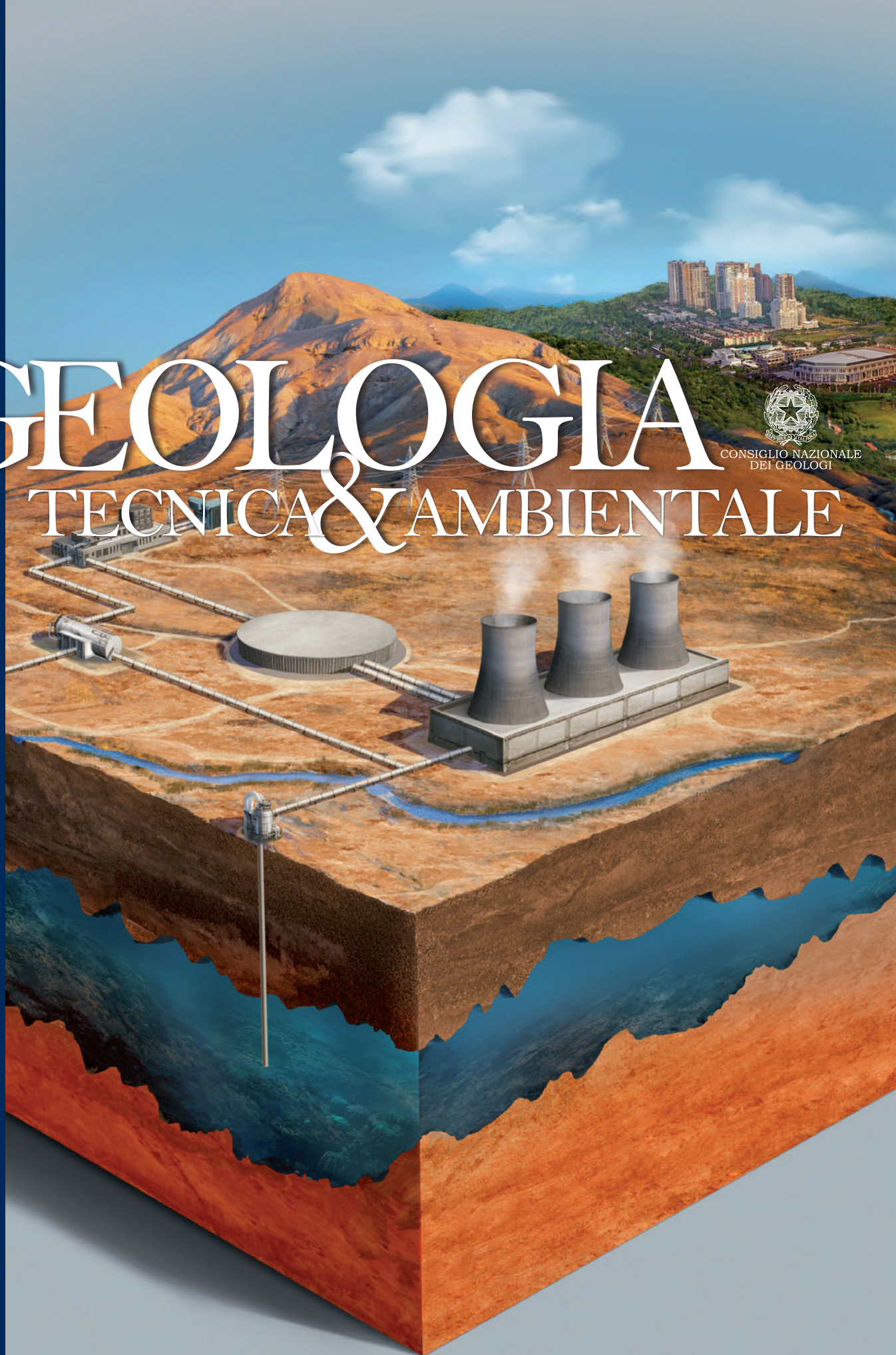


GEOLOGIA

TECNICA & AMBIENTALE



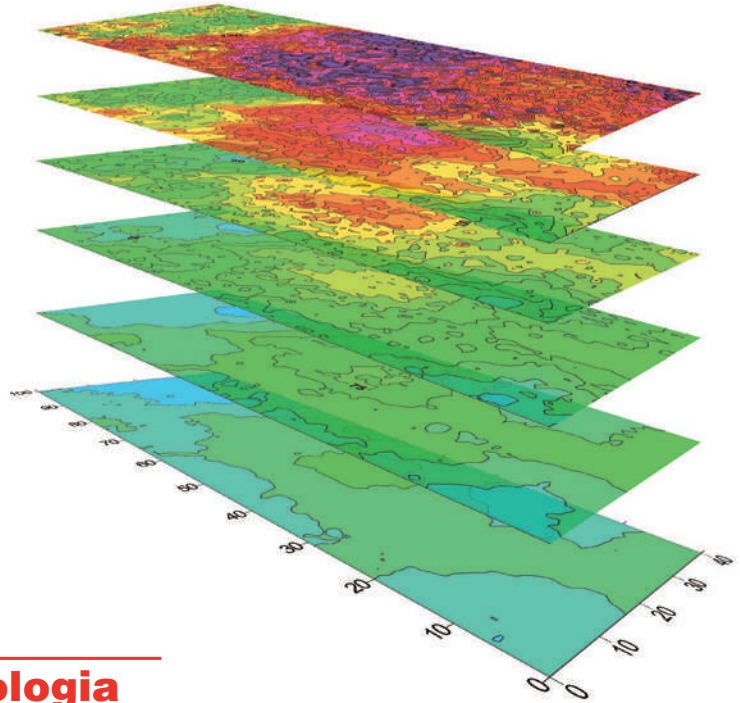
CONSIGLIO NAZIONALE
DEI GEOLOGI



Elettromagnetometri CMD

- > strutture e oggetti sepolti
- > indagini geologiche e geotecniche
- > archeologia, rilievi ambientali e stratigrafici
- > UXO – OBI (Ordigni Bellici Inesplosi)
- > indagini rapide e accurate da 0.15 a 60 m

Sottocontrollo.



Strumenti ad alta tecnologia anche a noleggio per:

Studio dei fondali e delle coste

Multibeam, SSS, SBP, droni idrografici ...

Monitoraggio ambientale

Magnetometri, sonde oceanografiche ...



Studio del sottosuolo

Georadar, sismica, geoelettrica ...

Ingegneria civile

Georadar 3D, laser scanner, inclinometri ...

Monitoraggio sismico

Sismometri, strong motion, reti early warning ...



CODEVINTEC

Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare

Codevintec rappresenta anche:

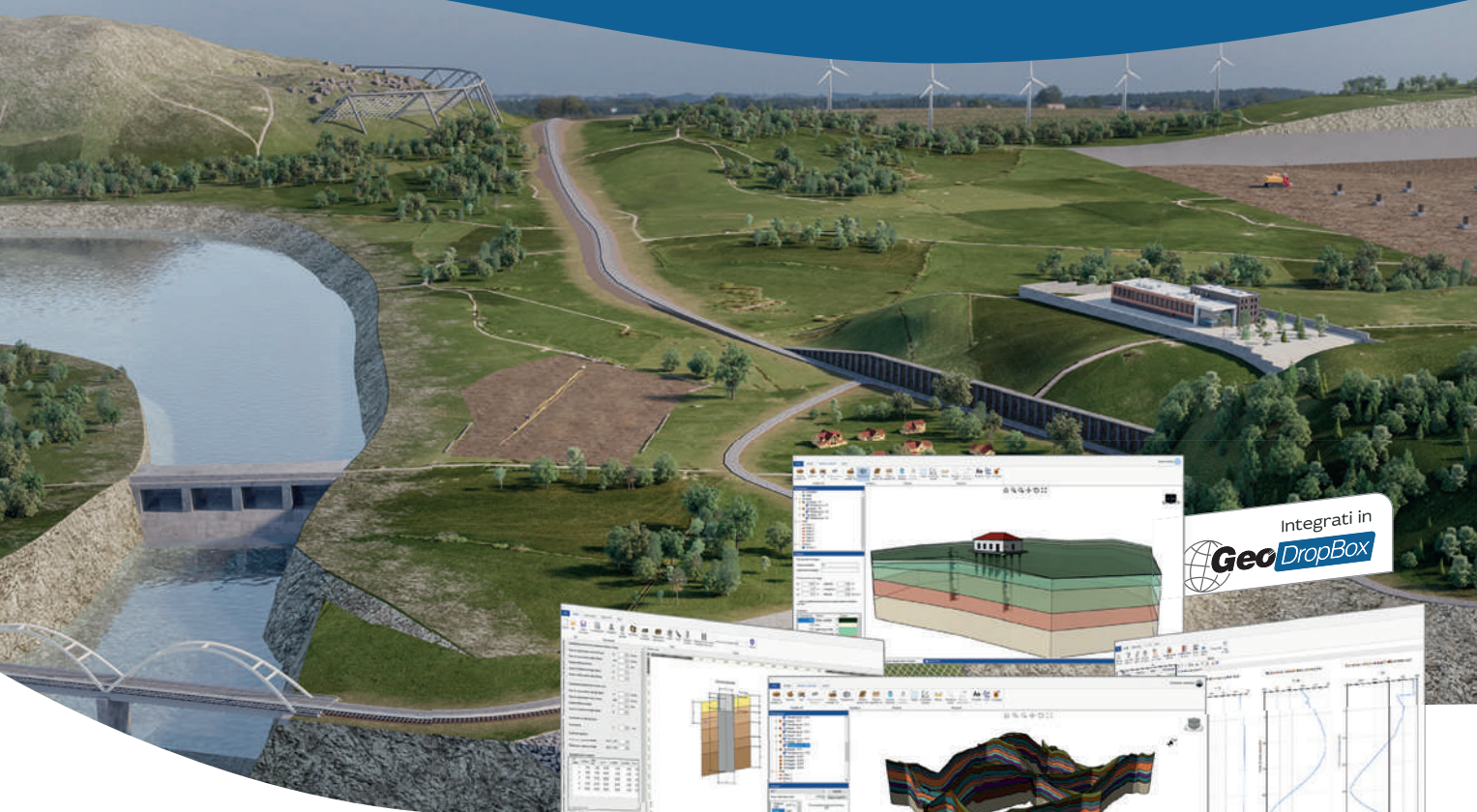


tel. +39 02 4830.2175 | info@codevintec.it | www.codevintec.it

GEOSTRU IL PARTNER GIUSTO PER LA TUA PROFESSIONE

Produciamo software di successo a livello mondiale.

Leggi la nostra storia su: geostru.eu/it/storiageostru



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

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

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

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



Per i lettori
in esclusiva un
codice di sconto!

Leggi il QR code

GM3D

SOFTWARE

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

SERVIZI GRATUITI PER I NOSTRI CLIENTI

alla pagina: geoapp.geostru.eu

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

NUOVI SOFTWARE E SERVIZI

- Nuove versioni Geostru 2022
- Risposta sismica locale 2D
- GFAS (Geotechnical and F.E.M. Analysis System)
- GeoDropbox 2022
- GeoApp 2022 (<https://geoapp.geostru.eu>)
- GeoStru 365
- Well Foundation (Progettazione e calcolo pozzi strutturali)
- GM3D (Modellazione Geologica/Geotecnica, 3D, BIM)
- RPD (Road Pavement Design)
- DeepFound (Analisi platee Pilate)

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





CONTATTACI PER UN PREVENTIVO

AQUA TROLL 200

AFFIDABILE. PRATICO. COMPATTO.

La soluzione più adatta per misurare e registrare il livello, la temperatura e la conducibilità dell'acqua.

LIVELLO, TEMPERATURA, CONDUCIBILITÀ

CORPO IN TITANIO

BATTERIA INTEGRATA

MEMORIA INTEGRATA

VENTED E NON-VENTED

ZERO MANUTENZIONE



CTD

WATEC.IT
WATER TECHNOLOGY

 **In-Situ**



Cardine Srl mette in sicurezza la tua città

Amalfi (SA) Lavori 2021

Cardine Srl fornisce opere mediante l'uso di tecnica alpinistica per la messa in sicurezza di pendii e costoni rocciosi grazie a rocciatori specializzati in lavori in quota su fune.



Oltre alle opere di mitigazione del rischio idrogeologico **Cardine Srl** si occupa anche di opere edilizie come le impermeabilizzazioni, ristrutturazione di edifici, manutenzioni edili e pareti a cappotto.



CARDINE SRL

LAVORI IN QUOTA

via Fangarielli, 5 – 84131 SALERNO
Tel. 089/301932 - E-mail: areatecnica@cardinesrl.it
www.cardinesrl.it

La sicurezza di grandi performance su ogni terreno.

GEO



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

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



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



 **COMACCHIO**

Quadrimestrale dell'Ordine Nazionale dei Geologi
N. 2/2022

DIRETTORE RESPONSABILE

Alessandro Reina

CO-DIRETTORI

Domenico Angelone

Rudi Ruggeri

COMITATO DI REDAZIONE

Arcangelo Francesco Violo, Filippo Cappotto, Domenico Angelone, Lorenzo Benedetto, Alessandra Biserna, Giovanni Capulli, Emanuele Emani, Daniele Mercuri, Mario Nonne, Rudi Ruggeri, Domenico Sessa, Paolo Spagna, Fabio Tortorici, Roberto Troncarelli, Valentina Casolini

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, Vincenzo Tripodi

SEGRETERIA DI REDAZIONE

Marina Berardi | segreteriaapc@cngeologi.it

DIREZIONE, REDAZIONE, AMMINISTRAZIONE

Consiglio Nazionale dei Geologi

Via Vittoria Colonna, 40 - 00193 Roma

Tel. 06.68807736 / 06.68807737 - Fax 06.68807742

SITO INTERNET

www.cngeologi.it

UFFICIO STAMPA

addebtostampa@cngeologi.it

PUBBLICITÀ

Agicom srl

Viale Caduti in Guerra, 28 - 00060 Castelnuovo di Porto (Roma)

Tel 06.9078285 Fax 06.9079256

agicom@agicom.it

www.agicom.it

GRAFICA E IMPAGINAZIONE

Agicom srl

Immagini: ©shutterstock.com

STAMPA

Stampa digitale

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

Questa rivista è disponibile online:

sfogliabile o scaricabile in formato PDF su cngceologi.it

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



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

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

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

Associato all'USPI, Unione Stampa Periodica Italiana.

GARANZIA DI RISERVATEZZA

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

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

PER GLI AUTORI:

Le Norme di Stampa sono consultabili sul sito cngceologi.it, nell'area Rivista.

9

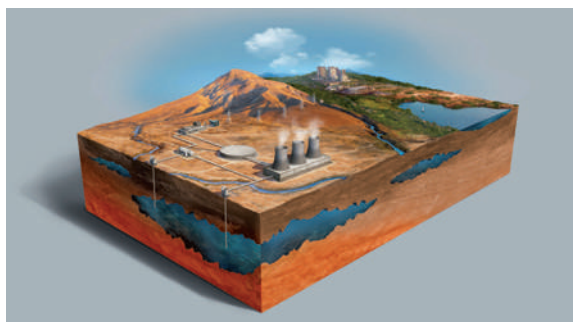
l'editoriale

A. Reina

11

il punto del presidente

A.F. Violo



14

Focus

E. Emani, P. Spagna

Il futuro del riscaldamento
e del raffreddamento
nel DM 'Geoscambio'

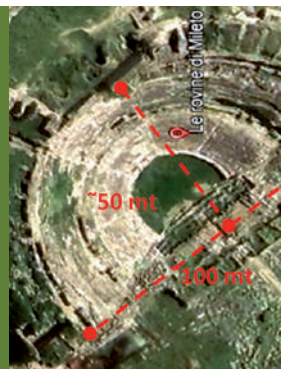


23

Geositi, Geoparchi & Geoturismo

A. G. Rota

Ricerca geoarcheologica
dei resti del centro urbano
della Sybaris arcaica
(730 a.C. ÷ 510 a.C.)

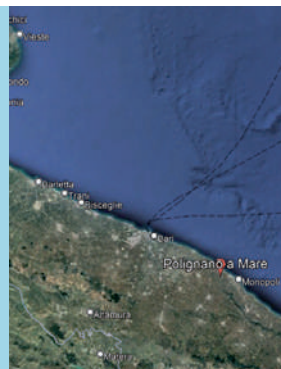


43

Dissesti e alluvioni

A. Reina, P. Greco

Intervento di mitigazione
del rischio di crollo di
una grotta marina lungo
la costa della città di
Polignano a mare
(Bari, Puglia)



SOLUZIONI PER L'AMBIENTE



**Registrazione e
trasmissione
remota dei dati**

(livello, temperatura, conducibilità)

**PIU' STRUMENTI PER PIU'
PARAMETRI**



**Ossigeno
disciolto**



Torbidità



**Conducibilità
e salinità**



Freatimetri

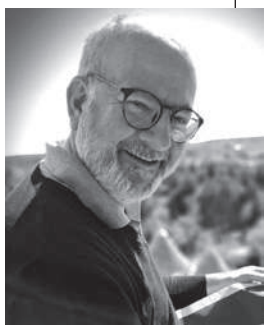


**Fotometro
portatile**



**Sonda
multiparametrica**





Alessandro Reina

Direttore Responsabile

“La colpa è del treno che è arrivato in ritardo”. Esiste la tendenza a non individuare i responsabili di un disservizio, bensì a trasferire la causa dello stesso generalmente e più facilmente su cose o eventi diversi dagli addetti ai lavori direttamente interessati: non è il treno che arriva in ritardo bensì sono le persone direttamente coinvolte nella gestione del traffico ferroviario che causano il ritardo. Se si verifica una frana che determina danni, la colpa non è della pioggia copiosa ma di chi ha determinato le condizioni di esposizione al pericolo della frana.

Dobbiamo combattere questo sistema. È necessario operare una rivoluzione culturale basata sulla ricerca delle vere responsabilità. Certo, l'aspetto umano per le persone che hanno un ruolo di responsabilità deve essere tenuto in considerazione ma anche le vittime e i danni non sono da sottovalutare.

La prevenzione è la giusta politica tra le attività da sviluppare e sostenere, anche se è probabilmente la meno visibile ed è quella che produce un ritorno di immagine meno brillante. È certamente più riconoscibile chi ha fatto avere finanziamenti per riparare danni rispetto a chi ha finanziato la prevenzione attraverso la realizzazione di studi e ricerche sul territorio. Sarebbe auspicabile proporre una grande mobilitazione delle professioni tecniche per sensibilizzare l'opinione pubblica e la politica sui temi della prevenzione, con maggiore efficacia.

Il nuovo numero di *Geologia Tecnica e Ambientale* propone un interessante Focus sulla Geotermia che sintetizza anche tutte le iniziative e le attività svolte in questi anni dal Consiglio Nazionale dei Geologi.

La lettura delle fonti storiche, l'interpretazione delle antiche mappe geografiche nonché un approfondito studio geomorfologico del territorio hanno permesso di ipotizzare l'ubicazione dell'antico sito del centro urbano della leggendaria Sybaris arcaica. La ricostruzione effettuata dal collega Amerigo Giuseppe Rota apre nuovi orizzonti storici e archeologici grazie alle evidenze geologiche del territorio.

Il connubio tecnico scientifico del lavoro proposto da Paolo Greco e da Alessandro Reina costituisce un esempio di collaborazione tra la geologia e la geotecnica finalizzata alla modellazione di un ottimale intervento di messa in sicurezza di una costa in falesia calcarenitica caratterizzata dalla presenza grotte poste al di sotto dell'abitato della città di Polignano a Mare (BA).

A tutti i lettori un forte augurio per un sereno e propositivo 2023.

Buona lettura.

ADALTA

Soluzioni software per le Geoscienze



Adalta propone in Italia da più di 20 anni l'utilizzo di alcuni tra i più importanti software al mondo per l'innovazione tecnologica, la ricerca e lo sviluppo.

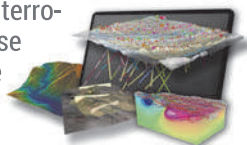
Centinaia di aziende private, istituzioni pubbliche, università italiane si avvalgono dei servizi di grandissima qualità offerti da Adalta: supporto nell'individuare il prodotto più adatto alle specifiche esigenze, consulenza e formazione per sfruttare al meglio le potenzialità del software.

Adalta ha selezionato nel proprio catalogo i seguenti software per rispondere alle necessità di geingegneri e geoscientisti.

Seequent - Oasis montaj

Il software leader per la modellazione di dati geofisici. Permette una comprensione avanzata della superficie sotterranea della terra e dell'ambiente marino.

All'interno di un unico dinamico ambiente 2D e 3D è possibile processare, mappare, interrogare e interpretare i dati, incluse indagini geofisiche, geochemiche e geologiche.



Seequent - Leapfrog

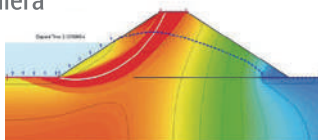
Permette di trasformare dati complessi in modelli chiari e di semplice interpretazione; la suite è articolata in 4 moduli che possono essere integrati per elaborare modelli 3D di dati geologici del sottosuolo, stimare le risorse, verificare e tracciare il modello.



Seequent - GeoStudio

Un modello, uno strumento, molte analisi!

GeoStudio risponde in maniera completa a tutte le necessità di modellazione geotecnica e geoambientale.



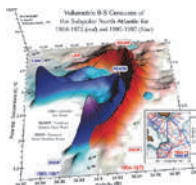
Seequent - Central

Consente di visualizzare, modificare, integrare e gestire i propri dati geoscientifici all'interno di un ambiente centralizzato monitorabile. È la soluzione ideale per condividere informazione in un team di tecnici o con i finanziatori del progetto.



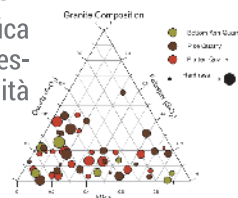
Golden Software - Surfer

Le potenti funzioni di mappatura, modellazione e analisi di Surfer aiutano a trovare le risposte alle domande più difficili e prendere decisioni consapevoli.



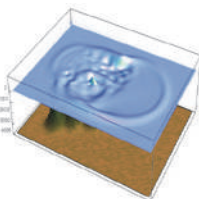
Golden Software - Grapher

Ottimo software tecnico di grafica scientifica per chiunque abbia necessità di creare grafici di grande qualità velocemente e facilmente.



Wolfram Technology

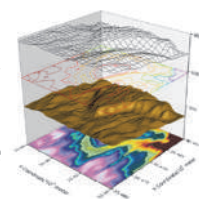
Simula le applicazioni di geoscienza con modelli completamente interattivi che incorporano un'elaborazione delle immagini all'avanguardia, dati geodesici integrati e la potenza di calcolo che solo Wolfram può fornire.



OriginLab - Origin Pro

Dai dati ai risultati.

È un software user-friendly e facile da apprendere che fornisce potenti funzionalità di analisi dei dati e di grafica scientifica di qualità, adatte alle esigenze di scienziati e ingegneri.





Arcangelo Francesco Violo

Presidente Consiglio Nazionale dei Geologi

La recente tragedia di Ischia stimola alcune riflessioni sulle attività di mitigazione del rischio idrogeologico e sulle procedure di allertamento. In questo contributo, provo ad esaminare alcuni aspetti problematici con l'obiettivo di sottolineare alcune criticità che meritano di essere quanto prima considerate e risolte attraverso accorgimenti normativi e procedurali.

Il delicato assetto geomorfologico del nostro Paese, reso vulnerabile da uno sviluppo antropico disordinato e spesso speculativo, dall'assenza di manutenzione del territorio e dalle sempre più frequenti piogge alluvionali che si abbattano sul territorio nazionale, in larga misura dovute ai cambiamenti climatici in atto, pongono drammaticamente in evidenza il problema del dissesto idrogeologico, dal quale ormai nessuna regione italiana può più considerarsi indenne. Negli ultimi venti anni infatti vi è stato un susseguirsi di eventi in tempi molto più ravvicinati che, oltre ad interessare regioni a rischio idrogeologico conclamato, si sono verificati anche in aree geografiche non particolarmente esposte rispetto alle conoscenze scientifiche note.

Ogni volta che si produce un accadimento del genere, il dibattito si incentra sulla necessità di affrontare la questione alla radice, prospettando soluzioni adeguate: la vulnerabilità del territorio, le manomissioni che la aggravano ulteriormente, la fragilità degli argini dei corsi fluviali, la conseguente insicurezza degli abitati, impongono l'urgenza di una più radicata cultura della previsione e della prevenzione, di interventi di bonifica e consolidamento nelle zone ad alta pericolosità, di sistemi di regimentazione delle acque, di sofisticate azioni di monitoraggio del territorio e di più diffusi sistemi di allerta, e – non da ultimo – di una capillare e continuativa attivazione degli organi della Protezione Civile, in quanto strumenti permanenti di tutela della incolumità delle persone e della salvaguardia dei territori.

Rispetto ad alcuni anni fa, le difficoltà registrate in merito all'attuazione degli interventi sono più organizzative che non finanziarie: spesso le risorse ci sono, non vengono spese perché non collegate a progetti cantierabili, bensì basati su ipotesi progettuali che poi vengono disattese, sia per cambi di indirizzo

politico che per difficoltà autorizzative.

L'ultimo rapporto ISPRA del 2021 traccia una mappa del rischio idrogeologico del nostro Paese che vede crescere le aree interessate rispetto all'anno precedente; circa il 94% dei comuni italiani è a rischio e circa 8 milioni di persone vivono in territori a rischio molto elevato per frane e alluvioni.

Uno scenario così vasto e complesso impone dunque la messa in campo di una strategia integrata di azioni di prevenzione e gestione del rischio idrogeologico (convivere con il rischio, il rischio zero non esiste).

Sarà dunque necessario attuare un piano pluriennale che preveda sempre di più l'impiego di risorse dedicate alla progettazione e realizzazione di INTERVENTI DI TIPO STRUTTURALE, cioè opere ed interventi di sistemazione e di consolidamento delle frane, utili ad evitare che i fenomeni si verifichino, si riattivino o comunque a mitigarne gli effetti. Tuttavia queste tipologie di interventi anche se utili e necessarie, da sole non possono consentire la soluzione di tutte le criticità presenti sul territorio.

Occorre dunque realizzare anche una serie di AZIONI e INTERVENTI NON STRUTTURALI, mediante i quali contribuire significativamente alla prevenzione delle conseguenze dei dissesti ed operare una corretta gestione del rischio idrogeologico, tra cui segnalo:

- **Aggiornamento e approfondimento continuo dei Piani di Assetto Idrogeologico e di Gestione delle Alluvioni.** I PAI redatti dalle ex Autorità di Bacino rappresentano degli strumenti di pianificazione di eccellenza a livello europeo. L'evoluzione continua e le dinamiche geomorfologiche del territorio, anche in relazione ai cambiamenti climatici, non ci consentono però pause su questo tema. Molti PAI vanno aggiornati perché risalgono agli inizi degli anni 2000. In diversi casi inoltre non hanno coperto tutto l'intero territorio. Essendo gli stessi PAI un riferimento per la pianificazione territoriale, per la programmazione degli interventi strutturali e per la pianificazione di emergenza, aggiornarli è una necessità imprescindibile. Sono ormai più di 15 anni che non vengono stanziati fondi in tal senso.

Occorrerebbe inoltre procedere alla redazione dei Piani di Gestione delle frane prevedendo anche in questo caso le necessarie risorse economiche.

- **Adeguamento della Pianificazione Urbanistica Comunale.** Occorre incentivare i Comuni a recepire la Pianificazione di Bacino nei propri strumenti urbanistici. Questo consentirebbe finalmente di impedire le costruzioni nelle aree pericolose e di attuare uno sviluppo territoriale compatibile e sostenibile con l'assetto geologico del territorio.
- **Redazione ed Attuazione dei Piani di Protezione Civile,** quale supporto operativo fondamentale per la gestione delle emergenze al fine di ridurre il danno, in caso di eventi, soprattutto in termini di salvaguardia della vita umana. Molti Comuni li hanno redatti ma pochi li applicano durante le emergenze, anche per mancanza di fondi dedicati. Non vengono svolte esercitazioni, i cittadini non vengono informati, per cui i piani spesso risultano del tutto inefficaci, sia per la gestione delle fasi di allertamento che dell'emergenza.
- **Informazione alla cittadinanza** al fine di determinare popolazioni più resilienti. I cittadini devono essere messi a conoscenza dei possibili scenari di rischio che si possono verificare durante le emergenze e delle azioni e comportamenti che devono porre in essere per evitare di mettere a rischio la propria incolumità e quella degli altri. Come sappiamo molte delle vittime che si verificano durante gli eventi calamitosi sono dovuti a comportamenti sbagliati. Pensate ad esempio a quante persone rischiano o addirittura perdono la vita nei sottopassi o nei seminterrati allagati, o a quelli che attraversano i ponti con le auto durante gli eventi di piena.
- **Aggiornamento ed approvazione del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC),** è notizia recente che il governo ha finalmente inserito in agenda tale Piano, commissionato nel 2016 dalla Direzione generale del Clima ed Energia dell'allora Ministero dell'Ambiente e oggetto di numerose revisioni ma mai approvato, che si configura come uno strumento fondamentale di indirizzo per le istituzioni a tutti i livelli di governo del territorio ai fini dell'integrazione della tematica dell'adattamento negli strumenti di programmazione e pianificazione settoriale.
- Occorre infine investire anche nella **Manutenzione estensiva del territorio** la quale deve riguardare non solo fiumi e torrenti, ma anche i terreni presenti sui versanti che quando vengono abbandonati diventano concausa dei fenomeni di dissesto. Dunque si potrebbero prevedere incentivi economici per i privati nella realizzazione di opere

di manutenzione e di sistemazione che migliorerebbero le condizioni di stabilità e di assetto del territorio.

Presidio territoriale (PT)

Tra le azioni strategiche non strutturali di prevenzione e gestione del rischio idrogeologico a cui andrebbe data immediata attuazione, vi è senza dubbio il **Presidio territoriale (PT)** che consiste nell'attività di monitoraggio osservativo del territorio operata da parte di tecnici esperti attraverso l'osservazione diretta e in tempo reale, dell'evoluzione dei fenomeni in atto e dell'insorgenza di fenomeni precursori potenzialmente pericolosi per la pubblica e privata incolumità, in modo da dare efficacia alle misure non strutturali di previsione, prevenzione, mitigazione e gestione del rischio idrogeologico, peraltro già previste nell'attuale quadro normativo. Le informazioni provenienti dal Presidio territoriale concorrono, unitamente ai Bollettini/Avvisi di criticità emessi dai Centri Funzionali e ai dati provenienti dai sistemi di monitoraggio strumentale, alla decisione sull'eventuale attivazione delle fasi operative previste nella procedura dei Piani di Protezione Civile.

In base alle informazioni ricevute, i sindaci hanno il compito di attivare la fase operativa più adeguata per affrontare le criticità geo-idrologiche previste o in corso. La decisione su quale particolare fase operativa attivare non può infatti prescindere da un'adeguata conoscenza delle peculiarità dello stesso territorio in termini di pericolosità e di rischio, così come delle condizioni effettive locali che si stanno verificando in un dato momento.

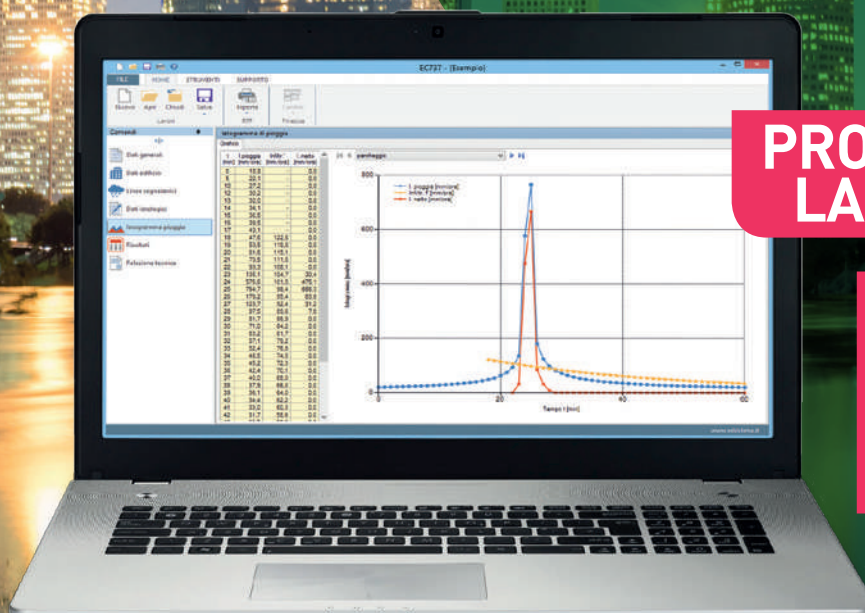
In un sistema di allertamento particolare rilevanza assumono l'accuratezza (spaziale e temporale) e la tempestività delle informazioni trasmesse dalla Protezione Civile regionale alle realtà locali. Analogamente, risulta fondamentale la capacità di pronta risposta delle Amministrazioni locali, soprattutto in corso d'evento, basata su un'adeguata conoscenza degli "scenari di evento" e dei conseguenti "scenari di rischio" - ovvero, dei fenomeni che possono verificarsi sul territorio, e dei conseguenti danni a persone e beni. Pertanto, la realizzazione del Presidio territoriale costituisce una delle principali attività da mettere in campo per una capillare ed efficace azione di prevenzione non strutturale sul territorio. Inoltre, tale attività, garantendo il monitoraggio osservativo del territorio nel tempo reale, a supporto delle fasi operative previste nei piani di emergenza comunali, costituisce una delle azioni più efficaci di adattamento ai cambiamenti climatici per finalità di protezione civile.

EC737

VER. 2

INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA

Il primo software per il
calcolo dei sistemi
a invarianza



**PROVA ORA
LA TRIAL**



Conforme al R.R. Reg. Lombardia n.8 del 19.04.2019 e alla direttiva Reg. Emilia Romagna

EC737 implementa i principali algoritmi richiamati nei regolamenti regionali

Il software calcola sia i sistemi di laminazione che quelli a infiltrazione

ASSISTENZA TECNICA QUALIFICATA E GRATUITA

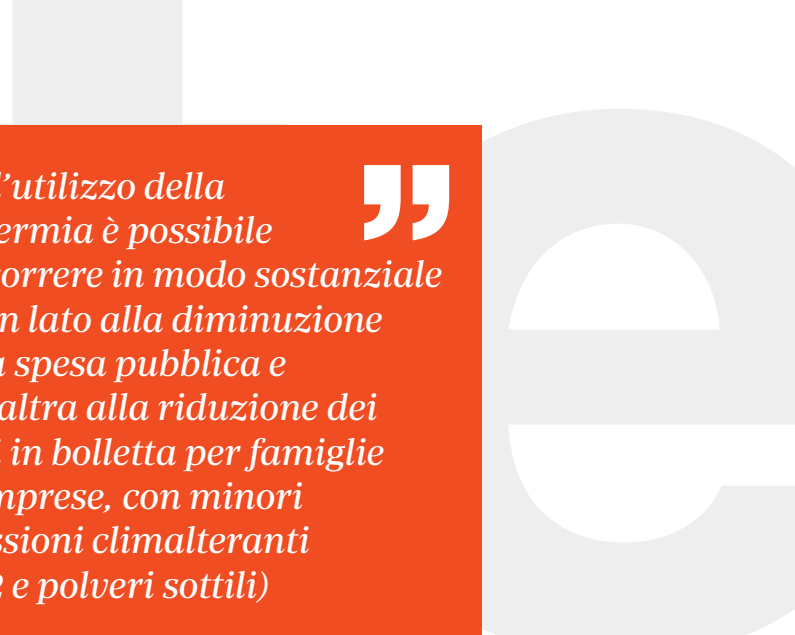
focus

Emanuele Emani
Consiglio Nazionale dei Geologi e
Coordinatore Piattaforma Geotermia

Paolo Spagna
Consiglio Nazionale dei Geologi e
Vice Presidente Fondazione Centro Studi del CNG

IL FUTURO *del* RISCALDAMENTO *e del* RAFFRESCAMENTO *nel* DM 'Geoscambio'





con l'utilizzo della geotermia è possibile concorrere in modo sostanziale da un lato alla diminuzione della spesa pubblica e dall'altra alla riduzione dei costi in bolletta per famiglie ed imprese, con minori emissioni climalteranti (CO2 e polveri sottili)



Il ministero della Transizione Ecologica, Roberto Cingolani, tra gli ultimi provvedimenti del suo mandato ha firmato, in data 30.09.2022, il cosiddetto Decreto "Geoscambio", una normativa tecnica molto attesa che è stata accolta con soddisfazione dal Consiglio Nazionale dei Geologi e dalla Piattaforma Geotermia, coordinata dal CNG fin dal 2014, avendone più volte sollecitato l'emanazione. Si è trattato, infatti, di rispondere al co. 6-ter, dell'art. 25 del D.Lgs. 119/2021, introdotto con l'art. 15 del decreto-legge n. 17 del 2022, che prevede, per le "piccole utilizzazioni locali", forme semplificate nel caso di installazioni di sistemi geotermici a circuito chiuso, statici, ovvero senza prelievo ed immissione di fluidi nel sottosuolo e con potenza inferiore a 2MW.

Il provvedimento, originariamente identificato come "Decreto Sonde Geotermiche" e che fa seguito al DL "Energia" del 01 marzo 2022, disciplina, finalmente a livello nazionale, una materia che aspettava da anni l'emanazione di regole uniformi per tutto il Paese, mentre ad oggi soltanto alcune Regioni, come Lazio e Lombardia, hanno ritenuto di adottarne una.

Prima però di entrare nel dettaglio del decreto è opportuno fare una panoramica generale sulla geotermia e su quelle che sono le diverse applicazioni, come già succede in molte parti del mondo laddove il calore terrestre viene utilizzato da tempo.

L'energia geotermica essendo calore che proviene dall'interno della terra, fondamentalmente per processi di decadimento di minerali radioattivi, è inesauribile e presente ovunque, rientrando pertanto tra le cosiddette sorgenti o fonti rinnovabili.

In relazione alla temperatura, che aumenta in condizioni normali di circa 3°C ogni 100m di profondità, la geotermia viene praticamente suddivisa in tre livelli:

Bassa entalpia ($T < 90^{\circ}\text{C}$), a cui fanno riferimento principalmente gli usi diretti del calore e per il riscaldamento e il raffrescamento, mediante pompe di calore, di edifici, di district heating, di processi produttivi e per il termalismo;

Media entalpia ($140 > T > 90^{\circ}\text{C}$) utilizzata soprattutto per il teleriscaldamento e la produzione di energia elettrica;

Alta entalpia ($T > 140^{\circ}\text{C}$) quasi esclusivamente per la produzione energia elettrica, ma anche per la produzione di derivati chimici per l'industria.

IL FUTURO DEL RISCALDAMENTO E DEL RAFFRESCAMENTO NEL DM 'GEOSCAMBIO'

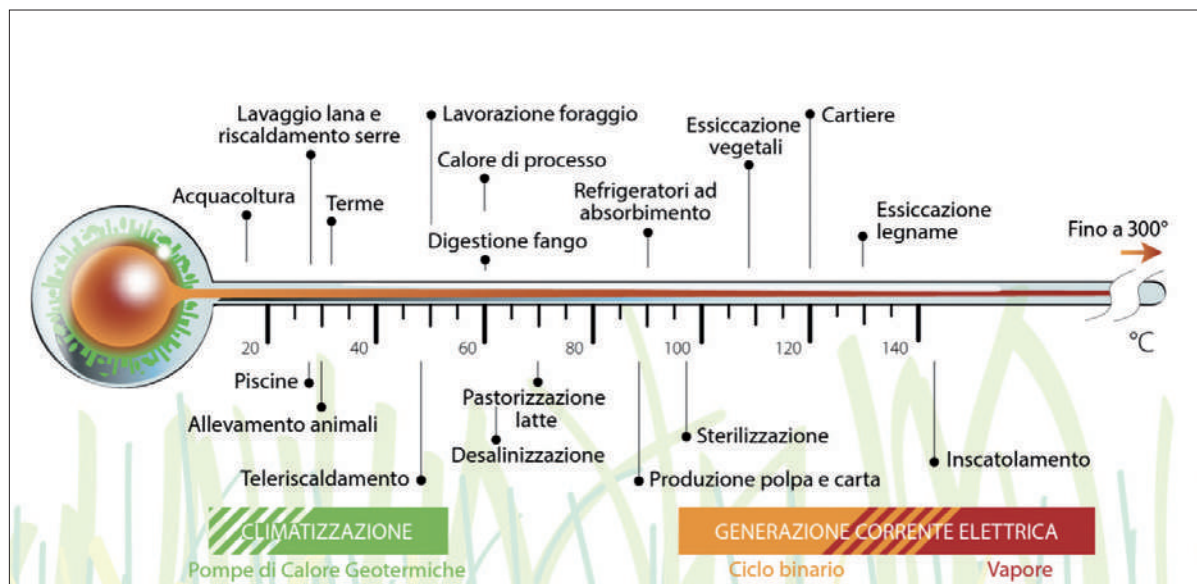


Fig. 1 | Diagramma di utilizzo della geotermia in base alla temperatura

Per conferma del mondo imprenditoriale sulle caratteristiche di stabilità e continuità di esercizio, la geotermia è in grado di offrire ottime prestazioni termiche che contribuiscono significativamente al quel mix energetico tra le rinnovabili che possono formare una reale alternativa al gas e alle altre fonti fossili, oggi principali responsabili della produzione di elementi climateranti. In parallelo, va inoltre considerata la questione "caro bollette", che attualmente affligge in modo considerevole famiglie e imprese, e per la quale la bassa e media entalpia possono davvero costituire la prossima frontiera da raggiungere. In verità, il recente Decreto "Geoscambio" già traccia questa via, ancorché per ora limitata alle piccole utilizzazioni locali. Ma il prossimo obiettivo sarà quello di proporre di ampliare la platea dei possibili utilizzatori, in quanto applicabile in qualsiasi condizione.

I benefici che ne conseguono, anche solo limitandoci ai sistemi di geoscambio a circuito chiuso, statico o dinamico, riguarda-

no soprattutto gli aspetti economici per le famiglie e le imprese, in termini di minore spesa in bolletta e per il settore imprenditoriale, in termini di ricadute occupazionali.

Sul piano invece dei benefici ambientali vanno considerate le significative riduzioni delle emissioni in atmosfera di CO₂, SO_x ed NO_x, tipiche del riscaldamento tradizionale. Ma ancor più positivi sono da considerare i benefici che riguardano l'impatto sulla salute pubblica, poiché sono ormai note le patologie cancerogene che ne derivano e che pertanto contribuiscono ad incrementare il tasso di incidenza.

Per quanto riguarda, invece, i benefici energetici che possono derivare dallo sfruttamento dell'alta entalpia, oggi purtroppo limitata ad un contributo pari allo 0,7% del fabbisogno nazionale, il risparmio in termini economici per il bilancio dello Stato si tradurrebbe anche in termini politici in una minore dipendenza dagli Stati detentori di fonti energetiche primarie (petrolio e gas) e secondarie (nucleare).

In sintesi, con l'utilizzo della geotermia è possibile concorre in modo sostanziale da un lato alla diminuzione della spesa pubblica e dall'altra alla riduzione dei costi in bolletta per famiglie ed imprese, con minori emissioni climateranti (CO₂ e polveri sottili). La geotermia, inoltre, può essere da stimolo per nuove forme di sviluppo ed innovazione nel campo della ricerca applicata al reperimento di minerali strategici per l'industria dell'informatica, delle telecomunicazioni e spaziale, ma anche per la ricerca di soluzioni innovative in campo urbanistico con il teleriscaldamento e con le comunità energetiche.



La Piattaforma Geotermia

La Piattaforma Geotermia, nata nel 2014 in seguito ad interlocuzioni tra il Consiglio Nazionale dei Geologi e i Ministeri dello Sviluppo Economico e dell'Ambiente, che hanno visto con favore la nascita di un Organismo autorevole ed affidabile che coinvolgesse le Associazioni e gli Enti maggiormente rappresentativi in termini di conoscenza scientifica ed imprenditoriale della Geotermia, che potessero trovare punti comuni di discussione sulla valorizzazione di questa fonte energetica green, di valutarne le diverse applicazioni e giungere quindi ad una proposta normativa che prevedesse possibili modalità di incentivazione e che tenesse conto della necessità di semplificare le procedure nel rispetto della qualità della progettazione e dello sviluppo della ricerca e dell'innovazione.

Con questi presupposti, il Consiglio Nazionale dei Geologi si è pertanto orientato verso la costituzione di un tavolo, coordinato appunto dal CNG, che potesse riunire e far discutere tra loro, tutti i principali stakeholders che hanno specifiche competenze nel settore della geotermia e che in particolare nell'ultimo anno ha raggiunto un consistente numero di partecipanti come: il Consiglio Nazionale Ingegneri (**CNI**); Consiglio Nazionale dei Periti

Industriali e dei Periti Industriali Laureati (**CNPI**); il Gestore dei Servizi Energetici (**GSE**); l'ente di Ricerca sul Sistema Energetico (**RSE**); l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (**ENEA**); il Consiglio Nazionale delle Ricerche (**CNR**); il Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia (**ISPRA**); l'Istituto per l'Innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale (**ITACA**); l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (**INGV**); l'Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria Riscaldamento e Refrigerazione (**AICARR**); l'Associazione Nazionale Impianti Geotermia Heat Pump (**ANIGHp**); l'Associazione Nazionale Ingegneri Minerari (**ANIM**); l'Associazione Nazionale Idrogeologia e Pozzi d'Acqua (**ANIPA**); l'Associazione Nazionale Imprese Specializzate Indagini Geognostiche (**ANISIG**); l'Associazione Acque Sotterranee; l'Associazione Internazionale di Idrogeologi (**IAH Italia**); l'Associazione Italiana Riscaldamento Urbano (**AIRU**); la Federazione Industrie Prodotti Impianti Servizi ed Opere Specialistiche per le Costruzioni (**F.IN.CO.**); l'Unione Geotermica Italiana (**UGI**); Consorzio per lo Sviluppo delle Aree Geotermiche (**Co.Svi.G**). Inoltre, per specifici obiettivi sono stati costituiti il Tavolo Tecnico Geotermia (TTG), partecipato dai rappresentanti degli operatori nazionali e internazionali del settore del riscaldamento e del settore geotermoelettrico con l'obiettivo di approfondire le complesse tematiche della media ed alta entalpia ed è in fase di organizzazione il Tavolo per la Ricerca Geotermica (TRG), con lo scopo di mettere a confronto gli Enti pubblici e privati che si occupano di Ricerca e Sviluppo Geotermico.

Dai lavori della Piattaforma sono scaturite, oltre alla proposta normativa in questione anche alcuni eventi dedicati all'approfondimento e divulgazione della geotermia, atti a valorizzare e far comprendere non solo tra i professionisti che si occupano di questa materia, ma soprattutto nell'opinione pubblica, l'importanza ambientale ed economica delle sue diverse applicazioni.

IL FUTURO DEL RISCALDAMENTO E DEL RAFFRESCAMENTO NEL DM 'GEOSCAMBIO'



L'evento principale si è concretizzato negli **Stati Generali della Geotermia**, tenuto a Roma, in cui è stato possibile disegnare un quadro generale dello stato dell'arte nel nostro Paese e individuare alcune soluzioni per gli edifici e le imprese energivore, oggi pesantemente provate dalla crisi energetica in atto. L'evento ha avuto il privilegio di vedere la partecipazione del Ministro per la Transizione Ecologica, **Roberto Cingolani**, che ha riconosciuto attraverso l'importante lavoro svolto dalla Piattaforma anche quello di essere un organismo di interlocuzione privilegiato in tema di geotermia in Italia, nei confronti della quale ha voluto sottolineare l'indispensabile necessità della geotermia in un quadro strategico di approvvigionamento energetico da più fonti che rispettino gli standard di ecocompatibilità ambientale e di sostenibilità economica.

Questo appuntamento ha costituito un'importante occasione di rilancio del Paese e delle politiche di sostenibilità ambientale e sociale, oltre che un confronto su una tematica che è da ritenersi come imprescindibile condizione per tutti gli interventi che impattano sul territorio, come espressamente previsto dagli obiettivi principali del Piano, che pongono un'attenzione massima proprio nei confronti di due termini ormai utilizzati quotidianamente, cioè resilienza e sostenibilità.

II DM 'Geoscambio'

Il 30 settembre scorso, il ministro Cingolani ha licenziato il Decreto Geoscambio (pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale in data 14.10.2022), che prescrive le modalità di applicazione delle sonde geotermiche a circuito chiuso destinate alla climatizzazione degli edifici esistenti, definendo i casi in cui si può applicare la procedura abilitativa semplificata (PAS) e quelli che possono essere considerati di attività in edilizia libera, in conformità al DPR 380 del 2001, ovvero al Testo unico dell'edilizia.

Il provvedimento permette di avere, finalmente, un dettato normativo che uniforma la tematica della geotermia a bassa entalpia a livello nazionale, pur mantenendo vigenti le norme regionali esistenti. A questo proposito, si ritiene necessaria, a breve, una circolare esplicativa che anticipi e chiarisca eventuali conflitti dal punto di vista operativo tra quanto previsto nel DM Geoscambio e quanto invece prevedono le leggi regionali in vigore, rendendo così applicabile quanto indicato nell'art. 25, comma 6-quater del Decreto Legislativo 08.11.2021, n. 199, che recita: *"Sono fatte salve le modalità operative individuate dalle regioni che abbiano liberalizzato l'installazione di sonde geotermiche senza prelievo o immissione di fluidi nel sottosuolo"*

Per il Consiglio Nazionale dei Geologi si tratta comunque di un provvedimento che avrà il pregio di evitare l'installazione di impianti privi degli indispensabili accorgimenti tecnici, che in molti casi, per tale ragione, si sono rivelati poco vantaggiosi. Infatti, con questo decreto vengono in primis salvaguardati gli interessi economici dei committenti, essendo previsto un percorso tecnico-progettuale che prima non era normativamente previsto e nemmeno richiesto. Insomma, con il "Decreto Geoscambio" questo settore delle rinnovabili potrebbe ottenere, se correttamente applicato, una modalità tra le più vantaggiose per le famiglie e le imprese.

Certamente la versione proposta dalla Piattaforma Geotermia, con l'importante contributo della Area Tematica 1 "Materie Prime ed Energia", pur con tutti i limiti che può avere una bozza lavoro da condividere con gli uffici competenti del Ministero, aveva provato ad essere coerente con quanto indicato nell'art. 15 del decreto-legge n. 17 del 2022, peraltro modificato e integrato in fase di conversione nella Legge 27 aprile 2022, n. 34 e rappresentava la conclusione di un processo di affinamento e condivisione tra i diversi punti di vista sulle modalità di semplificazione dei diversi sistemi di applicazione della geotermia a bassa entalpia, sfruttando adeguatamente le professionalità presenti e partecipanti ai vari momenti di confronto.

Questo lavoro allo stato attuale non può essere considerato concluso, avendo bisogno di nuove interlocuzioni con gli uffici ministeriali per rendere il geoscambio applicabile per tutti gli edifici e non solo per quelli esistenti che richiedono fino a 100kW e una profondità dei pozzi fino a 170m.

Per quanto riguarda poi l'ampliamento degli impianti ai sistemi a circuito chiuso con prelievo ed immissione di liquidi in falda e cioè quei sistemi definiti "dinamici", senza però alcun contatto con l'ambiente esterno, il lavoro sarà più arduo e complicato, dovendo preventivamente modificare alcune norme vigenti sull'emungimento delle acque di falda che richiedono di essere autorizzate (R.D. N.1775 del 1933) e del Testo Unico dell'ambiente (il D.Lgs. 152/2006).

Inoltre, alcune limitazioni presenti nel testo della norma risultano poco chiare, come ad esempio quello di aver ristretto il campo di azione in edilizia libera agli impianti con potenza termica fino a 50 kW e 80m di profondità dal p.c. e la procedura semplificata agli impianti con potenza termica fino a 100 kW e una profondità di 170m. Misure che sicuramente dovranno essere modificate ed incremen-

tate al fine di consentire anche ai condomini, al settore terziario, alle imprese e soprattutto alle Pubbliche Amministrazioni di intervenire sulla maggior parte dei loro edifici (scuole, palestre, biblioteche etc.).

Per finire, va sottolineato in merito alla loro progettazione che il decreto riconosce la necessità di una corretta modellazione geologica ed idrogeologica ai fini dell'installazione di sonde geotermiche oltre i 50 kW, prevedendo in tutti i casi, invece, la direzione dei lavori del cantiere di perforazione da parte di un tecnico esperto negli aspetti geologici, idrogeologici, ambientali e degli eventuali impatti termici.

considerazioni finali



Quanto sta accadendo a livello internazionale ci ha messo di fronte all'emergenza energetica di fatto obbligando tutti ad un'accelerazione nella transizione verso le fonti rinnovabili e in questo contesto anche la geotermia può e deve avere un ruolo.

La "SCOMMESSA" è quindi tra affrontare correttamente e tempestivamente anche questa sfida o rinviarla nel tempo, perché in gioco vi è la possibilità di crescita delle nostre comunità oppure la loro marginalizzazione rispetto all'Europa, con aumento di disuguaglianze e divari socio-economici.

Quanto è stato fatto in questo ambito è davvero rilevante ma ancora tante altre sono le azioni necessarie per un rilancio strutturale della geotermia in Italia, partendo dalla Formazione ai professionisti che operano nel settore fino ad arrivare alla divulgazione e informazione alle imprese e alle famiglie sugli indiscutibili vantaggi economici e ambientali che si possono avere scegliendo un impianto geotermico per scopi di condizionamento degli ambienti. Il Consiglio Nazionale dei Geologi e la Piattaforma Geotermica Nazionale hanno avuto il riconoscimento di essere interlocutori affidabili e quindi primari per il Governo, per cui continueremo nell'azione di confronto per le finalità sopra riportate e in particolare per la semplificazione normativa e le possibili forme di incentivazione che questa strategica fonte energetica rinnovabile dovrebbe avere, al pari delle altre ora necessarie per la transizione energetica.

SISTEMI PER IL MONITORAGGIO DI FRANE E COLATE



SIAP+MICROS progetta e realizza sistemi integrati per il monitoraggio e l'allertamento di frane a cinematismi lenti (scorrimenti) e veloci (colate), basandosi su tecnologie non strutturali, rappresentate da:

Pluviometri, Piezometri, Misuratori di livello idraulico, Inclinatori, Estensimetri, Corde a strappo, Celle di carico e Geofoni

Per la trasmissione e l'acquisizione dati vengono implementate tecniche che vanno dall'invio mediante rete internet ad alta velocità, alla trasmissione radio con ripetitori, cercando di rendere il più possibile sicuro l'invio dei dati (sistemi ridondati).

Inoltre i sistemi integrati realizzati da SIAP+MICROS permettono la trasmissione degli allarmi alla popolazione, mediante segnaletica luminosa e sonora e l'acquisizione di immagini e video in grado di documentare ad alta definizione l'evoluzione dei fenomeni franosi.

Il tutto viene corredato da una logica di funzionamento e distribuzione degli allarmi locale, basata su centraline di acquisizione e software a tecnologia industriale, nonché da un software a livello di data center (anche adattato per esigenze specifiche) per la gestione dei sistemi.

Visita il sito www.siapmicros.com

**DATALOGGER E
TELEMETRIE**

LEVELOGGER 5

LA QUINTA GENERAZIONE DEI DATALOGGER SOLINST®



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

Caratteristiche*

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

Applicazioni

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

*Le caratteristiche variano in base al modello.

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



MISURE DI LIVELLO



**CAMPIONAMENTO
LOW-FLOW**



**PROFILAZIONE
MULTILIVELLO**



**BONIFICA
IDROCARBURI**

Solinst®

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

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

EGEO +lab

WWW.EGEO.LAB.IT

GT&A / 02-2022 21

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

La migliore qualità dei dati
nelle peggiori condizioni ambientali.

Terrameter LS2

Georesistivimetro 2-12 canali

Esclusivo sistema di upgrade da remoto

Schermo a colori integrato

Resistività-Polarizzazione indotta-Potenziali spontanei

DISTRIBUTORE PER L'ITALIA

GUIDELINEGEO
ABEM MALÅ


geotomographie

 **GEOGIGA**
TECHNOLOGY CORP

SENSYS[®]
Magnetometers & Survey Solutions

 **Geophex Ltd.**

EMFAD[®] **ZC**



Ricerca geoarcheologica dei resti del centro urbano della Sybaris arcaica (730 a.C. ÷ 510 a.C.)

Amerigo Giuseppe Rota | Pubblico dipendente presso l'Asp di Cosenza (S.S.R. della Calabria) e geologo.

Abstract

The contribution that geo-archaeology can make to historical and archaeological research is remarkable especially when remains of ancient infrastructures are buried underground and historical documentation is lacking.

This article provides clues and geographic reconstructions aimed at identifying the ancient urban center location site of the legendary Archaic Sybaris.

The historical sources narrate of a marvelous polis, a civilization that excelled in everything compared to the other poleis of Magna Graecia, which have greatly stimulated and engaged me in the search for its ruins, located and buried somewhere in the vast Sybarite plain and which might preserve relics of incomparable beauty. It was a rich, opulent and happy city but also the most scandalous, ironic and unscrupulous, the latter of which was a feature that led resoundingly to its destruction (fake news?). The Romans called it the pearl of Magna Graecia, in their authoritative opinion more beautiful, than Athens and Sparta.

Delving into its bibliography and as a careful geologist always very interested in scrupulously studying historical sources and ancient geographic maps, I reconstructed a hypothesis of the location of the urban center of the ancient site (asty) also based on strongly suspicious clues still visible today, for some experts, on the homonymous plain.

In fact, what is considered by common opinion to be the site of the ancient Greek colony (the Archaeological Park of Sybaris) is, in reality, the settlement territory of the other two cities that arose in eras subsequent to the destruction of Sybaris in 510 BC. In fact, the overwhelming majority of the unmodified finds we admire north of the bends of the Crati river relate to the Panhellenic colony of Thurii and the Roman city of Copiae. This does not surprise me at all since we are quite far from the location of the ancient bed of the Coscile river (Sybaris River) where, according to numerous historical sources, the urban core of the city must have been located.

After a brief description of the alluvial basin of Sybaris from the point of view of geological and structural evolution, I present the results of the research that allowed me to delimit a relatively circumscribed area (a few thousand sq. m.) where I believe the remains of the ancient Greek amphitheater and, probably, a portion of the fortified walls (out of a total of 50 stadia of walls, 9 km, according to Strabo) are buried.

Premessa

Il contributo che la geoarcheologia può dare alla ricerca storica e archeologica è notevole specie quando reperti d'antiche infrastrutture sono sepolti nel sottosuolo e la documentazione storica è carente.

In quest'articolo sono riportati indizi e ricostruzioni geografiche che hanno l'obiettivo di individuare l'antico sito d'ubicazione del centro urbano delle leggendarie Sybaris arcaica. Le fonti storiche raccontano d'una polis meravigliosa, una civiltà che primeggiava in tutto rispetto alle altre poleis della **Magna Grecia** che mi hanno molto stimolato e impegnato alla ricerca delle sue rovine ubicate e sepolte da qualche parte nell'ampia pianura sibarita e che potrebbero conservare reperti d'incomparabile bellezza. Fu una città ricca, opulenta e felice ma anche la più scandalosa, ironica e spregiudicata caratteristica, quest'ultima, che l'ha condotta clamorosamente alla sua distruzione (*fake news*?). Fu dai romani definita la *perla della Magna Grecia* più bella, secondo il loro autorevole parere, d'Atene e di Sparta.

Approfondendone la bibliografia e da attento geologo sempre molto interessato a studiare scrupolosamente le fonti storiche e le antiche mappe geografiche ho ricostruito un'ipotesi d'ubicazione del centro urbano dell'antico sito (*asty*) anche sulla base d'indizi fortemente sospetti ancor oggi visibili, per alcuni addetti ai lavori, sull'omonima pianura.

Infatti, quello che è considerato secondo l'opinione comune il luogo dell'antica colonia greca (il Parco archeologico di Sibari) è, in realtà, il territorio d'insediamento delle altre due città sorte in epoche successive alla Sybaris distrutta nel 510 a.C.. Infatti, la stragrande maggioranza dei reperti non rimaneggiati che ammiriamo a nord delle anse del f. Crati sono relativi alla colonia panellenica di **Thurii** e alla città romana di **Copiae**. Ciò non mi sorprende affatto in quanto siamo alquanto distanti dall'ubicazione dell'antico alveo del f. Coscile (*fiume Sybaris*) dove, secondo le numerose fonti storiche, doveva essere localizzato il nucleo urbano della città.

Dopo una breve descrizione del bacino alluvionale di Sibari dal punto di vista dell'evoluzione geologica e strutturale espongo i risultati della ricerca che mi ha consentito di delimitare un'area relativamente circoscritta (qualche migliaio di mq) ove ritengo siano sepolti i resti dell'antico anfiteatro greco e, probabilmente, d'una porzione delle mura fortificate (su un totale di 50 stadi di mura, 9 km, secondo Strabone).

1. Geologia della Piana di Sibari

L'estesa pianura sibarita è ubicata nella porzione più settentrionale della costa ionica calabrese (fig. 1) delimitata dalla foce del Torrente Saraceno a nord e la Marina di Schiavonea a sud dagli alti strutturali allineati in direzione meridiana di Villapiana-Doria-Corigliano Calabro verso ponente e dalla costa ionica a est per una superficie complessiva di circa 475 kmq. È attraversata dal fiume Crati (il maggiore della Calabria) che sfocia in mare con un imponente delta, dal F. Coscile (l'antico Sybaris) e da una serie di corsi d'acqua minori tra cui i torrenti Raganello e San Mauro.

È strutturalmente un'area morfologicamente depressa (bacino di *pull-apart*) costituita da un basamento geologico ribassato morfologicamente riempito da una potente successione sedimentaria con sedimenti alluvionali che nel tempo lo hanno progressivamente colmato conferendo, a quel territorio, l'attuale aspetto morfologico sub-pianeggiante. La pianura è delimitata da tre imponenti massicci montuosi: l'**Altopiano Silano** a sud, la **Catena del Pollino** a nord e la **Catena Costiera** a ovest.

L'**Arco Calabro** [1] è la porzione emersa d'un *sistema di subduzione* composto da un settore di crosta oceanica est vergente (fig. 2) composto da tre elementi sovrapposti di cui il *primo* è ubicato nella zona ionica esterna e consiste in **porzioni di crosta oceanica** d'epoca cretacea in fase di piegamento e di

subduzione (processo attivo da circa 100 milioni di anni) che sprofonda verso l'astenosfera (sino a oltre 400 km) lungo un piano anche molto inclinato, a tratti subverticale che immerge verso ovest (in direzione della Sardegna) e che si estende in profondità sino al largo delle coste tirreniche [2].

Il *secondo* elemento è la **crosta continentale** cristallina e metamorfica paleozoica e mesozoica più spessa di quella oceanica che in parte *sovrascorre* sui blocchi d'una piattaforma carbonatica di tipo appenninico-panormide.

La *terza* parte è relativa a un'area d'espansione oceanica attiva nel Tirreno Meridionale ubicata nella tipica posizione di bacino retro arco.

La placca affonda con inclinazioni superiori rispetto a quelle della subduzione che avvengono sotto l'Appennino settentrionale; infatti i terremoti più frequenti sono profondi oltre i 70 km di profondità. In questa struttura la catena appenninica piega il suo asse, passando dall'andamento NW-SE dell'appennino centrale a quello NE-SW della Calabria meridionale per finire con l'andamento W-E della Sicilia settentrionale [3]. L'espansione oceanica del mar Tirreno è iniziato circa 10 milioni di anni fa [1]

1 Maria E. Mazzella, Tettonica attiva nel settore peri-tirrenico meridionale tramite integrazione di dati geodetici e geologici, Tesi di dottorato, Università degli studi di Napoli Federico II, A.a 2010-2011.



Figura 1 - Inquadramento corografico ed orografico dell'area della piana di Sibari.

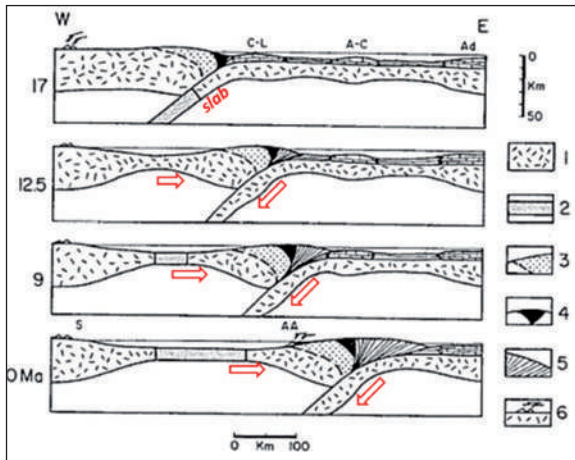


Figura 2 - Evoluzione Tirreno-Appennino (Arco Calabro) lungo una sezione W-E. 1) crosta continentale; 2) crosta oceanica; 3) unità alpine calabre; 4) unità oceaniche interne appennino; 5) cuneo d'accrescimento; 6) vulcani calcalcalini attivi; CL) piattaforma campano-lucana; AD) blocco adriatico; S) Sardegna; AA) Arco eoliano (Malinverno e Rayan 1986). Modificato.

e, con l'alternarsi di periodi d'accelerazione e di rallentamento è attualmente in corso il cui flusso magmatico concorre ad alimentare anche i vulcani che costellano il Tirreno Centrale e Meridionale: la maggior parte di essi oggi sono sommersi come il vulcano gigante del Marsili oltre a Palinuro, Glauco, Sisifo. La subsidenza dei sedimenti alluvionali della piana è anche connessa alla loro naturale costipazione in quanto depositi recenti [4] di un processo di sedimentazione avvenuto durante il Pleistocene e l'Olocene (da circa 700 ka), tuttora in corso. La mobilitazione d'enormi volumi di materiale alluvionale ha anche determinato lo sviluppo di conoidi alluvionali allo sbocco delle valli fluviali ai margini dei massicci montuosi in particolare di quello del Pollino e ampie superfici terrazzate [5] [6].

Movimenti prevalentemente verticali legati sia alla subsidenza sia agli innalzamenti tettonici [7] hanno controllato e orientato l'evoluzione dell'idrografia superficiale, specialmente del f. Coscile.

Un intenso sollevamento regionale iniziato 700.000 anni ha determinato una forte incisione del sistema fluviale che ha prodotto un elevato trasporto solido, un ringiovanimento dei rilievi e nuovi lineamenti morfologici. In particolare, innalzamenti tettonici differenziali (fig. 4) di territori circoscritti afferenti al settore meridionale del Pollino e lungo il bordo orientale del Plateau della Sila hanno determinato una maggior incisione fluviale proprio in quei settori territoriali per effetto della morfologia [8].

La demarcazione morfologica netta tra l'area pedemontana (500-600 mt sino al mare) e quella montuosa è conseguenza d'una morfostruttura tettonica prevalentemente distensiva con orientamento NW-SE che congiunge monte Caramolo a nord al rilievo della Montea a sud che evidenzia, in affioramento, un'estesa fascia di fratturazione tettonica che ribassa verso lo Ionio i terreni più teneri di copertura (formazione del Frido)

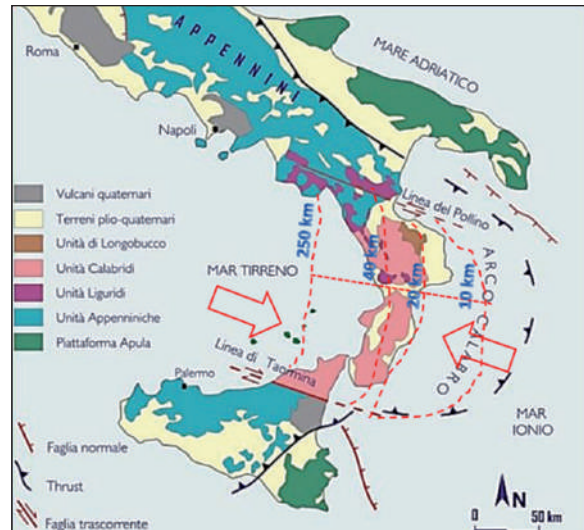


Figura 3 - Schema geologico-strutturale semplificato del sistema Appennino meridionale Arco Calabro (modificato da DEWEY et al., 1989) e profondità dello slab (modificato).

e i sedimenti della trasgressione neogenica. Su questi, ancora più verso est, si sovrappongono i sedimenti silico-clastici grossolani quaternari sia marini che continentali [9].

Il recente sollevamento dell'area avvenuto nel pliocene medio [10] ha determinato la graduale emersione dei corpi sedimentari delle conoidi deltizie appartenenti al bacino idrografico del f. Coscile. Successivamente, la formazione d'un nuovo reticolo idrografico ha contribuito a isolare le aree sommitali terrazzandole per effetto dello stazionamento nel tempo del moto ondoso. Tali elementi geomorfologici sono costituiti da materiali ossidati (terra rossa) con prevalenti ciottoli a causa dei processi d'alterazione e di rimaneggiamento delle formazioni sottostanti (plio-pleistoceniche) sulle quali giacciono in netta discordanza angolare [6].

In fig. 4 è riportata un'ampia sezione del sottosuolo, ricostruita sulla base dei dati acquisiti da uno stendimento sismico a riflessione^[2] (CS 307-81 eseguito dall'AGIP nel gennaio del 1984) esteso in superficie per una lunghezza di circa 19 km e in profondità per 5 km che rende bene l'idea di quello che è stata l'evoluzione geologica del bacino di Sibari. L'area evidenziata in sezione è, in prima approssimazione, rappresentativa di tutto il bacino e presenta la seguente stratigrafia a partire dal livello di base (basamento geologico cristallino) ricostruita sulla base dei rapporti di prova redatti durante l'esecuzione dei sondaggi profondi *Thurio I*^[3] e *Crati I*^[4].

2 https://www.videpi.com/deposito/videpi/sismicatitoli/All_2_linea_CS-307-81.pdf.

3 https://www.videpi.com/deposito/pozzi/profil/pdf/thurio_001.pdf.

4 https://www.videpi.com/deposito/pozzi/profil/pdf/fiume_crati_001.pdf.

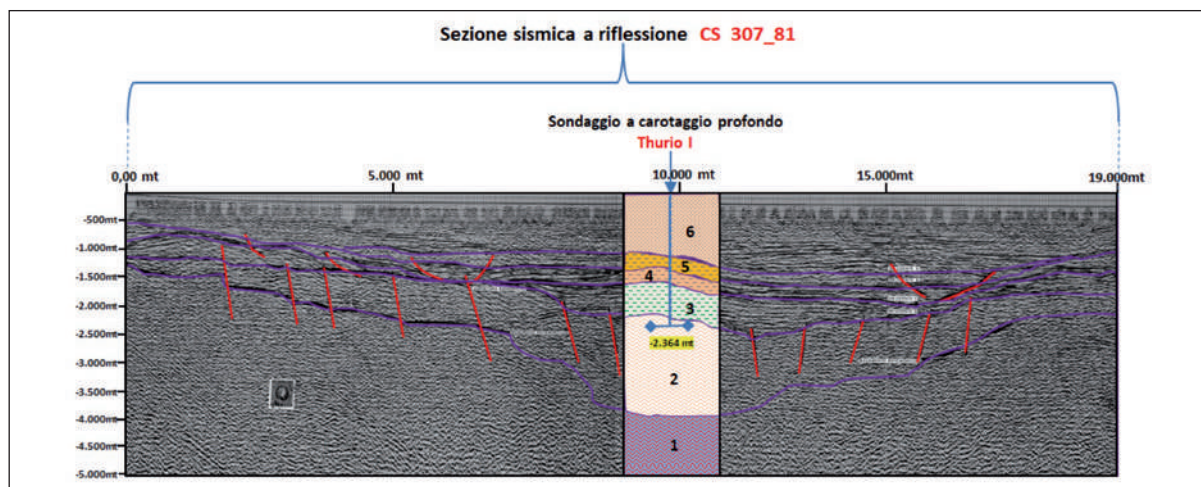


Figura 4 - Sezione sismica e stratigrafia del bacino di Sibari lungo l'allineamento Cs 307_81.

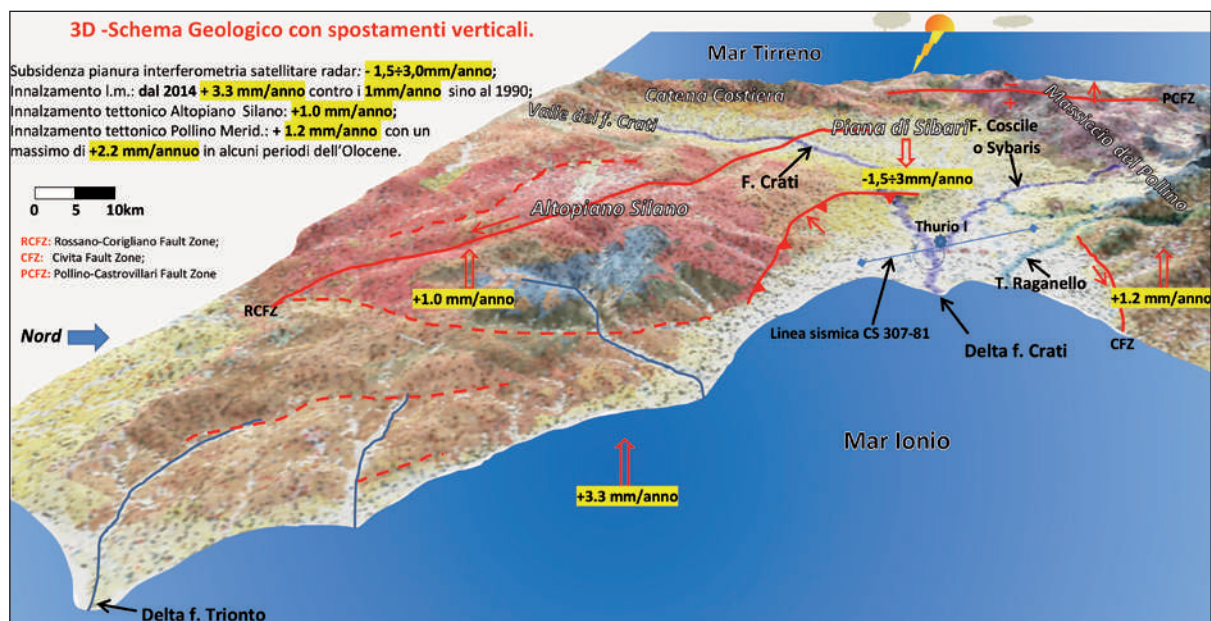


Figura 5 - Schema geologico 3D della pianura di Sibari con i principali spostamenti verticali attualmente attivi nell'area e principali lineamenti tettonici.

Il basamento geologico di base, sulla quale si sono impostate una serie di sequenze deposizionali molto potenti consiste in un complesso **igneo metamorfico paleozoico (Complesso Calabride)** - gneiss a rocce granitoidi che si sovrappone a rocce ofiolitiche con abbondanti vene di quarzo biancastro del **Complesso Liguride** che rappresenta un frammento di crosta oceanica. Entrambi i settori crostali sono a sua volta sovrascorsi sulla piattaforma carbonatica-dolomitica appenninica del **Complesso Panormide**, di più recente formazione (di età cretacea). Il basamento geologico può essere localizzato a profondità prossime ai 4.000 mt come accade proprio sulla verticale passante per il sondaggio profondo Thurio I (figg. 4

e 5) ma, lo stesso basamento, risulta essere progressivamente localizzato in posizioni più superficiali man mano che ci si avvicina ai bordi del bacino come evidenziato in figura 4 come è lecito attendersi;

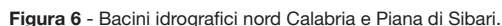
1. un complesso **gessoso-solfifero** del *miocene superiore* relativo alle *formazioni evaporitiche* prevalentemente gessose associate a depositi di salgemma con intercalazione d'argille verdastre;
2. una successione *messiniana* di depositi argillosi di colore verdastro con intercalazioni di livelli sabbiosi, ciottoli e conglomerati poligenici con elementi di gesso biancastro;
3. un deposito prevalentemente argilloso grigio localmente

4. un'alternanza d'argilla grigia verdastra intercalata a sabbie e ciottoli localmente passanti a conglomerati poligenici d'età pleistocenica;
5. Il riempimento più superficiale del bacino sibarita consiste in una potente sequenza di sedimenti sabbiosi, ciottolosi e conglomeratici intercalati da livelli argillosi e siltosi dove, nella sua porzione più sommitale, possono essere presenti anche depositi torbosi (fig. 8).

1.2 Lineamenti geo-idrologici del fiume Coscile (Sybaris) e terrazzi marini.

L'alveo presenta una direzione prevalente sud-est mentre, all'ingresso in pianura e dopo la confluenza con l'Esaro (suo principale tributario, che ne triplica quasi la portata), assume una definitiva direzione verso est sino a confluire più a valle nel fiume Crati nel comune di Cassano Ionio a circa 8 km dalla costa ionica.

Il bacino idrografico del f. Coscile è caratterizzato da un alto valore dell'indice Vf (valore di fondo) pari a 3.86 che ci dà un'idea immediata della forma trasversale delle valli e del contesto morfologico assunto in epoca recente sulla base dei processi



I dati bibliografici [8] analizzano la disposizione dei terrazzi marini (Pleistocene Medio - Olocene) disposti lungo tutta la fascia ionica della Calabria settentrionale e della Basilicata orientale utili a calcolare i tassi di sollevamento dei rilievi che delimitano la pianura sibarita negli ultimi 600 mila anni. Complessivamente sono stati individuati 10 ordini di terrazzi marini ubicati tra le quote di 5 m e i ~660 m sul l.m. che hanno consentito di ricostruire i movimenti verticali relativi tra la terra e il mare per il concomitante effetto dei movimenti tettonici verticali, delle oscillazioni eustatiche a frequenza variabile e dei fenomeni di subsidenza ai quali sono stati sottoposti i depositi alluvionali recenti depositati nel bacino. I tassi di sollevamento calcolati che hanno interessato l'area a partire dal Pleistocene Medio sono tra i più alti registrati in tutta la regione Mediterranea anche oltre 1 mm/a [11] [12] fatto, questo, che ha favorito la conservazione dei markers costieri Quaternari che spesso si presentano ben sviluppati e facilmente riconoscibili [13] [14].

Il terrazzo più recente denominato **To** è preservato esclusivamente lungo la fascia costiera del Pollino, con una quota del margine interno compresa tra 5 e 9 m s.l.m. (com'è ovvio in quanto è il settore territoriale che ha registrato un innalzamento tettonico più corposo) ed è stato attribuito alla trasgressione Olocenica (~6 Ka), sulla base del tasso di sollevamento del Tirreniano e di una curva eustatica che tenesse conto degli effetti glacio-idro-isostatici potenzialmente determinanti nel definire la quota finale dei marker costieri Olocenici. Questo è l'unico terrazzo che si è formato in epoca storica, nel 4.000 a.C. circa

che è il periodo di riferimento più vicino alla cultura sibarita iniziata a partire dal 2.000 a.C. consolidandosi poi intorno al 1.000 a.C. come città stato.

Sulla base della cronologia dei terrazzi è stato calcolato che la fascia costiera è stata interessata a partire da ~600 Ka da un processo di sollevamento tettonico caratterizzato da un tasso medio di circa **~1 mm/a** con l'alternanza di fasi di sollevamento verticale accelerato (fino a un massimo di ~2,2 mm/a) e fasi di relativa quiescenza (fino a un minimo di ~0,7 mm/a). Si è anche osservato un incremento dei tassi di sollevamento nel periodo Olocenico sino a **~2,2 mm/a** proprio nel settore del Pollino meridionale (fig. 7) [15].

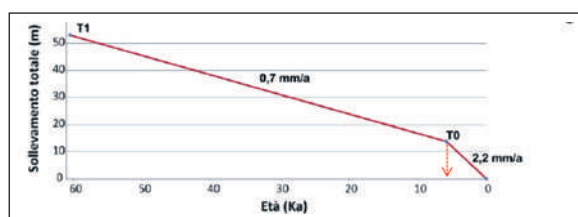


Figura 7 - Tasso di sollevamento tettonico blocco montuoso Pollino Meridionale. Tesi E. Santoro, op. cit..

1.3 Variazioni del livello marino e tasso di sollevamento medio annuo.

L'età e il paleo-livello del mare attribuibili al terrazzo marino denominato T0 è determinato sulla base del confronto tra il **tasso di sollevamento medio** Tirreniano (~0,9 mm/a) e il **tasso di risalita eustatica** Olocenico conosciuto a partire dalla curva di Lambeck (2010). L'età e il paleo-livello del mare riportati per il **T0 (5,9 Ka; -5,3 m)** corrispondono a una fase di brusca decelerazione della risalita del mare durante la fase di trasgressione Olocenica. Da questo momento in poi, le differenze tra i tassi eustatici e tettonici diventano trascurabili (~0,3 mm/a) rendendo possibile la formazione di un terrazzo marino. Il tasso di risalita del l.m. è rimasto sostanzialmente stabile sino al 1992 quando si è registrato un netto incremento di risalita eustatica del livello marino per gli effetti del cambiamento climatico tuttora in corso.

Un'altra area a forte sollevamento tettonico ricade in un settore territoriale che corrisponde al *letto* della faglia normale Pollino-Castrovillari (PCFZ, fig. 5) che delimita il margine Sud-occidentale del Massiccio montuoso che, in origine, presentava un movimento opposto di ribassamento. Evidentemente, il quadro geodinamico dell'area è cambiato come risulta dalle attività sismiche recenti [15]. Cucci e Cinti, nel 1998 [16] interpretano la deformazione delle linee di riva in tale settore come la conseguenza del *sollevamento del blocco posto a letto* della faglia Pollino-Castrovillari.

Sono state calcolate le variazioni eustatiche del livello marino in una ricerca pubblicata sulla rivista *Proceedings of the National Academy of Sciences* guidata dall'Università di Siegen (Germania) che ha appurato che, prima del 1990, il tasso d'innalzamento del livello marino era di circa 1mm/anno per poi incrementare nettamente dal 1993 a 2.2 mm/anno sino al 2012 portandosi poi a 3.1mm/anno e, a partire dal 2014 ai 3.3mm/

anno. Tali stime sembrano essere ancora in crescita a causa dei cambiamenti climatici in corso che sono la causa del progressivo scioglimento delle calotte polari con il conseguente innalzamento del livello dei mari.

Sullo schema geologico riportato in figura 5 sono evidenziati i tassi di sollevamento tettonico medio del Pollino Meridionale e dell'Altopiano Silano e il tasso di subsidenza medio complessivo che si registra nella pianura alluvionale sibarita sulla base delle misurazioni interferometriche effettuate mediante la costellazione di satelliti Sky Med dell'ESA che dimostrano, ancora una volta, come il nostro pianeta sia dinamico e in continua evoluzione.

2. Ricerca geo-archeologica del centro urbano dell'antica polis

In questo capitolo si riporta un corposo estratto della ricerca geo-archeologica in itinere che lo scrivente sta effettuando con l'obiettivo d'individuare il centro urbano dell'antica Sybaris. In questa fase di studio è stata localizzata un'area che potrebbe essere proprio quella dell'insediamento delle principali opere urbane della città: l'agorà, l'anfiteatro, i principali luoghi di culto e di tutti quei monumentali edifici collegati al cuore pulsante politico, economico e sociale dell'antica polis (*asty*). Nella prima fase degli studi sono state raccolte tutte quelle informazioni storiche e selezionato una serie d'indizi visibili sul territorio in quanto riferibili all'antico corso del fiume Coscile che, la narrazione storica, riconosce esser stato il limite più settentrionale della polis. Il centro urbano della città, infatti, fu edificato proprio in prossimità del fiume ed è per questo che la stessa, molto probabilmente, fu denominata Sybaris.

2.1 Evidenze idro-geologiche e morfologie relative all'antico tratto finale del fiume Coscile.

L'individuazione dei resti della Sybaris arcaica è resa molto problematica dalla repentina trasformazione morfologica che la pianura alluvionale sibarita ha subito nel corso degli ultimi tre millenni solo in parte, riscontrabile, sulle mappe storiche allegati al presente studio. Le concause sono dovute a una serie di dinamicità territoriali che rendono la superficie calpestabile estremamente *dinamica* per diversi motivi:

1. innalzamento tettonico complessivo dell'Arco Calabro e differenziale di alcuni particolari settori territoriali;
2. accumuli deposizionali ed erosione dei materiali alluvionali fluviali e marini;
3. variazione del livello marino (eustatismo);
4. fenomeni di costipazione dei sedimenti alluvionali e subsidenza (geotecnica) [17];
5. emungimento e oscillazione della falda freatica (idrogeologia).

I depositi alluvionali della pianura ricoprono e inglobano livelli archeologici di differenti epoche storiche. Solo una parte di questi livelli sono stati individuati e valorizzati.

La fine del *Tirreniano* (20k anni fa) fu caratterizzato da una potente fase di regressione marina, denominata **Flandriana** che portò, il livello del mare, a posizionarsi a circa -120 metri al di sotto del suo attuale livello, grosso modo in corrispondenza dell'attuale isobata dei 120 metri (fig. 8). Un abbassamento così cospicuo e repentino del livello del mare innescò un'intensa

fase erosiva che determinò un forte approfondimento della rete idrografica superficiale sull'intero versante ionico calabrese con fenomeni erosivi intensi che hanno prodotto milioni di metri cubi di materiale alluvionale a tessitura variabile veicolati e riallocati nei bacini di accumulo (sequenze deposizionali). La successiva quanto rapida fase trasgressiva riportò circa 6.000 anni fa (all'inizio del periodo antico della storia) il livello del mare a circa -3/5 mt al di sotto del suo attuale livello. Gli scavi archeologici effettuati in diverse aree della pianura sibarita hanno evidenziato questo lentissimo ma continuo fenomeno di subsidenza già in atto all'epoca dei primi insediamenti storicamente riconosciuti. Il fenomeno è tutt'ora in atto e l'entità dell'abbassamento del livello topografico può essere misurato con la tecnica dell'*interferometria radar* mediante la costellazione di satelliti europei denominata *Copernicus*. Il progetto, denominato *European Ground Motion Service*^[5], garantisce l'acquisizione della misura degli spostamenti millimetrici a cui sono soggetti una serie di punti posti sulla superficie terrestre.

Nel 1975 sono stati prelevati da Melidoro e Guerricchio [18] campioni su 3 livelli stratigrafici di materiale organico e analizzati in laboratorio con la tecnica del *radiocarbonio* per la relativa datazione. Il materiale esaminato è stato prelevato da un foro di sondaggio eseguito in un'area ubicata fra *Parco del Cavallo*, *Casa Bianca* e *Stombi*. Nel sondaggio profondo realizzato (fig. 8) a partire da 6 mt di quota, sono stati rinvenuti 3 strati di torba ben localizzati e posti a profondità di 8,50÷9,00 m, a 41,00÷44,00 m e a 60,80÷61,00 m sotto l'attuale piano di campagna. Il materiale organico è stato datato con la tecnica del radiocarbonio e l'età assolute calcolate, considerando che l'anno in corso è il 2022 sono rispettivamente di **4.826** per il livello più superficiale, di **8.572** per il livello intermedio e di **10.109** anni per l'ultimo livello (olocene post glaciale) [19]. Le datazioni ricavate in laboratorio collimano con le datazioni archeologiche effettuate sui reperti storici dell'area.

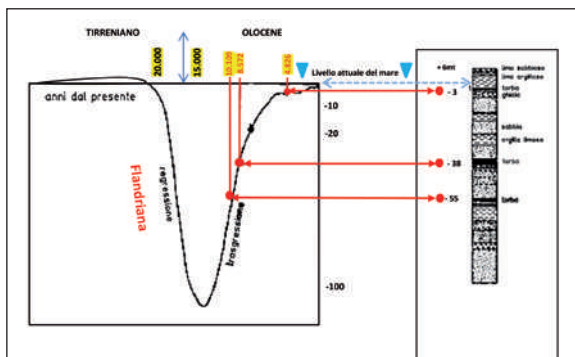


Figura 8 –Livelli torbosi nel sondaggio profondo degli Stombi, mod. (Cotecchia & Guzzo 1992, op. cit.)

Infatti, il livello stratigrafico posto a -3 mt di profondità dall'attuale l.m. (**9 mt** dalla bocca del pozzo che corrisponde con l'attuale p.c.), coincide con l'*isocrona 2800 a.C. dunque riferibile*

all'epoca della prima colonizzazione dell'Italia meridionale a opera degli Enotri e dei Cretesi.

Sulla base di questa datazione circa 3.000 anni fa il livello del suolo in quel sito doveva esser posizionato alla profondità di circa **-6,0÷6,5 mt** dal p.c. riferibile dunque all'epoca della Sybaris arcaica che è oggetto del presente studio.

Con specifico riferimento alla zona del *Parco Archeologico di Sibari* un altro studio ha rilevato un fenomeno di subsidenza che ha contribuito a determinare l'interramento di almeno due città sovrapposte oltre, probabilmente, alla periferia della Sybaris arcaica. I reperti presenti nell'area sono attualmente ubicati a profondità comprese tra i 7m e i 3,5m sotto all'attuale superficie topografica.

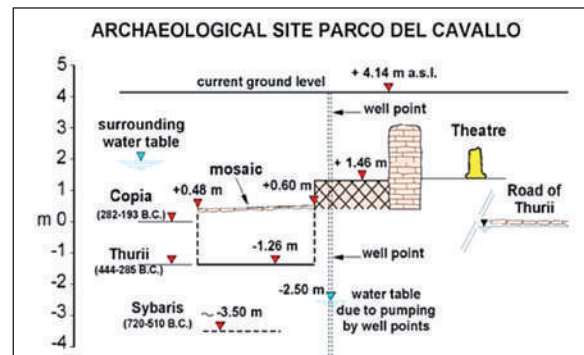


Figura 9 - Sito archeologico di Parco del Cavallo a Sibari con indicazione dei tre livelli insediativi (da Coop e Cotecchia 1997).

Il tasso della subsidenza dovuto alla consolidazione per il peso proprio dei sedimenti pleistocenici e olocenici, stimato al netto delle variazioni di quota di natura tettonica e glacio-eustatica è andato via via riducendosi nel tempo ma, negli ultimi decenni, la velocità d'abbassamento del suolo è aumentata per cause antropiche riconducibili, essenzialmente, all'azione del sistema di *wellpoints* usato da qualche decennio per il de-watering degli scavi archeologici [20] [21]. Un ulteriore contributo alla subsidenza potrebbe essere imputabile a ulteriori emungimenti prodotti anche nell'acquifero più profondo, relativi al livello stratigrafico a più elevata permeabilità posto sotto il livello a grana relativamente fine (per profondità superiori ai 70 metri) [22].

Il tasso attuale di subsidenza dell'area archeologica è stato stimato anche da uno studio condotto in collaborazione tra il *Politecnico di Milano* e la società di *Tele-Rilevamento Europa* nel 2009. Lo studio (Giannico, Rocca e Ferretti 2009) ha calcolato un tasso di subsidenza variabile compreso tra 3÷5 mm/anno per l'area di Parco del Cavallo. Tali valori sono in prima approssimazione comparabili con le misurazioni effettuate direttamente con la tecnica interferometrica (figg. 10 e 11) mediante la quale si registra un tasso di subsidenza per l'area di Parco del Cavallo compreso tra 1,5÷3,0 mm mentre, altri punti posti a ridosso dell'area dei laghi di Sibari mostrano maggiori valori della subsidenza prossimi ai 5.0 mm/anno.

Se consideriamo, in prim'approssimazione che il tasso medio di subsidenza di quest'area è di **2,25 mm/anno** e se lo estendiamo agli ultimi 3000 anni di storia allora la profondità della

5 <http://egms.land.copernicus.eu/>

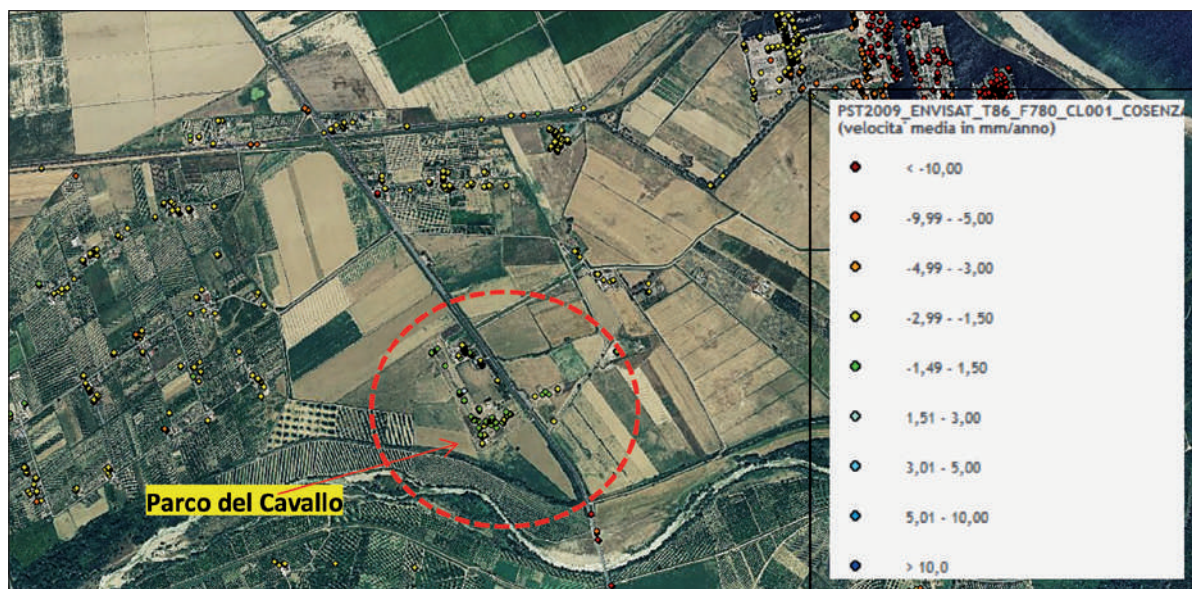


Figura 10 – Subsidenza negli ultimi 15 anni dell’area del parco archeologico di Sibari prodotti interferometrici Envisat Ascending.

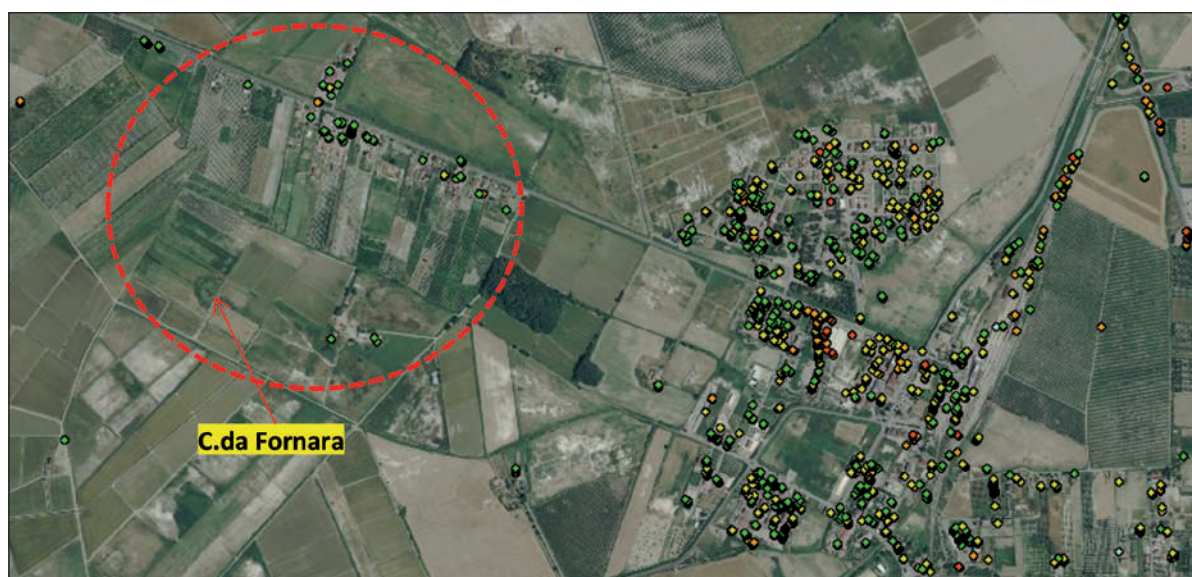


Figura 11 - Subsidenza negli ultimi 15 anni dell’area di c.da Fornara di Sibari prodotti interferometrici Envisat Ascending.

superficie del suolo ai tempi di Sybaris dovrebbe essere stata collocata a circa **6.0 mt** di profondità dall’attuale piano di campagna dato, questo, che sottostima il dato d’ubicazione dei resti arcaici rinvenuti in località Parco del Cavallo riportato in fig. 9 che si attesterebbe attorno ai 7 mt ma, collima, con quello calcolato da Guerriichio e Melidoro.

Le figure 10 e 11 si riferiscono rispettivamente all’area di **Parco del Cavallo** dove sono localizzati i resti di Thurii e di Copiae e all’area di **c.da Fornara** che potrebbe essere, a mio parere, il luogo d’ubicazione del centro urbano della Sybaris arcaica, in

particolare dell’anfiteatro greco. Sulle immagini appaiono una serie di punti colorati ognuno dei quali è caratterizzato da una diversa velocità media degli spostamenti misurati mediante interferometria radar satellitare (Envisat Ascending) negli ultimi 15-20 anni. Il valore della subsidenza relativo ai punti di misurazione è uno *spostamento netto* dunque il valore risultante derivato dalla combinazione di tutti gli spostamenti che il suolo subisce per diverse ragioni. Lo spostamento netto più ricorrente nell’aree oggetto di studio è, anche per quest’area, compreso tra 1.5÷3mm/anno.



Figura 14 - Calabria Citra redatta probabilmente dal geografo cartografo olandese della compagnia delle Indie Orientali Willem Jansoon Blaeu noto anche come Guilelmus Caesius (1571-1638).

sovrapposti anche gli effetti devastanti dei terremoti del 1638 [24] e del 1783 che, con le modificazioni territoriali conseguenti alle molteplici scosse sismiche registrate, possono aver indotto o provocato la progressiva variazione del tracciato del f. Coscile che, nel suo tratto finale in prossimità di Doria, devia definitivamente il suo percorso in direzione NW-SE sino a immettersi nel f. Crati a circa 8 km dalla costa ionica. Tale fenomeno di cattura fluviale si è sicuramente concretizzato in un lasso di tempo compreso tra il **1691 e il 1759** considerando l'andamento dei tracciati degli alvei fluviali riportati dalle antiche mappe consultate e allegate in stralcio all'articolo. Infatti, secondo gli studi dei rilievi bati-litologici effettuati dalla *Commissione degli studi sul regime dei litorali del Regno* nel periodo compreso tra 1936-1939 il bacino idrografico del fiume Coscile si sarebbe mantenuto completamente indipendente sino al **1727** anno a cui, risalirebbe, la confluenza con f. Crati.

È interessante quanto riportato sulle carte geografiche dell'ing. Astarita del 1759 e del 1789 che indicano quale principale corso idrico dell'area il fiume Coscile che si immette direttamente nel mar Ionio considerando invece il f. Crati quale suo affluente mentre sappiamo bene come, l'idrologia fluviale moderna, assegna al fiume Crati il rango di corso idrico di maggior importanza rispetto al fiume Coscile dunque sarebbe quest'ultimo affluente del f. Crati sin dal XVIII secolo.

A questo punto possiamo dire che le mappe storiche citate sino a quella del 1691 (fig. 13) riportano entrambi i fiumi, sia il Coscile che il Crati, sfociare separatamente nel mar Ionio mentre, le carte geografiche successive quella di Rizzi Zannoni dell'Atlante Marittimo del Regno di Napoli redatta tra il 1790 e il 1810, la Carta della Provincia della Calabria Citeriore del Regno delle due Sicilie redatta dai francesi nel XIX secolo (fig. 17) e entrambe le mappe dell'ing. Astarita evidenziano, oramai, una conformazione idrologica dei due fiumi così come la osserviamo noi oggi con il f. Coscile affluente del f. Crati. Le mappe geografiche appena citate, ad eccezione di quelle dell'Astarita, riportano anche altre importantissime informazioni per quanto riguarda eventuali evidenze archeologiche visibili a quei tempi e riferibili proprio all'antica polis. A riguardo, sono riportate in quelle mappe le citazioni di **Resti o Rovine**



Figura 15 - Stralcio della mappa di Rizzi Zannoni del 1780 relativa alla piana di Sibari.



Figura 16 - Mappa del territorio di cassano dell'ing. Astarita -1789



Figura 17- Provincia della Calabria Citeriore, Atlante Geografico delle due Sicilie G. Moina, V. Stanchi, inc. P. Manzoni, XIX sec.

di Sibari in un'area prossima all'alveo del t. Raganello distante circa 8 km dalla località Parco del Cavallo dove invece, a partire dal XIX secolo, sono stati ritrovati cospicui e interessantissimi resti archeologici della polis greca di Thuri successiva a Sybaris e della colonia romana di Copiae (fig. 18). Anche un'altra mappa del Regno delle due Sicilie, quella delle *Circoscrizioni Ecclesiastiche* riporta nella stessa area delle altre,

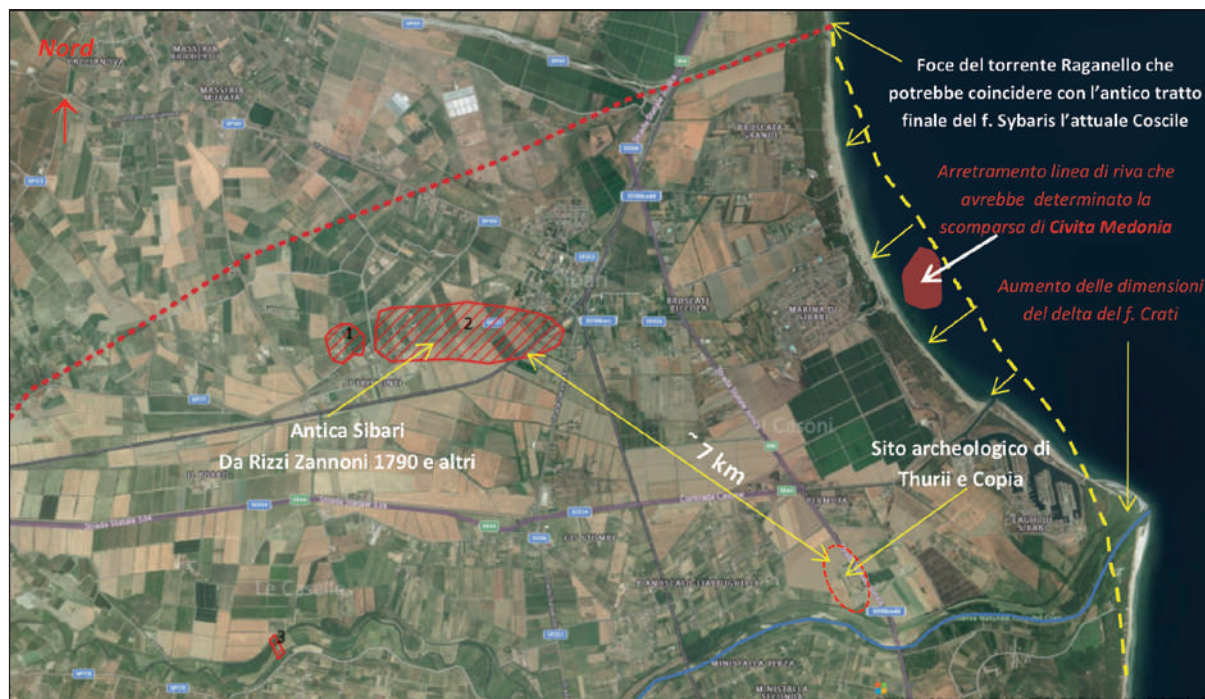


Figura 18 - Stralcio della Piana di Sibari vista da satellite (Bing maps) in scala 1:50.000 circa. Il sito di Thurii e Copia distano dal sito dell'antica Sybaris citato sulla mappa di Rizzi Zannoni del 1790 circa 6 km.

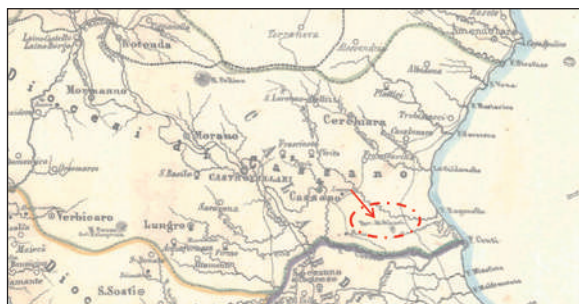


Figura 19 - Stralcio mappa delle Circonsrizioni Ecclesiastiche del Regno delle due Sicilie -1860.

immediatamente a sud del t. Raganello, il toponimo di *Rovine di Sibari* (fig. 18).

Altra importante considerazione di tipo geologico che emerge dallo studio riguarda il centro urbano di **Civita Medonia**, scomparso in breve tempo dalla storia, ubicato tra la foce del t. Raganello e quella del f. Coscile sino al XVIII secolo. Ritengo che uno dei principali motivi dell'abbandono e della successiva scomparsa della Civitas sia da imputare a una forte erosione costiera di quel litorale sul quale era ubicato il predetto nucleo urbano. Difatti, a seguito del fenomeno di cattura fluviale del f. Coscile si sarebbero concretizzate le condizioni per determinare un forte deficit nel ripascimento di quelle spiagge comprese tra l'antica foce del Coscile e quella del t. Raganello determinando un arretramento repentino di quel settore costiero che

avrebbe prodotto l'abbandono del nucleo urbano a seguito di *vigorosi fenomeni d'ingressione marina*. Probabilmente, oggi, i resti di quel centro urbano potrebbero essere rilevati e localizzati in mare a sud della foce del t. Raganello. Contemporaneamente alla forte erosione di quel tratto di costa si è registrato un forte avanzamento in mare del delta del f. Crati a seguito dell'input di materiale terrigeno aggiuntivo riversato nel suo alveo proprio dal f. Coscile (fig. 18).

In figura 20 è evidenziata in 3D la geomorfologia della piana di Sibari (con un'esagerazione verticale che è pari a 3 volte le distanze) dove sono schematizzate alcune variazioni

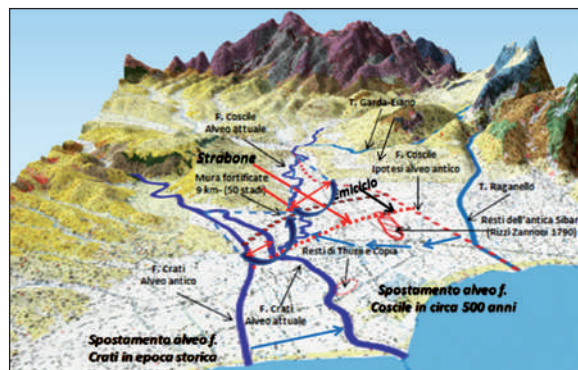


Figura 20 - Immagine 3d della geologia e morfologia del territorio con le altezze x 3 rispetto alle distanze.

fisiografiche dei luoghi e le possibili deviazioni fluviali che l'alveo del f. Crati e del f. Coscile avrebbero potuto compiere sulla base della conformazione morfologica del loro bacino imbrifero. Difatti, allo sbocco delle relative valli fluviali in pianura i corsi idrici avrebbero potuto deviare il loro percorso solo su angolazioni possibili ben precise che non possono andare oltre una certa misura. Ebbene, mentre l'alveo del f. Coscile è deviato storicamente su tutta quell'angolazione possibile con spostamenti progressivi del suo percorso da nord verso sud dunque dalla posizione iniziale, che a mio parere era quella storicamente associabile alla Sybaris arcaica, che vedeva il suo tratto terminale coincidere con l'attuale tratto finale del t. Raganello sino a raggiungere progressivamente l'attuale conformazione geomorfologica che lo ha visto confluire nel fiume Crati a inizio del XVIII secolo. Interessante notare l'andamento in pianura del tratto finale dell'alveo del t. Raganello che devia bruscamente in prossimità della costa con un andamento che sembra innaturale ma che può essere spiegato bene considerando che, l'andamento di quella traccia fluviale, coincide con l'antico alveo del f. Coscile che nei millenni aveva inciso in pianura il suo percorso entro il quale confluiva, a suo tempo, il t. Raganello come ben rappresentato nella mappa del Danti (fig. 12).

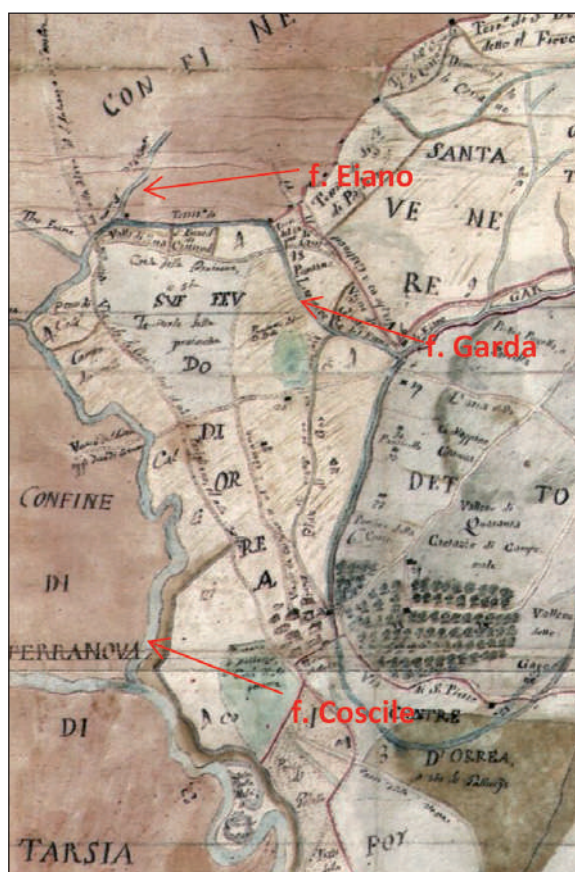


Figura 21 - F. Eiano stralcio carta di Cassano ing. Astarita 1789.

Dunque, il tratto finale del t. Raganello è stato condizionato dall'alveo inciso in quei luoghi dal f. Coscile (anche dopo l'inizio della sua migrazione) pertanto le acque di quel torrente hanno continuato a confluire in quell'alveo che aveva, da un tempo indefinito, quel determinato andamento. La deviazione del f. Crati è stata a mio parere opposta a quella del f. Coscile in quanto ha visto il suo alveo migrare nella sua fase terminale da sud verso nord compiendo uno spostamento angolare che è circa la metà di quello morfologicamente possibile (fig. 20). Indicativo è il caso del fiume Eiano segnalato da quasi tutta la cartografia precedente a quella dell'Astarita come affluente del Raganello che risulta invece, nella mappa del cartografo padovano (fig. 21) affluente del Garda (come lo è ancora oggi) dove in località Vigna del Gardo, tra le località di Praineto e di Piano delle Sanguisughe, devia bruscamente verso ovest lungo un probabile allineamento tettonico. Rimane affluente del t. Raganello, dopo una lunga traiettoria, il t. Vena che un tempo, invece, confluiva nel f. Eiano.

Anche il t. Raganello sulla carta dell'Astarita sembra avere due foci: quella più a sud, denominata foce antica e, una più recente, posta più a nord e diretta verso l'attuale stazione di Sibari. In definitiva se teniamo conto della traccia degli alvei fluviali in particolare di quello del f. Coscile che è quello che più ci interessa in riferimento all'ubicazione della Sybaris arcaica possiamo affermare che dal 1500 sino ai giorni nostri passando per le carte dell'ing. Astarita del 1759 e del 1789 a quella di Rizzi Zannoni anch'essa redatta alla fine del XVIII secolo, il suo alveo, nella sua porzione terminale è coinciso con il tratto finale del t. Raganello (cartografia del Danti) per poi deviare progressivamente verso sud sino ad assumere l'attuale conformazione idraulica e morfologica del suo bacino imbrifero.

2.3 Ipotesi sull'ubicazione del centro urbano dell'antica Sybaris: l'anfiteatro.

La ricerca geoarcheologica per l'individuazione dei resti del centro urbano della Sybaris arcaica si è sviluppata a partire dalle seguenti considerazioni:

- I. le fonti storiche riferiscono che la polis era ubicata in prossimità dell'antico alveo del fiume Coscile (Sybaris) dal quale prese il nome;
- II. 4 antiche mappe geografiche riportano a sud del t. Raganello la dicitura: "rovine o resti di Sibari" dunque, in quei luoghi dovevano essere localizzate a quei tempi tra il XVII e il XVIII sec. evidenze archeologiche tali da giustificare la toponomastica in quanto, la stessa, è molto specifica.

Dunque, sulla base di queste considerazioni gli studi, i rilievi e le indagini geo-archeologiche si sono focalizzate e si focalizzeranno in un'area a sud del T. Raganello. Inoltre, tra le antiche mappe consultate quella d'Ignazio Danti riporta il t. Raganello affluente del f. Coscile ed è l'unica mappa a palesare quest'importantissimo particolare. Ciò significherebbe che, l'ubicazione storicamente più settentrionale del fiume Coscile corrisponderebbe nella sua parte finale proprio all'attuale tratto terminale del torrente Raganello. Pertanto è ragionevole ipotizzare che, in prossimità e a sud di questo limite geografico potrebbe essere ubicato il centro urbano dell'antica colonia di Sybaris.

Sulla base di ciò si sono focalizzati in quest'area gli studi geoarcheologici sfruttando anche il remote sensing eseguito su foto da satellite AD e su immagini Lidar che hanno consentito

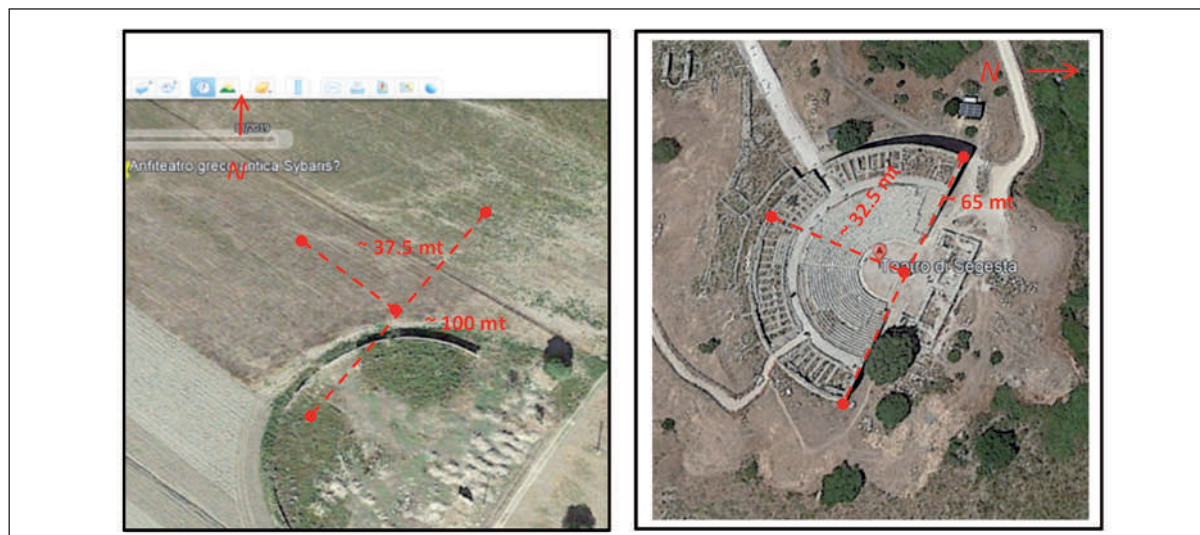


Figura 22 – Confronto morfologico tra l'anfiteatro greco di Segesta e la forma antropica rilevata in contrada Fornara di Sibari.

di rilevare, in c.da **Fornara**, una struttura antropica interessantissima dalla forma planimetrica a emiciclo perfetto. Una forma fortemente sospetta che è stata immediatamente associata, con le opportune cautele, ai resti d'una struttura antropica compatibile a un classico *anfiteatro greco* (i resti d'epoca greca sarebbero sepolti nel sottosuolo).

Questo indizio è interessantissimo principalmente per due motivi:

- I. può essere planimetricamente associato a un teatro greco e l'area sulla quale insiste è suscettibile di questa ipotesi;
- II. la struttura ipotizzata edificata dagli antichi greci è l'unica ad avere un importante sviluppo altimetrico oltre che planimetrico infatti doveva svilupparsi in elevazione a quei tempi non meno di 15÷20 mt dalla superficie topografica d'allora.

La superficie topografica in epoca arcaica doveva essere posizionata tra i 6 e gli 8 mt di profondità rispetto al livello attuale del suolo come calcolato da diversi studi noti dalla bibliografia. Ciò significa che, la porzione superiore del teatro affiorava in superficie anche in epoche recenti ed è per questo, ritengo, che le sue rovine si sarebbero conservate nel tempo fino a essere rilevate e riconosciute dai cartografi nel XVII-XVIII secolo come "*rovine di Sibari*". La porzione più elevata del teatro (fig. 24), probabilmente visibile a quei tempi, doveva già essere molto danneggiata a causa del degrado del tempo e per gli effetti delle oscillazioni sismiche prodotte dai numerosi terremoti che in epoca storica si sono succeduti a queste latitudini. Attualmente, la struttura visibile in sito oltre ad esser fortemente rimaneggiata è costituita da materiali poveri con forse, alcuni elementi rimaneggiati appartenenti proprio all'antico edificio greco (elementi lapidei lavorati). La funzione che l'infrastruttura avrebbe potuto avere negli ultimi secoli oltre a quella di fornace, come l'attuale toponimo suggerisce, anche quella di ricovero di bestiame. Tuttavia l'attuale struttura antropica *avrebbe comunque mantenuta intatta la*

sua forma planimetrica e strutturale originaria ad emiciclo in quanto le attuali mura poggiano, a mio parere, proprio sulle mura portanti dell'antico anfiteatro.

Riassumendo, l'analisi d'alcune antiche mappe confermano quanto tramandato dalle fonti storiche e cioè che il centro urbano di Sybaris fosse ubicato in prossimità dell'alveo del fiume Coscile e che, quest'ultimo, secondo il parere dello scrivente, scorreva nel suo tratto finale nei pressi dell'attuale corso del t. Raganello (fig. 20) così come riportato sulla mappa del Danti redatta nella prima metà del XVI secolo (fig. 12). Inoltre le mappe del Caesius (fig. 14), di Rizzi Zannoni del Regno di Napoli (fig. 15), quella del Regno delle Due Sicilie (fig. 17) e delle relative circoscrizioni ecclesiastiche (fig. 19) riportano immediatamente a sud del t. Raganello la dicitura "*resti, o rovine di Sibari*" proprio nel settore territoriale riconosciuto nella ricerca come il limite più settentrionale del possibile insediamento dell'antica polis arcaica. Proprio in quest'area è localizzato l'emiciclo di chiara origine antropica dal diametro di circa 100 mt con una corda di circa 37.5 mt molto evidente su immagine lidar (fig. 29). Abbiamo pertanto associato questa traccia, ancora oggi visibile in sito nonostante sia fortemente rimaneggiata, all'antico teatro greco della Polis arcaica di Sybaris. Inoltre è davvero sorprendente come la planimetria in oggetto somigli a quella del teatro greco di Segesta (fig. 22) e di Mileto le cui immagini, di seguito riportate, dimostrano in una comparazione visiva efficace:

Le fonti storiche chiaramente attestano che Sybaris aveva un impianto urbanistico simile a quello dell'antica polis di Mileto, la fidata città alleata le quali trovarono l'una ispirazione dall'altra, con una rete stradale che suddivideva l'impianto urbanistico in quadrati o rettangoli e con la viabilità che giungeva al centro della città congiungendosi con l'agorà. Curiosa coincidenza, a riguardo, è la misura del diametro dell'anfiteatro greco di Mileto che collima perfettamente con la misura del diametro dell'emiciclo che affiora invece nei pressi dell'attuale

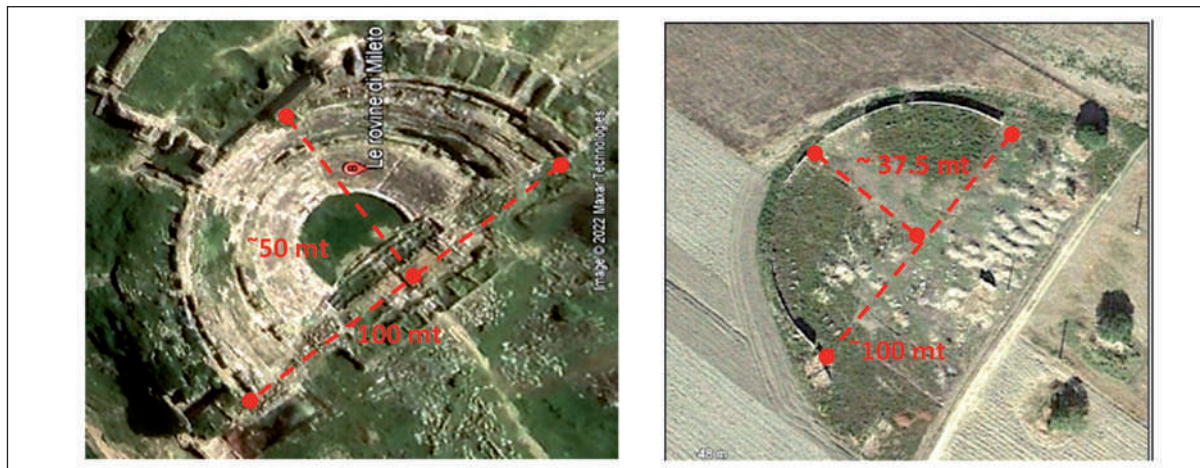


Figura 23 – Confronto tra lo sviluppo planimetrico del perimetro del teatro di Mileto con la forma a emiciclo ubicata a c.da Fornara di Sibari.

Sibari come si può constatare facilmente dalle foto riportate affiancate in figura 23.

La figura 22 mostra una congruenza sorprendente tra la forma antropica affiorante in contrada Fornara e la planimetria del teatro greco di Segesta (Sicilia) del IV sec. a.C. che fu costruito poggiando la cavea su un muro portante (cosa inusuale tra i greci) sviluppato in altezza per circa 12-15 mt. Anche il teatro greco di Sybaris doveva essere costruito con modalità simili dunque dotato di un'altezza forse anche superiore viste le dimensioni descritte in figura e sarebbe stato proprio questo il motivo per cui, ancora ai nostri giorni, così come nel XVIII secolo, affiorava parzialmente in superficie. Infatti, se l'infrastruttura avesse avuto un'altezza inferiore agli 8 mt sarebbe stata completamente immersa nei sedimenti alluvionali e dunque non rilevabile in affioramento com'è avvenuto per i resti di Copiae e di Thurii e per tutti gli altri resti di Sybaris.

Interessante notare la natura di alcuni elementi lapidei attualmente caduti in prossimità delle mura. L'ipotesi è che le antiche mura greche sono state nel tempo in gran parte sostituite, a seguito di crolli e rifacimenti, da materiale povero che consiste prevalentemente in laterizi e ciottoli fluviali di varia pezzatura e di varia natura. La struttura sarebbe stata negli ultimi secoli ampiamente rimaneggiata, e destinata a usi diversi (fig. 25, fornace ad esempio) e riedificata proprio lungo lo stesso impalcato strutturale originario dell'antico teatro per questo avrebbe conservato il *peculiare impianto planimetrico che ci porta a poter ritenere che, il resto della infrastruttura originaria è sepolta nel sottosuolo.*

Non sarebbe un caso dunque che tra il materiale costituente il muro sia stato ampiamente utilizzato altro materiale reperibile in loco in epoche recenti. Tuttavia, tra gli elementi lapidei costituenti la struttura sono stati rilevati diversi blocchi calcarei (calcarene) ben lavorati (figg.re 26 e 27) che potrebbero risalire all'epoca greca arcaica. Il blocco calcareo visibile in figura 26 è evidentemente lavorato e sembrerebbe essere la base o il top di una colonna mentre, il blocco calcareo lavorato visibile

in figura 27 potrebbe essere ciò che resta di sedile dotato di schienale guarda caso, elemento architettonico questo presente nella parte alta della scalinata del teatro greco di Segesta dove prendevano posto gli individui greci d'alto rango.

Altri interessanti indizi si riferiscono a entrambe le carte dell'ing. Astarita (fig. 28) l'una redatta nel 1759 che è reperibile a Napoli presso l'Istituto Italiano per gli Studi Filosofici l'altra, del 1789 lo è presso la Diocesi di Cassano Ionio (Cs). Si tratta della forma di una struttura a emiciclo posta proprio nel "Tenimento di Fornara" che potremmo associare alla costruzione in questione che all'epoca, molto probabilmente, doveva esser meglio conservata e meno rimaneggiata rispetto a quella osservata ai nostri tempi inducendo i cartografi a riportarne sulle mappe la dicitura: **Resti di Sibari**. A ridosso di questa struttura antropica dalla geometria fortemente sospetta è anche riportata il toponimo **Porta Vecchia** che potrebbe lasciar supporre che, le mura della polis, erano proprio localizzate in questa zona e che, probabilmente, anche la struttura portante esterna al teatro potrebbe aver avuto anche una funzione difensiva e di confinamento del nucleo urbano al quale si accedeva proprio attraverso le porte d'ingresso ricavate nelle mura fortificate una delle quali poteva proprio essere la **Porta Vecchia**!.

È estremamente opportuno, a mio parere, effettuare una serie d'indagini geofisiche e scavi archeologici preventivi in tutta l'area per almeno 4-6 metri di profondità per verificare la presenza di reperti storici sepolti associabili all'antico teatro. Ciò sarebbe una scoperta sensazionale di elevato valore storico/scientifico e dalla sicura risonanza mediatica di portata internazionale. In figura 29 è riportato uno stralcio della immagine Lidar dell'area in oggetto dove è ben evidente una struttura antropica dalla forma planimetrica a emiciclo perfetto.

Ho provato a immaginare quale poteva essere lo stato dei luoghi ai tempi delle antiche riproduzioni cartografiche. Ho pertanto sovrapposto, in un *fotomontaggio*, l'immagine dell'anello più elevato del teatro greco di Segesta alla struttura attualmente visibile in c.da Fornara. L'effetto della ricostruzione

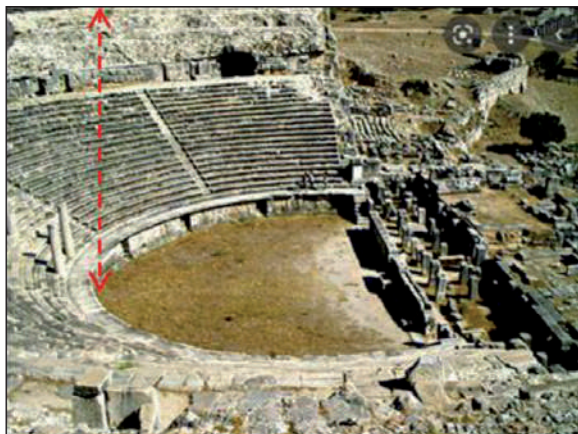


Figura 24 – Foto dei resti del teatro greco-romano di Mileto con evidenza dell'altezza dell'edificio.



Figura 25 – Tratto di muro affiorante lungo l'allineamento planimetrico ad emiciclo.



Figura 26 – Foto di un blocco di calcare lavorato probabilmente la base o il top di una colonna.



Figura 27

fotografica è **riportata in fig. 30** la quale rende bene l'idea di come poteva apparire la struttura agli occhi dei cartografi tra il XVII e il XVIII sec. tale da poterne giustificare la specifica toponomastica riportata sulle loro antiche mappe.

I resti archeologici che si apprezzano in figura 30 (foto ricostruzione dell'aspetto che il luogo avrebbe potuto avere circa 3 secoli fa) sarebbero quelli dell'anello più alto del teatro greco di Segesta posizionati a circa 10 mt di quota dal piano campagna. Ritengo sia accaduto proprio questo e cioè che, proprio l'altezza del teatro potrebbe aver consentito alla sua parte più elevata di emergere oltre il piano campagna sino ad affiorare in superficie ed essere visibile anche in epoche recenti. Se così fosse allora gran parte della struttura potrebbe essere sepolta nel sottosuolo in attesa di essere liberata e *ripulita* dai terreni alluvionali che la sovrastano.

Conclusioni

Concludo riassumendo le ipotesi che sono state formulate in questa fase dello studio di ricerca geoarcheologica dell'antico sito d'ubicazione della polis arcaica di Sybaris, in particolare dell'anfiteatro greco e d'una porzione delle mura fortificate per cui è stata delimitata un'area che probabilmente ospita, nel sottosuolo, i resti di quell'infrastruttura.

Le mappe storiche allegate, la planimetria della struttura antropica a emiciclo perfetto e alcuni blocchi lapidei lavorati (calcareniti) ci consentono di poter formulare un'ipotesi di questo tipo.

È auspicabile che le autorità competenti approfondiscano gli studi con indagini geofisiche e con saggi archeologici preventivi per verificare se il sito indicato dallo studio custodisce i resti teatro greco e d'una porzione delle fortificazioni.

Se così fosse sarebbe opportuno procedere senz'indugio al recupero, alla tutela e alla valorizzazione di quello che potrebbe diventare, in breve tempo, tra i siti storici più visitati in Italia contribuendo, in modo significativo, a incrementare lo sviluppo economico e sociale di tutto il comprensorio.

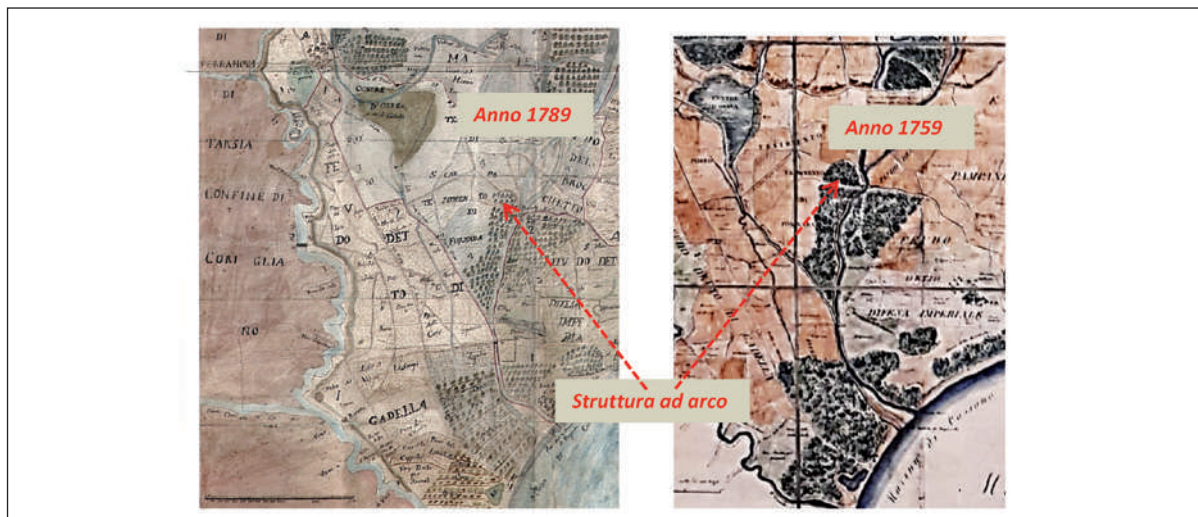


Figura 28 - Carte geografiche redatte dall'ing. Astarita, nel 1759 e nel 1789 di Cassano Jonio.



Figura 29 - Immagine Lidar con evidenza di una struttura Antropica.



Figura 30 - Foto della struttura antropica ed emiciclo con riportato, in fotomontaggio, la parte alta del teatro di Segesta.

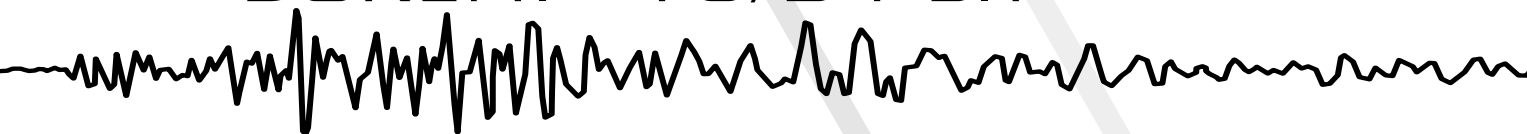
Bibliografia

- Van Dijk J.P., Bello M., Brancaleoni G.P., Cantarella G., Costa V., Frixia A., Golfetto F., Merlini S., Riva M., Torricelli S., Toscano C., Zerilli A., 2000, «A regional structural model for the northern sector of the Calabrian Arc (southern Italy)», *Tectonophysics*, n. 324, pp. 267-320.
- Tortorici L., Monaco C., Tansi C., Cocina O., 1995, «Recent and active tectonics in the Calabrian arc (southern Italy)», *Tectonophysics*, n. 243, pp. 37-55.
- Tansi C., Muto F., Critelli S., Iovine G., 2007, «Neogene–Quaternary strike-slip tectonics in the central Calabrian Arc (southern Italy)», *J. Geodyn.*, n. 43, pp. 393-414.
- Guerricchio A., Ronconi M.L., 1997, «Osservazioni geomorfologiche nella piana di Sibari e variazioni delle linee di costa storiche nella zona degli scavi archeologici», *I Quaderni I.R.F.E.A.*, vol. 12, p. 31 e ss.
- Sorriso-Valvo A., Sylvester A.G., 1993, «The relationship between geology and landforms along a coastal mountain front, northern Calabria, Italy», *Earth Surface Processes And Landforms*, vol. 18, pp. 57-273.
- L. Carobene, 2003, «Genesi, età, sollevamento ed erosione dei terrazzi marini di Crosia-Calojezzati (costa ionica della Calabria-Italia)», *Il Quaternario*, n. 16, pp. 43-90.
- R. Westaway, 1993, «Quaternary uplift of southern Italy», *J. Geophys.*, pp. 21741-21772.
- E. Santoro, 2010 «Deformazione recente attiva (Pleistocene medio-Olocene) nell'area compresa tra la Sila e il Pollino», Dottorato di ricerca, Università degli Studi di Catania.
- ISPRA, «Legenda carta geologica F543 Progetto Carg.» Servizio Geologico d'Italia, https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/note_illustrative/543_Cassano_allo_Ionio.pdf.
- Carobene L., 1997, «Sequenze deposizionali del Pleistocene medio nella valle del Fiume Crati presso Tarsia (Calabria)», *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 116, pp. 503-524.
- R. Westaway, 1993, «Quaternary uplift of southern Italy», *J. Geophys.*, 87, pp. 21741-21772.
- G. Antonioli, Ferranti L., Lambeck K., Kershaw S., Verrubbi V., Dai Pra G., 2006, «Late Pleistocene to Holocene record of changing uplift rates in southern Calabria and northeastern Sicily (southern Italy, central Mediterranean Sea)», *Tectonophysics*, n. 422, pp. 23-40.
- V. Ferranti, Antonioli F., Mauz B., Amorosi A., Dai Prà G., Mastronuzzi G., Monaco C., Orrù P., Pappalardo M., Radtke U., Renda P., Romano P., Sansò P., Verrubbi V., 2006, «Markers of the last interglacial sea-level high stand along the coast of Italy: tectonic implications», *Quaternary International*, 145, pp. 30-54.
- B. D. Westaway, Bridgland, D., 2007, «Late Cenozoic uplift of southern Italy deduced from fluvial and marine sediments: Coupling between surface processes and lower-crustal flow», *Quaternary International*, 175, pp. 86-124.
- Cinti F.R., Cucci L., Pantosti D., D'Addezio G., Meghraoui M., 1997, «A major seismogenic fault in a "silent area": the Castrovillari Fault (southern Apennines, Italy)», *Geophys. J.*, 130, pp. 595-605.
- Cinti F.R., Cucci L., 1998, «Regional uplift and local tectonic deformation recorded by the Quaternary marine terraces on the Ionian coast of northern Calabria (southern Italy)», *Tectonophysics*, n. 292, pp. 67-83.
- CHERUBINI C., COTECCHIA V., PAGLIARULO R., 1994 «Geological and geotechnical problems connected with the disappearance of the ancient city of Sybaris», *Science and Technology for cultural heritage*, vol. III, pp. 95-112.
- Guerricchio A., Melidoro G., 1975, «Geological investigations applied to the archaeology of the buried city of Sybaris», *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 12, 83-88.
- V. Cotecchia, P. Guzzo, 1992, «Geologia e Archeologia», in Studi sulla Magna Grecia, Taranto-Sibari.
- Pagliarulo, R., Cotecchia, F., Coop, M.R., Cherubini, C., 1995, «Studio litostratigrafico e geotecnico della piana di Sybaris con riferimento all'evoluzione morfologica e ambientale del sito archeologico», *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 30, 375-391.
- Coop, M.R., Cotecchia F., 1997, «The geotechnical settlements of the archaeological site of Sibari», *Geotech. Eng. for the Preservation of Monuments and Historic Sites*, 89-100.
- F. Cafaro, F. Cotecchia, V. Lenti, 2011, «Criticità nella modellazione geotecnica della subsidenza dell'area di Sibari (Calabria)», *Incontro annuale ricercatori di geotecnica*, Torino.
- G. Lena, 1999, «Il territorio di Cassano fra il XVIII e il XIX secolo», Cassano Ionio: Biblioteca Diocesana di Cassano Ionio.
- Galli, P. e Bosi, V., 2003, «Catastrophic 1638 earthquakes in Calabria (southern Italy). New insight from paleoseismological investigation», *J. Geophys.*
- A. D. Somma, 1641, «Historico racconto de i terremoti della Calabria dall'anno 1638», Napoli.

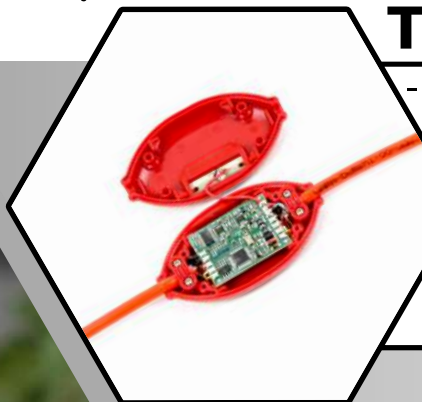
SISMOGRAFO

DOREMI[®] 16/24 BIT

®



Telemetria digitale



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

Modulare



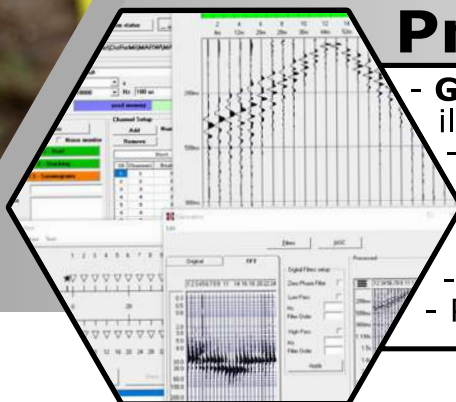
- **Configurabile da 1 a 255 canali**
- Diverse tipologie di geofoni e sensori
- **Componenti intercambiabili**
- Prolunghe e Power Booster al bisogno

Multiruolo



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

Pratico



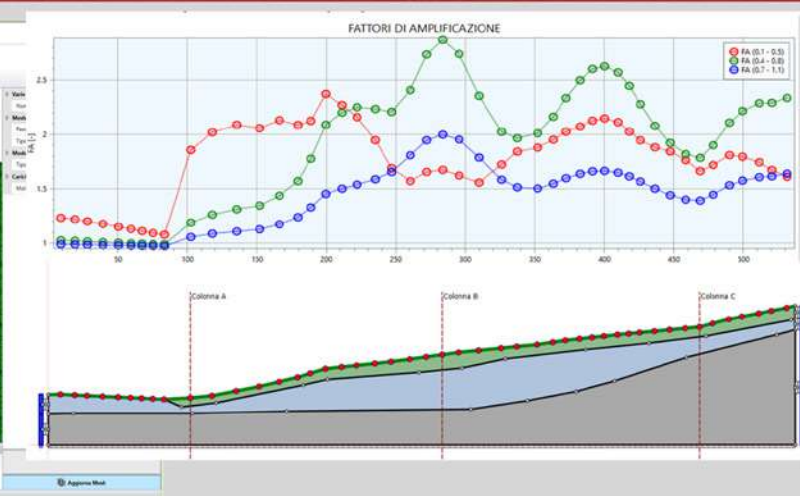
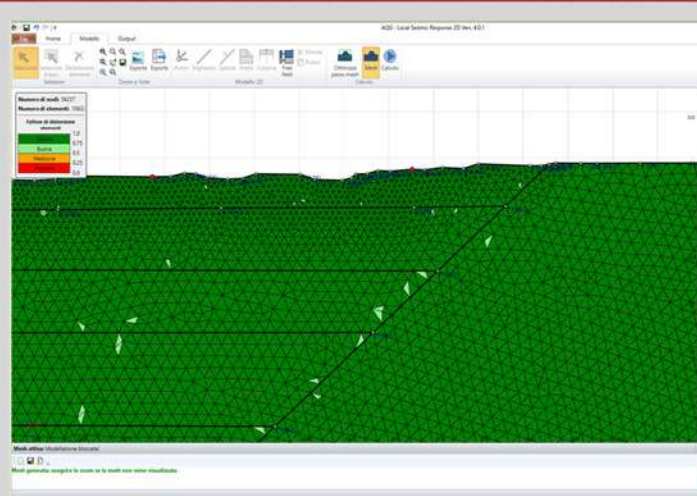
- **Gestione totale dell'acquisizione** con il software **DoReMi GeoExplorer**
- Roll Along, Interlace, Walk Away, Down Hole, etc.
- **Controllo rumore in situ**
- Controllo qualità dei dati
- **Analisi spettrale**
- Picking per rifrazione e molto altro

Via Angelo Morettini, 11, 06128 Perugia

E-mail: info@sara.pg.it | Web: sara.pg.it | Telefono: +39 075 505 1014, +39 075 937 0309

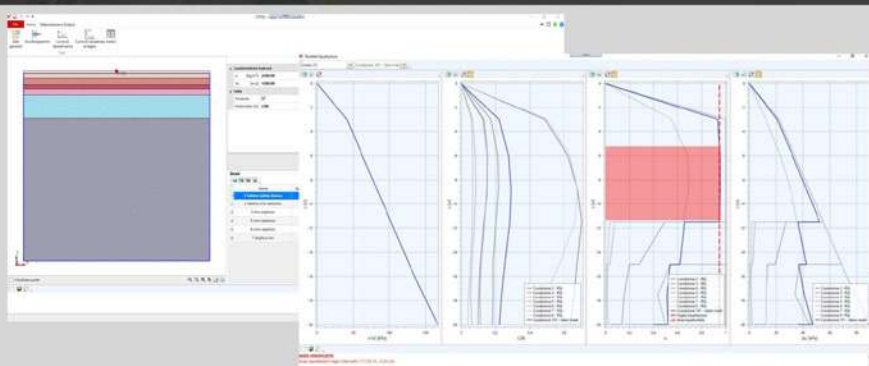
LSR_{2D}

SOFTWARE PER L'ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE 2D

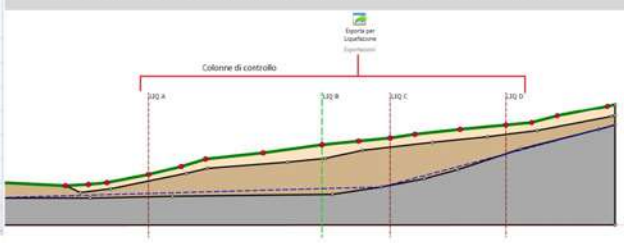


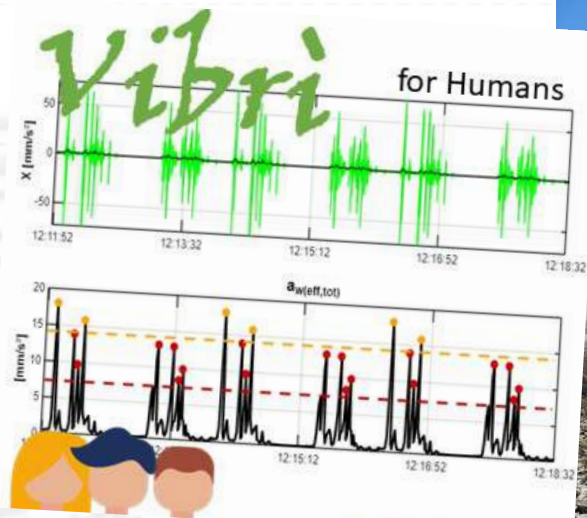
LIQUEFAZIONE[©]

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



INTEROPERABILITÀ CON LSR





Idee, strumenti e software
innovativi, per ogni esigenza
Geofisica e Vibrazionale.

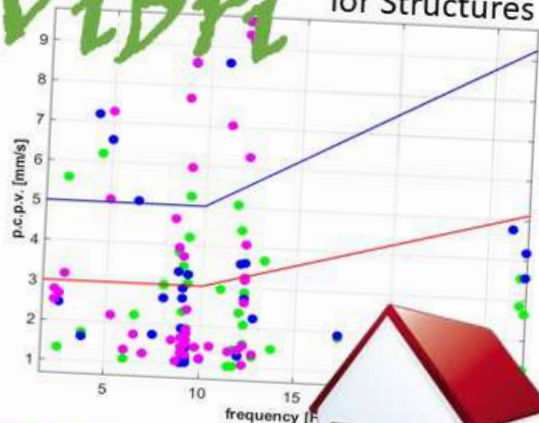
Servizi di analisi dati e
corsi di formazione
accreditati.



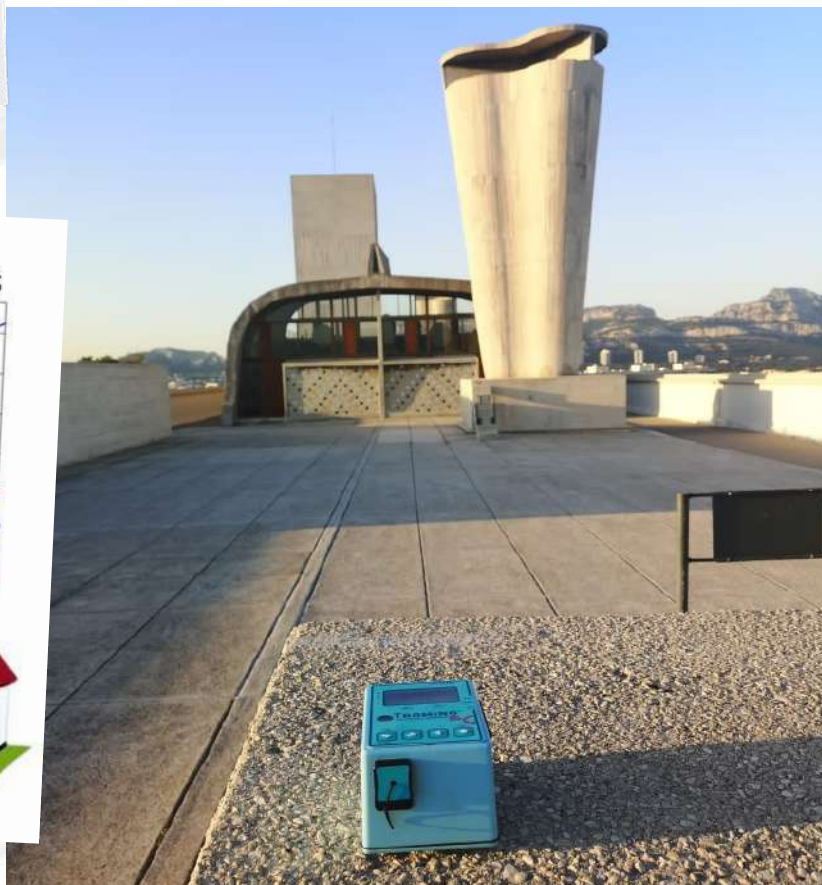
www.moho.world

Vibri

for Structures



MOHO
SCIENCE & TECHNOLOGY



LinkedIn

YouTube

Intervento di mitigazione del rischio di crollo di una grotta marina lungo la costa della città di Polignano a mare (Bari, Puglia)

Alessandro Reina | Geologo – Ricercatore DICATECh – Politecnico di Bari
Paolo Greco | Ingegnere – Libero professionista

Premessa

Il seguente articolo descrive le caratteristiche geologiche e fisico meccaniche delle rocce che costituiscono il tratto costiero in falesia della città di Polignano a mare (BA). In particolare, sono state verificate le condizioni di stabilità del tratto caratterizzato dalla presenza della grotta marina denominata Pietropaolo e le sue condizioni per l'intervento di consolidamento e messa in sicurezza.

Il sistema roccioso, nel complesso, è stato studiato con modelli agli elementi finiti e analisi non lineari che hanno tenuto conto dei seguenti aspetti:

- irregolarità geometriche delle cavità e dei "pilastri" rocciosi;
- assetto stratigrafico costituito da un ammasso di calcarenite gravante su un substrato di calcare;
- distribuzione dei carichi provenienti da edifici esistenti e strade trafficate dagli automezzi.

Lo stato di progetto esaminato corrisponde all'introduzione nel modello di calcolo dei seguenti aspetti:

intasamento con riempimento parziale di cls in strati di getti massivi;

chiodature sulla calcarenite sopra il livello medio del mare (tiranti passivi permanenti).

Dal confronto degli spostamenti tra lo stato attuale e quello di progetto, si può osservare il diverso potenziale cinematico. Nello stato attuale, le aree a maggior spostamento restano nella parte più in aggetto verso mare. Allo stato di progetto si risente della presenza dell'intasamento, per cui si ha un miglioramento della portanza del sistema, che arriva a collasso per spostamenti massimi di valore maggiore rispetto a quelli calcolati allo stato di fatto.

Figura
Ubicazione
del tratto costiero
della città di
Polignano a mare.



1. Caratterizzazione Geologica

La costa adriatica interessata dal presente studio è ubicata in corrispondenza del centro storico del paese di Polignano a Mare in corrispondenza di un tratto in falesia. La costa è anche caratterizzata dalla presenza diffusa di grotte marine ed in particolare lo studio ha interessato la grotta denominata Pietropaolo.

Lo schema geologico è caratterizzato dalla presenza di un potente substrato calcareo-dolomitico di età cretacea, riferibile al 'Gruppo dei Calcari delle Murge' (costituito in quest'area dalla unità del "Calcare di Bari") su cui si rinvengono, in lembi residui, i depositi biocalcarenitici di età plio-pleistocenica, riferibili all'unità della "Calcarenite di Gravina".

Alla scala dell'affioramento le rocce del Calcare di Bari risultano costituite da una successione di calcari, calcari dolomitici e dolomie, ben stratificati, sempre più o meno intensamente fratturati e interessati da fenomeni di dissoluzione carsica. Alla scala del campione, invece, si presentano molto compatte, a grana fine o finissima, poco porose ed estremamente tenaci, di colore bianco o grigio-nocciola. I termini dolomitici, di colore dal grigio al grigio-scuro, sono caratterizzati da una maggiore durezza e tenacità e risultano, rispetto ai termini calcarei, generalmente meno interessati dal fenomeno carsico. I depositi riferibili alla "Calcarenite di Gravina" formano, nell'area di studio, una copertura piuttosto discontinua dello





Figura – Tratto in falesia della costa in corrispondenza dell'abitato di Polignano a mare (BA).

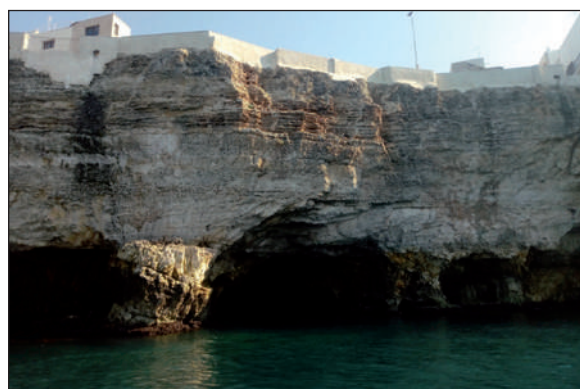


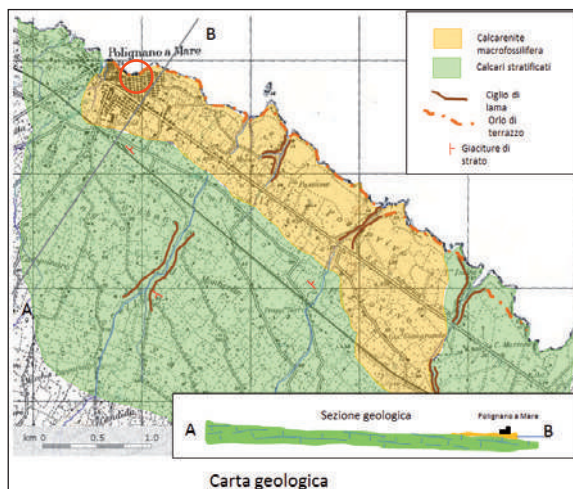
Figura – Ingresso della grotta Pietropaolo.



Figura – Livello di breccie interposto tra il basamento calcareo e le biocalcareni.

spessore variabile da pochi metri fino ad alcune decine di metri; costituiscono rocce di aspetto tufaceo, a macrofossili, di colore bianco-giallastro, relativamente porose, tenere e poco tenaci, in genere non stratificate, caratterizzate da un grado di cementazione variabile.

In corrispondenza della Grotta marina Pietropaolo si osserva un basamento posto all'incirca al livello del mare è costituito da rocce in strati di calcare con assetto suborizzontale o debolmente inclinata sino a circa 10°. Questo substrato di calcari



si presenta ben stratificato e variamente fratturato.

Al di sopra del substrato calcareo si osserva una bancata di breccie a frammenti calcarei e calcarenitici in matrice sabbiosa rossastra debolmente alterata e variamente cementata. La superficie di contatto delle breccie con i sottostanti calcari è piuttosto articolata e a luoghi si può osservare una evidente discordanza angolare. La superficie di contatto con le soprastanti calcareniti risulta pressoché orizzontale con leggera giacitura a reggipoggio. Lo spessore è variabile sino ad un max di 2.5m.

La successione si chiude quindi con un ammasso roccioso debolmente clinostratificato costituito da biocalcareni giallastre di aspetto tufaceo e spessore di circa 10m.

2. Caratterizzazione meccanica e stratigrafica

Le campagne di indagine geognostiche e i rilievi geologici hanno consentito di identificare, per la cavità marina Pietro-Paolo sita nel comune di Polignano a Mare, la stratigrafia schematizzata nella seguente figura.

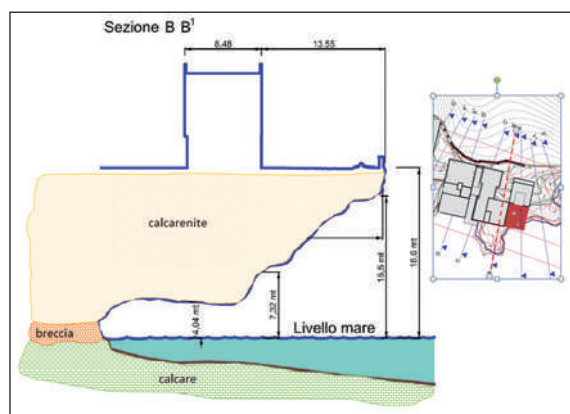


Figura 1. Sezione geologica associata all'ammasso roccioso della cavità marina Pietropaolo.

Si osserva, dal basso verso l'alto, le rocce *calcaree*, che occupano lo strato sommerso entro il livello medio del mare; segue uno strato di *breccia*, che è soggetto maggiormente all'azione degli agenti erosivi, ed infine lo strato superiore, costituito da un ammasso *calcarenitico*, che rappresenta la "volta" e le "spalle" della grotta, su cui si sono concentrate le prove di laboratorio e le cui caratteristiche meccaniche presentano una variabilità spaziale funzione del grado di cementazione dei granuli.

Per quanto riguarda la **CALCARENITE**, nel seguente grafico sono riportati i risultati delle prove di compressione uniassiale (UCS) e della misura del peso specifico (γ) con la profondità dei campioni prelevati durante tali indagini.

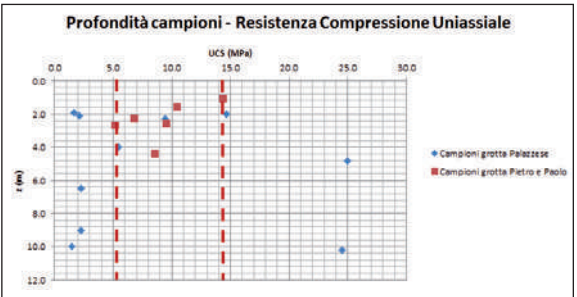


Figura 2. Grafico dei valori della campagna di prove a compressione uniassiale.

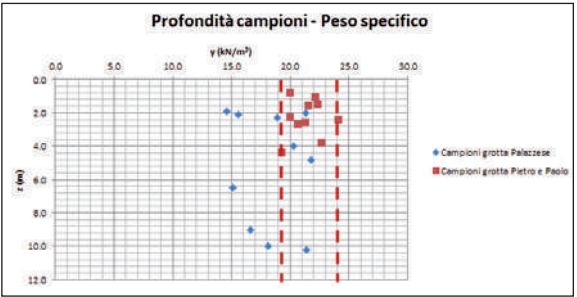


Figura 3. Grafico dei valori della campagna di misure del peso specifico.

I parametri geotecnici rappresentativi dell'ammasso roccioso delle cavità, assunti nel calcolo come valori di progetto e risultanti dall'elaborazione secondo il criterio di rottura di Hoek & Brown, sono stati definiti sulla base dell'UCS minimo rilevato dalle indagini, a vantaggio di sicurezza, proprio per la variabilità dei valori di resistenza della roccia sull'intero sistema geotecnico.

Poiché nelle analisi hanno un effetto trascurabile le amplificazioni dei carichi secondo i coefficienti di normativa, allora è stata adottata un'unica condizione di carico a vantaggio di sicurezza, con la seguente combinazione: **A1+M2+R1** ovvero una condizione di carico che prevede il massimo incremento dei carichi e la contemporanea riduzione delle resistenze del materiale roccioso delle cavità marine.

Nei modelli numerici per calcolare il fattore di sicurezza, si è proceduto mediante la progressiva riduzione dei parametri di resistenza geotecnici (angolo d'attrito e coesione e resistenza

a trazione dell'ammasso), individuando il fattore di riduzione per il quale si ha perdita di equilibrio del sistema. Il fattore di riduzione associato a tale potenziale cinematismo di collasso rappresenta, quindi, il fattore di sicurezza, corrispondente al rapporto tra i parametri di resistenza iniziali e quelli finali mobilitati.

I fattori di sicurezza così ottenuti sono stati raggruppati per combinazioni di carico come segue:

Analisi	Descrizione	Condizioni	Fs
1	Stato di fatto	Statiche	1.25
2	Stato di progetto	Statiche	1.84
3	Stato di progetto	Sismiche +K _h , +K _v	2.22
4	Stato di progetto	Sismiche +K _h , -K _v	2.72

Sono stati definiti i seguenti parametri, finalizzati alla definizione dei parametri caratteristici e alla successiva definizione dei parametri di progetto: il peso specifico dell'ammasso roccioso di calcarenite, pari circa al valore medio dei campioni ($\gamma=20 \text{ kN/m}^3$) e il parametro UCS, il cui valore medio è pari a 9.2 MPa ma, data l'ampia variabilità dei valori è stato assunto il valore minimo riscontrato dalla campagna di indagini sulle cavità Pietro-Paolo (**UCS=5.2 MPa**)

Le prove di laboratorio hanno consentito di identificare in modulo elastico dell'ordine di **E_t=500 MPa**.

Per quanto riguarda il **CALCARE** si è fatto riferimento a valori di letteratura, ovvero **UCS=50 MPa** e $\gamma=24 \text{ kN/m}^3$ come valore caratteristico, modulo elastico **E_t=10000 MPa**. Lo studio geotecnico si è comunque focalizzato sulla calcarenite, che rappresenta il materiale più debole del sistema nel suo complesso. Per quanto concerne lo strato di breccia, più facilmente aggredibile dall'azione erosiva delle onde e dell'aria, rispetto al sottostante calcare, è formato da un conglomerato con matrice calcarenitica, e presenta parametri di resistenza meccanica simile a questa. Pertanto, ai fini della caratterizzazione, tale strato è stato assimilato alla sovrastante calcarenite.

Il **legame costitutivo** adottato per la rappresentazione dell'ammasso roccioso calcarenitico è stato quello di **Hoek & Brown**.

Si riporta di seguito la sintesi dei parametri che definiscono il criterio di rottura Hoek & Brown ed i risultati dell'elaborazione effettuata per la definizione dei valori di coesione, angolo d'attrito e tensione massima di trazione, intesi come valori caratteristici dei parametri geotecnici dell'ammasso roccioso delle cavità:

Tabella 1. Parametri per la definizione dei modelli di Hoek & Brown.

Dati input	GSI	σ_c	m_i	D	E _t	Profondità	γ
U.M.	[-]	[MPa]	[-]	[-]	[MPa]	[m]	[kPa]
Calcarenite	75	5.2	4	0	500	11	20

Tabella 2. Calcolo dei parametri caratteristici per gli ammassi rocciosi di calcarenite (Hoek-Brown).

	E _{caratt}	C _{caratt}	ϕ_{caratt}	$\sigma_{t,caratt}$
U.M.	[MPa]	[kPa]	[°]	[kPa]
Calcarenite	410	275	43	200

Si riporta di seguito anche l'analoga tabella calcolata per i valori medi.

Tabella 3. Calcolo dei parametri medi per gli ammassi rocciosi di calcarenite (Hoek-Brown).

	E_{med}	C_{med}	ϕ_{med}	$\sigma_{t,med}$
U.M.	[MPa]	[kPa]	[°]	[kPa]
Calcarenite	410	490	44	350

3. Parametri e carichi di progetto per le grotte Pietro-Paolo per le analisi SLU/SLV

In accordo al punto 6.2.4.1.2 delle NTC 2018 “Il valore di progetto della resistenza si ottiene, per il caso (a), applicando al valore caratteristico della resistenza unitaria al taglio τ_R un coefficiente parziale $\gamma_{tr}=1,0$ (M1) e $\gamma_{tr}=1,25$ (M2) ...”. I parametri che influenzano la tensione tangenziale resistente nel criterio di Hoek & Brown sono la coesione c' , l'angolo d'attrito ϕ' e la tensione normale massima di trazione σ_t , a cui è stato applicato il coefficiente parziale γ_{tr} per ottenere i valori di progetto. Le cavità marine in oggetto potrebbero essere assimilate a un pendio naturale (capitolo 6.3 di NTC 2018) o a un'opera in sotterraneo (capitolo 6.7 di NTC 2018). La Circolare esplicativa delle NTC 2018 (punto C6.2.4.1) prevede di considerare “Il riferimento all'Approccio 1 in quei casi per i quali può manifestarsi qualche ambiguità, non risolvibile a priori, sugli effetti delle azioni permanenti nelle verifiche di tipo geotecnico”, per cui secondo le due combinazioni di coefficienti A1+M1+R1 e A2+M2+R2 in cui: nel primo caso vengono amplificati i carichi variabili di 1.5 e di 1.35 gli automezzi senza la riduzione delle resistenze dell'ammasso roccioso, mentre nel secondo caso vengono amplificati i carichi variabili di 1.3 e di 1.15 gli automezzi con la riduzione delle resistenze dell'ammasso roccioso. **NB.** Nelle analisi eseguite mediante modellazioni FEM, l'amplificazione dei carichi permanenti e variabili da Approccio 1 comb. 1 è poco influente sul fattore di sicurezza, rispetto all'amplificazione dei carichi da Approccio 1 comb. 2. Pertanto sono stati presentati di seguito, solo i risultati relativi ad un'unica combinazione di carico “ibrida” A1+M2+R1, a vantaggio di sicurezza, con i carichi massimi applicabili sul modello secondo Approccio 1-1 e i parametri geotecnici ridotti per avere quelli di progetto secondo Approccio 1-2.

Per la calcarenite, nel caso statico allo SLU sono stati assunti i seguenti parametri geotecnici di progetto dell'ammasso roccioso, ridotti con i coefficienti parziali M2 nel **caso statico** e assumendo i coefficienti unitari nel **caso sismico** allo SLV.

I carichi per l'analisi computazionale delle cavità marine Pietro-Paolo sono stati assunti, in via cautelativa, amplificati con i coefficienti parziali A1:

- Nel **caso statico** allo SLU, $q_d=q_k \cdot 1.5=20 \text{ kPa} \cdot 1.5=30.0 \text{ kPa}$, nelle superfici corrispondenti alle impronte in proiezione degli edifici esistenti soprastanti (avendo considerato 10 kPa uniformemente distribuito per piano ed edifici di 2 piani); $q'_d=q'_k \cdot 1.35=9 \text{ kPa} \cdot 1.35=12.2 \text{ kPa}$ nelle superfici proiezione delle sedi stradali (in accordo al carico stradale uniformemente distribuito da schema 1, fig. 5.1.2 di NTC 2018); $\gamma_d=20 \text{ kN/m}^3$, peso specifico rappresentativo dell'ammasso roccioso di progetto.
- Nel **caso sismico** allo SLV $q_d=q_k \cdot 1.0=20 \text{ kPa}$, (avendo considerato 10 kPa uniformemente distribuito per piano ed edifici di 2 piani); $q'_d=q'_k \cdot 1.0 \cdot \psi_{d2}=9 \text{ kPa} \cdot 1.0 \cdot 0.0=0.0 \text{ kPa}$, con $\psi_{d2}=0.0$, nelle superfici proiezione delle sedi stradali (in accordo al carico stradale uniformemente distribuito da schema 1, fig. 5.1.2 di NTC 2018) $\gamma_d=20 \text{ kN/m}^3$, peso specifico rappresentativo dell'ammasso roccioso di progetto; $K_h=a_g \cdot S \cdot \beta_m=0.086$, il coefficiente sismico orizzontale, avendo considerato che l'ammasso roccioso sia rigido e che non possano essere consentite piccole rotazioni o scorrimenti traslazionali del sistema, posto $\beta_m=1$; $K_v=(+/-)0.5K_h=(+/-)0.043$, da applicare una volta verso l'alto (segno positivo) e una volta verso il basso (segno negativo) insieme agli altri carichi in gioco del sistema.

Per quanto riguarda i coefficienti parziali di riduzione della portanza del sistema i valori minimi dipendono dal tipo di opera. Nel caso di opere in sotterraneo, al punto 6.7.5 delle NTC 2018, si considerano unitari $R1=R2=1$. Nel caso di fronti di scavo il valore di riferimento è $R2=1.1$ al punto 6.8.2 delle NTC.

Nel caso della stabilità dei pendii naturali, che i progettisti ritengono più aderente al caso in esame, non sono definiti valori minimi dei parametri $R1$ o $R2$, pur dovendo essere maggiori dell'unità. E la valutazione è, di fatto, lasciata al progettista, in accordo al paragrafo 6.3 delle NTC 2018 che nel caso in esame ha scelto il coefficiente **R1=1.3**

4. Modellazione e analisi agli elementi finiti

Nei seguenti paragrafi sono illustrati i modelli agli elementi finiti 3D adottati sia per lo stato attuale, che per quello di progetto. Le analisi effettuate ed il confronto tra le condizioni di sicurezza calcolate nelle due situazioni, consentono di valutare l'efficacia ed il miglioramento prodotto con gli interventi. Le restituzioni provenienti dalle attività di rilievo hanno consentito la creazione di modelli tridimensionali in grado di rappresentare la complessità del sistema in esame in termini di sforzi, spostamenti e deformazioni, tenendo conto delle proprietà meccaniche dei materiali.

Tabella 4. Parametri di progetto per le condizioni statiche e sismiche.

Input calc.	Analisi Statiche				Analisi Sismiche			
	cprog.	jprog.	st,prog	Eprog.	cprog.	jprog.	st,prog	Eprog.
U.M.	[kPa]	[°]	[kPa]	[MPa]	[kPa]	[°]	[kPa]	[MPa]
Calcarenite	220	37	160	410	275	42	200	410

I modelli hanno tenuto conto dei seguenti aspetti:

- irregolarità geometriche della cavità e dei pilastri;
- assetto stratigrafico;
- distribuzione dei carichi (provenienti da edifici e strade).

Il software adottato per le modellazioni agli elementi finiti 3D è stato il MIDAS GTS.

I dati di input sono stati:

le geometrie, ricavate direttamente dalle nuvole di punti dei rilievi o dalle planimetrie e foto disponibili per gli edifici, dalle quali sono state ottenute prima le modellazioni cad (superfici e volumi) e successivamente le mesh degli elementi finiti) le azioni descritte al precedente capitolo per le strade e gli edifici, azioni sismiche e peso proprio dei materiali al capitolo tutte le caratteristiche meccaniche per i geomateriali e quelli artificiali e definite come:

- elasto-plastiche per la calcarenite,
- proprietà elastiche per il calcestruzzo, in quanto tensioni sempre estremamente basse rispetto ai valori ultimi a rottura del calcestruzzo, e rigidità elevata (15'000 MPa) rispetto alla calcarenite (400 KPa),

Le mesh delle modellazioni, per complessivi 920 mila elementi e 170 mila nodi, sono realizzate mediante:

- Elementi tetraedrici più grandi nelle aree più distanti e via via più piccoli e dettagliati in quelle più vicine alle aree di maggior interesse, (si osservino le figure 10÷18)

- Elementi monodimensionali beam per i chiodi e le interfacce dei chiodi.

Nelle analisi elasto plastiche, lo stato tensionale iniziale è stato ottenuto mediante una costruzione per fasi, modellando cioè la fase 0 come un fronte costiero rappresentato da un parallelepipedo, la fase 1, quella dello stato attuale, eliminando il materiale in eccesso rispetto allo stato attuale, in modo simile a quello che si farebbe per uno scavo. In tal modo è stato riprodotto lo stato tensionale nello stato attuale.

Come descritto ai seguenti paragrafi, le successive analisi hanno consentito di determinare i fattori di sicurezza, evidenziare le aree a maggiore o minore spostamento e plasticizzazione, sia nello stato attuale che in condizioni di progetto oltre che le azioni ai chiodi e all'interfaccia con la calcarenite per le relative verifiche.

4.1 Modellazione FEM Stato attuale

Nelle seguenti immagini è illustrato il modello FEM 3D adottato per l'analisi dello stato attuale con alcune viste 3D e alcune sezioni. Seguono un'immagine con i carichi stradali e due immagini della parte superiore e della parte inferiore della cavità, in corrispondenza del cambio stratigrafico calcare/calcarenite.

Gli elementi del modello roccioso sono del tipo *solid* tetraedrici, mentre quelli delle chiodature passive sono elementi monodimensionali *beam*.

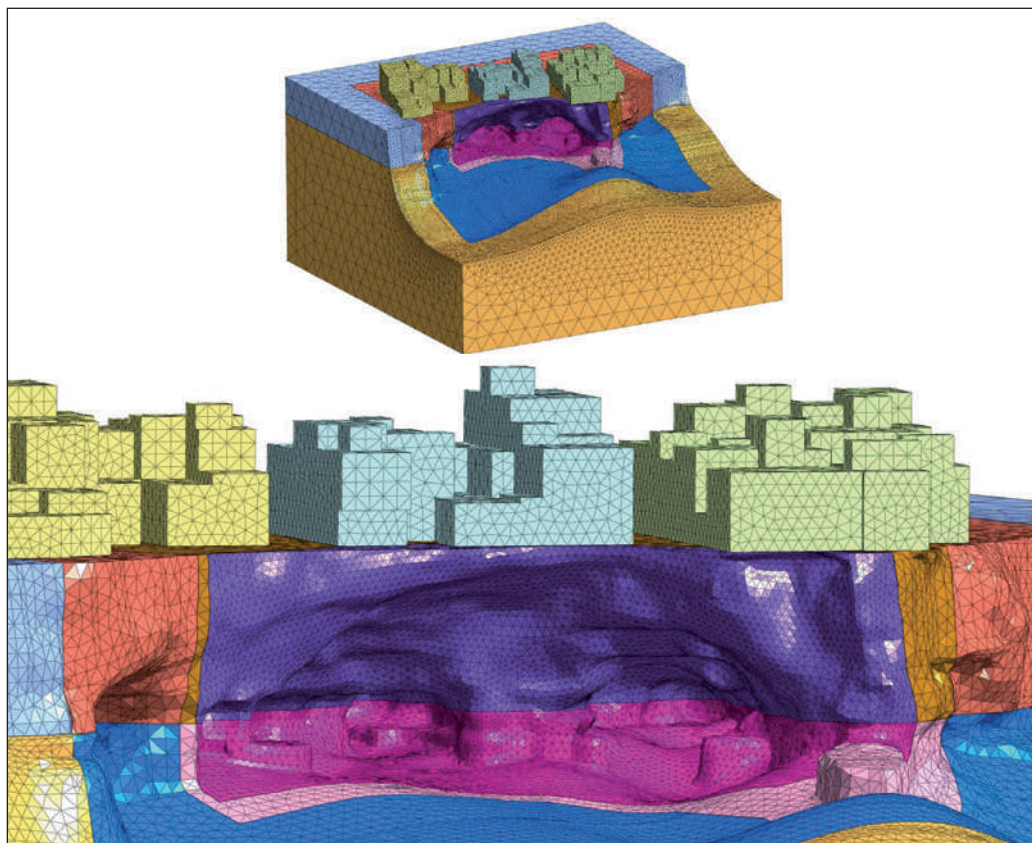


Figura 4.
Modello FEM
3D adottato per
l'analisi dello
stato attuale.

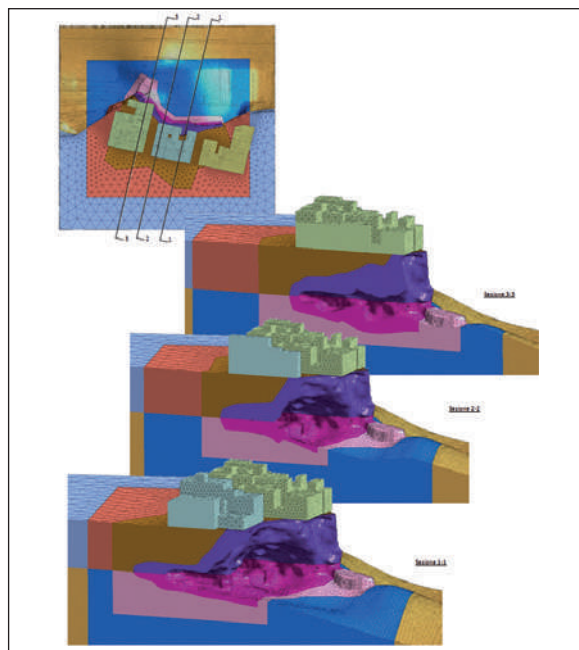


Figura 5. Modello FEM 3D adottato per l'analisi dello stato attuale. Sezioni: 1-1, 2-2 e 3-3.

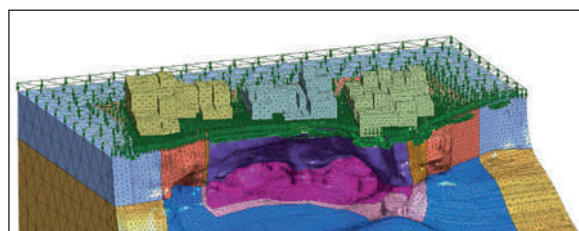


Figura 6. Modello FEM 3D – Carichi in superficie.

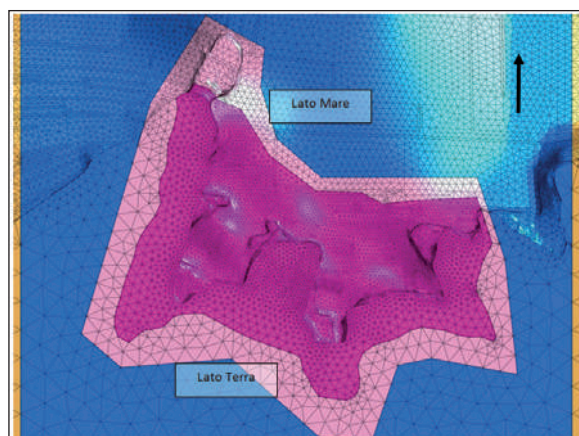


Figura 7. Modello FEM 3D – Parte inferiore della cavità, vista dall'alto, con taglio della sezione in corrispondenza del cambio stratigrafico calcare/calcarenite.

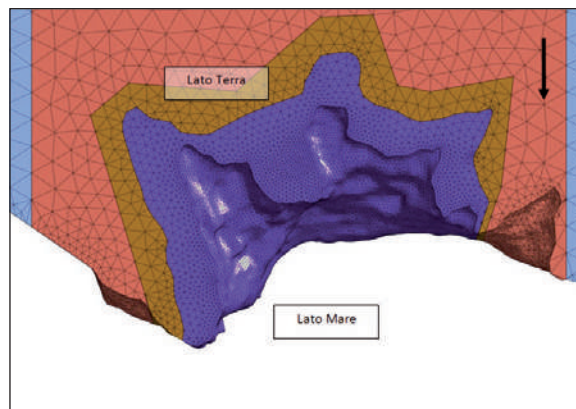


Figura 8. Modello FEM 3D – Parte superiore della cavità, vista dal basso, con taglio della sezione in corrispondenza del cambio stratigrafico calcare/calcarenite.

4.2 Modellazione FEM degli interventi di progetto

Nelle seguenti immagini sono rappresentati gli interventi di progetto che hanno lo scopo di incrementare le condizioni di sicurezza:

- intasamento (riempimento di calcestruzzo mediante strati di getti massivi);
- chiodature.

Nelle seguenti immagini sono stati illustrati gli intasamenti riportati nella modellazione, visualizzando solo la parte inferiore del modello, al fine di poterle visualizzare.

Seguono le viste del modello nelle quali è possibile visualizzare le chiodature inserite nella modellazione.

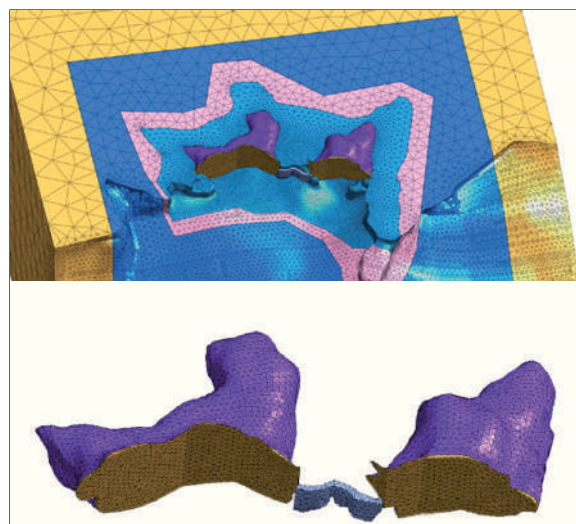


Figura 9. Modello FEM 3D – Parte inferiore della cavità, vista dall'alto, e mesh dell'intasamento in cls.

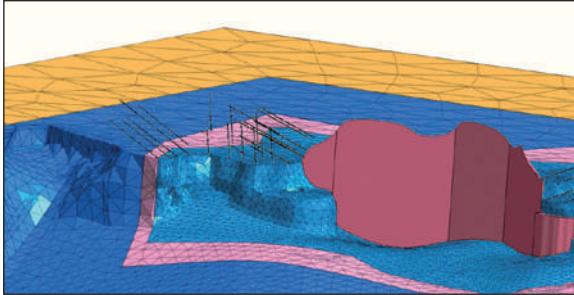


Figura 10. Modello FEM 3D – Parte inferiore della cavità e chiodature della parte sud.

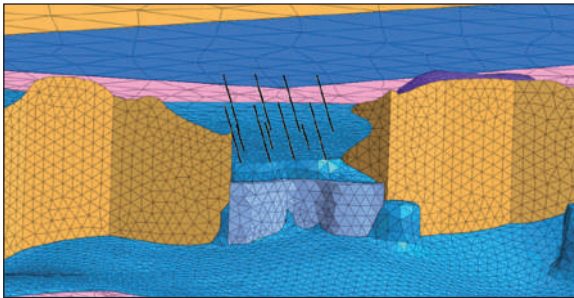


Figura 11. Modello FEM 3D – Parte inferiore della cavità e chiodature della parte centrale.

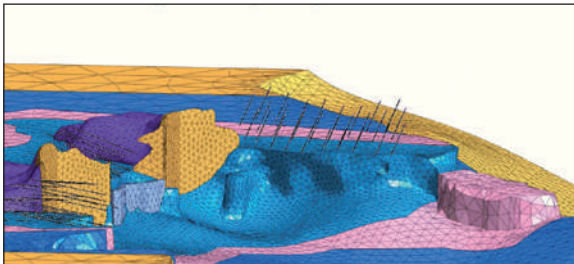


Figura 12. Modello FEM 3D – Parte inferiore della cavità e chiodature della parte nord.

4.3 Criteri di verifica e calcolo del fattore di sicurezza

Le condizioni di sicurezza sono definite in base al fattore di sicurezza della stabilità globale, che è calcolato come rapporto tra sforzi resistenti e sforzi mobilitati. Nei modelli numerici, per calcolare tale rapporto si riducono progressivamente i parametri di resistenza (nell'esempio l'angolo di attrito e la coesione), individuando il fattore di riduzione per il quale si ha perdita di equilibrio nel sistema, cioè quello incipiente alle condizioni di collasso. Tale condizione corrisponde alla non convergenza del modello numerico. Il fattore di riduzione che determina il collasso rappresenta, quindi, il fattore di sicurezza, in quanto corrisponde al rapporto tra i parametri di resistenza iniziali e quelli mobilitati. Nella seguente tabella sono sintetizzate le analisi effettuate.

Tabella 5. Sintesi dei fattori di sicurezza calcolati dalle analisi effettuate.

Analisi	Descrizione	Condizioni	Fs
1	Stato di fatto	Statiche	1.25
2	Stato di progetto	Statiche	1.84
3	Stato di progetto	Sismiche $+k_h + k_v$	2.22
4	Stato di progetto	Sismiche $+k_h - k_v$	2.72

Dal confronto tra stato attuale (analisi 1) e di progetto (analisi 2), entrambe in condizioni statiche, emerge che con gli interventi si ottiene un miglioramento del 47% delle condizioni di sicurezza.

Si può anche osservare che, nelle condizioni di progetto, quelle statiche sono più gravose di quelle sismiche. Evidentemente perché l'effetto dei diversi coefficienti parziali applicati ai materiali prevale rispetto all'effetto delle accelerazioni sismiche. E tra le sismiche, quella più gravosa è quella in cui l'accelerazione verticale è diretta verso il basso.

4.3.1 Analisi dello stato di fatto

Nelle seguenti immagini sono riportate le viste e le sezioni dei risultati delle analisi effettuate. In particolare, sono riportati gli spostamenti e le deformazioni plastiche, nell'ultimo step di calcolo di convergenza, al quale corrisponde il fattore di sicurezza della precedente tabella. Dagli spostamenti è possibile osservare il potenziale cinematismo, mentre dalle deformazioni plastiche, le zone che raggiungono i valori limite di rottura.

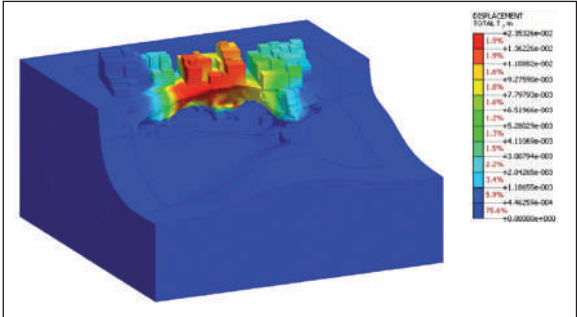


Figura 13. Modello FEM 3D – Stato attuale - Spostamenti al collasso - vista sud est.

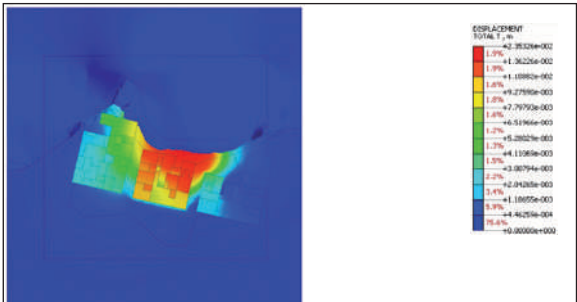
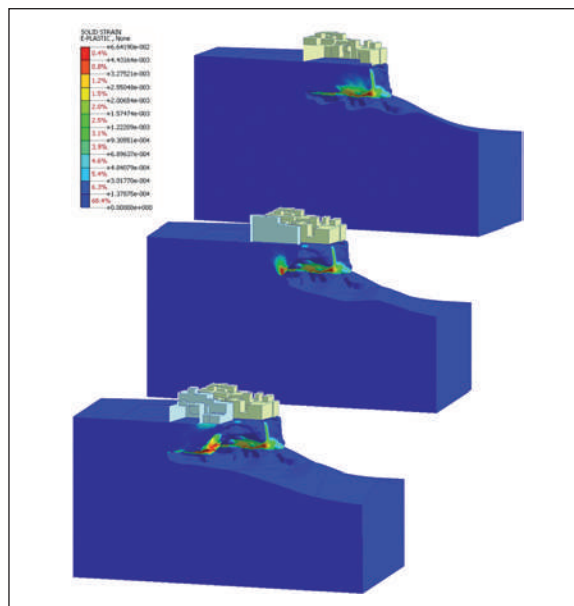


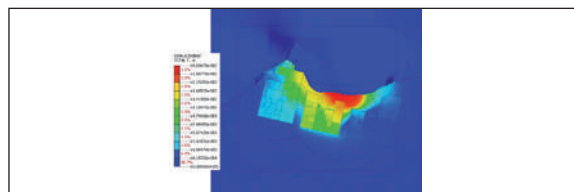
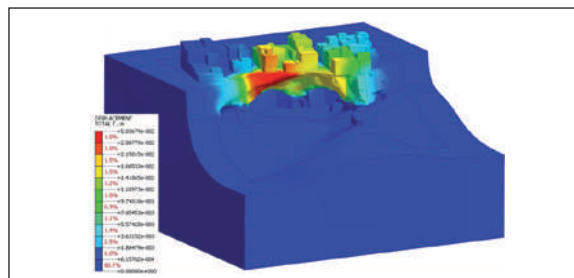
Figura 14. Modello FEM 3D – Stato attuale - Spostamenti al collasso - vista dall'alto.

3D visualization of the maximum principal stress distribution on the ground surface. The stress is concentrated in the central area under the bridge structure, indicated by a color scale from blue (low stress) to red (high stress). The color scale ranges from 0.0000e+000 to 4.4100e-002 MPa.

Figure 10 displays two 3D plots showing the spatial distribution of the normalized residual error. The top plot is labeled "SOLD STRAIN" and the bottom plot is labeled "K-FACETS, None". Both plots show a color-coded error distribution over a 3D volume, with a color bar on the right indicating values from 0.0% to 10.0%.



Si riportano di seguito le schermate relative allo stato di pro-



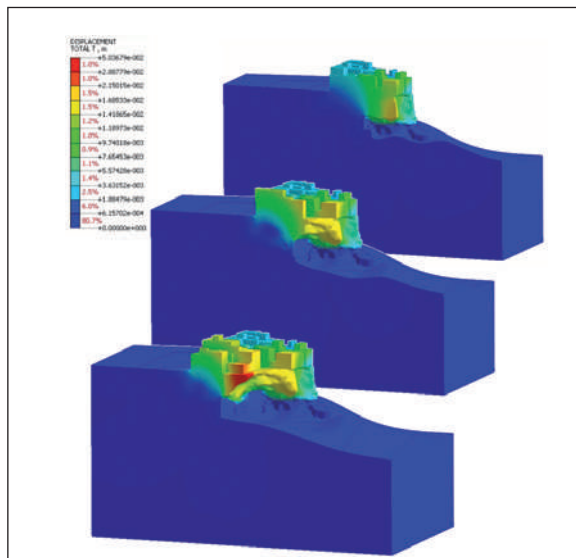


Figura 21. Modello FEM 3D – Stato di progetto - Condizioni statiche - Spostamenti al collasso - vista da est. Sezione 1, 2 e 3.

Osservando le corrispondenti schermate relative allo stato di progetto, si può osservare che le zone di rottura cambiano poco, anche se il collasso, ovvero la perdita di equilibrio del sistema, avviene a diversi valori delle deformazioni oltre che a diversi fattori di sicurezza.

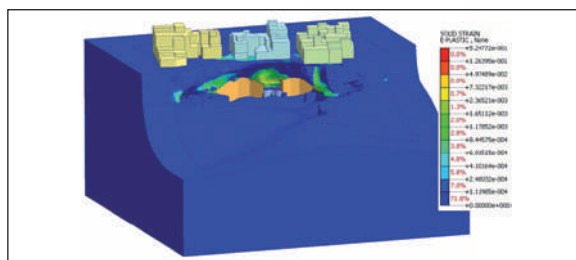


Figura 22. Modello FEM 3D – Stato di progetto - Condizioni statiche - Deformazioni plastiche al collasso - vista sud est.

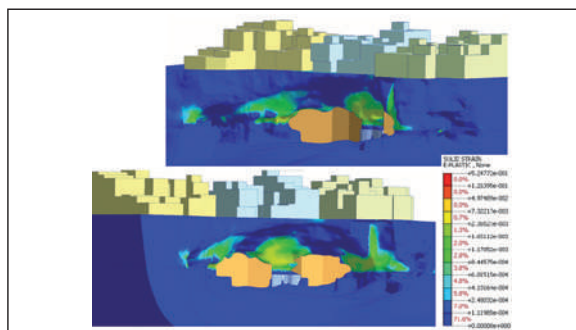


Figura 23. Modello FEM 3D – Stato di progetto - Condizioni statiche - Deformazioni plastiche al collasso - viste da nord est e sud est.

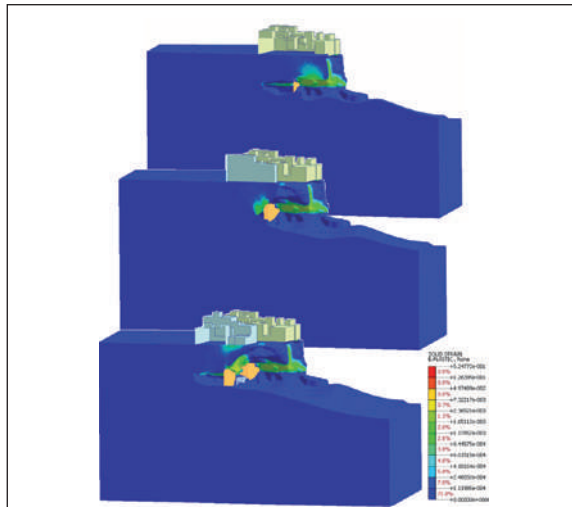


Figura 24. Modello FEM 3D – Stato di progetto - Condizioni statiche - Deformazioni plastiche al collasso - vista da est. Sezioni: 1, 2 e 3.

Dal confronto degli spostamenti tra lo stato attuale e quello di progetto, si può osservare il diverso potenziale cinematico. Nello stato attuale, le aree a maggior spostamento restano nella parte più a sbalzo e verso mare. Allo stato di progetto si risente della presenza dell'intasamento a tergo del muro, per cui si ha un miglioramento della portanza del sistema, che arriva a collasso per spostamenti massimi di valore maggiore rispetto a quelli calcolati allo stato di fatto.

Nelle seguenti immagini sono riportati spostamenti e deformazioni plastiche relative all'analisi più significativa tra quelle sismiche, da cui si può notare che le aree dove avvengono gli spostamenti e le deformazioni plastiche cambiano poco rispetto a quelle individuate in condizioni statiche.

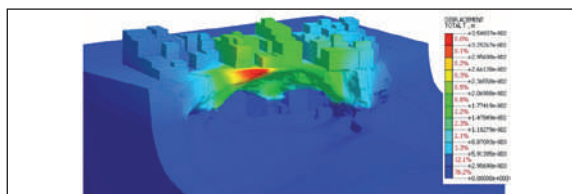


Figura 25. Modello FEM 3D – Stato di progetto – Condizioni sismiche K_x e $-K_x$ - Spostamenti al collasso - vista da est.

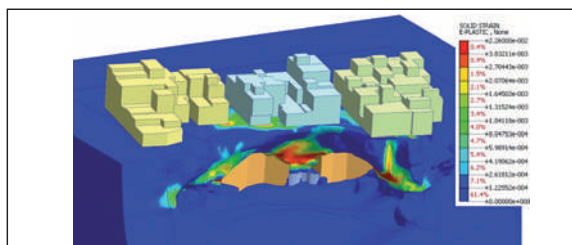


Figura 26. Modello FEM 3D – Stato di progetto – Condizioni sismiche K_y e $-K_y$ - Deformazioni plastiche al collasso - vista da est.

5. Verifica delle chiodature

Le NTC 2018 non indicano una specifica procedura di verifica per i chiodi passivi come quelli previsti nell'intervento in oggetto. Tuttavia, la verifica adottata è assimilata a quella dei "tiranti permanenti passivi" del paragrafo 6.6.2 delle NTC 2018 e C6.6.2 della relativa Circ. n. 7/2019, facendo opportune considerazioni e precisazioni, riportate nel seguito.

I tiranti permanenti passivi adottati per il consolidamento del banco calcarenitico in oggetto, hanno un comportamento specifico rispetto a quello dei tiranti adottati per la stabilizzazione di massi in roccia o da quelli adottati per l'ancoraggio di paratie o per la stabilizzazione di versanti. Nel caso in esame, l'oggetto da stabilizzare non è una porzione di roccia dura potenzialmente instabile, né vi è un elemento strutturale come una paratia a cui vincolare la testa del chiodo. La roccia in esame è "tenera" e l'efficacia della soluzione è legata alla distribuzione delle chiodature sul fronte della parete che ha lo scopo di consolidare l'intero ammasso. Al posto di una tradizionale testa, di un tratto libero da miscele e di una fondazione, le miscele di ancoraggio sono iniettate su tutta la lunghezza e le tensioni si distribuiscono lungo di essa con l'innesco delle deformazioni. Nella pratica, è il meccanismo di rottura e delle sue deformazioni dell'ammasso con all'interno gli elementi di consolidamento che ne regola il funzionamento e la distribuzione delle sollecitazioni nella chiodatura.

Benchè sia prevista una boiaccia molto fluida e capace di penetrare nella roccia per un diametro maggiore del foro utilizzato per l'inserimento della barra, in via cautelativa, non si è considerato un diametro efficace maggiore di quello del foro della chiodatura.

Oltre alle verifiche di stabilità globale, dell'intero sistema nel complesso, sono state effettuate verifiche delle chiodature come elementi strutturali, facendo ricorso alle medesime modellazioni FEM.

La verifica da effettuare è di tipo A1-M1-R3 e le verifiche più significative riportate nel seguito riguardano la **condizione statica**, per la quale si verificano i fattori di sicurezza globali inferiori e **le azioni negli elementi strutturali sono maggiori**. Le azioni sui chiodi sono quelle risultanti dal modello FEM, in cui i chiodi sono inseriti in un continuum di forme e geometrie irregolari, e le azioni sui chiodi sono solo quelle di trazione che variano da chiodo a chiodo, per cui si considera quella maggiore di trazione tra le altre rilevate dall'analisi per la verifica di tutte le chiodature sulla calcarenite.

La verifica di sfilamento è effettuata imponendo le resistenze minime di adesione della miscela alla roccia con gli opportuni coefficienti di sicurezza. L'equilibrio del sistema, ovvero la convergenza numerica dell'analisi, ne indica la stabilità. Con tali condizioni al contorno, sono state verificate le azioni agenti sulla barra, la verifica di sfilamento della stessa barra immersa nella miscela iniettata nella corona circolare e la verifica a sfilamento della fondazione delle chiodature tra roccia e chiodatura.

Per quanto riguarda le resistenze di adesione tra miscela e roccia, sono state verificate quattro ipotesi, in quanto comportano effetti differenti sugli elementi strutturali e forniscono un range possibili soluzioni esecutive.

Nelle prime due ipotesi, che si differenziano per il diametro del preforo, si è assunta l'assenza di pressioni di confinamento ed

una resistenza pari alla coesione del modello linearizzato di Hoek-Brown. Anche la terza e quarta ipotesi si differenziano tra loro per i diametri di perforazione, ma si assume la resistenza pari a quella che si avrebbe in corrispondenza di una pressione di confinamento determinata dal peso della roccia soprastante. La condizione reale, alle condizioni limite dei cinematismi di collasso modellati, si troverebbe all'interno di tali condizioni: le prime due corrispondono ad una condizione di pressione nulla, presente al termine dell'iniezione della miscela nel preforo, mentre le ultime due alla pressione massima a cui si può trovare l'interfaccia per effetto del sovrastante peso della roccia, con l'attivazione di deformazioni ed il riequilibrio delle tensioni tra la miscela interna al foro e la roccia esterna.

5.1 Calcolo della resistenza delle chiodature

Si riportano di seguito i calcoli per le verifiche SLU delle chiodature sulla calcarenite in conformità al punto C6.6.2 della Circ. n.7/2019 e al punto 6.6.2 delle NTC 2018.

5.1.1 Resistenza alla rottura per sfilamento della fondazione

Si descrivono nel dettaglio le assunzioni fatte per il calcolo di resistenza allo sfilamento delle chiodature:

1. Ipotesi n. 1. La resistenza τ_{lim} corrisponde alla coesione della calcarenite e la superficie di rottura avviene all'interfaccia calcarenite/miscela iniettata del foro per l'infilaggio della barra. Pertanto: $\tau_{lim}=c=275$ kPa dove la coesione "c" è il valore caratteristico del modello linearizzato di Hoek-Brown. Dalle NTC, applicando i coefficienti di sicurezza " $\gamma_R=1.2$ " per i chiodi permanenti e quello di resistenza caratteristica " $\xi_{ad}=1.55$ " risulta una tensione di calcolo limite pari a: $\tau_{lim,d} = 150$ KPa
2. Con il foro sia pari a $D_0=8$ cm, lo sforzo massimo resistente dei tiranti passivi pari a $\tau_{lim,d}$ all'interfaccia del foro con circonferenza $C=\sqrt{D_0}=0.251$ m, la forza massima resistente all'interfaccia, per metro lineare, è pari a $R_{ad,f,1}=\tau_{lim,d} \cdot C \approx 38$ KN/m
3. Ipotesi n. 2. Questa ipotesi si differenzia per la dimensione del foro più grande rispetto a quello adottato nella ipotesi n. 1. Si ipotizza che venga realizzato un foro pari a $D_0=14$ cm, da cui risulta $C=\sqrt{D_0}=0.440$ m. La forza massima resistente all'interfaccia è pari a $R_{ad,f,2}=\tau_{lim,d} \cdot C \approx 66$ KN/m
4. Ipotesi n. 3. La resistenza tangenziale all'interfaccia τ_{lim} si assume superiore alla coesione "c" della calcarenite, in quanto gli sforzi all'interfaccia, nel caso di mobilitazione dell'ammasso e degli sforzi, risentono delle pressioni di confinamento determinate dall'ammasso roccioso, che ne aumentano il valore limite secondo il modello di Hoek-Brown. Considerando i valori dei parametri di resistenza medi del modello di Hoek-Brown della Tabella 3, con una pressione di confinamento ipotizzata pari ad un valore cautelativo della tensione litostatica in corrispondenza delle chiodature, $\sigma=\gamma z_m \approx 200$ kPa, dal grafico del legame costitutivo della roccia, risulta uno sforzo tangenziale resistente pari a: $\tau_{lim} \approx 700$ kPa. Applicando i coefficienti di sicurezza di normativa " $\gamma_R=1.2$ " e " $\xi_{ad}=1.60$ " risulta una tensione $\tau_{lim,d} = 365$ KPa.
5. Per un foro minimo di $D_0=8$ cm, risulta pari a $R_{ad,f,3}=\tau_{lim,d} \cdot C \approx 91$ KN/m
6. Ipotesi n. 4. Questa ipotesi si differenzia dalla 3 per la

dimensione del foro che pari a $D_0=14$ cm, da cui risulta la forza massima resistente all'interfaccia pari a $R_{ad,1,4}=\tau_{lim,d}\cdot C=161\text{ kN/m}$

5.1.2 Resistenza alla rottura della chiodatura

Le barre per le chiodature sono state previste del tipo Gewi Plus S670/800 DCP o equivalenti, aventi le seguenti caratteristiche: **diametro barra $\phi 25$, area del tondino $A_s=491\text{ mm}^2$** . Il massimo sforzo assiale resistente della barra costituente le chiodature, corrispondente allo snervamento dell'acciaio risulta pari a: $R_{ad,s}=A_s\cdot f_{yd}=491\cdot 670/1.15/1000=286\text{ kN}$

Le chiodature sono state previste per essere iniettate entro foro con *resina organo-minerale bicomponente non espandente da iniezione a consistenza fluida*.

La **resistenza allo sfilamento tra la barra del tirante e la resina da iniezione** è stata calcolata a partire dalle caratteristiche meccaniche della miscela $R_{ck}=50\text{ MPa}$, da una resistenza di aderenza caratteristica $f_{bk}=5.6\text{ MPa}$, dalla resistenza di aderenza di calcolo $f_{bd}=f_{bk}/\gamma_c=5.6/1.5=3.7\text{ MPa}$ e $\varphi_a=50\text{ mm}$, risulta una resistenza unitaria allo sfilamento resina - barra $N_{b,Rd}/L=\varphi_a\cdot f_{bd}=581.2\text{ kN/m}$, di gran lunga superiore a quella dell'interfaccia resina-roccia.

5.2 Calcolo delle sollecitazioni di progetto

A seguire, per le quattro ipotesi effettuate, si riportano gli sforzi all'interfaccia e le azioni nei chiodi, relativamente al passo dell'analisi a cui corrisponde il picco delle sollecitazioni, quelle che precedono il collasso del sistema strutturale. In tale step di calcolo si manifestano le prime in alcuni punti dell'interfaccia roccia-calcareniti di alcuni chiodi mentre i valori delle azioni nei chiodi restano minori dello sforzo assiale resistente della barra.

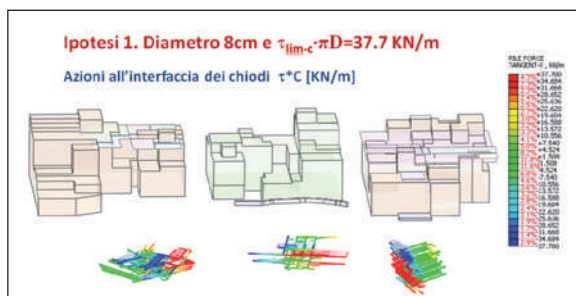


Figura 27. Modello FEM 3D – Azioni all'interfaccia nell'ipotesi n. 1 di diametro foro 8 cm e $\tau_{lim,d}\cdot C=38\text{ KN/m}$.

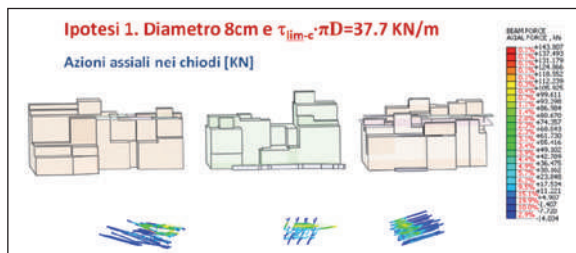


Figura 28. Modello FEM 3D – Azioni nei chiodi nell'ipotesi n. 1 di diametro foro 8 cm e $\tau_{lim,d}\cdot C=38\text{ KN/m}$.

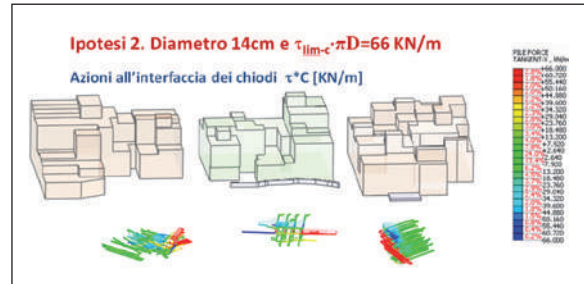


Figura 29. Modello FEM 3D – Azioni all'interfaccia nell'ipotesi n. 2 di diametro foro 14 cm e $\tau_{lim,d}\cdot C=66\text{ KN/m}$.

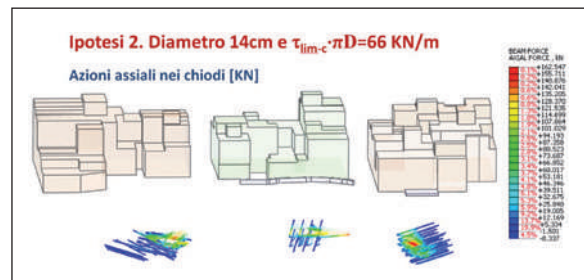


Figura 30. Modello FEM 3D – Azioni nei chiodi nell'ipotesi n. 2 di diametro foro 14 cm e $\tau_{lim,d}\cdot C=66\text{ KN/m}$.

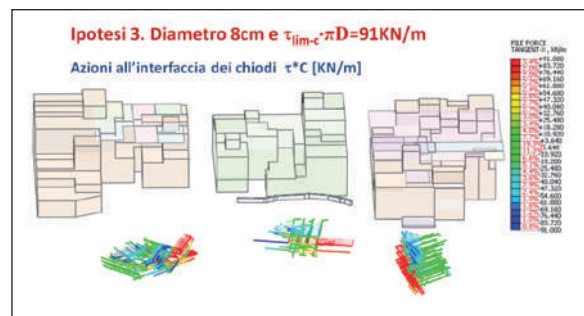


Figura 31. Modello FEM 3D – Azioni all'interfaccia nell'ipotesi n. 3 di diametro foro 8 cm e $\tau_{lim,d}\cdot C=91\text{ KN/m}$.

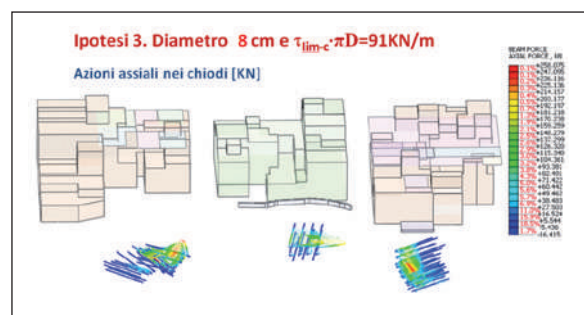


Figura 32. Modello FEM 3D – Azioni nei chiodi nell'ipotesi n. 3 di diametro foro 8 cm e $\tau_{lim,d}\cdot C=91\text{ KN/m}$.

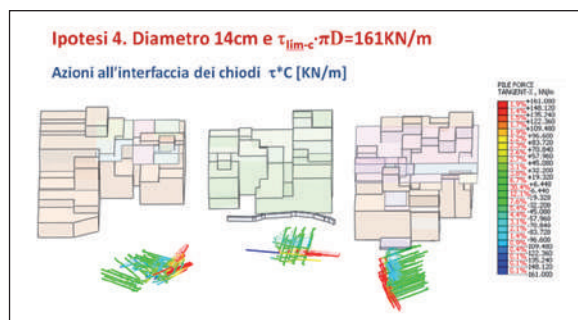


Figura 33. Modello FEM 3D – Azioni all'interfaccia nell'ipotesi n. 4 di diametro foro 14 cm e $\tau_{lim,d} \cdot C = 161$ kN/m.

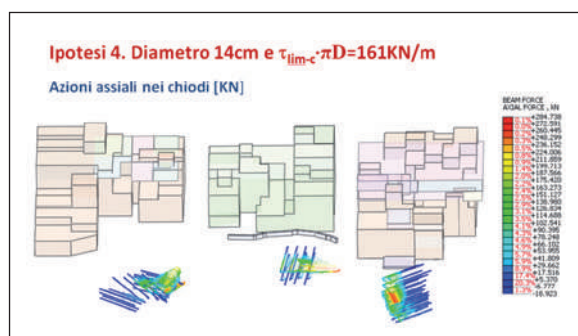


Figura 34. Modello FEM 3D – Azioni nei chiodi nell'ipotesi n. 4 di diametro foro 14 cm e $\tau_{lim,d} \cdot C = 161$ kN/m.

Le azioni assiali massime nei chiodi, per le quattro ipotesi menzionate, sono state sintetizzate nella tabella riassuntiva mostrata sotto.

Tabella 6. Sollecitazioni di progetto sulle chiodature di lunghezza 9.0 m nella calcarenite (R_{Ed}).

Ipotesi	Foro chiodature (m)	Sollecitazioni di trazione di calcolo R_{Ed} (kN)
n. 1	0.08	143.8
n. 2	0.14	162.5
n. 3	0.08	258.1
n. 4	0.14	284.7
MAX	0.14	284.7

La sollecitazione di calcolo si assume al più pari a:

$R_{Ed} = 284.7$ kN.

Sulla base della sollecitazione di calcolo più significativa e della resistenza di progetto delle chiodature sulla calcarenite, si ha:

$R_{ad} = 286.0$ kN > $R_{Ed} = 284.7$ kN (per chiodature entro foro al più di 0.14 m)

Alla luce delle considerazioni fatte, si può ritenere che il sistema delle chiodature è verificato per un range di variazione del diametro del foro da iniettare tra 8 e 14 cm. La miscela da iniettare entro il foro nella calcarenite è stata prevista come 'resina organo-minerale bicomponente strutturale non espandente da

iniezione caratterizzata da un tempo di reazione modulabile, a consistenza fluida, con elevate caratteristiche meccaniche (resistenza a compressione almeno 50 MPa)", adatta per il consolidamento in presenza di acqua di mare tipo Silicajet ST HP o equivalente.

Le chiodature dovranno essere inclinate verso l'alto con angolo di circa 15°, ed estendersi per una profondità della fondazione di 9 m, oltre ad un tappo corticale di circa 20 cm a ricoprire la testa del chiodo con malta di calce idraulica naturale miscelata con aggregati di pietra locale. Il diametro delle barre d'armatura è stato previsto di 25 mm, posta all'interno della guaina corrugata pre-iniettata in stabilimento e costituente la doppia protezione, avente diametro di 50 mm.

Conclusioni

Le campagne di indagini geognostiche e i rilievi geologici illustrati hanno consentito di identificare, per la cavità marina Pietro-Paolo sita nel comune di Polignano a Mare dal basso verso l'alto: un substrato di *calcare*, sommerso fino al livello medio del mare; uno strato sovrastante il livello medio marino di *breccia*, che è soggetto maggiormente all'azione degli agenti erosivi (anche se assimilabile dal punto di vista geotecnico alla calcarenite); ed infine lo strato sovrastante, l'ammasso costituito da *calcarenite*, che rappresenta la "volta" e le "spalle" della grotta, su cui si sono concentrate le prove di laboratorio e le cui caratteristiche meccaniche presentano una variabilità spaziale funzione del grado di cementazione dei granuli.

Tra le quattro condizioni di carico analizzate, il sistema geotecnico soffre di più nella combinazione di carico statica allo SLU, per via dei valori di progetto iniziali del modello dell'ammasso roccioso, mentre invece tra le condizioni di carico sismiche quella più significativa è risultata quella con sisma verticale verso il basso.

L'intervento di consolidamento delle cavità progettato determina un miglioramento della stabilità del sistema quantificabile attraverso un aumento del fattore di sicurezza del 47% rispetto a quello relativo allo stato di fatto ante operam.

Per quanto riguarda le chiodature, quelle che influiscono sulla stabilità del sistema globale allo stato di progetto, sono state previste di lunghezza totale pari a 9 m sulla parte inferiore della calcarenite con inclinazione verso l'alto di circa 15°, da realizzare con barre tipo Gewi Plus DCP S670/800 o equivalenti, aventi diametro della barra d'armatura di 25 mm entro guaina corrugata pre-iniettata in stabilimento del diametro di 50 mm, da inserire a sua volta entro foro sulla roccia di calcarenite da iniettare con una miscela di "resina organo-minerale bicomponente strutturale non espandente da iniezione caratterizzata da un tempo di reazione modulabile, a consistenza fluida, con elevate caratteristiche meccaniche (resistenza a compressione almeno 50 MPa)" adatta per il consolidamento in presenza di acqua di mare tipo Silicajet ST HP o equivalente, da eseguirsi mediante tubo di iniezione e tubo di sfiato passanti attraverso la piastra metallica della chiodatura, che funziona anche da "tappo" evitando così la colatura della miscela medesima verso il basso.

I fattori di sicurezza post operam calcolati sono stati ritenuti idonei sia in relazione all'efficacia dell'intervento ed al miglioramento delle condizioni di sicurezza valutato dal confronto

ante e post operam che in senso assoluto, in relazione stato di sicurezza post operam.

Bibliografia

- CHERUBINI C, REINA A. & MACINA R (2007) – *Tipologie di fenomeni naturali di cavità collegate all'esterno: crollo, e sinkhole*. "Spelaion" Convegno Regionale di Speleologia 8-9 dicembre 2007.
- CASTELLANZA R., LOLLINO P., CIANTIA M. - A methodological approach to assess the hazard of underground cavities subjected to environmental weathering, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 82, December 2018, Pages 278-292, <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.08.041>
- CIANTIA M., CASTELLANZA R. & FERNANDEZ-MERODO J. (2018), *A 3D Numerical Approach to Assess the Temporal Evolution of Settlement Damage to Buildings on Cavities Subject to Weathering*. *Rock Mechanics and Rock Engineering* volume 51, pages 2839-2862 <https://doi.org/10.1007/s00603-018-1468-3>
- DOMEJ G., PREVITALI M., CASTELLANZA R., SPIZZICHINO D., CROSTA G., VILLA A., FUSI N., ELASHVILI M. & MARGOTTINI C. (2022) *High-Resolution 3D FEM Stability Analysis of the Sabareebi Cave Monastery, Georgia*, *Rock Mechanics and Rock Engineering* 7 June 2022, <https://doi.org/10.1007/s00603-022-02858-z>
- NTC NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2018 (D.M. 17 GENNAIO 2018). AGGIORNAMENTO DELLE NTC 2008 E CIRCOLARE C.S.LL.PP. 21/01/2019 N.7 ISTRUZIONI PER L'APPLICAZIONE DELL'AGGIORNAMENTO DELLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI DI CUI AL D.M. 17 GENNAIO 2018

- REINA A., ROTONDO F. & SELICATO F. (2011) – *Il Piano Regionale delle Coste*. In *GEOLOGI E TERRITORIO* n° 2/ 2011 - pagg. 4-8. ISSN: 1974-1189
- REINA A. & LOLLINO P. (2010) – *Hazard assessment of the stability of cavern roof along the coastline*. EUG General Assembly – Maggio 2009 Vienna. Geophysical Research Abstracts. Vol 11 EUG2009 pag 12175
- REINA A. & LOLLINO P. (2012) – *Analysis of the evolution of the instability process of a coastal cavern* EUG General Assembly – Maggio 2012 Vienna. Geophysical Research Abstracts Vol. 14, EGU2012-14478, 2012

Ringraziamenti

Il presente lavoro è frutto dello studio geologico e geotecnico prodotto nell'ambito della progettazione definitiva degli *INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO E MESSA IN SICUREZZA DISSESTO GEOLOGICO (EVENTI FRANOSI) finanziati dal Commissario di Governo delegato per la mitigazione del rischio idrogeologico nella Regione Puglia*: si ringrazia per la collaborazione l'Ing. Elio Sannicandro (Soggetto attuatore) e il suo Staff tecnico.

Inoltre, si ringrazia lo Studio tecnico della Prog.in. di Roma nella persona dell'Ing. Massimiliano Lucianetti e dello Studio Italprogetti di Bari nella persona dell'indimenticato Ing. Marcello Capiello.

- SISMOGRAFI
- HVS
- TOMOGRAFIA ELETTRICA
- GEORESISTIVIMETRI
- ENERGIZZATORI SISMICI
- IDROFONI



Seismograph
ECHO 48/2014 Seismic Unit - 24bit



Seismograph
ECHO 24/2010 Seismic Unit - 24bit



ECHO Tromo HVSR3 - 24bit



Mangusta MC 24-120E
Geoelectrical Tomography Equipment



Resistivity Meter Datares-10



3D/5D - 3D Twin Borehole Geophone



P/S Wave Borehole Energy Source



Borehole Deviation Probe

MONITORAGGIO “SMART” DELLE ACQUE PIOVANE

Il deflusso delle acque piovane consiste principalmente in acqua proveniente da pioggia e neve sciolta che non viene assorbita dal suolo, scivola sulla superficie del terreno e si riversa nei corsi d'acqua, portando con sé sedimenti e sostanze potenzialmente inquinanti.

Ci sono sistemi di monitoraggio di questi eventi, che consentono di limitare i danni e intervenire tempestivamente. Questi sistemi funzionano campionando l'acqua potenzialmente inquinata e sottoponendola ad analisi di laboratorio. Soluzioni intelligenti e automatizzate permettono di contenere i costi di manodopera ed essere più reattivi e precisi, campionando l'acqua al presentarsi dell'evento.

Il nostro sistema prevede l'integrazione di un autocampionatore (Teledyne ISCO), una sonda multiparametrica (Xylem YSI) e un datalogger, per un campionamento intelligente e automatico condizionato dai parametri di qualità dell'acqua. Così la frequenza e la modalità del campionamento possono variare a seconda che si tratti di deflusso industriale, di acque di scarico di un cantiere, o scarichi di aree urbane.



ESEMPI DI INSTALLAZIONI A INGOMBRO RIDOTTO

Un sistema di campionamento automatico affidabile, durevole e resistente è fondamentale per garantire campioni correttamente conservati e precisi.

Teledyne ISCO è leader nel campo del campionamento automatico, e i modelli utilizzati nel nostro sistema sono il campionatore 6712, per campioni non refrigerati, e il campionatore BLZZRD, per campioni refrigerati, entrambi dotati di una logica di programmazione avanzata che permette la comunicazione con sonde multiparametriche, sistemi di controllo e telemetria. Il campionatore resterà dormiente (o preleverà campioni di controllo a frequenza preimpostata) fino a quando riceverà un input di campionamento da parte della sonda multiparametrica. Per tarare il sistema, naturalmente, occorrerà prima di tutto individuare i parametri “target” da tenere sotto controllo, indicanti direttamente o indirettamente la presenza di inquinanti nell'acqua.

Le sonde multiparametriche della linea EXO, prodotte da YSI (gruppo Xylem) sono progettate per gestire attività di monitoraggio a medio lungo termine in applicazioni non presidiate, grazie al sistema automatico “wiper” che mantiene puliti e quindi funzionanti i sensori. Solitamente i parametri oggetto di indagine sono temperatura, conducibilità, ossigeno disciolto, torbidità e livello, ma il sistema è estremamente flessibile, permettendo il controllo anche di altri parametri.

Stabiliti i parametri si imposterà quindi il campionamento, prevedendo che il campionatore si attivi quando uno o più parametri letti dalla sonda multiparametrica non siano conformi ai criteri di controllo impostati.

Il “cervello” del sistema è la centralina, composta da datalogger e sistema di telemetria (sono disponibili vari modelli a seconda delle necessità), che gestisce la comunicazione tra sonda e campionatore, nonché eventuali allarmi e/o avvisi generati dal superamento della soglia e attivazione del campionatore. Allarmi e avvisi possono essere email e/o messaggi recapitati al personale incaricato della gestione e del controllo del sistema.

A seconda del modello, è anche possibile inviare ad altri dispositivi di telecontrollo (quando presenti, ad esempio all'interno di una rete di monitoraggio) la richiesta di attivazione del programma di campionamento, o programmare campionamenti in base a esigenze specifiche, utilizzando algoritmi stabiliti.

Questi sistemi sono molto impiegati anche nel settore della depurazione o nei monitoraggi di scarichi industriali, per individuare illeciti.



LA STRUMENTAZIONE SI PRESTA ANCHE PER MONITORAGGI TEMPORANEI

La strumentazione nel dettaglio

Le sonde YSI serie EXO e le nuovissime sonde della serie EXO S sono completamente digitali. Le loro porte per l'alloggiamento dei sensori, anch'essi digitali, hanno caratteristiche uniche: sono porte universali, ovvero non sono dedicate al parametro, risultando quindi intercambiabili tra loro; sono porte "wet-mateable", dove i sensori possono essere inseriti anche se i connettori sono umidi.

Queste caratteristiche consentono una gestione della sonda e dei suoi sensori estremamente pratica qualora in campo si presentasse la necessità di una ritaratura o la sostituzione di un sensore malfunzionante. Le sonde EXO S essendo alimentate esternamente e non avendo una batteria interna, sono più compatte e più idonee ad integrazioni in sistemi in spazi ristretti.

BLZZRD è il nuovo campionatore portatile a raffreddamento attivo di Teledyne ISCO, alimentabile sia a corrente alternata, sia a batteria. Le opzioni di bottiglie disponibili includono la monobottiglia per campionamenti composti da 2,5 e 5 galloni (rispettivamente circa 10 e 20 litri), oltre che configurazioni per campionamenti sequenziali in campioni da 4 x 1 gallone (circa 4 litri) e 14 x 950 mL. BLZZRD è in grado di svolgere campionamenti e controlli avanzati, si interfaccia con altri dispositivi e permette la comunicazione da remoto.

È infine davvero portatile grazie alle dimensioni compatte (71 x 47 x 80 cm) al peso (solo 34 kg a secco), al Mobility-Kit con ruote pneumatiche e alle pratiche maniglie.



LE SONDE YSI SERIE EXO E LE NUOVISSIME SONDE DELLA SERIE EXO S



IL NUOVO CAMPIONATORE PORTATILE REFRIGERATO TELEDYNE ISCO MODELLO BLZZRD

**Diamo il benvenuto
ad una nuova idea
di futuro.**

Electric



PRECISION



ENERGY
OPTIMIZATION



LOW
NOISE



ZERO
EMISSION



EGEO 405 è la prima macchina per sondaggi completamente elettrica. L'utilizzo di motori elettrici garantisce le migliori performance energetiche, raggiungendo un livello di efficienza mai visto prima con un controllo di precisione su tutte le funzioni. Il pacco batterie prevede modalità di ricarica flessibili che coprono l'intero ciclo di lavoro. **Zero emissioni di gas, zero perdite di carburante e lubrificante, zero rumore, massimo impegno per l'ambiente.**



Guarda il video:
Deep Electric.



COMACCHIO



CTD Logger multiparametrico (conducibilità, temperatura, pressione)

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



Competenza nella idrologia

Unità di trasmissione dati a distanza GSM

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

Logger di pressione e temperatura

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

