applicazione dei parametri di riferimento per i bandi della PA e degli enti pubblici;
- il ricorso alle NTC 2018 le quali, nonostante tutto il lavoro svolto, segnano una palese e diffusa contrazione di conoscenze geologiche con tutte le conseguenze immaginabili sulla sicurezza, sulla prevenzione e sulla nostra professione.

È bene rimarcare che il tempo entusiasmo e voglia di fare sono rimasti intatti: continueremo con decisione nel percorso intrapreso, per realizzare il programma elettorale con il quale abbiamo chiesto la vostra fiducia, per il rilancio della professione e a difesa della categoria.

Lo scorso anno, a inizio estate, abbiamo parlato del rallentamento delle attività ("tutto in movimento, tutto in itinere, ma con tempi geologici!"), oggi potremmo parlare quasi di stasi delle attività. Nella politica italiana, dopo le elezioni dello scorso anno abbiamo assistito a un cambiamento epocale e solo il tempo ci dirà se porterà buoni frutti per il Paese e per i professionisti.

Quel che è certo è che sarà necessario ricominciare daccapo con "i nuovi padroni del vapore", sia sulle tante "politiche" per la categoria già messe in campo dal Consiglio Nazionale, sia sulle tematiche non ancora affrontate.

Intanto in questi ultimi mesi abbiamo iniziato a stringere rapporti con le diverse forze politiche, a partire dai nuovi geologi eletti in Parlamento; nel mese di luglio abbiamo partecipato ad alcune audizioni parlamentari e a breve, già prima della pausa estiva, incontreremo il Sottosegretario all'Interno On. Candiani.

Abbiamo chiesto anche un appuntamento al Ministro dell'Ambiente Costa, che ci auguriamo di incontrare alla ripresa dei lavori parlamentari a settembre. Le problematiche in gioco relative alle competenze di sua pertinenza sono tante, a partire dalla chiusura di #ItaliaSicura e di Casa Italia.

Per quanto riguarda il ricorso promosso dal CNG e da 13 OO.RR. sulle NTC 2018, la prima udienza è stata fissata per il 13 settembre p.v.

Nel frattempo i rapporti con il C.S.LL.PP. non si sono interrotti, stiamo seguendo e monitorando i lavori della circolare esplicativa ed abbiamo avuto alcuni incontri con il Presidente Sessa, al quale abbiamo esplicitato in modo limpido le motivazioni del ricorso e cosa ci aspetteremmo venisse chiarito in circolare.

Staremo a vedere e ci regoleremo di conseguenza.

Al momento ancora non sappiamo quando potrà uscire, è possibile che possa slittare ancora, perché i problemi restano, gli interessi sono tanti e, ad oggi, i giochi non sono ancora fatti. Vi terremo informati.

In questo numero viene riportato anche un articolo sulla revisione e aggiornamento delle "Linee Guida al Rilevamento della Carta Geomorfologica d'Italia alla scala 1:50.000", con la proposta di un modello di cartografia Geomorfologica "a oggetti" a indirizzo applicativo, oggi già utilizzata in diverse attività di pianificazione territoriale e ambientale svolte in Italia ai vari livelli istituzionali, con particolare riferimento alla valutazione, gestione e mitigazione delle pericolosità geomorfologiche (frane, alluvioni, erosione, ecc.). Nonostante ciò, la cartografia geomorfologica non sempre riesce ad assumere il ruolo di strumento di base fondamentale, propedeutico ad ogni intervento sul territorio, ad esempio è del tutto assente nell'attuale normativa e regolamentazione delle procedure

di microzonazione sismica, che fanno ancora riferimento a indefiniti fattori di amplificazione "topografica".

Nelle attività professionali del geologo, quindi, spesso le potenzialità offerte dalla geomorfologia non sono del tutto sfruttate, complice anche una normativa di settore dove raramente sono previsti tali elaborati tematici. In recenti normative e in quelle in itinere, invece, il CNG ha fatto in modo che venissero contemplati in modo chiaro specifici elaborati di tipo geomorfologico-applicativi in quanto parte integrante e significativa degli studi geologici, per contribuire ad indirizzare in modo corretto le scelte progettuali ed ingegneristiche e per ribadire la centralità della figura professionale del geologo nella filiera decisionale. Da qui la necessità di definire una modellazione ed una rappresentazione di cartografia geomorfologica maggiormente finalizzata alle sue applicazioni di tipo professionale, che avesse anche una "copertura" scientifica che fino ad oggi mancava.

***Buona estate a tutti i colleghi.***

**A BUON  
IMPRENDITOR  
POCHE  
PAROLE.**



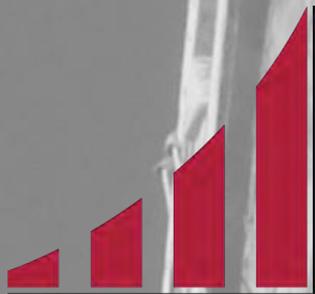
FCA PRESENTA **CHIARO E TONDO**: LO SCONTO SEMPRE GARANTITO PER **LIBERI PROFESSIONISTI** CON PARTITA IVA. E SE SEI **UN'AZIENDA** FINO A **1.000€ DI EXTRA BONUS** PER IL RINNOVO DEL TUO PARCO AUTO.

**Chiaro e Tondo** è lo sconto trasparente a cui hai diritto per l'acquisto di un'auto dei brand Alfa Romeo, Jeep, Fiat, Lancia e Abarth. Ad esempio, su Jeep Renegade lo sconto è di **6.100€** sul prezzo di listino (con il contributo dei concessionari). E se sei un'azienda hai un **extra bonus di 500€**. Scarica subito il voucher su [scontochiaroeondo.it](https://scontochiaroeondo.it) e portalo in concessionaria. Offerta valida per immatricolazioni entro il **30 giugno** e su vetture in pronta consegna.



Jeep



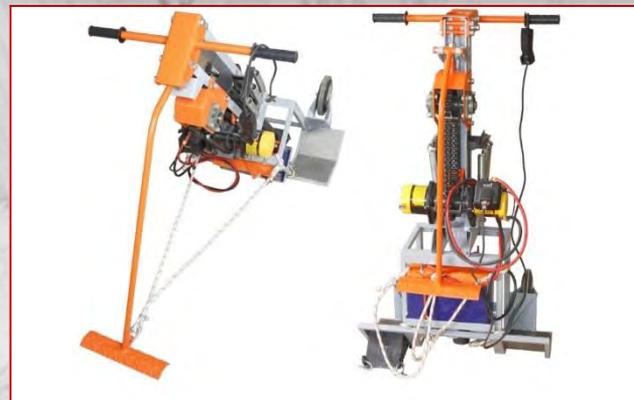


**SolGeo**  
GEOPHYSICAL SOLUTIONS

**AMIAMO QUELLO  
CHE FACCIAMO.  
PER QUESTO  
CERCHIAMO DI FARLO  
AL MEGLIO.**



STRUMENTAZIONE PER CROSS-HOLE



MARTELLI PER INDAGINI SISMICHE P&S



STRUMENTAZIONE INDAGINI SU PALI



SONDE INCLINOMETRICHE

Via Pastrengo 9, 24068 Seriate (BG) Tel. +39 035 4520075  
Web site: [www.solgeo.it](http://www.solgeo.it) e-mail: [info@solgeo.it](mailto:info@solgeo.it)



# Revisione e aggiornamento delle “Linee Guida al Rilevamento della Carta Geomorfologica d’Italia alla scala 1:50.000” e proposta di un modello di cartografia Geomorfologica “a oggetti”

**Claudio Campobasso<sup>(1)</sup>, Alberto Carton<sup>(2)</sup>, Alessandro Chelli<sup>(2)</sup>, Maurizio D’Orefice<sup>(1)</sup>, Francesco Dramis<sup>(2)</sup>, Roberto Graciotti<sup>(1)</sup>, Domenico Guida<sup>(2)</sup>, Gilberto Pambianchi<sup>(2)</sup>, Francesco Peduto<sup>(3)</sup>, Luisa Pellegrini<sup>(2)</sup>**

(1) Dipartimento per il Servizio Geologico d’Italia - ISPRA, (2) Associazione Italiana di Geografia Fisica e Geomorfologia - AIGeo, (3) Consiglio Nazionale dei Geologi - CNG

## 1. Introduzione

La carta geomorfologica è lo strumento di base per la rappresentazione delle forme del rilievo terrestre e, come tale, dovrebbe essere sempre presente in gran parte delle attività di pianificazione territoriale a vari livelli istituzionali, da quello nazionale a quello comunale, con particolare riferimento ai progetti di zonazione e mitigazione delle pericolosità naturali e dei rischi associati.

La cartografia geomorfologica ha raggiunto in Italia livelli di alto valore scientifico nella descrizione, nell’analisi del paesaggio e nel restituire dati territoriali corretti dal punto di vista dimensionale, oltre a fornire le necessarie informazioni geomorfologiche a diversi settori scientifico-applicativi, quali l’idraulica, le scienze forestali, l’agronomia, l’ingegneria ambientale, l’architettura, l’ecologia del paesaggio e così via. L’indicazione dei processi morfogenetici e del loro grado di attività forniti dalla cartografia geomorfologica attribuisce, inoltre, a quest’ultima un valore aggiunto in quanto offre una visione dinamica del paesaggio, contrariamente ad altri tipo di cartografie tematiche realizzate nell’ambito delle Scienze della Terra. Una Commissione costituita da docenti

universitari, afferenti all’Associazione Italiana di Geografia Fisica e Geomorfologia (AIGeo), da geomorfologi del Dipartimento per il Servizio Geologico d’Italia (ISPRA) e dal Presidente del Consiglio Nazionale dei Geologi (CNG), è stata ufficialmente istituita presso l’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), con il compito di riesaminare e aggiornare, a poco più di un ventennio dalla pubblicazione, le “Linee Guida al Rilevamento della Carta Geomorfologica d’Italia alla scala 1:50.000” (Quaderno n.4 del SGN, a cura di Brancaccio et al., 1994). Queste linee guida hanno finora rappresentato uno standard di riferimento sia per la cartografia geomorfologica ufficiale realizzata nell’ambito del Progetto CARG (Fogli Geomorfologici in scala 1:50.000: 063 “Belluno”; 389 “Anagni”; 367 “Tagliacozzo”; 624 “Monte Etna”; 289 “Città di Castello”; 316-317-328-329 “Isola d’Elba”), sia per quella geomorfologica prodotta all’interno di altri progetti nazionali e programmi sistematici promossi da Enti Territoriali (Amministrazioni Regionali, Provinciali, Comunali, ecc.). Questa revisione è stata svolta anche nell’ottica di realizzare una cartografia geomorfologica a scala più grande del 1:50.000 (documento richiesto per i rilevamenti di base propedeutici alla cartografia

Dissesti  
e alluvioni

Rischio  
sismico

Risorsa  
acqua

Attività  
estrattive

Geoscambio  
ed energie

Università  
e ricerca

Pianificazione

Bonifiche siti  
inquinati e  
discariche

Protezione  
civile

Professione  
& Società

Il Geologo  
progettista

Geositi,  
Geoparchi  
& Geoturismo

CARG) e con lo scopo di proporre criteri di rappresentazione cartografica orientati anche a fini geologico-applicativi.

Le attività principali svolte dalla Commissione possono essere riassunte nei seguenti punti principali:

**1.** Aggiornamento e integrazione del repertorio delle entità geomorfologiche (forme di erosione e di accumulo e depositi associati e processi morfogenetici) da prendere in considerazione nella prospettiva della loro rappresentazione, nella cartografia geomorfologica di base, a diverse scale, con precisazioni terminologiche e concettuali sul loro uso, sullo stato di attività e sulle loro attribuzioni cronologiche. Tutto ciò utilizzando anche un lessico internazionale. A questa attività hanno fornito un contributo fondamentale i diversi Gruppi di Lavoro AIGeo che hanno proposto la simbologia di alcune nuove forme da aggiungere a quelle già presenti in Brancaccio et al., (1994), e le informazioni da inserire nel relativo database. La figura 1, a solo titolo di esempio, mostra uno stralcio della nuova legenda relativo ad alcune forme gravitative di erosione (Fig. 1).

**2.** Revisione dei metodi di raccolta e analisi dei dati geomorfologici con particolare riguardo: alla tecnologia GIS (*Geographic Information Systems*), indispensabile strumento di riferimento per l'archiviazione, l'analisi e la riproduzione su schermo e su carta dei dati geospaziali (database); all'uso dei nuovi sistemi di posizionamento da satellite (GPS - *Global Positioning System*; GLONASS - *Global Navigation Satellite System*, ecc.), dei DTM (Modelli Digitali del Terreno) ad alta risoluzione e dell'impiego dei dati LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*).

**3.** Proposta di un modello di cartografia geomorfologica multiscalare a "oggetti", contraddistinto da una rappresentazione delle forme del rilievo "a copertura totale", gestibile in ambiente informatizzato, a supporto delle decisioni istituzionali connesse alla gestione del territorio e di quelle

legate alla pratica quotidiana della professione di Geologo.

I risultati di questa attività, cui di seguito viene proposta una sintesi, sono consultabili nella versione on-line del Quaderno n. 13 del Servizio Geologico d'Italia.

## **2. La cartografia geomorfologica di base**

### **2.1. Principali contenuti**

Le carte geomorfologiche, sulla base dei dati raccolti da indagini sistematiche svolte sul terreno e in laboratorio, forniscono rappresentazioni accurate delle forme del rilievo e dei depositi associati, riprodotte in scala mediante specifici simboli (*morfografia*).

Da questi documenti è possibile ottenere informazioni sui caratteri geometrici delle forme (*morfometria*), sulla loro origine ed evoluzione in rapporto agli agenti e ai processi genetici passati e in atto (*morfogenesi*), sulla loro età (*morfocronologia*), sul loro stato di attività, distinguendo quelle in evoluzione e quelle non più in evoluzione (*morfodinamica*), sulla natura dei depositi superficiali a esse associati e su quella dei litotipi appartenenti alle formazioni del substrato.

Le informazioni contenute nella carta geomorfologica, considerate singolarmente ma soprattutto nei loro rapporti reciproci, consentono di delineare un quadro complessivo delle caratteristiche geomorfologiche del territorio studiato, permettono di farne una ricostruzione paleogeografica e offrono le basi per prevederne l'evoluzione futura.

#### **2.1.1. I dati litologici del substrato**

Analogamente a quanto previsto nelle precedenti Linee Guida (BRANCACCIO ET AL., 1994), è stata attribuita una particolare rilevanza ai dati litologici del substrato. Questi derivano dalla rielaborazione ed accorpamento delle formazioni geologiche, tratte dalla cartografia CARG o da altri rilevamenti di campagna, secondo criteri geomorfologici che tengano conto del loro comportamento nei riguardi dei processi di degradazione. In base a tali criteri

FORME GRAVITATIVE		FORME DI EROSIONE					
Sigla	Nome forma	Attività		Simbolo (gradazioni di rosso)			Note
		A	R	poligono	linea	punto	
	Coronamento di scorrimento rotazionale/traslativo ( <i>Rotational/translational slide crown</i> )	X	X				I trattini vanno orientati verso valle. <i>Database:</i> indicare l'altezza della scarpata: a. < 5 m; b. 5-10 m; c. > 10 m
	Scarpata secondaria di scorrimento rotazionale/traslativo ( <i>Rotational/translational slide secondary scarp</i> )	X	X				I trattini vanno orientati verso valle. <i>Database:</i> indicare l'altezza della scarpata: a. < 5 m; b. 5-10 m; c. > 10 m
	Trincea ( <i>trench</i> )	X	X				Indicare la larghezza della trincea e la presenza di materiale di riempimento al suo interno.
	Contropendenza ( <i>Counterslope</i> )	X	X				I trattini indicano il verso della pendenza.
	Superficie denudata da scorrimento traslativo ( <i>Translational slide stripped surface</i> )	X	X				
	Scarpata di <i>rock avalanche</i> ( <i>Rock avalanche main scarp</i> )	X	X				I triangoli vanno rivolti verso il lato topograficamente più basso: a. < 5 m; b. 5-10 m; c. > 10 m
	Traccia di percorso di <i>rock avalanche</i> ( <i>Trace of rock avalanche path</i> )	X	X				La freccia indica la direzione e il verso del percorso, il tratteggio l'area di transito.
	Scarpata di <i>debris avalanche</i> ( <i>Debris avalanche main scarp</i> )	X	X				I triangoli vanno rivolti verso il lato topograficamente più basso. <i>Database:</i> indicare l'altezza della scarpata. a. < 5 m; b. 5-10 m; c. > 10 m
	Traccia di percorso di <i>debris avalanche</i> ( <i>Trace of debris avalanche path</i> )	X	X				La freccia indica la direzione e il verso del percorso, il tratteggio l'area di transito.

Fig. 1 – Stralcio della legenda relativo ad alcune forme gravitative di erosione.

i litotipi sono stati raggruppati in 10 classi principali (tabella 1).

Classe	Colore
rocce prevalentemente calcaree, anidritiche e gessose	marrone
rocce prevalentemente dolomitiche	rosa
rocce prevalentemente silicee	verde
rocce marnose, marnoso-pelitiche e pelitiche	grigio
rocce costituite da alternanze (ad es. arenitico-pelitiche e pelitico-arenitiche, marnoso-arenitiche, ecc.)	celeste
rocce prevalentemente arenitiche (arenarie e sabbie)	giallo
rocce ruditiche (ghiaie e conglomerati)	ocra
rocce effusive e vulcanoclastiche	arancione
rocce intrusive e metamorfiche massive	bordeaux
rocce metamorfiche scistose	viola

**Tab. 1** - Classi in cui sono raggruppati i litotipi del substrato e rispettivi colori utilizzati nella rappresentazione cartografica.

Ciascuna classe potrà, comunque, subire ulteriori suddivisioni o modificazioni di accorpamento in funzione del diverso grado di erodibilità delle rocce ad essa appartenenti (toni scuri dello stesso colore per i litotipi meno erodibili, più chiari per quelli più erodibili).

Un'importante novità consiste nella possibilità di caratterizzare il comportamento fisico-meccanico dei litotipi suddetti mediante l'aggiunta nel database e sulle carte alle scale di maggior dettaglio di opportune sigle. Sempre per le rappresentazioni cartografiche a scala di dettaglio e dirette a fini applicativi si possono aggiungere a tali classi ulteriori lettere per caratterizzare l'ammasso roccioso in funzione della presenza o meno della stratificazione. Per le formazioni strutturalmente complesse, si ritiene opportuno aggiungere ulteriori precisazioni per le alternanze regolari di strati litoidi e strati pelitici, per le alternanze interessate da motivi plicativi che conservano una certa

continuità nella parte litoide e per le successioni completamente scompagnate e disarticolate, soggette a ripetuti cicli di deformazione e rottura progressi.

Ai fini della *microzonazione sismica* e della stabilità dei versanti, ulteriori informazioni da raccogliere e inserire nel database della carta geomorfologica potranno riguardare il grado di fratturazione ed essere eventualmente esplicitate attraverso l'utilizzo dell'Indice Jv (*Joint Volumetric Index*).

### 2.1.2. Gli elementi di interesse geomorfologico

La Commissione ha elaborato, con il contributo dei Gruppi di Lavoro AIGeo, una serie di elementi geomorfologici da rilevare, inserire nel database e rappresentare su carta.

#### 2.1.2.1. Le forme e i depositi

Facendo riferimento ai criteri di classificazione più accreditati, le forme del rilievo sono state suddivise in base all'agente che la ha determinate (*criterio morfogenetico*) come illustrato nella tabella 2.

Il colore delle simbologie indica il processo morfogenetico prevalente che ha prodotto o rimobilizzato successivamente le forme e i relativi depositi. Come nel Quaderno 4, i depositi superficiali sono indicati con simbologie elementari (trame/retini) scelte in base alla granulometria prevalente delle particelle che li costituiscono e al loro grado di cementazione. Dati significativi acquisiti da sondaggi, trincee o sezioni possono essere riportati nel database. Per quanto concerne lo spessore dei depositi superficiali, pur permanendo la distinzione in modesto ed elevato, ai fini soprattutto applicativi cambia il valore limite tra le due classi: fino a circa 1 m per spessori modesti (la trama sarà rappresentata su fondo del colore del substrato); superiore a 1 m per spessori elevati (trama su fondo bianco).

Rispetto alla versione del 1994, possono essere aggiunte ulteriori informazioni sulla granulometria di un deposito attraverso una sigla che ne evidenzia la composizione (POZZI ET AL., 1994).

<b>NATURALI</b>	<b>Forme legate alla dinamica endogena</b>	Tettoniche	
		Vulcaniche	<i>di Distruzione di Costruzione</i>
	<b>Forme legate alla dinamica esogena</b>	Litostrutturali	
		Gravitative	<i>di Erosione di Deformazione di Accumulo</i>
		Fluviali, Fluvioglaciali, di dilavamento	<i>di Erosione di Accumulo</i>
		Glaciali	<i>di Erosione di Accumulo</i>
		Periglaciali	<i>di Erosione di Deformazione di Accumulo</i>
		Carsiche	<i>di Erosione di Accumulo</i>
		Costiere (Marine, Lagunari, Lacustri)	<i>di Erosione di Accumulo</i>
		Eoliche	<i>di Erosione di Accumulo</i>
di Altra genesi			
<b>ANTROPICHE</b>			<i>di Erosione di Accumulo</i>

Tab. 2 - Classificazione delle forme in base all'agente morfogenetico principale.

### 2.1.2.2. Stato di attività delle forme e dei depositi

La determinazione dello stato di attività di una forma o di un deposito è una questione molto complessa e delicata, specialmente se finalizzata a problematiche di tipo applicativo (PANIZZA 1972; 1973); (BISCI & DRAMIS, 1991; DRAMIS & BISCI, 1998; D'OREFICE & GRACIOTTI, 2015). Infatti, l'evoluzione dei processi e delle forme può essere *continua* e *omogenea* (ad esempio la dissoluzione carsica), oppure *continua* ma *disomogenea* (ad esempio il *creep*), o *intermittente*, discontinua, con fasi di attività brevi che si alternano a periodi piuttosto lunghi di stasi (ad esempio gran parte delle frane per scorrimento, le deformazioni gravitative profonde di versante, ecc.). Esistono inoltre forme e depositi ad attività unica come nel caso degli accumuli delle frane di crollo; al contrario la maggior parte delle scarpate soggette a crolli possono essere interessate, nell'insieme, da attività intermittente. Vi sono,

infine, forme attualmente non più in evoluzione sotto l'agente genetico principale che le ha generate, come le grandi morene frontali che segnano le massime espansioni glaciali, o le grandi superfici delle piane alluvionali terrazzate (per esempio il livello fondamentale della Pianura Padana).

In considerazione della difficoltà di classificare temporalmente in modo dettagliato ed in alcuni casi, corretto, i dati morfoevolutivi senza opportune tecniche di monitoraggio strumentale e della frammentarietà delle fonti bibliografiche, vengono distinte soltanto due classi di attività:

- forme *attive*, in evoluzione sotto l'azione dell'agente genetico principale per processi in atto o riattivabili, per lo stesso tipo di processo, nell'attuale ambiente morfoclimatico;
- forme *relitte*, non più in evoluzione sotto l'azione dell'agente genetico che le ha generate e non più riattivabili per lo stesso processo nel contesto geomorfologico e nelle condizioni

morfoclimatiche attuali, a meno di modificazioni antropiche e di significativi eventi naturali (meteorici, sismici, vulcanici, ecc.).

Lo stato di attività delle forme, ove previsto, è indicato attraverso variazioni del colore impiegato per la rappresentazione dei simboli. Una tinta più carica per le forme attive, meno carica per quelle relitte.

## 2.2. Alcuni tra i principali aspetti presenti nella nuova legenda

L'esigenza di revisionare e di implementare la simbologia delle forme deriva non solo dai motivi indicati nella introduzione, ma anche dal fatto che il rapido cambiamento climatico in atto ha prodotto e produce tuttora, nei vari ambienti morfogenetici, profonde modificazioni in tempi estremamente brevi generando nuove forme in rapida evoluzione. La numerosa serie di simboli introdotti permette di descrivere cartograficamente qualsiasi tipo di paesaggio dal più antico all'attuale. La legenda risulta quindi esaustiva per ricostruzioni dell'evoluzione geomorfologica di un dato territorio, ma rappresenta anche una fonte di informazioni di tipo applicativo da utilizzare negli studi sulla pericolosità geomorfologica e sul rischio, senza togliere alla carta geomorfologica la caratteristica di cartografia di base.

L'impiego dei GIS e dei database, permette di associare a ciascuna forma informazioni indispensabili ed aggiornabili per un "multitasking use" della carta geomorfologica. Ai simboli proposti sono associate alcune indicazioni per l'allestimento del database che dovrà essere strutturato di volta in volta nei vari progetti GIS.

L'incremento complessivo dei morfotipi e dei simboli correlati si è reso necessario soprattutto in relazione alle diverse scale di dettaglio da adottare per il rilevamento geomorfologico e la rappresentazione cartografica e comunque tenendo conto del carattere di multiscalarità previsto nella nuova cartografia "a oggetti", nonché per la realizzazione della banca dati relazionale.

Di seguito sono elencate alcune tra le principali

novità introdotte nella legenda.

- Le forme legate alla *dinamica endogena* sono state distinte in forme tettoniche e vulcaniche. Inoltre, sono state differenziate le forme prodotte direttamente dall'attività tettonica, da quelle litostrutturali, in cui l'azione erosiva dei processi esogeni è controllata in maniera passiva dalla litologia e dalla tettonica. In particolare, tra le forme litostrutturali, sono state inserite *ex-novo* il *flatiron*, il versante o ripiano strutturale, la superficie sub-orizzontale a controllo strutturale (*plateau*, *mesa*, *butte*), la cresta di erosione selettiva (di strato, di dicco, di altro corpo litoide), il *knickpoint* litostrutturale, la *planeza* e la sella. Per quanto riguarda le forme tettoniche sono stati introdotti i seguenti elementi: scarpata di faglia (diretta, inversa, trascorrente), faccetta su versante/scarpata di faglia (triangolare, trapezoidale, pentagonale), *knickzone* e *knickpoint* di faglia, dorsale lineare di faglia trascorrente, fessura cosismica, *pressure ridge*, nastrino di faglia cosismica, inclinazione tettonica di superficie, *shutter ridge* e *sag pond*. Infine, tra le forme vulcaniche sono state aggiunte il limite o scarpata di collasso vulcanico-gravitazionale di settore, il *tuffe* e l'*ash ring*, il canale di svuotamento, il domo o tumulo, il bastione di lava e la colata lavica a cuscini.
- Le forme *gravitative di versante* sono state distinte in tre gruppi principali: forme di erosione, di accumulo e di deformazione. Sono state distinti i corpi di frana per scorrimento traslativo da quelli per scorrimento rotazionale e i *talus* alimentati da crolli, ribaltamenti-crolli e rotolii da quelli prodotti dalla semplice caduta di piccoli frammenti detritici. Sono stati, inoltre, introdotte le frane per colamento lento di terra/fango, i terrazzi di colamento lento e di soliflusso, le frane complesse e i fenomeni di *rock avalanche/debris avalanche*, le aree di transito dei crolli e le tracce dei percorsi (solchi per rotolio di massi e le buche di impatto per rotolio e rimbalzo) dei materiali caduti alla

base di scarpate e dei loro frammenti prodotti nell'impatto.

Tra le forme di deformazione, oltre ai *sakung*, sono state introdotte le espansioni laterali, i piani di taglio inverso indotti dalla gravità, le rughe o creste di pressione, il rigonfiamento gravitativo alla base del versante, ecc.

I colamenti rapidi di detrito (*debris flow*) che nel Quaderno n. 4 erano compresi tra le "forme di versante dovute al dilavamento", sono stati inseriti tra le "forme gravitative".

- › Per quanto riguarda le *forme ed i processi fluviali, fluvio-glaciali e da dilavamento* una particolare attenzione è stata riservata alle forme e ai processi attuali nell'ottica di problematiche di tipo applicativo, legate alla pericolosità, da un lato, e, dall'altro, all'utilizzo delle risorse e della pianificazione territoriale, per i quali i processi attuali e l'evoluzione nel breve-medio termine dei corsi d'acqua rivestono un ruolo fondamentale.

Tra le forme è stato introdotto il simbolo del "*knickpoint*" per indicare una rottura di pendenza nel profilo longitudinale del corso d'acqua di minore entità rispetto alla cascata e che può essere indicativo di un processo erosivo in atto. Ai fini della pericolosità, il simbolo relativo alle "vallecole a "V", deve contenere l'informazione riguardante la presenza o meno di materiale detritico sciolto, a parziale o totale riempimento di tali vallecole. Questi detriti, mobilizzati nel corso di eventi pluviometrici significativi, aumentano notevolmente l'impatto nei fondovalle.

È particolarmente significativo fornire tutte le indicazioni relative alle caratteristiche della sponda fluviale che consentono di prevedere quale potrebbe essere l'evoluzione futura qualora si attivasse un processo erosivo. Queste caratteristiche devono comprendere: l'altezza, il profilo, i materiali costituenti la sponda e le indicazioni circa la sua coesione, la vegetazione, le opere di difesa.

Da un punto di vista applicativo, è importante distinguere la "superficie di terrazzi fluviali antichi" dalla "piana inondabile e terrazzi recenti";

queste ultime superfici, infatti, con diversa frequenza, vengono inondate e possono essere interessate dalla dinamica d'alveo.

Le conoidi sono state oggetto di una revisione sostanziale, passando dalla distinzione in tre tipologie basata sulla pendenza (presenti nella vecchia legenda) a tre nuove categorie basate sui processi: conoide alluvionale, conoide fluvio-glaciale e conoide misto (interessato da processi fluviali e colate detritiche), caratterizzando meglio i processi responsabili della loro messa in posto. Infine, sono stati introdotti gli elementi "alveo fluviale" e "fascia di divagazione storica" che sono particolarmente significativi per la definizione della pericolosità geomorfologica.

- › Per quanto riguarda *gli elementi del glacialismo* attuale e della nivazione, il limite utilizzato per indicare il margine del ghiacciaio (IM11 in BRANCACCIO ET AL., 1994) viene distinto in varie tipologie in funzione: della sua presenza sotto al deposito glaciale (*debris covered glacier*), della posizione che assume nei riguardi delle morene laterali, della morfologia della fronte e dell'alimentazione.

Nell'ottica della pericolosità, nella nuova proposta di legenda, più articolata risulta anche la rappresentazione dei laghi di origine glaciale, (soprattutto in quei casi in cui totalmente o parte della sponda del bacino è scolpita in ghiaccio), e la rappresentazione delle forme epiglaciali, intese come zone idonee alla raccolta o all'assorbimento d'acqua.

- › Nella riproduzione delle *forme glaciali*, nuova è la rappresentazione di alcune evidenze di margine glaciale in quanto collocate in un areale di estrema dinamicità. Per quanto riguarda gli argini morenici, resta valida la rappresentazione tradizionalmente utilizzata, ma viene aggiunto il simbolo di cresta da collasso gravitativo e di fenditura sul fianco della morena (MORTARA & CHIARLE, 2005). Entrambe le forme riconducono ad una situazione di instabilità dell'argine dovuta alla presenza di nuclei di ghiaccio all'interno.

Operando in ambiente GIS, di nuovo impiego sono anche le numerose informazioni che devono essere raccolte nel data base, in relazione ai depositi glaciali. Infatti, la forte riduzione areale e volumetrica dei ghiacciai ha liberato ampie superfici antistanti le fronti e messo a giorno il fianco interno degli apparati morenici. Da questa configurazione deriva un'abbondante disponibilità di depositi glaciali sciolti esposti all'aggressione di acque incanalate e libere in occasione di forti piogge o di rotte glaciali. In tali circostanze si possono generare significative modificazioni delle morene, per effetto di erosione al piede e/o erosione lineare, lungo i fianchi interni. Il procedere del processo erosivo può quindi portare al progressivo arretramento del filo di cresta, alla riduzione della pendenza del fianco interno della morena e fornire detriti per l'innescio di *debris flows*.

- › La revisione della simbologia delle *forme periglaciali e nivali*, non ha portato sostanziali modifiche dal punto di vista grafico se non l'aggiunta di una serie di simboli mancanti in Brancaccio et al., (1994) perché previsti per un esclusivo uso al 1:50.000. Più che introdurre nuovi simboli, si è sentita la necessità di dare maggiori informazioni su alcuni di essi come per esempio le falde di detrito ed i *rock glacier*. Per quanto riguarda le prime, resta valida la tradizionale rappresentazione con simboli diversi in funzione delle classi granulometriche, ma in particolari situazioni, vanno aggiunte indicazioni (sigle) sull'effettiva granulometria poiché il dato può rivestire importanza sulla distribuzione del permafrost. Una precisazione è stata introdotta anche nei riguardi dell'attribuzione del grado di attività dei *rock glacier*. Tale attribuzione differisce parzialmente da quella utilizzata per tutti gli altri processi. Da un punto di vista morfodinamico, i *rock glacier* sono tradizionalmente classificati in attivi, inattivi, relitti (Barsch, 1996). Le prime due categorie, accomunate nel termine "*rock glacier* intatti" (Haeberli 1985) hanno al loro interno ghiaccio, mentre la terza categoria indica l'esistenza di

condizioni di permafrost passate. Nella carta geomorfologica le forme attive e inattive sono state accomunate sotto lo stesso simbolo e rappresentate con lo stesso colore, differenziandole tra loro solo con una sigla. Infatti, dal punto di vista della pericolosità geomorfologica entrambe le forme sono suscettibili di deformazione per perdita di ghiaccio all'interno. Nella banca dati andranno anche segnalati quei *rock glacier* che sono stati o sono oggetto di studio o monitoraggio. Un elemento di nuova introduzione nella legenda riguarda le frane legate alla degradazione del permafrost e le rispettive nicchie di distacco. La loro rappresentazione utilizzerà la tradizionale simbologia, ma saranno distinte con una sigla. Potranno fregiarsi di tale attributo solo quei crolli nelle cui nicchie o depositi è stata effettivamente verificata la presenza di ghiaccio nei momenti immediatamente successivi al crollo.

- › Le *aree carsiche* hanno acquisito un interesse particolare nel campo della pianificazione territoriale essendo considerate elementi di rilievo ai fini della valutazione del rischio idrogeologico. Nella fase di revisione della legenda sono stati introdotti diversi nuovi simboli riguardanti, in particolare, le doline e le microforme carsiche di erosione epigea che si manifestano anche nelle zone costiere. Le doline sono state classificate distinguendo secondo alcune classi principali: di soluzione, di crollo, alluvionale e di subsidenza. Ulteriori specificazioni, da inserire nel database, riguardano la loro genesi e quella dei materiali di copertura. Le diverse tipologie di campo solcato (anche in questo caso da specificare nel database) consentono di descrivere le forme sia attraverso lo stadio evolutivo dell'area carsica (*karren* ruinforni) sia sulla base delle microforme presenti o prevalenti. Sono state introdotte anche le mesoforme carsiche come la città di roccia, il rilievo isolato e il blocco peduncolato. Il simbolo di nicchia o riparo (*inland notch*) è stato esteso anche alle forme lineari a controllo strutturale ed è stato pertanto introdotto anche

il simbolo lineare quando si sviluppa per una certa lunghezza sul versante; poiché i ripari sottoroccia coincidono spesso con siti archeologici preistorici, nel database è previsto un riferimento alla frequentazione antropica.

Tra le forme di accumulo vengono introdotti i simboli di fondo di dolina con depositi di “terra rossa” e prodotti eluvio-colluviali prevalenti. Per quanto concerne le concrezioni sono state considerate anche le dighe di travertino.

- Nella stesura della parte di legenda riguardante le forme costiere, è stato privilegiato un approccio quantitativo in relazione ai processi geomorfologici che le determinano (MASTRONUZZI ET AL., 2017). Ciò ha permesso di inserire una serie di forme che rimandano direttamente alle pericolosità che si possono manifestare nella fascia costiera e ai temi della valorizzazione della costa, configurando la legenda come uno strumento a vocazione fortemente applicativa. Inoltre, una serie di termini di nuova introduzione permettono di implementare notevolmente la capacità descrittiva della legenda per la parte sommersa della spiaggia che sempre di più viene investigata grazie anche alle nuove tecniche di indagine in remoto (*multibeam, side-scan sonar, ecc.*).

Tra le forme di erosione emerse sono stati introdotti i simboli di: piattaforma costiera di abrasione (*wave-cut platform*), piattaforma costiera emersa (*surf bench*) e piattaforma costiera di alterazione/bioattività (*platform due to weathering/bioactivity*), distinguendo forme simili ma dovute a processi prevalenti differenti indicati nel database. È stato introdotto il termine sfiatatoio (*blowhole*), mentre per quanto riguarda il termine solco di battente, esso è stato sostituito con solco costiero (*notch*) e nel database si dovrà specificare il processo che lo ha modellato in prevalenza. Tra le forme di erosione sommerse sono state aggiunte: la testata di canyon sottomarino (*head of canyon*), il canale di marea (mobile) (*tidal channel*), la traccia di antico canale di marea (*ancient tidal channel*), il canale di risacca (*rip current channel*) e la bocca di foce fluviale (*river*

*outlet*).

Tra le forme di accumulo emerse sono stati introdotti i termini: spiaggia (*backshore/foreshore/nearshore*), con specificazione della granulometria prevalente del materiale; berma (*berm*) e *beachrock*, quest'ultimo per il suo valore di indicatore del livello del mare. Sono stati, inoltre, aggiunti i termini accumulo/campo di blocchi/sabbia da mareggiata o da tsunami (*sea storm or tsunami block/sand deposit*) e Blocco isolato di mareggiata/tsunami (*Sea storm/tsunami left block*); questi in particolare rappresentano degli indicatori formidabili per la determinazione dell'esposizione della costa al rischio di eventi eccezionali.

Tra le forme di accumulo sommerse sono stati introdotti i termini relativi a piana di marea (*tidal flat*) e cono/lobo da inondazione (*washover fan*). Sono stati, inoltre, inseriti, distinguendoli dai precedenti, una serie di simboli (altri simboli) tra cui la direzione prevalente della corrente costiera e una serie di simboli lineari che indicano i limiti riferibili a forme o raggiunti da processi che forniscono già da sé informazioni sull'evoluzione morfodinamica della costa. A questi si aggiungono tutte le campiture che nel quaderno Quaderno n. 4 del SGN (BRANCACCIO ET AL., 1994) ricadevano tra gli elementi connessi all'attività biologica.

- Un approccio quantitativo in relazione ai processi geomorfologici è stato usato anche per le forme eoliche (MASTRONUZZI ET AL., 2017). Qui sono state inserite le forme di erosione e accumulo, tra le quali rientrano il cordone dunare (*backshore dune*) e la duna (*sand dune*). Per ciascuno di questi simboli sono state inserite una serie di specificazioni, indicate con lettere dell'alfabeto in carattere minuscolo che permettono di evidenziare gli attributi legati alla morfodinamica e alle caratteristiche evolutive, morfometriche e tessiture. Tra le forme di accumulo è stata inserita la superficie con copertura di sabbie eoliche (*surface covered with eolian sands*).

- ▶ Tra le forme appartenenti alla categoria di *altra genesi* sono stati inseriti anche i *sinkhole*, fenomeni questi di genesi complessa ad elevata pericolosità che originano ampie e profonde depressioni di forma sub-circolare, con diametro variabile da pochi metri a centinaia di metri e pareti sub-verticali, che si aprono rapidamente in terreni a diversa granulometria, con conseguente richiamo di materiale verso il basso (NISO ET AL., 2004). Il termine *sinkhole* comprende: *i*) gli sprofondamenti di origine antropica (*anthropogenic sinkhole*), *ii*) gli sprofondamenti legati alla dissoluzione e al collasso in ambiente carsico (*doline sinkhole*), *iii*) gli sprofondamenti dovuti a fenomeni di *piping* profondo (*piping sinkhole*).
- ▶ Tra le *forme antropiche* sono state incrementate, in particolare, quelle tipiche dell'ambiente urbano (DEL MONTE ET AL., 2016) che modificano le forme naturali preesistenti e forniscono utili informazioni sul piano geo-applicativo. Le antiche mura, gli acquedotti, gli antichi fossati, le trincee e le opere di drenaggio, oltre al loro grande interesse archeologico e storico, hanno un notevole impatto visivo e sono spesso utili per la ricostruzione dell'evoluzione geomorfologica recente del territorio circostante. Sono state aggiunte sia le superfici rimodellate per attività agricole e per edilizia, sia le superfici di colmamento di antica valle, antica cava, generica depressione e bacino palustre. Le superfici di colmamento sono importanti in quanto delimitano superiormente cospicui volumi di materiali di riporto, i quali possono essere interessati da fenomeni di erosione sottosuperficiale, *piping*, subsidenza, amplificazione sismica, sviluppo di cavità sotterranee, collasso della superficie stradale, ecc. Tra le forme antropiche sono stati, inoltre, inseriti gli invasi artificiali per la raccolta d'acqua che, se di grandi dimensioni, costituiscono veri e propri laghetti artificiali con evidente impatto ambientale e potenziale rischio per persone e opere, ubicate nelle vicinanze, in caso di scarsa manutenzione e cattiva gestione. La corretta interpretazione delle modifiche antropiche

apportate alla forma naturale dei versanti mediante l'introduzione di nuovi simboli (versante "a gradinata" antropico, *i*) per rimboschimento, *ii*) per attività agricola *iii*) per edilizia), consente di prevedere i possibili fenomeni di dissesto che si possono innescare e, di conseguenza, permette di progettare gli opportuni interventi per la mitigazione dei rischi attesi.

### **3. Proposta di un modello di cartografia Geomorfologica multiscalare "a oggetti"**

La cartografia geomorfologica a indirizzo applicativo è oggi utilizzata in gran parte delle attività di pianificazione territoriale e ambientale svolte in Italia ai vari livelli istituzionali, da quello nazionale a quello comunale, con particolare riferimento alla valutazione, gestione e mitigazione delle pericolosità geomorfologiche (frane, alluvioni, erosione, ecc.). Essa è presente anche nel campo della pianificazione territoriale a supporto delle zonazioni urbanistiche e della gestione delle risorse ambientali e del paesaggio. Nonostante ciò, la cartografia geomorfologica non sempre riesce ad assumere il ruolo di *strumento di base fondamentale*, propedeutico ad ogni intervento sul territorio ed è generalmente poco utilizzata a supporto dei piani attuativi e delle fasi di progettazione previste dalle attuali normative nazionali e regionali (*progettazione tecnico-economica definitiva ed esecutiva*) e delle successive procedure di monitoraggio di efficacia degli interventi. Risulta, inoltre, del tutto assente nell'attuale normativa e regolamentazione delle procedure di *microzonazione sismica*, che fanno ancora riferimento a indefiniti fattori di amplificazione "topografica". Uno dei motivi è verosimilmente legato al fatto che il "tradizionale" approccio cartografico a simboli, pur avendo raggiunto livelli di alto valore scientifico nella descrizione e nell'analisi del paesaggio, non risulta del tutto esaustivo (quando non utilizza DTM ad alta risoluzione) nel fornire dati quantitativi e delimitazioni oggettive e riproducibili da utilizzare, a scale di vario dettaglio, in ogni intervento o azione da svolgere nell'ambito della

gestione del territorio, con particolare riferimento alla determinazione delle grandezze di interesse progettuale (lunghezze, spessori, superfici, volumi, spostamenti, deformazioni, ecc.) i cui dati quantitativi (determinati riportando i dati rilevati su DEM ad alta risoluzione) vengono richiesti dalla normative di pertinenza geomorfologica, come l'*ambito morfologico significativo*, le *sezioni geomorfologiche di dettaglio*, l'*invarianza idrogeomorfologica* e il *tempo di vita geomorfico*. In questa prospettiva, la Commissione, in linea con le indicazioni fornite dall'ISPRA e su sollecitazione del Consiglio Nazionale dei Geologi, ha elaborato la proposta di un nuovo modello di cartografia geomorfologica. Questo modello, pur conservando la rigorosità dell'approccio tradizionale, risulta più adeguato agli aspetti applicativi richiesti dalla normativa vigente e meglio orientato alle esigenze delle Pubbliche Amministrazioni competenti e agli standard operativi in capo ai geologi liberi professionisti ed alle società di progettazione. La proposta parte dalle attuali tendenze della cartografia geomorfologica internazionale (DRAMIS ET AL., 2011a; 2011b) e da numerose esperienze maturate nella gestione delle emergenze e nella pianificazione di bacino in Italia. Essa è contraddistinta dalla rappresentazione delle forme del rilievo, organizzate in livelli gerarchici e oggettivate da procedure geomorfometriche per quanto attiene alla fase di delimitazione e caratterizzazione con il supporto dalla tecnologia GIS (Sistemi Informativi Geografici), ormai largamente utilizzata nelle strutture tecnico-professionali pubbliche e private. Rispetto alle carte geomorfologiche "tradizionali", non modificabili dopo la stampa, questa tecnologia, facilita la strutturazione, l'archiviazione, l'analisi, la riproduzione su schermo e su carta dei dati geo-spaziali, consente di produrre rappresentazioni cartografiche continuamente aggiornabili, di ottenere classificazioni dinamiche in base alle variazioni spazio-temporali dei parametri geomorfometrici, di svolgere analisi e modellazioni numeriche e di estrarre in tempo reale documenti tematici interoperabili da utilizzare di volta in volta in specifici settori applicativi interdisciplinari.

Il nuovo modello di cartografia geomorfologica proposto dalla Commissione è del tipo "*gerarchico multiscalare*" e "*a copertura completa*" (con l'intera superficie topografica cartografata in termini di forme e depositi associati), idoneo per essere strutturato, gestito e aggiornato in ambiente GIS. In questo modello cartografico, definito "*a oggetti*" ("*object-based*" o "*object-oriented*" nell'accezione anglosassone), le proprietà spazio-temporali delle forme del rilievo sono strutturate e rappresentate in modo geometricamente ripetibile limitando l'uso dei simboli cartografici adimensionali a favore di entità geomorfologiche ("*oggetti*") correttamente delimitate mediante l'impiego di Modelli Digitali del Terreno (DTM) ad alta risoluzione e organizzate gerarchicamente in classi. Oltre a possedere precisi caratteri di identità e persistenza, gli "*oggetti*" comprendono attributi che ne caratterizzano lo stato originario e ne determinano il successivo comportamento evolutivo. I passaggi di scala dal livello di rilevamento verso le rappresentazioni di minore dettaglio comprendono sia la generalizzazione delle forme del rilievo, in funzione delle loro dimensioni reali e della loro riproducibilità su carta, sia il loro accorpamento in entità più inclusive mediante l'uso di appositi codici informatici e di specifiche regole di transizione, *sempre supervisionate con il giudizio esperto del Geomorfologo*. La figura 2 mostra, a titolo di esempio, i rapporti tra alcune forme legate alla dinamica gravitativa di versante relativa alle forme "crollo" e "cono detritico", classificate in cinque livelli gerarchici: *sistema, complesso, forma, componente ed elemento*.

I concetti di base, le procedure, i materiali ed i metodi di questa nuova proposta di cartografia geomorfologica saranno ampiamente illustrati nel secondo fascicolo del Quaderno 13.

#### **4. La geomorfologia negli scenari professionali futuri**

Nelle attività professionali del geologo, come già accennato, non sempre le potenzialità offerte dalla geomorfologia sono del tutto sfruttate, complice

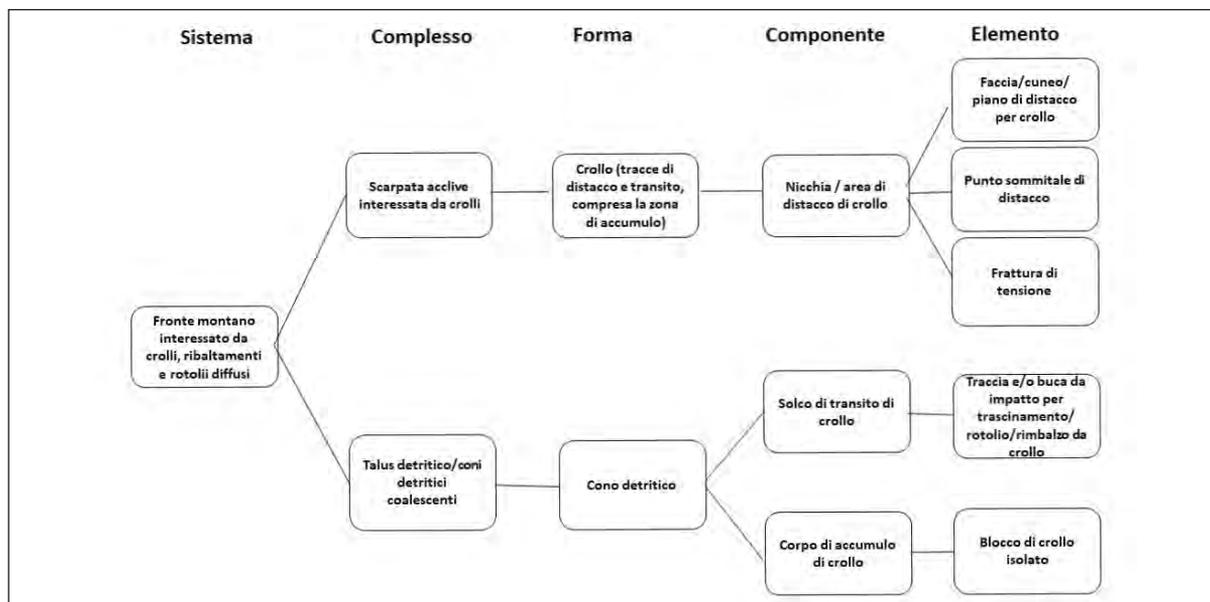


Fig. 2 - Schema dei rapporti gerarchici relativi alle forme “crollo” e “cono detritico”.

anche una normativa di settore dove quasi mai sono previsti elaborati geomorfologici, mentre l'utilizzo di criteri geomorfologico-applicativi dovrebbe essere fondamentale e propedeutico per indirizzare in modo corretto le scelte progettuali ed ingegneristiche, ribadendo così anche la centralità della figura professionale del geologo nella filiera decisionale. Per tale motivo il Consiglio Nazionale dei Geologi nell'esercizio del suo ruolo istituzionale che lo vede partecipare a vario titolo alla stesura di leggi, regolamenti e linee guida di tipo tecnico, ha fatto sì che nelle recenti normative e in quelle in itinere venissero contemplati in modo chiaro specifici elaborati di tipo geomorfologico-applicativi, di esclusiva competenza del geologo, in quanto parte integrante e significativa dell'insieme degli “studi geologici”.

Queste le motivazioni che hanno portato, per esempio, all'inserimento all'interno delle “Linee Guida per le attività di programmazione e progettazione degli interventi per il contrasto del rischio idrogeologico” di #ItaliaSicura di concetti fondanti quali “ambito geomorfologico significativo” e “invarianza idrogeomorfologica” o, tra gli elaborati geologici all'interno del DM Progettazione

(ancora in fase di approvazione), quelli relativi alla cartografia geomorfologica e alle sezioni geomorfologiche.

In conclusione la geomorfologia, intesa come *strumento di base fondamentale* e propedeutico per la pianificazione, l'utilizzo e la gestione del territorio, è destinata ad assumere un ruolo sempre più rilevante in futuro nell'attività professionale del geologo. Da qui la necessità di definire una modellazione ed una rappresentazione di cartografia geomorfologica maggiormente finalizzata alle sue applicazioni di tipo professionale, che sarà sviluppata nel secondo fascicolo del Quaderno 13, la cui realizzazione è già stata avviata e a cui seguirà la necessaria fase di disseminazione sul territorio e negli Enti, da parte dell'ISPRA e dell'AIGeo, in coordinamento con il Consiglio Nazionale dei Geologi.

### Ringraziamenti

Si ringraziano tutti i Gruppi di Lavoro AIGeo per il prezioso contributo fornito nell'ambito dell'aggiornamento e integrazione delle Linee Guida al rilevamento della Carta Geomorfologica d'Italia.

## Riferimenti bibliografici

- BARSCHE (1996) - *Rockglaciers. Indicators for the Present and Former Geoecology in High Mountain Environments*. Springer Verlag, Heidelberg, 331 pp.
- BRANCACCIO L., CASTIGLIONI G.B., CHIARINI E., CORTEMIGLIA G., D'OREFICE M., DRAMIS F., GRACIOTTI R., LA POSTA E., LUPIA PALMIERI E., ONORATI G., PANIZZA M., PANNUZZI L., PAPASODARO F. & PELLEGRINI G.B. (1994) - *Carta Geomorfologica d'Italia - 1:50.000. Guida al rilevamento*. Quaderni del Servizio Geologico Nazionale, Ser. III, Vol. 4, 42 pp.
- BISCI C. & DRAMIS F. (1991) - *Il concetto di attività in geomorfologia: problemi e metodi di valutazione*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 14, 193-199.
- DEL MONTE M., D'OREFICE M., LUBERTI G.M., MARINI R., PICA A., VERGARI F. (2016) - *Geomorphological classification of urban landscapes: the case study of Rome (Italy)*. Journal of Maps, 12, 178-189.
- D'OREFICE M. & GRACIOTTI R. (2015) - *Rilevamento Geomorfologico e Cartografia. Realizzazione - Lettura - Interpretazione*. Dario Flaccovio Editore, Palermo, 360 pp.
- DRAMIS F. & BISCI C. (1998) - *Cartografia geomorfologica. Manuale di Introduzione al Rilevamento e alla Rappresentazione degli Aspetti Fisici del Territorio*. Pitagora Editrice, Bologna, 215 pp.
- DRAMIS F., GUIDA D. & CESTARI A. (2011A) - *Nature and aims of geomorphological mapping*. In: Smith M.J., Paron P. & Griffiths J.S. (Eds.), *Geomorphological Mapping: Methods and Applications. Developments in Earth Surface Processes*, Vol. 15, pp. 39-73.
- DRAMIS F., GUIDA D., CESTARI A., SIERVO V. & PALMIERI V. (2011B) - *Dalla cartografia geomorfologica al sistema cartografico geomorfologico: metodologie, procedure e applicazioni*. Geologia Tecnica e Ambientale, 3-3/2011, 10-25.
- HAEBERLI W. (1985) - *Creep of Mountain Permafrost: Internal Structure and Flow of Alpine Rock Glaciers*. Mitteilung der VAW/ETH, 77, 119 pp.
- MASTRONUZZI G., ARINGOLI D., AUCELLI P.P.C., BALDASSARRE M. A. BELLOTTI P., BINI M., BIOLCHI S., BONTEMPI S., BRANDOLINI P., CHELLI A., DAVOLI L., DEIANA G., DE MURO S., DEVOTO S., DI PAOLA G., DONADIO C., FAGO P., FERRARI M., FURLANI S., IBBA A., LUPIA PALMIERI E., MARSICO A., MELIS R. T., MILELLA M., MUCERINO L., NESCI O., ORRÚ P. E., PANIZZA V., PENNETTA M., PIACENTINI D., PISCITELLI A., PUSCEDDU N., RAFFI R., ROSSKOPF C. M., SANSÓ P., STANISLAO C., TARRAGONI C., VALENTE A. (2017) *Geomorphological map of the Italian coast: from a descriptive to a morphodynamic approach*. Geogr. Fis e Dinam. Quat., 40(2), 161-196. DOI: 10.4461/GFDQ 2017.40.8
- MORTARA G. & CHIARLE M. (2005) - *Instability of recent moraines in the Italian Alps. Effects of natural processes and human intervention having environmental and hazard implications*. Giornale di Geologia Applicata, 1, 139 -146.
- NISIO S., GRACIOTTI R. & VITA L. (2004) - *I fenomeni di sinkhole in Italia: terminologia, meccanismi genetici e problematiche aperte*. Atti del Convegno "Stato dell'Arte sullo Studio dei Fenomeni di Sinkhole e Ruolo delle Amministrazioni Statali e Locali nel Governo del Territorio", Roma 20-21 maggio 2004, 557-572.
- PANIZZA M. (1972) - *Schema di legenda per carte geomorfologiche di dettaglio*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 91, 20-237.
- PANIZZA M. (1973) - *Proposta di legenda per carte della stabilità geomorfologica*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 92, 303-306.
- POZZI R., BOLLETTINARI G. & CLERICI A. (1994) - *Carta geomorfologica e geologica applicativa dell'Alta Valtellina*. Quaderni A.E.M., Milano.

# SCEGLI IL NOSTRO BIM PER LA GEOTECNICA E LA GEOLOGIA

Versioni 2018 compatibili con AGS:  
Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists



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

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

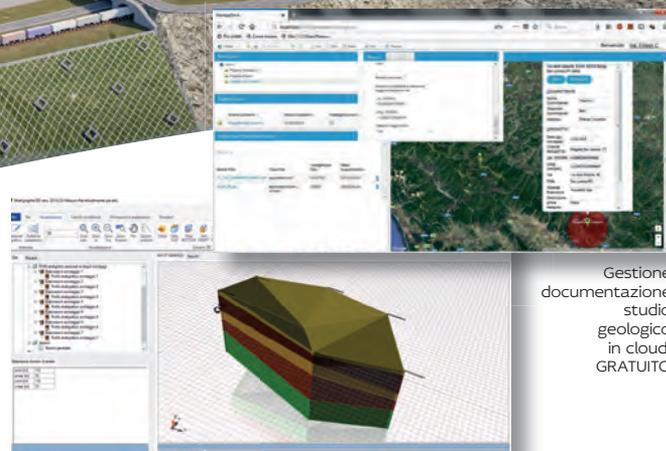
Tutti i prodotti sono pienamente compatibili con Normativa Italiana (NTC) e gli Eurocodici, in particolare l'EC7 per le opere geotecniche, l'EC8 per la sismica e l'EC2/3 per le verifiche strutturali.

### Software aggiornati alle NTC 2018



Per i lettori di GTA  
in esclusiva un  
codice di sconto!

Leggi il QR code



Modellazione geologica 3D

Gestione  
documentazione  
studio  
geologico  
in cloud,  
GRATUITO

### SOFTWARE

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

### SERVIZI GRATUITI PER I NOSTRI CLIENTI

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

Corsi GRATUITI certificati in collaborazione con GoMeeting. Visita il sito [www.gomeeting.it](http://www.gomeeting.it)

### NUOVI SOFTWARE IN ARRIVO:

- Risposta sismica locale 2D
- Modellazione geologica 3D
- Gestione documentazione in cloud dello studio geologico (gratuito)

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



# Studio geomorfologico e idraulico finalizzato al dimensionamento di opere di difesa idrogeologica nella fraz. Acquavena del Comune di Roccagloriosa (SA)

**Antonino Savoca** Geologo Libero Professionista (geol.savoca@libero.it)

**Gabriele Petroccelli** Ingegnere Libero Professionista (petroccelligabriele@tiscali.it)

**Daniele Giafrida** Ingegnere Libero Professionista (daning1@gmail.com)

Il presente lavoro riguarda uno Studio idrogeomorfologico di un bacino idrografico appartenente al monte Bulgheria che si erge nella parte meridionale del Cilento, funzionale alla progettazione "Interventi urgenti di difesa idrogeologica nella frazione Acquavena in località Pietralunga-Monache" da realizzarsi nel Comune di Roccagloriosa (SA). In particolare è stato effettuato uno studio di pericolosità idraulica all'interno di un bacino idrografico interessato da fenomeni di colate rapide. Lo studio di propagazione delle colate, in condizioni ex Ante ed ex Post, è stato esperito mediante l'implementazione di un modello numerico idrodinamico bidimensionale.

Nel territorio in studio sono stati espletati i necessari accertamenti del caso (rilevamenti, acquisizione dati ed esecuzione di indagini geognostiche con prospezioni, monitoraggi e prove geotecniche in sito ed in laboratorio), finalizzati ad individuare le caratteristiche idrogeologiche esistenti, in modo tale da fornire un quadro completo sulle condizioni di stabilità e di rischio attualmente regnanti oltre che residui.

L'approccio metodologico utilizzato nel lavoro appreso descritto è stato di tipo interdisciplinare, ossia derivante da analisi integrate di tipo geologiche, geomorfologiche, idrologiche, geotecniche ed idrodinamiche.

Al fine di intercettare i potenziali volumi mobilizzabili a seguito di un evento di frana del tipo di colata detritica, mitigando il rischio idrogeologico

per le aree di fondovalle, è stato progettato il seguente intervento:

- realizzazione di barriere costituite da terre armate rinverdite, per le vie di fuga delle colate, corredate da interventi complementari finalizzati alla intercettazione ed allontanamento, dei modesti quantitativi idrici che non si infiltrano immediatamente, mediante apposito canale associato ad idonea tubazione interrata ed aventi recapito finale in impluvio naturale.

Pertanto, in seguito alla realizzazione degli interventi di progetto, i volumi di colata potenzialmente mobilizzabili all'interno del bacino di alimentazione verranno, per la quasi totalità, arrestati dai rilevati di progetto ed invasati nelle depressioni morfologiche ubicate a monte degli stessi, riducendo, così, sensibilmente il rischio idrogeologico per le aree poste a valle degli interventi stessi.

## 1. Premessa

L'area oggetto del presente lavoro si colloca lungo la fascia pedemontana del M. Bulgheria (1.225 m s.l.m.), che degrada in direzione N-NE. L'andamento morfologico dell'area pedemontana è piuttosto articolato, caratterizzato da aree di raccordo con gli impluvi a pendenze medio-basse (circa 10-15°), da vallette a fondo concavo con pendenze addolcite dagli accumuli di natura eluvio-colluviale ed

infine da scarpate morfologiche (zone di nicchia) e contropendenze ed ondulazioni (zone di accumulo) delle masse in movimento, generate da numerosi movimenti franosi che interessano la zona.

Dal punto di vista geologico l'area interessata è costituita dai seguenti terreni:

- Terreni di copertura: *Serie detritica calcarea*.
- Terreni del substrato: *Unità di Monte Bulgheria (Calcari e Formazione del "Flysch Nero")*.

Le forme di dissesto riscontrate lungo il versante in questione, sono principalmente legate all'approfondimento del reticolo drenante sul piedimonte terrigeno che, soprattutto, in concomitanza delle fasi gladio-eustatiche negative del Pleistocene, ha generato diversi processi denudazionali tra cui le frane di colate detritiche (debris-earth flow) e scorrimenti rotazionali singoli e composti, i quali hanno interessato anche il substrato fliscioide nelle sue componenti più erodibili e meno competenti quali le argille ed argilliti scagliose.

Negli anni, la situazione di dissesto si è progressivamente aggravata in termini di danni alle abitazioni e di minaccia alla privata e pubblica incolumità. In particolare, l'area dell'abitato di Acquavena e le zone al contorno sono state interessate da fenomeni di dissesto ripetitivi consistenti in colate attualmente quiescenti, ma con eventi recenti di discrete dimensioni ed intensità (evento degli inizi anni '60).

La massa franosa coinvolge i terreni detritici sciolti a varia granulometria che affiorano nella porzione subverticale del versante ed i termini pluvio-colluviali presenti nel fondo del canale montano. In occasione di abbondanti precipitazioni, le acque defluenti all'interno del canale, reinnescano il fenomeno franoso, mobilitando i detriti sciolti e la colata superficiale dei terreni pluvio-colluviali, che, nell'insieme si espandono nell'area pedemontana. Solo in occasione di eventi pluviometrici eccezionali i fenomeni possono raggiungere le aree collinari.

Il livello di rischio risulta molto elevato, in

quanto il recapito finale di tale trasporto risulta essere l'area occupata dal centro abitato. Inoltre, la pericolosità di questi fenomeni deriva dalla apparente assenza di segnali premonitori nella fase di innesco, dalla estrema rapidità in fase di propagazione, dalla forte capacità erosiva e distruttiva, che li rende in grado di trascinare materiali anche di grandi dimensioni e, soprattutto, dalla loro alta mobilità, che conferisce loro la possibilità di percorrere notevoli distanze e produrre effetti disastrosi anche nelle zone a debole pendenza secondo traiettorie imprevedibili e diversificate.

Il presente rapporto è stato elaborato considerando alcune premesse e finalità:

- costituisce un approfondimento (rilevamento geologico, geomorfologico e topografico di dettaglio a carattere locale) dei dati di base già riportati nel PsAI dell'Autorità di Bacino Campania Sud;
- condivide lo schema metodologico di definizione della pericolosità e del rischio utilizzato dall'Autorità di Bacino Campania Sud;
- fornisce le indicazioni per la caratterizzazione dei processi morfoevolutivi da cui derivare la suscettività a franare dell'ambito morfologico;
- fornisce indicazioni sulle aree potenzialmente interessate da fenomeni di invasione/deposito di materiale detritico connessi al verificarsi di eventi franosi di tipo debris-flow;
- fornisce le indicazioni tecniche per la definizione della reale pericolosità da colata detritica (debris flow) negli scenari ex ante ed ex post.

A tale scopo sono stati effettuati numerosi sopralluoghi nelle aree di interesse e sono stati presi in considerazione i dati presenti nella bibliografia scientifica per la ricostruzione geologica su ampia scala.

## **2. Metodologia di lavoro per lo studio integrato delle frane di tipo debris flow**

Le metodologie di studio rappresentano una ragionevole sintesi dell'approccio geologico-geotecnico-idrologico-idraulico al tema della riduzione della pericolosità da frana nelle aree di fondovalle. Lo studio idrologico ed idraulico implementato ha avuto la finalità precipua di simulare, con opportuni approcci a base fluidodinamica, la distribuzione dei volumi mobilizzati nell'ambito delle aree pedemontane.

Lo studio si è basato su alcune fasi salienti, di seguito elencate:

- **Acquisizione di una cartografia di dettaglio.**

Sono state acquisite cartografie numeriche tridimensionali dell'area funzionali alla creazione del modello tridimensionale di base per analisi e verifiche.

- **Indagine bibliografica e d'archivio.**

Tale indagine è stata finalizzata alla ricostruzione di eventuali fenomeni alluvionali già accaduti nell'area di studio o in aree limitrofe.

- **Rilevamento geologico-geomorfologico del bacino imbrifero e delle zone pedemontane.**

Nel bacino è stata valutata la presenza di coperture detritiche nonché i relativi volumi potenzialmente mobilitabili dai versanti e negli impluvi. In seguito, sono state applicate metodologie speditive di carattere geomorfologico-morfometriche, quali quella della valutazione delle zone di potenziale invasione da frana di tipo debris flow mediante l'utilizzo del metodo dell'angolo of reach (Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania, 2010). Nelle zone pedemontane lo studio è stato finalizzato al riconoscimento dei caratteri sedimentologici e geomorfologici utili alla preliminare delimitazione delle aree invase negli anni da sedimenti della stessa natura di quelli rilevati nel rispettivo bacino di alimentazione. Particolare attenzione è stata rivolta all'individuazione di eventuali lobi distributori recenti, all'andamento

del reticolo idrografico nonché alle interazioni esistenti tra reticolo idrografico ed opere antropiche.

- **Approfondimenti geognostici e stratigrafici (campagna di indagini).**

Nel bacino, al fine di caratterizzare gli spessori delle coltri detritiche di copertura, si è adottata una procedura basata su osservazioni e misure dirette in situ attraverso indagini di campagna (fiorettature).

- **Ricognizione del reticolo idrografico.**

Basilare è stata l'attività di sopralluogo esperita, finalizzata a cartografare eventuali anomalie o restringimenti del reticolo idrografico, sia di origine naturale che antropica. In questa fase è stato effettuato anche il censimento delle opere idrauliche, laddove presenti, controllandone finanche lo stato di conservazione e l'efficienza.

- **Sintesi dei dati raccolti.**

Sulla scorta dei dati raccolti nelle fasi operative precedenti si è proceduto alla costruzione di un adeguato modello digitale del terreno (DTM) a maglia quadrata di lato pari a 5 metri.

- **Studio idrologico del bacino idrografico di alimentazione.**

Tale fase è consistita nella caratterizzazione morfometrica del bacino idrografico analizzato, ai fini del calcolo del tempo caratteristico di risposta idrologica (tempo di corrvazione), e quindi delle portate meteoriche al colmo di piena per diversi valori del periodo di ritorno.

- **Definizione dell'idrogramma dell'evento-colata.**

L'evoluzione temporale del volume mobilizzato è stata schematizzata mediante un idrogramma di tipo triangolare.

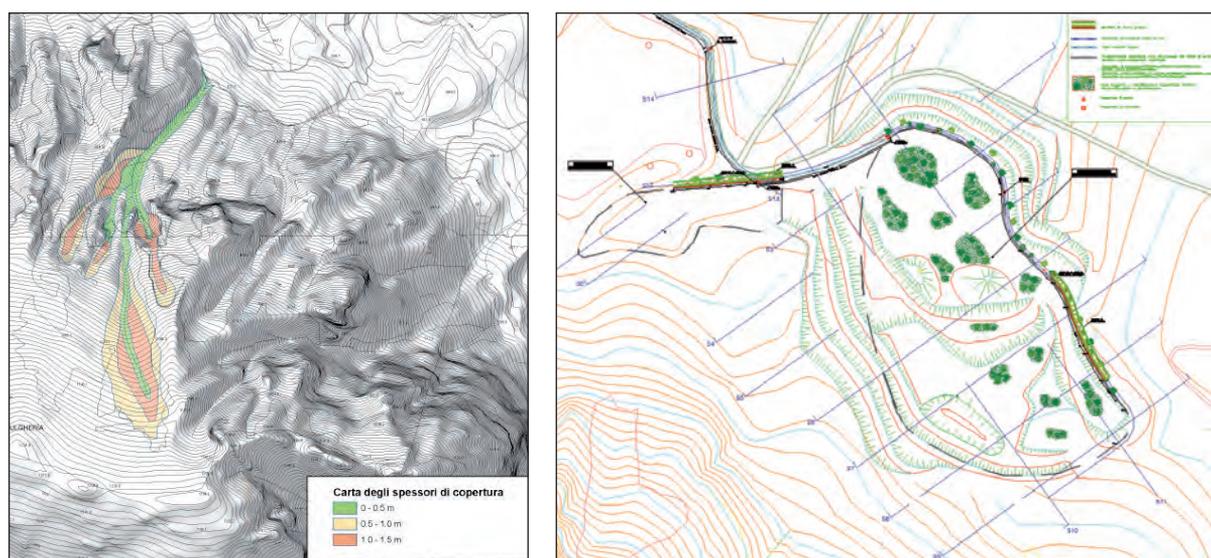
- **Simulazione nella condizione ex ante ed ex post e validazione degli interventi di progetto.**

La delimitazione delle aree soggette ad invasione da flussi iperconcentrati (colate detritiche) è stata ottenuta mediante l'implementazione di una modellazione idrodinamica, avendo assunto

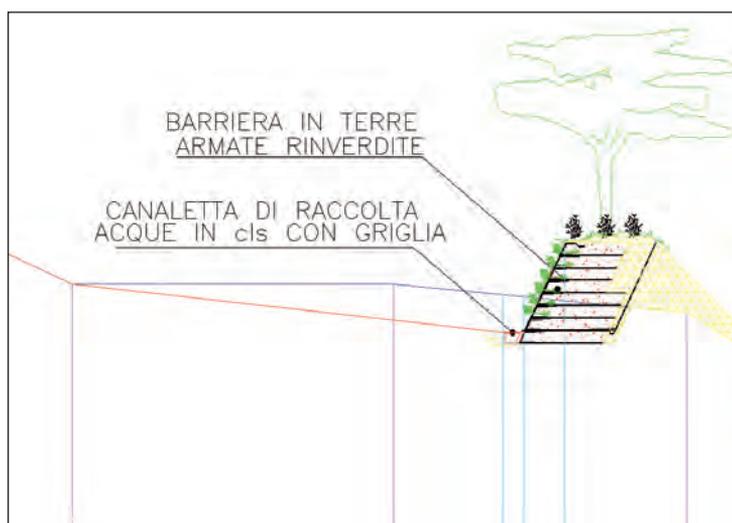
un'opportuna caratterizzazione reologica della miscela sulla base di dati di letteratura. Alla modellazione idraulica ha fatto seguito un confronto tra i dati geologico-geomorfologici e i risultati della modellazione, dal quale è scaturito un ulteriore perfezionamento delle risultanze sperimentali. Successivamente, sulla scorta di tali risultati, è stato formulato un giudizio sull'efficacia delle opere di progetto sulla mitigazione del rischio idrogeologico.

### Modello utilizzato

È stato utilizzato un modello reologico quadratico (O'Brien J.S. & Julien P.Y. & Fullerton W.T., 1993) ossia modello idraulico bidimensionale a fondo fisso (nel caso di colate) oppure mobile (nel caso di trasporto solido), implementato, nel caso di specie, mediante l'ausilio del codice di calcolo FLO-2D. Esso è utilizzabile per simulare il flusso dell'acqua in corsi d'acqua anche di notevole larghezza o per la simulazione di flussi non-Newtoniani in aree di fondovalle. Il modello, ricevendo



**Figura 1.** Carta degli spessori di copertura e interventi previsti in progetto



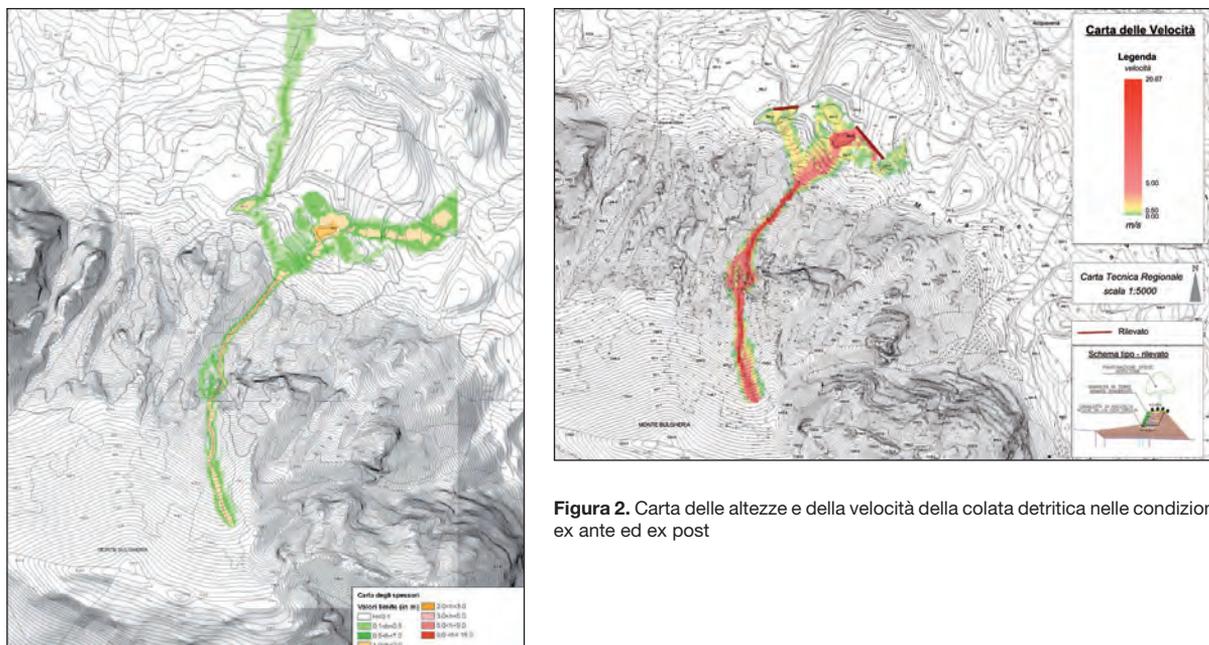


Figura 2. Carta delle altezze e della velocità della colata detritica nelle condizioni ex ante ed ex post

come input uno o più “idrogrammi di piena” ed utilizzando un approccio completamente dinamico, predice l’area di inondazione, la velocità e lo spessore del flusso per ogni cella in cui la topografia è stata discretizzata.

### Caratterizzazione del bacino di alimentazione delle aree di fondovalle oggetto di studio

In seguito ai svariati sopralluoghi e alle indagini svolte in situ è stato possibile caratterizzare sotto il profilo fisiografico, morfologico e morfometrico il bacino di alimentazione studiato. Tale bacino presenta un reticolo idrografico abbastanza sviluppato (è possibile classificarlo di 3° secondo la catalogazione proposta da Horton-Strahler) nonché una considerevole acclività (in alcune aree addirittura si superano i 50°, per poi raggiungere nel fondovalle acclività più blande, ossia variabili tra 0 e 15°).

Dal rilievo delle coltri detritiche di copertura, esperito mediante fioretture all’interno del bacino, si è evinto che gli spessori delle coltri mostrano valori appartenenti al range 0,00-1,50 mt.

### 3. Metodologia adottata per la valutazione della suscettibilità da frana nei bacini di alimentazione delle aree di fondovalle studiate

Innanzitutto occorre chiarire che con il termine “suscettibilità” si intende la “pericolosità” in senso spaziale cioè senza riferimento ai tempi di ritorno che, nel caso di eventi rapidi e facilmente “cancellabili”, risulta assai difficile definire a meno di situazioni particolari in cui si disponga di una serie di dati storici derivanti da ricerche di archivio.

Per la valutazione della suscettibilità all’innesco delle colate si è proceduti all’elaborazione delle carte tematiche di base in scala 1:5.000:

- Spessori dei Depositi di Copertura.
- Carta della Pendenza o acclività.

Il metodo adottato, per la redazione della carta della suscettibilità all’innesco dei fenomeni franosi di tipo debris flow ha considerato un insieme di fattori che possono condizionare l’innesco di colate rapide quali: **pendenza dei versanti (S), spessore delle coltri piroclastiche e detritiche**

(T), distanza dalle linee di impluvio (D), uso del suolo (L) ed ordine gerarchico del bacino idrografico (B). Esso valuta l'indice di suscettibilità (vedi Figura 1). La metodologia qui proposta per la suscettibilità all'innesco di colate rapide di fango utilizza un criterio prettamente geologico e geomorfologico semiquantitativo tarato su una casistica di circa 200 frane censite nell'ambito campano (Di Crescenzo et al, 2008).

#### **4. Pericolosità idraulica da colata ed efficacia degli interventi di progetto**

La valutazione della pericolosità idraulica in aree esposte ad eventi di colata detritica richiede, in via preliminare, la stima di alcuni parametri fondamentali caratterizzanti l'evento, oltre che una scrupolosa attività di campo consistente nella raccolta della necessaria documentazione tecnica nonché delle indagini svolte in sito. Ferma restando la natura multidisciplinare delle competenze coinvolte (geologia, geotecnica, meccanica dei fluidi, topografia, ecc.), ci si sofferma sui seguenti aspetti peculiari:

- magnitudo dell'evento, ovvero volume mobilitabile;
- idrogramma della colata;
- modellazione bi-dimensionale della colata (flusso iperconcentrati) finalizzata alla valutazione dei percorsi di propagazione e invasione mediante il codice di calcolo FLO-2D (O'BRIEN J.S. et al. 1993), la cui restituzione cartografica è riportata nella Figura 2.

#### **5. Conclusioni**

In definitiva, dai risultati del confronto della verifica di propagazione delle colate in condizioni ex Ante ed ex Post, a seguito della realizzazione degli interventi di difesa idrogeologica previsti, i volumi di colata potenzialmente mobilitabili all'interno del bacino di alimentazione verranno, per la quasi totalità, arrestati dai rilevati di progetto ed invasati nelle depressioni morfologiche ubicate a monte degli stessi, riducendo, così, sensibilmente il rischio idrogeologico per le aree poste a valle degli interventi stessi.

#### **6. Bibliografia**

O'BRIEN J.S., JULIEN P.Y., FULLERTON W.T. (1993) - *Two-dimensional water flood and mudflow simulation*. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 119(2), 244-259.

DI CRESCENZO ET ALII (2008) - *Proposta di un nuovo metodo semiquantitativo per la valutazione della suscettibilità all'innesco di colate rapide di fango nei contesti carbonatici della Campania*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, 1, 63-81.

Autorità di bacino nord occidentale della Campania (2010) - *Relazione metodologica - pericolosità geologica e idraulica in aree di conoide del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania*, (Responsabili scientifici CALCATERRA DOMENICO, SANTO ANTONIO, MANDOLINI ALESSANDRO, GISONI CORRADO).



[www.indago-rovigo.it](http://www.indago-rovigo.it)

**Società accreditata per corsi APC**

Distributore per l'Italia



ABEM MALÅ



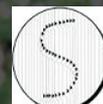
geotomographie



W&R  
instruments s.r.o.



Geophex, Ltd.



## ABEM WalkTEM IL TEM AVANZATO RESO SEMPLICE

Abem WalkTEM misura il transiente elettromagnetico in modo rapido e preciso. Il suo funzionamento è reso semplice grazie ad una interfaccia intuitiva.

Consente di effettuare indagini profonde in tempi brevi.



SOLUZIONI E TECNOLOGIE PER LA GEOFISICA



SARA electronic instruments s.r.l. - [www.sara.pg.it](http://www.sara.pg.it) - [info@sara.pg.it](mailto:info@sara.pg.it)

Via Settevalli 199/A - Perugia - T. 075 5051014 F. 075 5006315



# Un nuovo metodo di telerilevamento da mezzo aereo a controllo remoto applicato alla geologia tecnica

1) Rilievo, studio morfometrico e modellazione 3d georeferenziata di una parete rocciosa

2) Rilievo, studio geomorfologico, cartografia e modellazione 3d georeferenziata di un'area in frana

**Giuseppe Lisi**

Studio tecnico di geologia e cartografia, Palermo (geolisi@libero.it)

## Termini chiave:

Rilievo di pareti rocciose,  
Carta geomorfologica del dissesto,  
Rilevo geologico con drone,  
Drone radiocomandato

## Keywords:

Cliff survey,  
Geomorphological map,  
Geological survey by drone,  
Radio controlled drone

## Riassunto

Questo studio vuole presentare le potenzialità introdotte dall'ideazione di un nuovo metodo di rilievo geologico basato sull'utilizzo di un drone radiocomandato, costruito dall'autore insieme alle altre strumentazioni impiegate, al fine di essere usato per il telerilevamento, per la modellazione 3D e per l'ottenimento della cartografia numerica. Su questa base è stato effettuato il rilievo di una parete rocciosa inaccessibile senza la necessità di ricorrere a squadre di rocciatori o a elicotteri, ed è stato effettuato anche il rilievo e la stesura della carta geomorfologica del dissesto di un'area in frana. Con questo metodo la realizzazione delle carte del dissesto e dei DEM, risulta estremamente rapida e precisa, snellendo enormemente i tempi e le operazioni in sito rispetto all'impiego di altre tecnologie. Nel secondo caso verrà presentato il rilievo di un'area in frana e verrà spiegato come, dalla fotointerpretazione dei modelli e delle ortofoto dettagliate ottenute, sia possibile ricavare rapidamente, a costi inferiori e con bassissima percentuale d'errore, rispetto ai classici rilievi di

superficie, la realizzazione di accurate carte geomorfologiche del dissesto e di altra cartografia tematica.

## Abstract

*This study aims to present the potential introduced by the creation of a new method for performing different types of geological surveys, based on the unusual application of a remote controlled airplane that was built by the author and, by means of electronic instruments made by the same, adapted to remote sensing for 3D modeling and digital mapping. On the basis of these tools has been carried out the detection of an inaccessible cliff without the need to resort to teams of climbers or a conventional helicopter, and was carried out the survey and subsequent geomorphological map of the collapse of a landslide area. By this method the realization of the digital elevation models (DEM), and geomorphological maps are extremely fast, accurate, and significantly lower costs compared to the use of other technologies normally used in this type of relief, such as laser scanner, which*

Dissesti  
e alluvioni

Rischio  
sismico

Risorsa  
acqua

Attività  
estrattive

Geoscambio  
ed energie

Università  
e ricerca

Pianificazione

Bonifiche siti  
inquinati e  
discariche

Protezione  
civile

Professione  
& Società

**Il Geologo  
progettista**

Geositi,  
Geoparchi  
& Geoturismo

*presents problems of acquisition and annoying shadow zones in this type of measurements performed from the bottom upwards due to the unfavorable geometry of the outlet. In the second part of this study will present the results of applying the method to the relief of the landslide area and show how, by photo-interpretation of the models and orthophotos extremely detailed obtained, it is possible to achieve quickly, at a lower cost than traditional methods and with a very low error rate, compared to the classic surface surveys, the realization of accurate geomorphological map of instability, or different types of thematic maps.*

## Introduzione

I due rilievi tecnici presentati in questo articolo fanno capo a due diversi metodi; ciononostante entrambi verranno qui presentati contestualmente. Il metodo ideato per il rilievo della parete rocciosa è arrivato alla sua versione definitiva dopo una lunga serie di prove e di lavori sperimentali condotti in campagna nel periodo compreso tra gli inizi del 2011 e la fine del 2012. Alla fine di questo lungo periodo di sperimentazione e di verifica dei risultati ottenuti, nel mese di gennaio 2013 è stato eseguito il rilievo di una parete rocciosa con questo nuovo metodo che si basa sull'utilizzo di una piattaforma drone UAV (unmanned aerial vehicle) telecomandata. Il rilievo qui presentato è stato effettuato come metodo completo e indipendente, senza la necessità di ricorrere all'impiego di elicotteri o di squadre di rocciatori, ed è stato condotto al fine di essere utilizzato nelle verifiche di stabilità, che qui per brevità non verranno trattate, e per valutare gli aspetti geologici e strutturali che caratterizzano una parete rocciosa subverticale nei pressi di Palermo. Il secondo rilievo è stato invece condotto al fine di ricavare una carta geomorfologica del dissesto, per così dire "speditiva", di un'area in frana. Integrando infatti i dati del rilievo di superficie con la visione di tutti i lineamenti del movimento franoso visibili da un punto di vista "privilegiato" quale quello dell'ortofoto georeferenziata ricavata, è possibile la stesura

"rapida" di una carta geomorfologica virtualmente priva di errori o quantomeno priva delle possibili errate interpretazioni che sono talvolta possibili quando queste carte del dissesto vengono stilate esclusivamente attraverso il solo rilievo di superficie classico. Di entrambe le aree è stata ricavata un'ampia cartografia numerica: i modelli digitali di elevazione (DEM), i modelli digitali del terreno (DTM), i modelli 3D fotorealistici e i filmati e le foto esplorative, che vengono qui presentati.

## Inquadramento delle aree investigate

L'area relativa alla parete rocciosa è situata in C.da Valdesi, nei pressi di Mondello, alle coordinate UTM/ WGS84: N 4228027.09 - E 354154.09 (punto centrale del rilievo), a pochi m dal viale Regina Margherita di Savoia, al confine con l'area urbana. Essa è indicata nel P.A.I. Bacino Oreto, Carta dei dissesti n.05 - Comune di Palermo, come a rischio crollo attivo, in una zona popolata, dove insistono alcune villette risalenti al periodo liberty. Inoltre la zona della falda di detrito sottostante la parete è attraversata da sentieri pedonali per escursionisti, che la attraversano continuamente (Fig. 1).

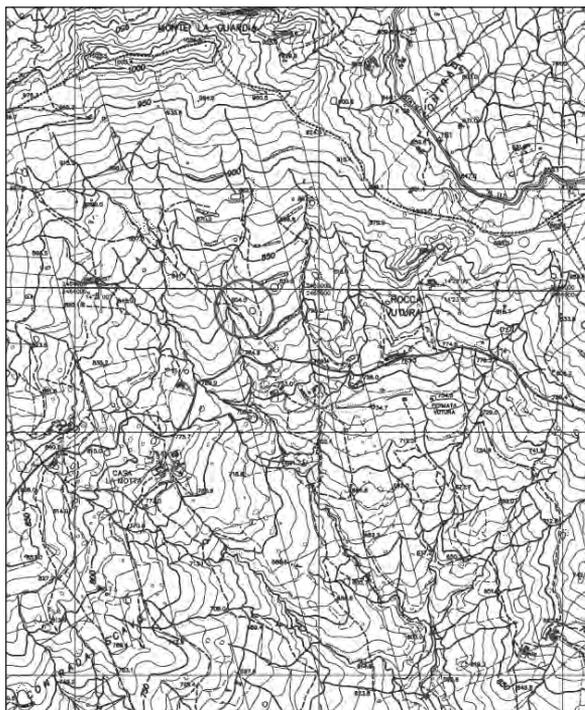


Fig. 1 - Inquadramento dell'area relativa alla parete rocciosa nei pressi di Palermo. Stralcio da tavoletta IGM 1:25000. Nord in alto

Fig 1 - Rock wall area near Palermo. IGM 1:25000 map. North up

**Fig. 2** – Inquadramento dell'area relativa alla frana in provincia di Enna. Stralcio da tavoletta IGM 1:25000. Nord in alto

**Fig 2** - Landslide area near Enna. IGM 1:25000 map. North up



L'area in frana si trova invece situata in C.da Scavo, alle coordinate geografiche **WGS84 37° 41' 53,36" N e 14° 22' 20,48" E (punto n.5 del rilievo)**, nei pressi di Leonforte (En), a qualche Km dalla SS117 in direzione Nicosia (Fig. 2). Essa ricade in una zona a vocazione prettamente agricola e consiste in una superficie complessiva di circa 4,5 ettari (44.127 mq).

### **Caratteristiche dell'area relativa alla parete rocciosa**

#### **Geomorfologia**

La parete rocciosa investigata consiste in una faglia subverticale con un'inclinazione media di circa 85°, si estende per oltre 200 m in orizzontale e si eleva fino a una quota di 135m s.l.m. e assoluta, rispetto alla base, di circa 90 m, per una superficie complessiva di circa due ettari. La superficie topografica in esame presenta alla base una tipica falda di accumulo di detrito, fortemente acclive,

**Fig. 3** - Panoramica della parete rocciosa ripresa durante il volo esplorativo.

**Fig 3** - Overview of the cliff shooting during reconnaissance flight.



che si presenta inclinata, in direzione ovest, con una pendenza media di circa 35 gradi.

#### **Geologia**

Nell'area in questione la massa rocciosa, è costituita da calcareniti e breccie bioclastiche a orbitoline e rudistidi, con alternanze di biolititi a caprinidi e banchi di conglomerati con frammenti di rudiste, associate a biocalcareniti e calcilutiti con cuneoline e rudistidi. Tale microfauna consente di datare la massa rocciosa a un periodo risalente al Cretaceo superiore (Cenomaniano-Maastrichtiano), nonché di riconoscere l'ambiente marino come corrispondente a un'area di rampa carbonatica e scarpata superiore (Fig. 3). Tale formazione è conosciuta in letteratura come formazione Pellegrino. Diversa è invece la microfauna facilmente rinvenibile nei frammenti litici che si rinvergono facilmente alla base della parete oggetto del presente studio, consistente in foraminiferi bentonici (orbitoidi, nummulitidi e alveolinidi) e frammenti di echinodermi e coralli. Quest'ultima, appartenente alla formazione Valdesi, è invece ascrivibile all'Eocene (Luteziano).

#### **Idrografia**

Per quanto riguarda il reticolo idrografico, nelle immediate vicinanze alle superfici in questione non si rinviene la presenza di corsi d'acqua, né

di canali di scolo. Si rinvennero invece copiose e diffuse venute d'acqua percolante, attraverso il sistema di fratture della massa rocciosa. Tali venute d'acqua, visibili molto chiaramente nei periodi di elevata piovosità, insieme alle normali precipitazioni, hanno determinato nel tempo, le tipiche strutture da dissoluzione, come *conche* e *karren*, oltre che a produrre svariate e concentrate strutture di alterazione superficiale della roccia.

### Caratteristiche dell'area relativa alla frana

#### **Geomorfologia**

La superficie topografica, ricadente all'interno del bacino del fiume Simeto, presenta un assetto morfologico tipicamente collinare, le cui altimetrie variano da circa 780 a 830 metri s.l.m. L'assetto morfologico della superficie interessata è caratterizzato dalla presenza di un impluvio piuttosto inciso che la attraversa e che costituisce la parte topograficamente più depressa dell'intera area. Essa inoltre si presenta inclinata, in direzione

approssimativamente Nord-Sud, in maniera variabile da circa 15 a 20 gradi (Fig. 4).

#### **Geologia**

Nell'area in questione il terreno presente al di sotto della copertura superficiale, ma talvolta affiorante, è costituito da argille, argille marnose e marne di colore marrone-rossastro con locali intercalazioni di quarzareniti in banchi, conosciuto in letteratura come "Flysch Numidico".

#### **Idrografia**

Per quanto riguarda il reticolo idrografico, nelle immediate vicinanze alle superfici in questione si rinviene esclusivamente la presenza dell'impluvio situato nella porzione occidentale dell'area, allungato grossomodo in direzione NNW - SSE.

### Pianificazione ed esecuzione delle operazioni

Le operazioni di pianificazione del lavoro sono state svolte principalmente in studio dopo aver



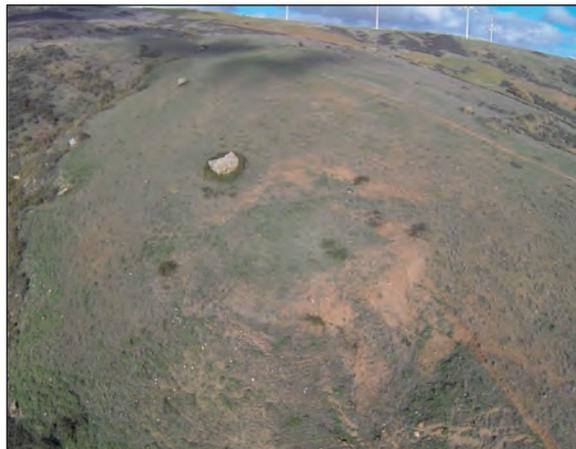
**Fig. 4** - Panoramica dell'area in frana ripresa durante il volo esplorativo.

**Fig 4** – Overview of the landslide area shooting during exploratory flight.

**Fig. 5** – Postazione di comando a terra.**Fig. 5** – *Ground control station.*

effettuato un sopralluogo preventivo e un successivo studio approfondito delle aree da investigare. Le operazioni in sito relative invece all'acquisizione cartografica *non convenzionale* son consistite sia nelle operazioni di acquisizione topografica dei punti di appoggio, usati come riferimento per la georeferenziazione dei modelli, sia nell'esecuzione dei diversi voli al fine di acquisire i filmati e le foto aeree, in modo da avere informazioni estremamente precise e dettagliate su tutte le superfici oggetto dell'intervento; informazioni dalle quali trarre in seguito tutti i parametri utili per la ricostruzione cartografica digitale della parete rocciosa e della frana (**Fig. 5**). Nella fattispecie il flusso di lavoro è stato suddiviso nelle seguenti fasi:

- ispezione preventiva del sito;
- studio approfondito relativo alle condizioni morfologiche e geometriche complessive;
- progettazione dettagliata del volo, delle posizioni di presa e delle inquadrature;
- acquisizione topografica con GPS e marcatura dei punti di controllo a terra (gcp), da usarsi come riferimento per la georeferenziazione dei modelli;
- esecuzione dei voli e acquisizione delle immagini e dei filmati esplorativi;
- elaborazione dei dati;
- produzione degli elaborati finali.

**Fig. 6** – Volo sopra l'area in frana.**Fig. 6** – *Flight over the landslide.*

Le operazioni di volo e di ripresa sono state effettuate nelle date 11 gennaio e 18 febbraio 2013, in giornate caratterizzate entrambe dalla presenza di cielo nuvoloso, che ha ridotto le condizioni di luce e di esposizione delle fotocamere, nonché dalla presenza di vento a raffiche con velocità che superava a tratti anche i 40 Km/h.

Le fotocamere utilizzate per le riprese dispongono di obiettivi calibrati, le cui aberrazioni devono essere ben conosciute affinché se ne possa tener conto nella fase successiva. Le stesse fotocamere devono essere dotate inoltre di un particolare sistema di controllo automatico dell'esposizione che permetta di minimizzare le differenze tonali e cromatiche dovute alla composizione e all'accostamento di frames ripresi in piena luce solare e da altri ripresi in condizioni di cielo nuvoloso che, diversamente, renderebbero il lavoro inutilizzabile (**Fig. 6**). Ai fini del lavoro da svolgere sono state riprese diverse centinaia di frames, tra i quali alcuni sono stati scartati, altri selezionati e impiegati per le operazioni di composizione, da cui sono stati derivati i modelli numerici tridimensionali qui presentati.

### **Cartografia digitale e modellazione 3d ricavata**

Una volta in possesso di tutti i dati acquisiti e in seguito alla successiva elaborazione, si è pervenuti

alla realizzazione dei modelli digitali georeferenziati, che riproducono fedelmente le reali condizioni delle superfici investigate. Sono inoltre stati ricavati due filmati esplorativi ad alta definizione, ingrandibili a piacimento, che mostrano direttamente tutte le caratteristiche strutturali, i blocchi in fase di distacco, le discontinuità e le zone di criticità relative alla parete rocciosa, così come tutti i lineamenti e i confini delle zone in movimento relativi al corpo di frana. Questi i modelli ottenuti, mostrati nelle figure seguenti:

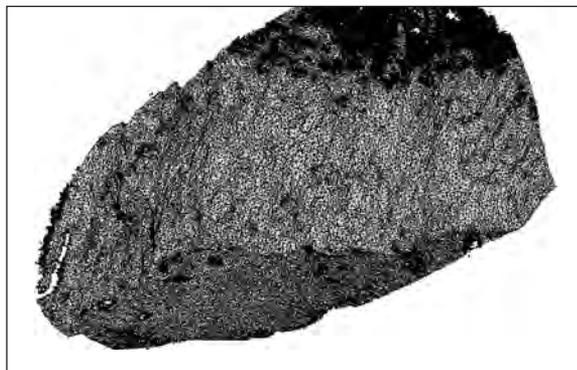
- modello digitale di elevazione (DEM) georeferenziato, in ambiente CAD, con risoluzione di 6 cm/pixel, distanza tra i nodi del poligono di 50 cm, per un totale di 1.200.000 poligoni;
- modello digitale del terreno (DTM) georeferenziato, con risoluzione di 6 cm/pixel, ingrandibile e ruotabile sui tre assi;
- modellazione 3D *fotorealistica* della parete in ambiente CAD, in cui tutti gli elementi visibili essendo porzioni di foto ad altissima risoluzione corrispondono esattamente alla realtà. Il modello è ruotabile sui tre assi e ingrandibile a piacimento;
- ortofoto georeferenziata dell'area in frana in coordinate cartografiche piane, sistema UTM / WGS84, scala "nominale" 1:250, risoluzione effettiva a terra di 3,3 cm/pixel, in formato GeoTiff;
- ortofoto su ctr georeferenziata dell'area in frana combinata con C.T.R., georeferenziata come sopra, in file CAD;
- carta geomorfologica georeferenziata dei dissesti dell'area in frana, in file CAD, ricavata direttamente e rapidamente dall'attento esame dell'ortofoto, integrandola con i dati del rilievo di superficie.

**Fig. 9** – Modellazione 3D "fotorealistica" finale, ruotabile e ingrandibile, della parete. Anche qui il modello è mostrato volutamente in posizione leggermente diversa.

**Fig. 9** - 3D Modeling, rotatable and zoomable. Here, too, the model is shown deliberately in slightly different position

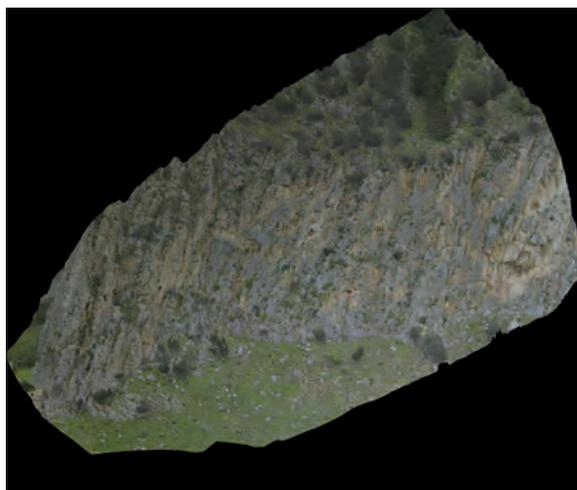
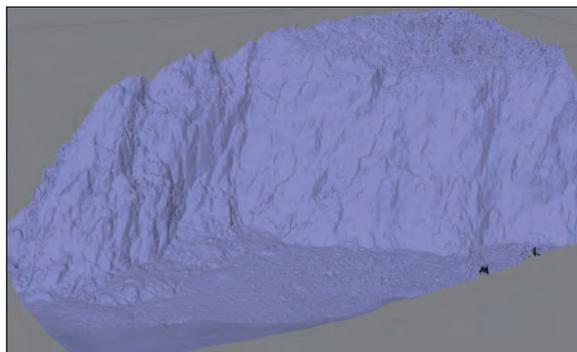
**Fig. 7** – DEM in file di formato CAD. I "vuoti" bianchi sono dovuti alla rielaborazione del file, necessaria per la pubblicazione. Il modello è stato ridotto da 1.200.000 a circa 100.000 poligoni per non apparire totalmente nero a questa scala.

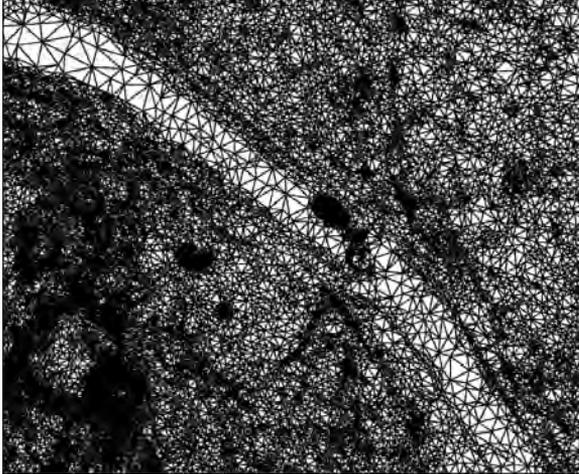
**Fig. 7** – DEM file. The "empty" white are due to the revision of the file, required for publication. The model has been reduced from 1.2 million to about 100,000 polygons not to appear completely black at this scale



**Fig. 8** – Modello digitale del terreno DTM. Il punto di vista è volutamente diverso dagli altri per mostrare il modello in posizione leggermente ruotata.

**Fig. 8** - Digital terrain model DTM. The point of view is different from others to show the model slightly rotated.





**Fig. 10 (sinistra)** – DEM in file di formato CAD. Anche questo modello è stato ridotto da 1.200.000 a circa 100.000 poligoni per non apparire totalmente nero a questa scala.

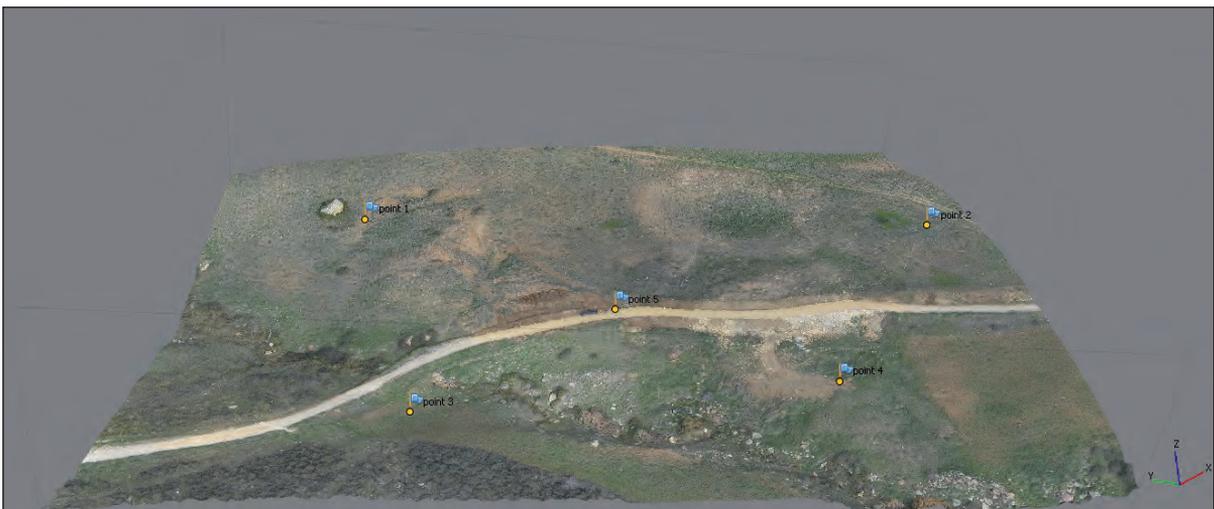
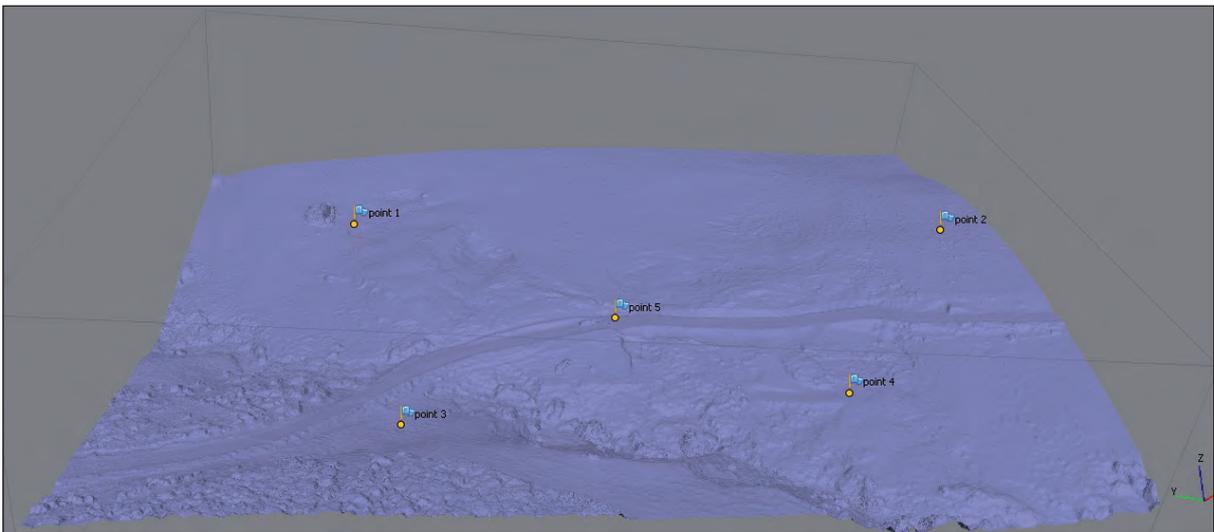
*Fig. 10 - DEM file. This model has been reduced from 1.2 million to about 100,000 polygons not to appear completely black at this scale.*

**Fig. 11 (centro)** – Modello digitale del terreno DTM dell'area in frana.

*Fig. 11 - Digital terrain model of the landslide area.*

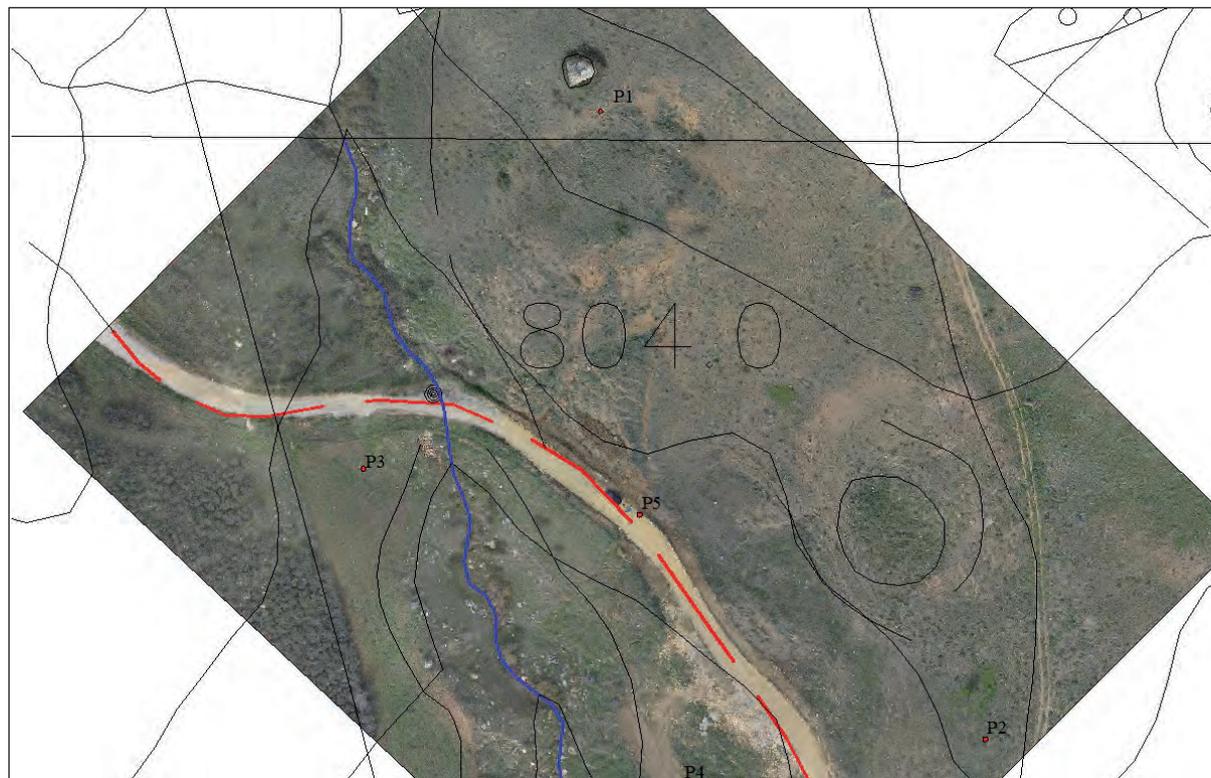
**Fig. 12 (in basso)**– Modellazione 3D "fotorealistica" finale, ruotabile e ingrandibile, dell'area in frana.

*Fig. 12 - 3D modeling of the landslide area.*



**Fig. 13** – Ortofoto georeferenziata in scala 1:200 dell'area in frana, combinata con stralcio di C.T.R. 1:10000. Nord in alto

**Fig. 13** - Georeferenced 1:200 orthophoto of the landslide, combined with C.T.R. 1:10000 map. North up



### **Validazione dei modelli e misura degli errori**

La funzione di mappatura usata per calcolare le coordinate di tutti i punti di controllo a terra (*ground control point* o *gcp*) ed eseguire la georeferenziazione del modello a partire da quelle dei *gcp* misurati a mezzo GPS (in modalità statica per almeno un minuto accertandosi di avere sempre un numero elevato di satelliti), effettua un'operazione di interpolazione, ovvero una polinomiale che, a seconda dei casi, può essere del primo o del secondo ordine, più raramente del terzo, a causa delle deformazioni possibili in uscita. Questa funzione applica le necessarie correzioni geometriche ai vari punti del modello attraverso operazioni di roto-traslazione o di roto-traslazione e scalatura. I valori incogniti sono calcolati sulla base dei valori

dei *gcp* secondo il metodo statistico dei minimi quadrati, che viene frequentemente applicato per la deduzione dell'andamento medio in base ai dati sperimentali e per l'estrapolazione dei valori fuori dal campo di misura. Per verificare in seguito se la trasformazione sia stata più o meno precisa è stato usato un metodo di valutazione attraverso la radice dell'errore quadratico medio (RMSE), metodo normalmente utilizzato in statistica per indicare la discrepanza quadratica media tra i valori osservati e quelli stimati. Per operare si stabilisce dapprima la corrispondenza tra le coordinate del terreno e quelle dell'immagine, quindi si applica per ogni punto una funzione inversa che ricalcola le coordinate dei punti noti del terreno a partire da quelle dell'immagine. Lo scarto tra i due valori, cioè l'errore residuale, viene calcolato per ogni

Fig. 14 – Carta geomorfologica dei dissesti dell'area in frana, in scala 1:200, ricavata direttamente e rapidamente dall'ortofoto. Nord in alto.  
 Fig. 14 - Geomorphological map 1:200 of the instability, obtained from orthophoto. North up.



punto noto sulle tre coordinate  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , sottraendo alle coordinate ricalcolate quelle derivate dalle misure sul terreno, secondo il seguente schema:

$$r = x' - x$$

dove:

$r$  = errore residuale

$x'$  = coordinate ricalcolate dalla funzione inversa

$x$  = coordinate misurate sul terreno

La precisione di posizionamento dei punti di controllo a terra, che fornisce già indirettamente un indice della validità generale del modello, viene quindi valutata per mezzo del  $RMSE_{gcp}$ , che viene calcolato estraendo la radice quadrata della somma dei quadrati dei residui. come in equazione 1:

$$RMSE_{gcp} = \sqrt{(r_x)^2 + (r_y)^2 + (r_z)^2}$$

L'accuratezza complessiva della trasformazione applicata può essere determinata estraendo la radice quadrata della sommatoria dei quadrati di tutti gli RMSE gcp divisa per il numero di essi  $n$  come in equazione 2:

$$RMSE_{glob} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n RMSE_i^2}{n}}$$

Operando in questo modo siamo in grado di calcolare di quanto il nostro modello differisca dalla realtà. Sono state elaborate quindi due tabelle con i margini di errore riferiti al ricalcolo dei ground control point, al fine di verificare la validità dei modelli (Tab. 1-2).

La precisione qui raggiunta risulta sufficiente per la maggior parte delle applicazioni, ma nel caso in cui dovesse essere richiesta una precisione ancora più elevata rispetto a quella ottenuta, è sufficiente aumentare il numero dei gcp, effettuare molte misure sullo stesso e farne quindi la media, o

quantomeno effettuare un numero maggiore di misure in z. Un'altra possibilità cui ricorrere per aumentare la precisione può essere quella di sfruttare, se disponibili, punti notevoli su cartografia (dettagliata) della zona e di inserirne le coordinate nel modello. Comunque, specialmente quando è necessaria una precisione molto elevata, conviene rilevare sempre un numero elevato di gcp, provando a calcolare tutti i valori di RMSE e nel caso in cui tale calcolo dovesse fornire risultati non ottimali, provare a sostituire via via i singoli gcp con altri e rifare i calcoli fino a trovare il valore più soddisfacente, quindi inserire nel modello questi ultimi.

## Conclusioni

Il modello digitale di elevazione della parete rocciosa (DEM) ottenuto in formato vettoriale in ambiente CAD, presenta una distanza tra i nodi del reticolo di circa di 50 cm, per un totale di circa 1.200.000 poligoni, più che sufficiente per essere

Tab. 1 – Tabella dei margini di errore riportati nel rilievo della parete rocciosa.

Tab. 1 – Errors in the survey of the cliff.

GCP	Errore in X (cm)	Errore in Y (cm)	Errore in Z (cm)	RMSEgcp
1	-33,07	-49,21	-67,41	90
2	89,48	69,98	163,23	198
3	-56,57	-20,74	-95,41	112
4	25,34	15,03	28,11	104
	<b>RMSEglob in X = 56,8</b>	<b>RMSEglob in Y = 44,64</b>	<b>RMSEglob in Z = 100,1</b>	<b>RMSEglob = 132</b>

Tab. 2 – Tabella dei margini di errore riportati nel rilievo dell'area in frana.

Tab. 2 – Errors in the survey of the landslide area.

GCP	Errore in X (cm)	Errore in Y (cm)	Errore in Z (cm)	RMSEgcp
1	-178	175,98	-26,3	251
2	-69,18	17,68	63,55	95
3	189,44	2,9	85,65	207
4	-167,11	-19,19	-128,33	211
	<b>RMSEglob in X = 158,33</b>	<b>RMSEglob in Y = 88,96</b>	<b>RMSEglob in Z = 84,46</b>	<b>RMSEglob = 199</b>

utilizzato nella maggior parte delle applicazioni. Sui modelli della cartografia numerica ricavati, è possibile osservare inoltre dettagliatamente le condizioni caratterizzanti l'ammasso roccioso e da qui procedere alla precisa elaborazione di



**Fig. 15** – Dettaglio della parete rocciosa in cui sono visibili discontinuità strutturali e alcuni blocchi parzialmente dislocati in procinto di un prossimo distacco.

*Fig. 15 - Detail of the cliff where are visible structural discontinuities and some blocks partly displaced on the verge of collapse.*

ulteriori carte dei dissesti o di altra cartografia tematica, in modo rapido, ma soprattutto preciso e dettagliato. Inoltre il materiale cartografico allegato consente al professionista di avere disponibile in studio, in qualsiasi istante, tutti i dettagli “reali” della parete, per successive revisioni o per future elaborazioni. A tale proposito dall’osservazione attenta dei filmati ottenuti e delle foto esplorative, che qui a causa della stampa non possono essere apprezzate pienamente né, ovviamente, ingrandite, è possibile notare lungo la parete la presenza di fratture beanti piuttosto estese dislocanti alcuni blocchi rocciosi, così come determinare che la giacitura delle superfici di discontinuità inaccessibili sia compatibile con i valori di orientazione rilevati alla base della parete. Dall’osservazione dello stesso è possibile osservare anche la presenza e la collocazione di svariati blocchi, più o meno distaccati dalla massa rocciosa, in posizione instabile e precaria, in procinto di un possibile prossimo distacco (**Fig. 15**). Si intende precisare che anche tutto quanto viene visto nel modello



**Fig. 16** – Veduta aerea panoramica delle zone sottostanti la parete durante il volo di ricognizione.

*Fig. 16 - Aerial overview of the areas below the cliff during the reconnaissance flight.*

3D corrisponde esattamente alla realtà in quanto direttamente derivato da foto reali. Il metodo proposto ha permesso quindi anche di esplorare la parete in modo molto dettagliato, con un notevole risparmio di tempi e costi che sarebbero derivati dall'impiego tradizionale di elicotteri e di squadre di rocciatori. Riguardo a questi ultimi rimane comunque da non escludersi, ove strettamente necessario, la possibilità di un eventuale impiego "mirato", ovvero di indirizzare il loro lavoro esclusivamente in quei determinati punti, scelti sulla base delle loro caratteristiche, dopo aver eseguito velocemente un'esplorazione strumentale della parete. In definitiva, sulla base dei risultati ottenuti, ci sentiamo di affermare che la nuova metodologia introdotta permetta di ottenere risultati comparabili e per certi versi superiori a quelli che si otterrebbero con altri metodi, perché si riesce a superare i limiti imposti in tutti gli altri tipi di rilievi eseguiti dal basso verso l'alto. Come noto infatti, la geometria di presa propria della maggior parte dei metodi eseguiti da terra può produrre delle zone d'ombra causate dalla inevitabile non planarità delle pareti e dei costoni rocciosi e provocare una diminuzione della risoluzione spaziale all'aumentare dell'altezza delle pareti, perché all'aumentare dell'angolo di inclinazione di presa rispetto all'orizzontale, aumenta in maniera non lineare la superficie sottesa (raggi troppo tangenti alla superficie). Tutte queste problematiche sono superate dal metodo qui introdotto poiché, grazie alla differente modalità di acquisizione, tutta la superficie da rilevare risulta omogeneamente coperta (Fig. 16). Infine poiché esiste la possibilità di registrare il percorso effettuato dal drone durante la survey, è possibile, in tempi ancor più ridotti, ripetere innumerevoli indagini multitemporali, consentendo di valutare la suscettibilità alle variazioni di assetto della massa rocciosa o del movimento franoso, nel tempo.

Concludendo possiamo affermare che rispetto agli altri metodi e all'uso di altri velivoli, il metodo qui proposto presenta diversi vantaggi: bassissima quota di volo che consente di ottenere una risoluzione a terra elevatissima non paragonabile a

nessun altro tipo di velivolo, permettendo di rilevare anche oggetti di pochi cm sul terreno, superamento dei limiti imposti dai metodi di rilievo "da terra", rapidità di messa in opera, di esecuzione del lavoro e di ottenimento dei dati, diminuzione di tempi e costi, multitemporalità e ripetibilità dei rilievi acquisiti e infine il non trascurabile vantaggio di effettuare rilievi ad altissima risoluzione anche in zone inaccessibili o di difficile accessibilità o pericolose.

### Riferimenti bibliografici

AMADIO G. (2012)-*Introduzione alla geomatica – Manuale introduttivo ai sistemi informativi geografici*. Dario Flaccovio editore Palermo;

ARUTA L. & MARESCALCHI P. (2005)-*Cartografia e lettura delle carte*. Dario Flaccovio editore Palermo;

BARTOLUCCI D. (2009)-*Principi di laser scanning 3D - hardware, metodologie applicative, esempi*. Dario Flaccovio editore Palermo;

BRUNO G. (2012)-*Caratterizzazione geomeccanica per la progettazione ingegneristica*. Dario Flaccovio editore Palermo;

CASAGRANDE L., CAVALLINI P., FRIGERI A., FURIERI A., MARCHESINI I. & NETELER M. (2012)-*Gis open source – Grass Gis, Quantum Gis e Spatial Lite*. Dario Flaccovio editore Palermo;

CROSILLA F. & DEQUAL S. (2006) -*Laser scanning terrestre*. Dario Flaccovio editore Palermo;

DAINELLI N., BONECHI F., SPAGNOLO M. & CANESSA A. (2010) -*Cartografia numerica*. Dario Flaccovio editore Palermo;

DAINELLI N. (2011a) -*Fotointerpretazione*. Dario Flaccovio editore Palermo;

DAINELLI N. (2011b) -*Telerilevamento – L'osservazione della Terra*. Dario Flaccovio editore Palermo;

FANTOZZI P. (2013)-*Georeferenziare i dati geografici con ArcGis*. Dario Flaccovio editore Palermo;

GALLETTO R. & CROSILLA F. (2004) -*La tecnica del laser scanning – Teoria e applicazioni*. Dario Flaccovio editore Palermo;

GUERRERA F. & PERICOLI B. (1983) -*Elementi di topografia e cenni di aerofotogrammetria e telerilevamento*. Centro Stampa Università degli Studi di Urbino;

MANTINI P. (2007)-*Fotoraddrizzamento, Fotomosaico,*

*Vettorizzazione - Restituzione prospettica automatizzata*. Dario Flaccovio editore Palermo;

RAMUNDO P. (2006)-*Topografia catastale e CAD 2D e 3d - Operazioni topografiche e grafiche per il pre-geo*. Dario Flaccovio editore Palermo;

RIOLO F. & VITTORIO M. (2011) -*Manuale avanzato di ArcGis 9 e 10*. Dario Flaccovio editore Palermo;

SEDAZZARI M., GRACI G. & PILERI P. (2010) -*Gis e Ambiente*. Dario Flaccovio editore Palermo.

# AMBR GEO

Strumenti per Geofisica

• SISMOGRAFI

• HVSR

• TOMOGRAFIA ELETTRICA

• GEORESISTIVIMETRI

• ENERGIZZATORI SISMICI

• IDROFONI



Seismograph  
ECHO 48/2014 Seismic Unit - 24bit



Seismograph  
ECHO 24/2010 Seismic Unit - 24bit



ECHO Tromo HVSR3 - 24bit



Mangusta MC 48-96E  
Geoelectrical Tomography Equipment



Resistivity Meter Datares-10



3D/5D - 3D Twin Borehole Geophone



P/S Wave Borehole Energy Source Borehole Deviation Probe



# Metodologia open source per la modellazione geologica tridimensionale mediante l'utilizzo di geodatabase relazionali:

*il caso di un sito contaminato*

*a Marghera - Mestre, Provincia di Venezia*

**Vittorio Bisaglia**, Libero professionista - Ordine dei Geologi del Veneto

**Serena Alessi**, Libero professionista - Ordine dei Geologi del Veneto

**Christian Iasio**, Libero professionista - Ordine dei Geologi della Toscana

## Abstract

*A few years of experience in the three-dimensional (3D) geological modeling have led to the development of a methodology for processing underground data optimizing the Open Source tools. The resulting processing system allows the production of 3D geological models at lower costs, at the same time increasing the type and number of geological investigations for which they are applicable.*

*The use of Open Source software tools and the ability to put together a versatile and stable stratigraphical and underground data processing system enables the users to dedicate more resources to training activities. Also, they can develop and analyze specific needs for different application cases, while avoiding investment in software licenses and training linked to proprietary platforms.*

*The study aims at highlighting the potentiality of this methodology, illustrating the results of a practical case study. The development of this methodology derived from a depth analysis connected to the assignment commissioned by the Province of Venice - Land Defense Sector (2012), "for the development of methodologies for the analysis of spatial data through the use of information systems (GIS)". In many areas of the Province of Venice affected by critical environmental issues, the density of lithostratigraphic information stored in the provincial geodatabase is very high, making it possible*

*to restore the lithostratigraphic subsoil structure in 3 dimensions, using specialized software tools. The Open Source tools have permitted to develop a procedure for harmonization, interrogation and graphic elaboration, in order to implement the geological-hydrogeological model for different sites documented in the provincial archive.*

*The processing system has been constantly upgraded and made applicable for different types of subsoil investigations. Its main strengths are the possibility of using and managing all the existing information in the area analyzed and the effective processing speed of a large amount of data, allowing to proceed with the calibration of the 3D model also through versatile and easy-to-use volumetric editing tools.*

*This article describes the recent application of the methodology in a contaminated site in Marghera - Mestre Province of Venice (Italy).*

## Riassunto

Alcuni anni di esperienza nell'ambito della modellazione geologica in 3D hanno permesso di maturare una metodologia di elaborazione dei dati di sottosuolo basata sull'utilizzo ottimizzato di strumenti Open Source. Il sistema di elaborazione risultante consente di produrre modelli geologici tridimensionali a costi più ridotti, ampliando il tipo e il numero d'indagini in cui è

Dissesti  
e alluvioni

Rischio  
sismico

Risorsa  
acqua

Attività  
estrattive

Geoscambio  
ed energie

Università  
e ricerca

Pianificazione

Bonifiche siti  
inquinati e  
discariche

Protezione  
civile

Professione  
& Società

Il Geologo  
progettista

Geositi,  
Geoparchi  
& Geoturismo

possibile utilizzarli. L'impiego di strumenti software *Open Source* e la capacità di mettere insieme un sistema di elaborazione di dati stratigrafici e di sottosuolo versatile e robusto, permettono di dedicare più risorse alla formazione, allo sviluppo e all'analisi delle necessità specifiche dei diversi casi di applicazione, eliminando gli investimenti in licenze software e training vincolati a piattaforme proprietarie.

Lo studio in oggetto è finalizzato ad evidenziare le potenzialità di tale metodologia illustrando le evidenze emerse da un caso di studio pratico. Lo sviluppo di tale metodologia deriva dall'approfondimento effettuato nell'ambito di un incarico commissionato nel 2012 dalla Provincia di Venezia - Settore Difesa del Suolo, "per lo sviluppo di metodologie di analisi dei dati territoriali mediante l'utilizzo di sistemi informativi (GIS)".

In molte aree della Provincia di Venezia interessate da criticità ambientale, la densità delle informazioni litostratigrafiche archiviate nel geodatabase provinciale è assai elevata, rendendo possibile una restituzione realistica dell'assetto litostratigrafico del sottosuolo in 3 dimensioni, attraverso l'impiego di strumenti software specialistici.

Gli strumenti Open Source sono stati utilizzati per la realizzazione di una procedura di armonizzazione, interrogazione ed elaborazione grafica, finalizzata alla produzione del modello geologico-idrogeologico di diversi siti documentati nell'archivio provinciale, oggetto di procedimenti.

Il sistema di elaborazione è stato costantemente potenziato e reso utilizzabile per diverse tipologie d'indagine del sottosuolo. I suoi principali punti di forza sono la possibilità di uso e gestione della totalità delle informazioni esistenti sull'area in studio e l'effettiva rapidità di elaborazione di grandi moli di dati, dando modo di procedere per passi successivi alla calibratura e alla taratura del modello 3D mediante anche strumenti per l'editing volumetrico versatili e di facile utilizzo.

Nel presente articolo si descrive l'applicazione recente della metodologia in un sito contaminato a Marghera – Mestre Provincia di Venezia (Italia).

## Introduzione

In questi ultimi anni l'accesso al "dato geologico" di qualsiasi tipologia esso sia (litostratigrafico, geotecnico, idrogeologico, geofisico, geotermico), è reso possibile e decisamente incrementato dalla realizzazione di vere e proprie banche dati da parte di enti e amministrazioni, consultabili mediante geoportali e Web Gis. È possibile visualizzare e sempre più spesso "scaricare" direttamente le informazioni, attraverso geoportali o servizi WMS, WCS, WFS (es.: Città metropolitana di Venezia, Ispra, Regione Toscana, Regione Emilia Romagna, Regione Piemonte). Generalmente i dati sono forniti in schede pdf oppure previa richiesta in formato digitalizzato (es. geoportale provincia di Venezia). La regione Emilia Romagna, nell'ambito del progetto europeo *GeoMol*, fornisce una visualizzazione tridimensionale dei potenziali assetti del sottosuolo in un'area pilota (Brescia, Mantova, Mirandola) che consente di estrarre mappe e sezioni. Allo stesso tempo, è sempre più consuetudine da parte di studi geologici ed ingegneristici, "capitalizzare" i dati di campagna archiviandoli in formato digitale al fine di utilizzarli per studi successivi. Inoltre i Sistemi Informativi Geografici (GIS) sono oramai sempre più impiegati per la gestione e georeferenziazione del dato geologico. Di fatto negli ultimi decenni lo sviluppo di sofisticati GIS, ha costituito una svolta determinante nel trattamento dei dati territoriali sia per quanto riguarda la restituzione automatica di elaborati cartografici sia per quanto attiene l'elaborazione di informazioni georeferenziate, che hanno nella localizzazione spaziale una delle principali caratteristiche funzionali.

L'approccio tridimensionale ad un modello geologico senza dubbio è la soluzione più completa ed esaustiva per lo studio del sottosuolo e quanto di più vicino alla "realtà" possiamo attenderci per la gestione e l'analisi delle molteplici problematiche determinate delle diverse variabili legate ad esso. La rappresentazione "bidimensionale" delle variabili geologiche, come gli orizzonti stratigrafici, pone dei limiti oggettivi qualora si voglia usare una

semplice sovrapposizione di dati per descrivere strutture 3D, ad esempio per indagini geologiche o idrogeologiche. La struttura geologica presenta infatti strutture complesse ed è “normale” avere altezze multiple di uno stesso attributo nel suo sviluppo laterale. Parte di queste problematiche non può essere risolta nemmeno con strutture di dati basate sui cosiddetti modelli “2 ½ D” (es. *Digital Elevation Model*).

Tale limite è superato invece con l’implementazione di sistemi 3D veri e propri, dove a ogni punto del dato sono associate 3 coordinate (X, Y, Z) più gli attributi d’interesse (es. composizione granulometrica, permeabilità, capacità termica, grandezze geofisiche e/o geotecniche ecc.). È così possibile produrre un modello volumetrico *raster* di dati che rappresenti i valori medi degli attributi in modo tale che la dimensione verticale sia trattata allo stesso modo delle dimensioni orizzontali. Il modello tridimensionale nel caso *raster* è ottenuto dividendo il volume considerato in un insieme di celle volumetriche (*voxel*).

Il “mercato” offre una scelta diversificata di software proprietari per la modellazione 3D, venduti sotto licenza limitata d’uso: dal semplice disegno tridimensionale allo sviluppo di moduli implementati *ad hoc* per la modellistica geologica, fino ad arrivare ad alcuni, di ultima generazione, che consentono di gestire ed elaborare grandi quantità di dati geognostici e interpretativi attraverso algoritmi d’interpolazione.

L’attuale grande disponibilità di informazioni geologiche e la disponibilità di questo genere di strumenti incentiva dunque un fondamentale sviluppo per la professione del geologo nelle pubbliche amministrazioni ed enti e nell’ambito della libera professione, ponendolo di fronte all’esigenza di ottimizzare l’uso di tali dati. In sostanza vi è la necessità di avere gli strumenti adatti a gestire ed elaborare un grande numero d’informazioni di diversa natura e tipologia che consentano un approccio innovativo allo studio del sottosuolo e alla definizione sempre più realistica del modello geologico richiesto come base di conoscenza e come elaborato di progetto.

## Metodologia

La metodologia qui descritta si basa sulla gestione e omogeneizzazione del dato di partenza, di qualsiasi tipologia esso sia, e trova i suoi punti di forza in:

- uso esclusivo di software *Open Source*, disponibile per qualsiasi sistema operativo. Non esistendo diritti di proprietà sul codice sorgente, la natura *Open Source* dei software ne consente la modifica, il potenziamento e sviluppo a seconda delle esigenze dell’utilizzatore;
- estrema velocità di elaborazione mediante passaggi che sfruttano le potenzialità dei database spaziali.

In termini generali, per la creazione di un modello geologico multidimensionale si parte dalla creazione di un database georeferenziato dei dati territoriali (es. litostratigrafici, idrogeologici, geofisici). In secondo luogo si esegue il filtraggio e il trattamento della variabili fisiche contenute negli attributi. Successivamente sarà possibile implementare una prima elaborazione del modello 3D che dovrà necessariamente essere tarato con i dati geognostici reali.

Una volta ottenuto il modello multidimensionale definitivo sarà possibile analizzare l’andamento spaziale di strutture omogenee (es. litotipi, acquiferi, acquitardi, acquicludi) mediante l’elaborazione di un numero illimitato di sezioni del modello stesso e il filtraggio di isosuperfici e isovolumi.

Il modello tridimensionale così ottenuto potrà essere interfacciato con modelli analoghi per la ricostruzione, ad esempio dell’andamento spaziale e/o temporale delle isopieze relative ai diversi acquiferi in studio, o sfruttato per la realizzazione di modelli di flusso (es. andamento isopieze, direzioni di deflusso, *stress* negli acquiferi conseguenti l’estrazione e reiniezione in falda) e trasporto (es. sostanze inquinanti, calore).

Il metodo proposto consta di funzioni di elaborazione automatica, procedure assistite e numero molto circoscritto di operazioni manuali, per la costruzione, la gestione e l’elaborazione di dati

geologici finalizzati alla produzione di un modello geologico 3D. L'insieme di questi elementi è stato integrato in un sistema di processamento dati dando luogo ad una applicazione informatica basata principalmente su geodatabase e GIS *Open Source*.

Questa applicazione, nel suo complesso, vuole essere adattabile a diverse condizioni di partenza dei dati, considerando la più fortunata situazione di dati già strutturati in foglio elettronico, quanto quella di sorgenti d'informazione disomogenee che abbiano bisogno di essere processate e, in casi estremi, digitalizzate da sezioni disponibili solo in formato immagine, da disegni in scala su carta. Per questa ragione, il primo passaggio nel flusso di lavoro generale della metodologia, rappresentato in Figura 1, consiste nella raccolta e aggregazione di dati relativi, da una parte, ai sondaggi d'interesse per lo studio dell'area specifica, e dall'altra, ai dati stratigrafici di riferimento validi nella regione contenente l'area d'interesse. Questa fase si riferisce a tutta la serie di operazioni necessarie a gestire in formato digitale e strutturato i dati necessari a comporre il modello geologico tridimensionale.

Fra le operazioni possibili, sono stati previsti: metodi e strumenti informatici di supporto alla digitalizzazione dei *logs*, da file immagine (*raster* originali o scansioni), che permettono di compilare rapidamente una tabella con la profondità relativa degli strati e il codice di riferimento della litologia;

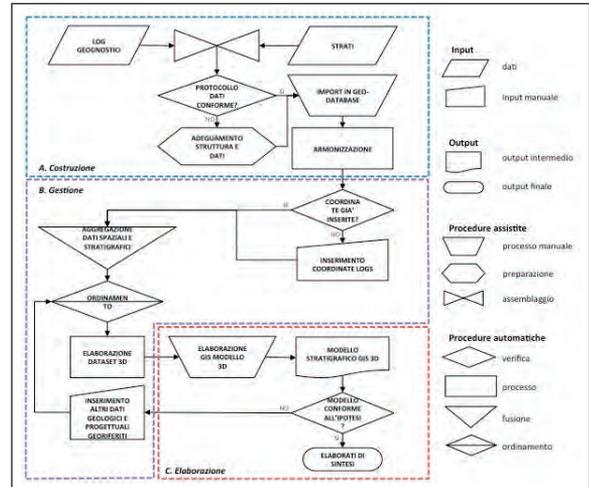
procedure assistite per l'importazione di dati litologici e stratigrafici di base, che prevedono la codificazione di tutte le voci possibili utili a caratterizzare gli strati dei *logs*.

Il risultato di questa fase è la prima importazione in un database delle informazioni che si vogliono elaborare per la produzione del modello 3D.

Il database di riferimento per questa applicazione è strutturato in maniera tale da permettere agevolmente l'integrazione e la strutturazione dei dati geologici. Se le informazioni stratigrafiche fin qui trattate e importate non contengono le

Fig. 1 - Workflow del procedimento metodologico

Fig. 1: Workflow diagram



caratteristiche utili all'adeguata scomposizione e codificazione dei dati, queste devono essere integrate o elaborate secondo il protocollo previsto dal database. Allo stesso tempo, per la corretta codifica dei dati, si deve verificare che la lista di dati litologici e stratigrafici già presenti nel database contenga anche le voci utili per la corretta importazione delle nuove stratigrafie. Una volta verificate queste corrispondenze, una procedura assistita permette l'importazione e l'armonizzazione delle nuove stratigrafie nella struttura dati predisposta per l'elaborazione dei modelli geologici 3D.

La seconda verifica delle informazioni riguarda la geolocalizzazione dei *logs*. Si deve essere sicuri della presenza dei riferimenti spaziali di ogni punto di sondaggio o dei *logs*, e che l'espressione delle coordinate (sistema di riferimento e formato) sia consistente e omogenea per l'intero *dataset*.

Presenti questi parametri nel geodatabase, una procedura automatica permette la geolocalizzazione di tutti i dati stratigrafici di ogni *logs* in 3D e l'ordinamento degli strati in sequenza secondo le rispettive profondità. A questo punto il *dataset* dei *logs* stratigrafici possiede tutte le caratteristiche di un archivio geografico tridimensionale, ed è pronto per essere elaborato con procedure assistite per la definizione delle *boundary condition*

e la successiva interpolazione volumetrica in ambiente GIS adeguato.

Il risultato di questa fase di processamento interattiva porta alla produzione di un primo modello stratigrafico 3D.

Se il risultato ottenuto contiene tutti gli elementi necessari alla finalità del modello stesso ed è conforme al modello che il geologo si è prefigurato sulla base dell'analisi preliminare dei dati e delle osservazioni di campagna, si può procedere all'estrazione di elaborati di sintesi del modello, quali nuove sezioni, *logs* virtuali, volumi dei corpi litologici o di altri materiali sepolti, come pure all'implementazione di ulteriori modelli applicativi basati su quello geologico, quali modelli idrogeologici di flusso e trasporto. Alcune di queste ultime applicazioni possono essere implementate nello stesso ambiente software utilizzato per l'elaborazione del modello, mentre altre avranno bisogno di esportazioni di sottoprodotti del modello geologico ottenuto, in formati accettati dai software di modellazione.

Se invece il modello è imperfetto o incompleto, sarà necessario inserire nuove informazioni che permettano di adeguare l'elaborato al modello concettuale prefigurato, o di completarlo di elementi fin qui non considerati, quali elementi artificiali di progetto, che influenzano o caratterizzano la geometria e la continuità dei corpi litologici.

Nel caso in cui sia necessario "affinare" il prodotto dell'elaborazione, si possono integrare ulteriori informazioni litostratigrafie reali, estrapolate ad esempio da altri elaborati geologici, o aggiungere dati stratigrafici virtuali, frutto delle inferenze elaborate sulla base del giudizio esperto e delle osservazioni. Se invece c'è l'esigenza di arricchire il modello geologico con componenti artificiali, queste possono essere inserite nel geodatabase alla stregua di diaframmi, sottoservizi (es.: acqua, luce, gas, telecomunicazioni) descritti come corpi omogenei dal piano campagna alla loro profondità massima, e immediatamente circondati da dati stratigrafici virtuali che ripetono le caratteristiche geologiche dei corpi all'interno dei quali questi sono inseriti in modo tale da poter valutare

l'interazione al contatto delle strutture antropiche e i litotipi presenti.

Le informazioni aggiunte, di qualsiasi natura esse siano, sono inserite nella struttura dei dati in formato già armonizzato e completo di tutti i parametri, e perciò immediatamente ordinabili e processabili all'interno del *dataset* tridimensionale per la rielaborazione del modello stratigrafico (o dei modelli stratigrafici) GIS 3D.

Il risultato ottimale verrà ottenuto dalla reiterazione di quest'ultima parte del flusso di lavoro, con aggiunte e revisioni ripetute fino a quando non sarà ottenuto un modello soddisfacente per la sua effettiva applicazione pratica.

### **Componenti dell'ambiente di lavoro**

L'implementazione della metodologia sopra descritta prevede l'impiego di differenti strumenti informatici integrati.

In primo luogo, la compilazione dell'archivio di dati geologici si realizza mediante software terzi, quali editor di testi o software per la redazione di fogli elettronici.

La maggior parte delle procedure è realizzata con l'ausilio delle funzioni tipiche dei sistemi di gestione di banche dati relazionali (RDBMS) geografiche. Nel caso specifico è stato utilizzato il software *Open Source "PostgreSQL"* con l'estensione per la gestione dei dati e delle funzioni spaziali "*PostGIS*". Di fatto, questo elemento rappresenta il "*back-end*" del sistema software. Questo componente è usato per raccogliere e organizzare i dati, per armonizzarli secondo una struttura predefinita, che attraverso particolari aggregazioni e ordinamenti permette di "trasformare" le informazioni geologiche di input in un vero *dataset* tridimensionale, composto cioè da dati georiferiti nelle 3 dimensioni, in cui la quota di ogni strato può essere relativa al piano di campagna o al livello del mare.

Per l'esplorazione e l'interrogazione dei dati elaborati, si può usare il software GIS *Open Source GRASS GIS*, o il summenzionato *QGIS*. In entrambi i casi, il GIS mostrerà direttamente quanto predisposto nel database geografico, sfruttando le

proprie funzioni di collegamento e integrazione con PostgreSQL.

L'elaborazione completa del modello tridimensionale è implementata mediante software GRASS GIS, che contiene funzioni e moduli avanzati di interpolazione e rappresentazione dati.

L'affinamento e il *rendering* del modello stratigrafico 3D, oltre che l'estrazione di eventuali prodotti grafici derivati, è invece realizzato con l'impiego avanzato del software *ParaView*.

I componenti del sistema software descritto sono assemblati, in termini funzionali, come da Figura 2.

## Caso studio

### Scopo dell'indagine

La metodologia sopra schematizzata è stata applicata ai fini di una ricostruzione del contesto geologico e del sistema di barrieramento fisico realizzato per arginare una contaminazione ambientale. La ricostruzione tridimensionale del sottosuolo interessa un settore circoscritto del sito Montefibre di Porto Marghera, in provincia di Venezia, caratterizzato per una contaminazione da composti alifatici clorurati.

Lo stabilimento Montefibre è localizzato nella macroisola del Nuovo Petrolchimico di Porto Marghera, a sud del Porto Commerciale e rientra all'interno del Sito di Interesse Nazionale di Venezia-Porto Marghera (Figura 3).

Il complesso industriale, noto per la produzione di fibre acriliche, fu costruito nel 1958 su terreni all'epoca paludosi, imboniti attraverso il riporto di ingenti volumi di residui di lavorazione delle

attività della prima zona industriale e chiuso tra il 2009 e 2010 con relativa dismissione e demolizione degli impianti.

Le elevate concentrazioni di composti alifatici clorurati interessano, in particolare, un settore centrale del sito, ove la presenza di un paleoalveo ha comportato la scomparsa del livello argilloso impermeabile (denominato "Caranto") di separazione dei materiali di riporto dagli orizzonti sabbiosi, costituenti l'acquifero di prima falda.

In questo settore specifico è stato realizzato un sistema di bonifica composto da una doppia diaframmatura associata al trattamento *in situ* dei terreni mediante una serie di pozzi in emungimento (*Multi-Phase Extraction*).

L'applicazione della metodologia proposta ha permesso di ricostruire in tre dimensioni l'assetto geologico ivi presente e verificare la corretta installazione del barrieramento fisico, immerso sulla base argillosa del primo acquifero.

### Inquadramento geologico e dati di partenza

Il *dataset* di partenza si compone delle informazioni spaziali e delle schede stratigrafiche di 63 sondaggi, fornite dall'Autorità Portuale di Venezia. L'analisi delle schede stratigrafiche ha confermato l'assetto geologico ed idrogeologico tipico del territorio di Porto Marghera, composto nel caso specifico in successione da:

- uno strato eterogeneo di riporto di spessore variabile (4-5 m da p.c), sede di un livello saturo associato alle acque di impregnazione del riporto stesso. Di fatto, l'alimentazione di tale livello

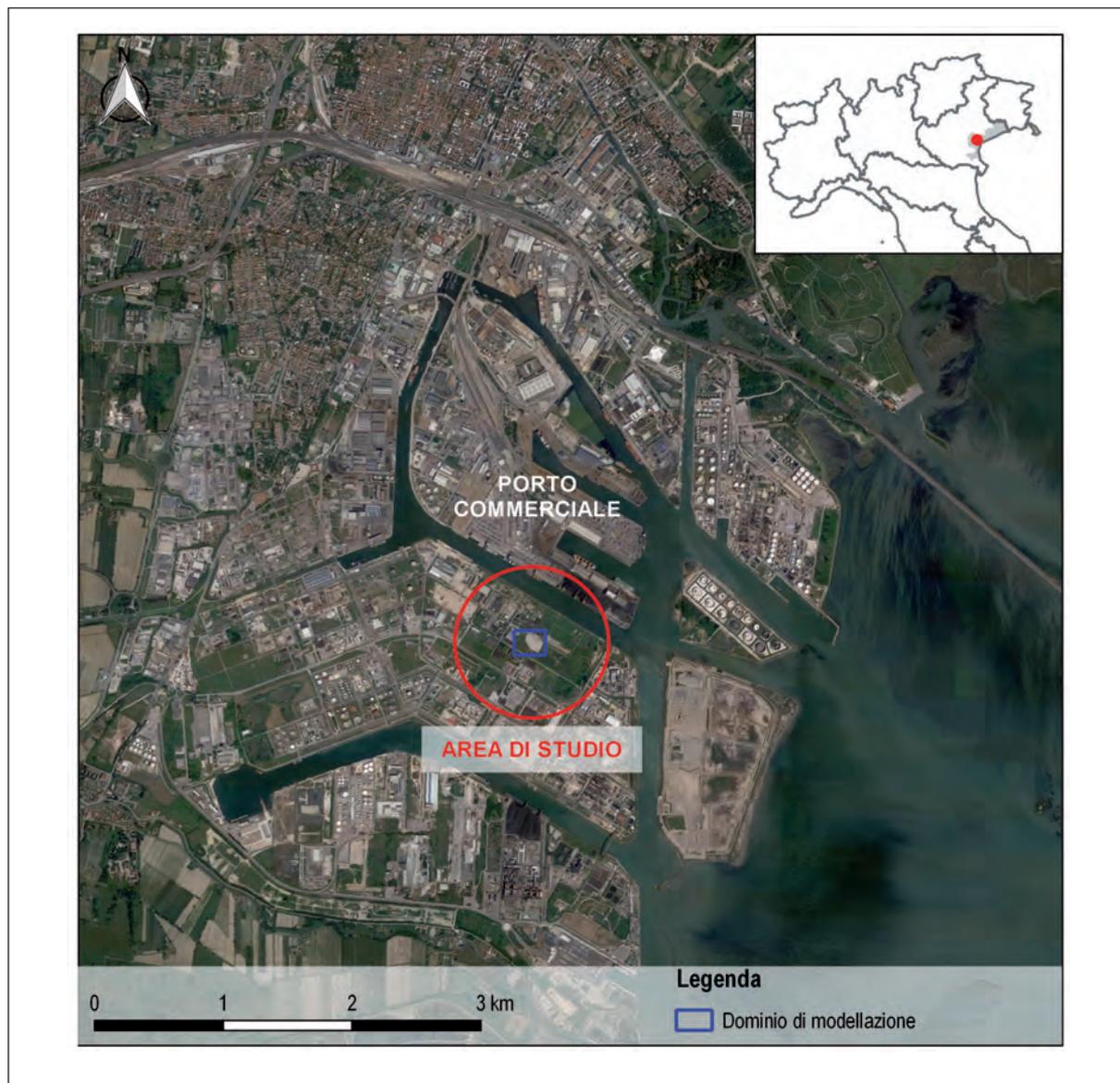


Figura 2: Descrizione architettura di sistema

Figure 2: Scheme of the software tools

Figura 3: Inquadramento sito

Figure 3: Location and general view of the study area



saturo è strettamente connessa agli apporti meteorici e la circolazione dipende fortemente dalla rete di canali presenti, dalla disposizione dei riempimenti e dalla presenza di manufatti che possono alterare il naturale deflusso;

- sedimenti fini olocenici di origine di canale (Barena) con spessore dell'ordine di 1-2 m;
- un livello consistente di argilla limosa

pleistocenica sovraconsolidata (Caranto) con spessore compreso tra i 3-5 m;

- un livello di sabbia limosa, il cui limite inferiore si attesta mediamente sulla profondità compresa tra 15 e 19 metri da p.c., ed in cui risiede il primo acquifero, sede di una falda confinata in pressione, caratterizzata da bassi gradienti e basse velocità. Nel complesso dunque

l'acquifero confinato si presenta come un sistema a ridotta circolazione idrica, in cui l'acqua tende a permanere nei materiali sabbiosi limosi.

### Passaggi gestiti da procedure automatizzate

Sulla base del modello concettuale delineato è stato implementato un database relazionale geografico integrato alla piattaforma di interfaccia grafica GIS. L'utilizzo di un database relazionale ha permesso di ottimizzare la struttura dati, al fine di ridurre la ridondanza e normalizzare il dato. La struttura dati che è stata implementata facilita l'inserimento e la normalizzazione di nuove schede stratigrafiche, attraverso procedure automatizzate di codifica per l'archiviazione dei sondaggi.

Una prima fase di decodifica delle informazioni litostratigrafiche è stata realizzata con ausilio del codice standard provinciale (Provincia di Venezia, 2013). Fra i criteri decisionali per classificare le unità litologiche, viene considerata l'origine deposizionale ed il grado di permeabilità.

Per le finalità del presente studio, all'interno del

database è stato inserito un ulteriore codice per raggruppare e semplificare in unità stratigrafiche funzionali l'assetto geologico, come riportato in Tabella 1.

Dopo aver compilato il geodatabase, i dati litologici sono stati convertiti automaticamente da bidimensionali a tridimensionali. Tale procedimento precede l'applicazione degli algoritmi di interpolazione spaziale che permettono di ottenere la distribuzione dei volumi delle diverse classi litologiche semplificate, ovvero di generare il primo modello stratigrafico 3D.

La disponibilità di questo modello in un ambiente grafico GIS 3D ha consentito di verificare interattivamente i rapporti litostratigrafici intercorrenti tra le diverse unità mediante un iniziale confronto diretto con i dati geognostici reali (Figura 4).

La disamina del modello geologico ha riguardato poi l'analisi dell'assetto, che è stato verificato con sezioni bibliografiche di dettaglio contenute nella documentazione bibliografica fornita. In questo caso la calibrazione del modello è stata effettuata mediante confronto tra sezioni dinamiche ricostruite

Unità Stratigrafica	Codice di Applicazione	Descrizione	Codice Standard Provinciale
Riporto	1	Materiali di imbonimento derivanti dai residui di lavorazione contraddistinti dalla presenza di fanghi neri e rossi	7001-7002-7003
Argilla	2	Sedimenti olocenici di origine di canale (Barena) e depositi pleistocenici che fungono da base del primo acquifero in pressione	1400-2210-2400
Caranto	3	Argilla sovraconsolidata che funge da separazione idraulica tra la falda sospesa di impregnazione dei depositi ed il primo acquifero. Tale separazione è assente in corrispondenza del tratto di paleoaveo in cui il materiale di riporto è in contatto con i depositi pleistocenici sabbiosi	1900
Sabbia	4	Depositi sabbioso limosi, sede del primo acquifero in pressione	1230-2230-3220-3400

Tab. 1 - Descrizione dei codici di applicazione

Tab. 1 - Main characteristics of the model layers implemented

con il modello lungo le tracce di quelle ricavate da bibliografia e quest'ultime (Figura 5).

In Figura 5 si riporta infatti la comparazione tra una sezione bibliografica e la sezione estratta dal modello, con in rilievo la struttura tridimensionale del paleoalveo.

La possibilità di realizzare sezioni litostratigrafiche, con passo definito lungo una determinata direzione, ha messo in evidenza la struttura del paleoalveo, laddove vi è contatto diretto dei materiali di riporto con i depositi sabbiosi.

L'ansa fluviale si sviluppa e si riconosce lungo l'area

priva di Caranto, con profondità massime di incisione di ca. 7.0 m da p.c., proprio in corrispondenza della sponda concava dove l'erosione accentuata ha condotto all'imbonimento con spessori di riporto maggiori.

A seguito della taratura e verifica del modello geologico definitivo, si è proseguito con l'estrazione dei volumi di ogni singola litologia (riporto, argilla, caranto e sabbia).

Appurato il modello litologico tridimensionale, è stato inserito il sistema di barrieramento fisico secondo le caratteristiche di progetto: di fatto, l'intervento, che realizza l'infissione di palancole nelle argille di base della falda confinata, si configura a tutti gli effetti anche come un'opera d'incapsulamento della prima falda e di contenimento idraulico delle acque presenti nei riporti.

Il perimetro del sistema di palancole è stato digitalizzato in ambiente GIS, previa georeferenziazione delle cartografie contenute nel Progetto di Bonifica. In seconda battuta si è avviato un processo

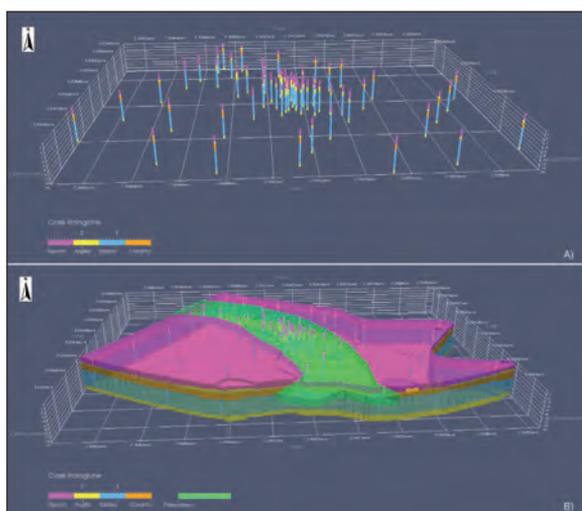
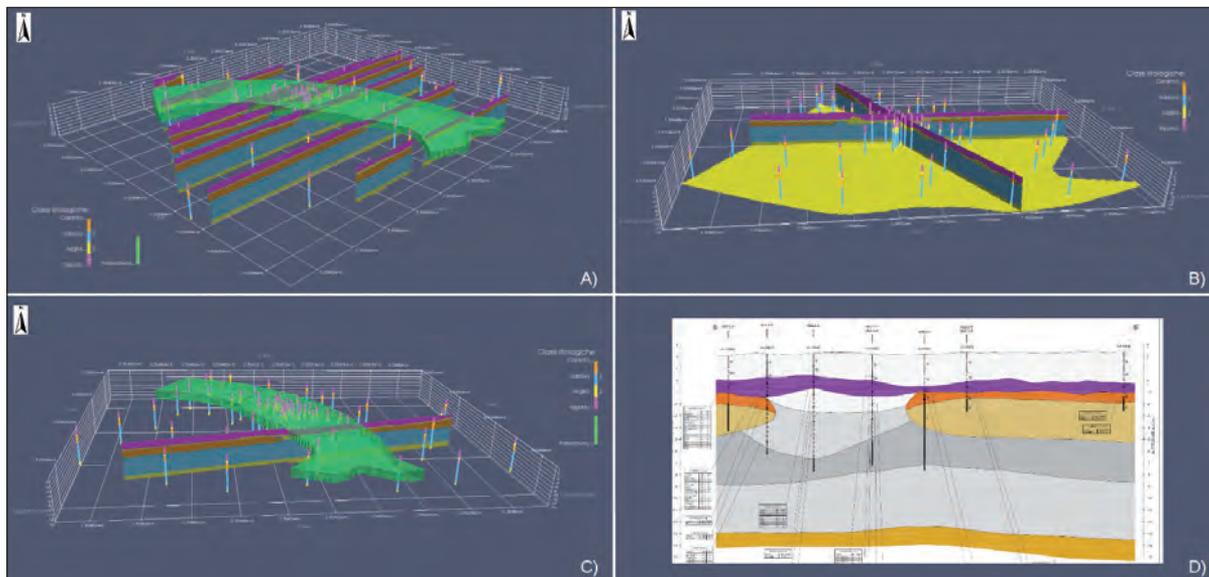


Fig. 4 (a fianco) - Ubicazione sondaggi e modello litostratigrafico 3D

Fig. 4 - Stratigraphic columns and three-dimensional geological model

Fig. 5 (in basso) - Sezioni litostratigrafiche e confronto con dati bibliografici

Fig. 5 - Cross-sections of the study area and comparison to the bibliography



di conversione dell'elemento vettoriale bidimensionale in 3D e si è osservata la corretta profondità di infissione nel livello argilloso continuo spazialmente, posto a 15-18 m dal piano campagna (Figura 6). Grazie alla realizzazione del modello del sottosuolo è stato dunque possibile mettere in evidenza l'andamento tridimensionale dei corpi geologici e il loro rapporto con gli elementi di progetto.

Sulla base del modello geologico definitivo è stato stimato il volume dei litotipi presenti (Figura 7).

A titolo sperimentale e dimostrativo si è inoltre implementato un modello di flusso 3D, sollecitando l'acquifero sabbioso confinato con l'azione di 3 pozzi in emungimento (Figura 8).

**Tabella 2** – Stima volumi dei litotipi

**Table 2** – Estimation of the stratigraphic units volume

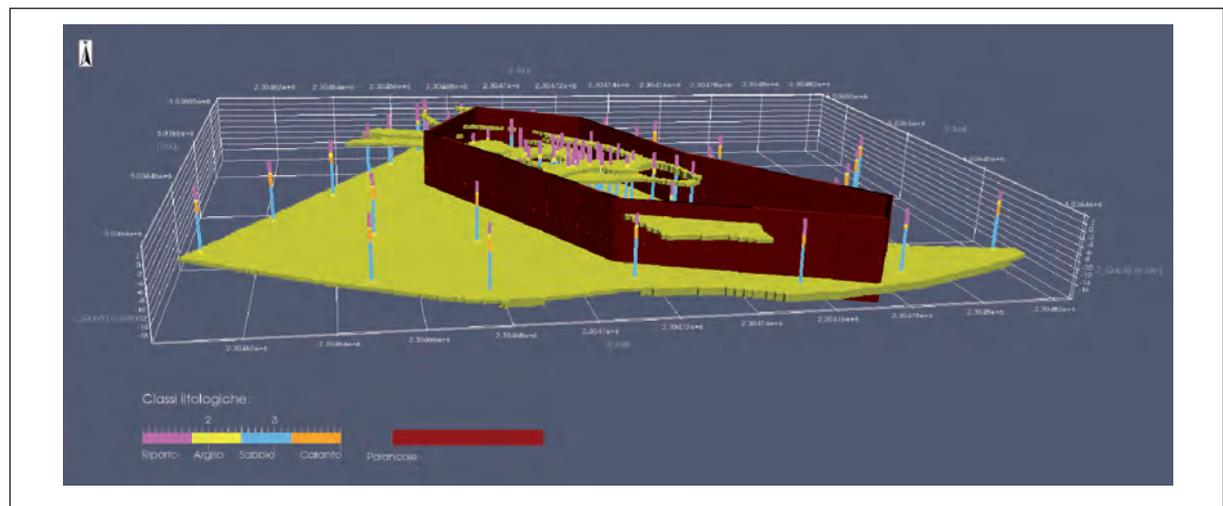
Litotipo	Riporto	Argilla	Caranto	Sabbia
VOLUME [mc]	60232	35951	19495	211240

## Vantaggi della metodologia

Dal caso studio esaminato si evincono molteplici vantaggi connessi alla realizzazione di un modello tridimensionale. Il modello oltre a consentire una

visione d'insieme più chiara ed intuitiva della geologia e geomorfologia del sottosuolo permette di:

- impostare una struttura dati di archivio semplice, organizzata e facilmente aggiornabile, in cui i diversi insiemi di dati sono catalogati ed uniformati secondo un codice predefinito dall'utente,
- inserire nel database spaziale sia i dati delle indagini geognostiche dirette che indirette. In particolare è stata implementata in *PostGis* una procedura specifica che permette di compilare una tabella di dati stratigrafici, digitalizzando i punti notevoli di sezioni geologiche, adeguatamente scansionate e georiferite in maniera tale da ottenere la sequenza stratigrafica in 3D ereditando in automatico la quota reale da un *DEM* di origine,
- interrogare ed elaborare le informazioni memorizzate nel database relazionale mediante query estremamente rapide e sequenziali. Definita una sequenza di comandi questi possono essere reiterati molteplici volte senza comportare l'esecuzione di ogni singolo *step* del procedimento sviluppato,
- disporre di *preview* dinamiche dei dati geognostici elaborati in tre dimensioni. Questa prima modalità di visualizzazione dei dati di utilizzo



**Figura 6:** Verifica dello stato di ammassamento delle palancole

**Figure 6:** Check of the clamping state of the sheet piles

Figura 7: Stima volume terreni di riporto

Figure 7: Estimation of the shallow subsoil volume

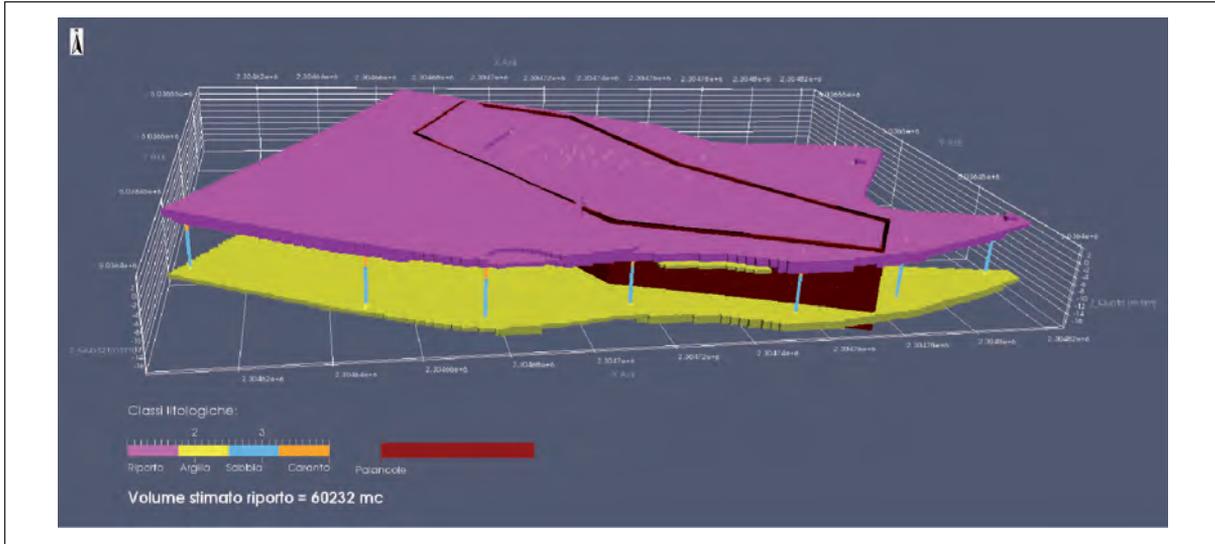
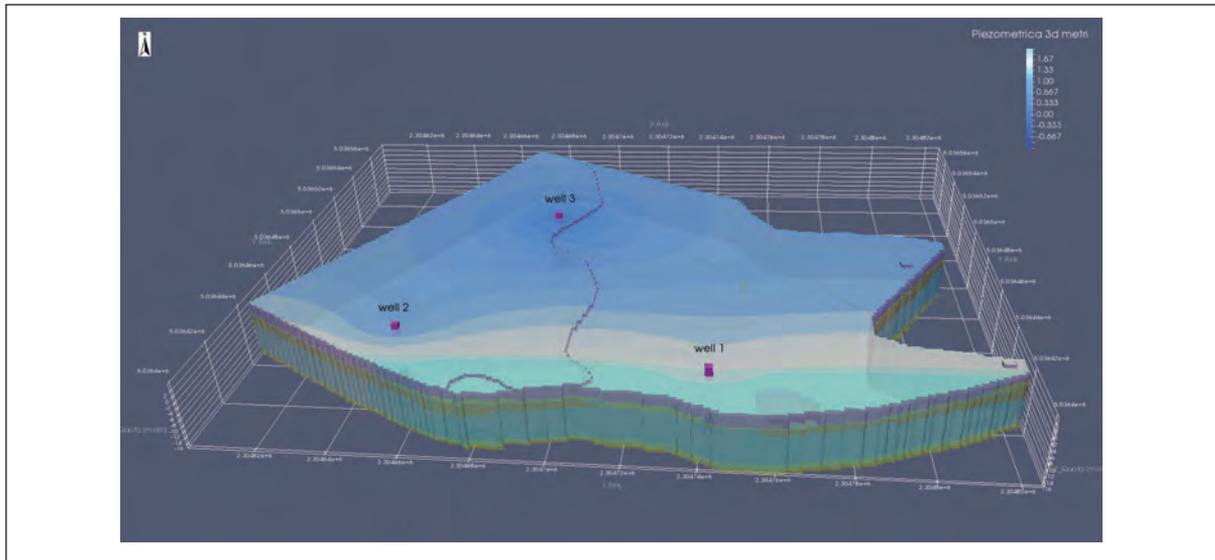


Figura 8: Andamento piezometrico 3d con 3 pozzi in emungimento

Figure 8: Simulated groundwater head with three pumping wells



permette di verificare il corretto inserimento di quest'ultimi nel database, la validazione o meno del modello concettuale di partenza e la verifica di eventuali forme geomorfologiche nel sottosuolo,

- delineare innumerevoli sezioni dinamiche in direzione longitudinale, trasversale e planare.

Le sezioni possono essere tracciate con un passo di campionamento prestabilito e possono essere visualizzate contemporaneamente su più orientazioni. Questo permette di analizzare, ad esempio, l'andamento e la continuità spaziale delle unità idrogeologiche nel sottosuolo, quali acquiferi, acquitardi ed acquicludi.

L'implementazione delle sezioni tracciate è estremamente rapida e la loro modifica flessibile,

- suddividere in pacchetti litologici il modello configurato e calcolare gli isovolumi,
- introdurre qualsivoglia elemento antropico e capire come questo si inserisce nella ricostruzione litologica del sottosuolo. Questo elemento è particolarmente importante perché permette di agevolare in prima fase la progettazione impiantistica ed in seconda fase il collaudo dell'installazione,
- essere utilizzato come base di *pre-processing* per l'implementazione di modello di flusso 2D e 3D in acquiferi confinati, non confinati in regime statico e dinamico con codici di calcolo numerici presenti in *GRASS GIS* (Gebbert, 2007).

## Conclusioni

La metodologia descritta si pone l'obiettivo di dimostrare la validità dell'utilizzo di software *Open Source* nella gestione del "dato geologico" finalizzata alla realizzazione di modelli tridimensionali complessi.

La procedura implementata si configura in un'ottica di versatilità dell'analisi e dell'output valorizzando tutti i dati a disposizione inerenti il sottosuolo. Essa si rivolge principalmente a tutti gli studi geologici e ingegneristici dove è richiesta l'elaborazione, l'analisi e la stima volumetrica di un modello geologico quindi sia nel campo applicato (idrogeologia, ambientale, geotecnica, sismica, geotermia, attività estrattiva) che nell'ambito di studi di carattere generale di aree a differente scala, con tutti i vantaggi e i potenziali di sviluppo determinati dall'ambiente 3D.

## Ringraziamenti

Gli autori ringraziano per la disponibilità in termini di dati e confronto propositivo: l'Ing. Bisello (Direttore tecnico - Autorità Portuale di Venezia), la Dr.ssa Citron (Responsabile Area Ambiente - Autorità Portuale di Venezia) ed il Servizio Geologico Difesa del Suolo e Tutela del Territorio della Città Metropolitana di Venezia.

Un particolare ringraziamento al Dr.

Enrico Ferreguti (Analista spaziale) per il supporto nell'implementazione di alcune procedure.

## Bibliografia

BONDESAN A., PRIMON S., BASSAN V., VITTURI A. ET AL. (2008) – *Le unità geologiche della provincia di Venezia*, Provincia di Venezia e Università di Padova  
Corti P., Kraft T.J., Mather S.V. (2014) – *PostGIS Cookbook*

ENVIRON Italy S.r.l., Ufficio di Milano (2008) – Progetto di Bonifica dei suoli del sito Montefibre di Porto Marghera (VE)

FABBRI P., ZANGHERI P., BASSAN V., FAGARAZZI E., MAZZUCATO A., PRIMON S., ZOGNO C. (2013) – *Sistemi Idrogeologici della Provincia di Venezia - Acquiferi Superficiali*, Provincia di Venezia e Università di Padova

GEBBERT S. (2007) – *Konzeption eines gekoppelten Strömungs- und Stofftransportmodells in GIS GRASS*, Università tecnica di Berlino

JUBA S., VANNAHME A., VOLKOV A. (2015) – *Learning PostgreSQL*

MITASOVA H., MITAS L., HARMON R.S. (2005) – *Simultaneous spline approximation and topographic analysis for lidar elevation data in open source GIS*, IEEE GRSL 2 (4), 375- 379

MITASOVA H., MITAS L., BROWN B.M., GERDES D.P., KOSINOVSKY I. (1995) – *Modeling spatially and temporally distributed phenomena: New methods and tools for GRASS GIS*. *International Journal of GIS*, 9 (4), special issue on Integrating GIS and Environmental modeling, 433-446

OBE R., HSU L. (2017) – *PostgreSQL: Up and Running*, 3rd Edition. A Practical Guide to the Advanced Open Source Database

VITTURI A. (2011) – *Atlante Geologico della Provincia di Venezia*, Provincia di Venezia

Piacenza, 3-6 Ottobre 2018



# GEO FLUID

## Drilling & Foundations

22<sup>a</sup> Mostra Internazionale  
delle Tecnologie ed Attrezzature  
per la Ricerca, Estrazione  
e Trasporto dei Fluidi Sotterranei

[www.geofluid.it](http://www.geofluid.it)



2018 **Mostra Internazionale** International Exhibition



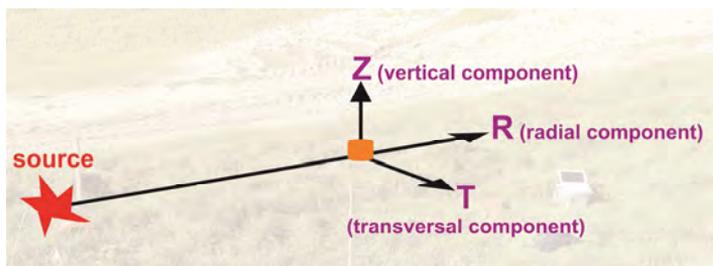
The most important international  
event for Drilling & Foundations



## IL MONDO *HOLISURFACE*<sup>®</sup>: DI PIÙ, MEGLIO, CON MENO SFORZO

Cosa puoi fare con un geofono triassiale o poco più? Molti, nell'Italia delle NTC, sono portati a pensare che l'HVSR sia l'unico utilizzo. In effetti, un **sistema di acquisizione progettato in modo adeguato**, rende possibile **acquisire dati utili ad una molteplicità di utilizzi** spesso poco noti o mal gestiti. Il problema è definire il proprio *sistema di acquisizione* (cioè la corretta combinazione di geofono/i, cavi e acquirente) avendo perfettamente chiare tutte le tipologie di analisi (quindi acquisizioni) che si possono e desiderano porre in essere. Grazie alla documentata esperienza di ricerca teorica e applicata, **Eliosoft** è in grado di fornire un sistema di acquisizione e analisi in cui ogni elemento dialoga perfettamente con tutti gli altri, ottimizzando e dando finalmente un *senso* a tutte le operazioni da effettuare.

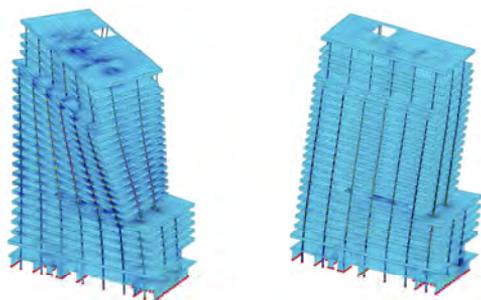
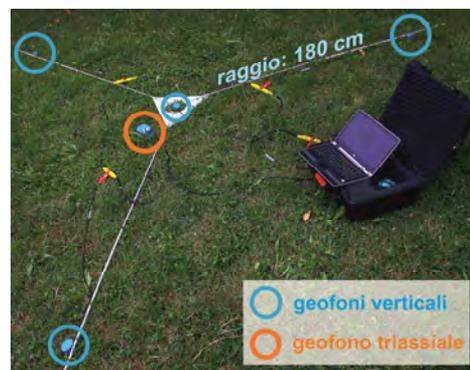
Per informazioni scrivi a: [holisurface@winmasw.com](mailto:holisurface@winmasw.com)



**Acquisizione congiunta per analisi HVSR e MAAM** (una sorta di mini-ESAC). La foto mostra i 4 geofoni verticali utilizzati per le acquisizioni MAAM (in questo caso il raggio è pari a 1.8 m) e quello triassiale per l'HVSR.

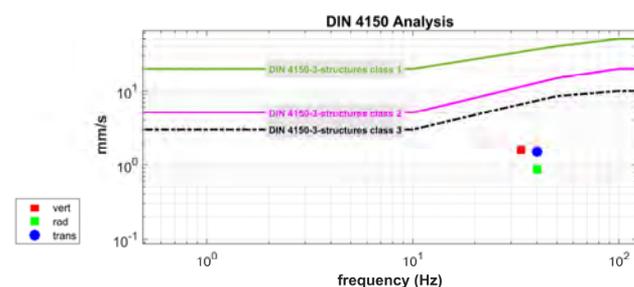
Ciò che si ottiene è la curva HVSR e la curva di dispersione effettiva che potranno poi essere modellate congiuntamente. Utile in particolare in ambienti urbani o in luoghi con limitato spazio a disposizione.

**Sismica attiva con unico geofono 3C (metodo brevettato)**. Dalle tre tracce attive, le procedure di analisi HS consentono di determinare e analizzare sino a 5 "oggetti" in grado di vincolare la soluzione (cioè il profilo  $V_s$ ) in modo molto più stringente di quanto possibile con una tradizionale MASW o ESAC/ReMi.



Grazie alla tecnica dei **grafici GHM (Gaussian-filtered Horizontal Motion)** da noi implementata e pubblicata, è possibile riconoscere se un certo modo vibrazionale di un edificio è di tipo flessurale o torsionale anche dall'analisi di dati non sincronizzati (acquisiti cioè da un'unica terna posta, in successione, in punti diversi della struttura).

Svariate attività di cantiere possono generare vibrazioni potenzialmente dannose tanto per gli edifici che per la salute dell'uomo. Con un adeguato sistema di acquisizione è possibile svolgere molti tipi di acquisizioni e analisi.



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



CONSIGLIO NAZIONALE  
DEI GEOLOGI

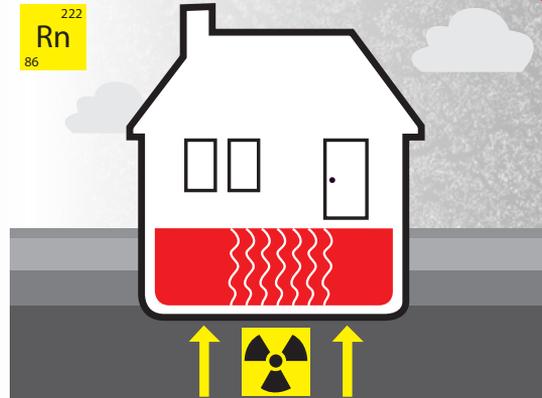
# Convegno Nazionale

Roma, 26 Ottobre 2018

Sala Convegni

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Piazzale Aldo Moro, 7



**RADON**  
**RISCHIO GEOLOGICO**  
dalla terra un pericolo invisibile  
per la salute: quanti lo conoscono?

## IL RADON È CONSIDERATO IL CONTAMINANTE RADIOATTIVO PIÙ PERICOLOSO NEGLI AMBIENTI CHIUSI

DA QUI, UN CONVEGNO NAZIONALE SULLE PROBLEMATICHE  
DEL RISCHIO PROVOCATE DA UNA ESPOSIZIONE AL GAS RADON  
IL CUI PRINCIPALE DANNO PER LA SALUTE  
È UN AUMENTO STATISTICAMENTE SIGNIFICATIVO  
DEL RISCHIO DI TUMORE POLMONARE.

APC – Saranno riconosciuti crediti formativi  
Ingresso gratuito fino a esaurimento posti

**PER INFO:**

[maristella.becattini@cngeologi.it](mailto:maristella.becattini@cngeologi.it)

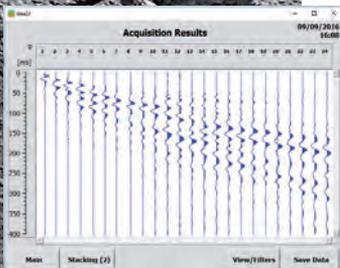
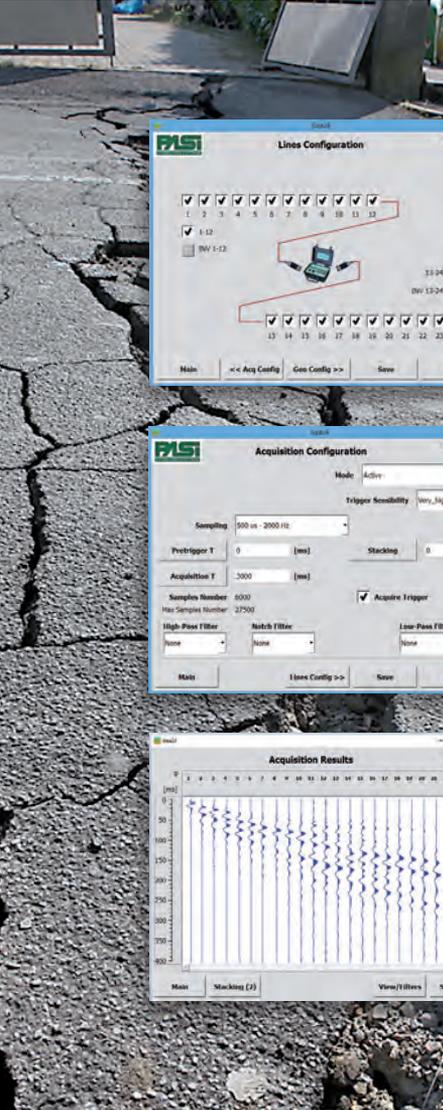
[www.cngeologi.it](http://www.cngeologi.it)

**“IL MEZZO GIUSTO  
PER RAGGIUNGERE  
L'OBIETTIVO”**



### Sismografo GEA24: affidabile · semplice · economico

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



**3DLG**



**RIFRAZIONE  
RIFLESSIONE SUPERFICIALE  
ONDE DI SUPERFICIE**

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

**HVSR / VIBRAZIONI**

abbinato al geofono 3D da superficie  
Mod.3DLG

**DOWNHOLE**

abbinato al geofono 3D da foro  
Mod.GFA

**CROSSHOLE**

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



**RADIOTRIGGER**

**Mini-prezzo !!!!**  
**5 ANNI DI GARANZIA**  
**A partire da 2800 € +IVA**  
**STRUMENTO +  
SOFTWARE DI GESTIONE**

#### CARATTERISTICHE PRINCIPALI:

**24 canali + trigger (AUX)**

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

**24 bit reali**, convertitore **AD Sigma-Delta**

**Intuitivo e facile da usare**

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

**Alimentazione da USB**

non necessita di batteria esterna!

Connettori per cavi sismici standard **NK2721C**

**Compatibile con tutti i geofoni analogici**

**Aggiornamenti gratuiti** software di gestione

**Compatto e leggerissimo**

(24x19.5x11cm – 2 kg)

Saremo presenti a: **Geofluid 2018** Piacenza, 3-6 ottobre  
**SAIE 2018** Bologna, 17-20 ottobre

# HoliSurface®

Tutto ciò che puoi fare con un unico geofono triassiale (o poco più)

- **HoliSurface® (HS):** analisi congiunta dispersione onde di superficie da sismica attiva multi-componente con unico geofono 3C (profilo Vs e Vs30/equivalente) **[metodo brevettato]**
- **HVSR** [Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio]
- **MAAM** [Miniature Array Analysis of Microtremors - una sorta di mini-ESAC]
- **Analisi vibrazionali di cantiere:** UNI9614 e DIN4150
- **Analisi vibrazionali di edifici:** metodo GHM per la determinazione di modi flessionali e torsionali (anche da dati non sincroni)
- **Standard Spectral Ratio (SSR) e Spectral Difference (SD):** amplificazione locale rispetto a sito di riferimento [utile ben al di là delle zonazioni sismiche]
- **Risposta Sismica Locale** [amplificazione di sito e spettri di risposta]

Svariati tools di gestione del dato, correlazioni geotecniche e molto altro

Alcuni dettagli all'interno di questo numero della rivista GTA