

GEOLOGIA

TECNICA & AMBIENTALE

In questo numero

Le acque del torrente Fenestrelle e del rio Rigatore: analisi idrogeologica, criticità ambientali e interventi di risanamento per la realizzazione del parco fluviale della città di Avellino

Analisi idrogeologiche sulle variazioni dei livelli piezometrici rilevate nell'acquifero carsico che alimenta le sorgenti di Su Gologone (Sardegna Centro-Orientale)

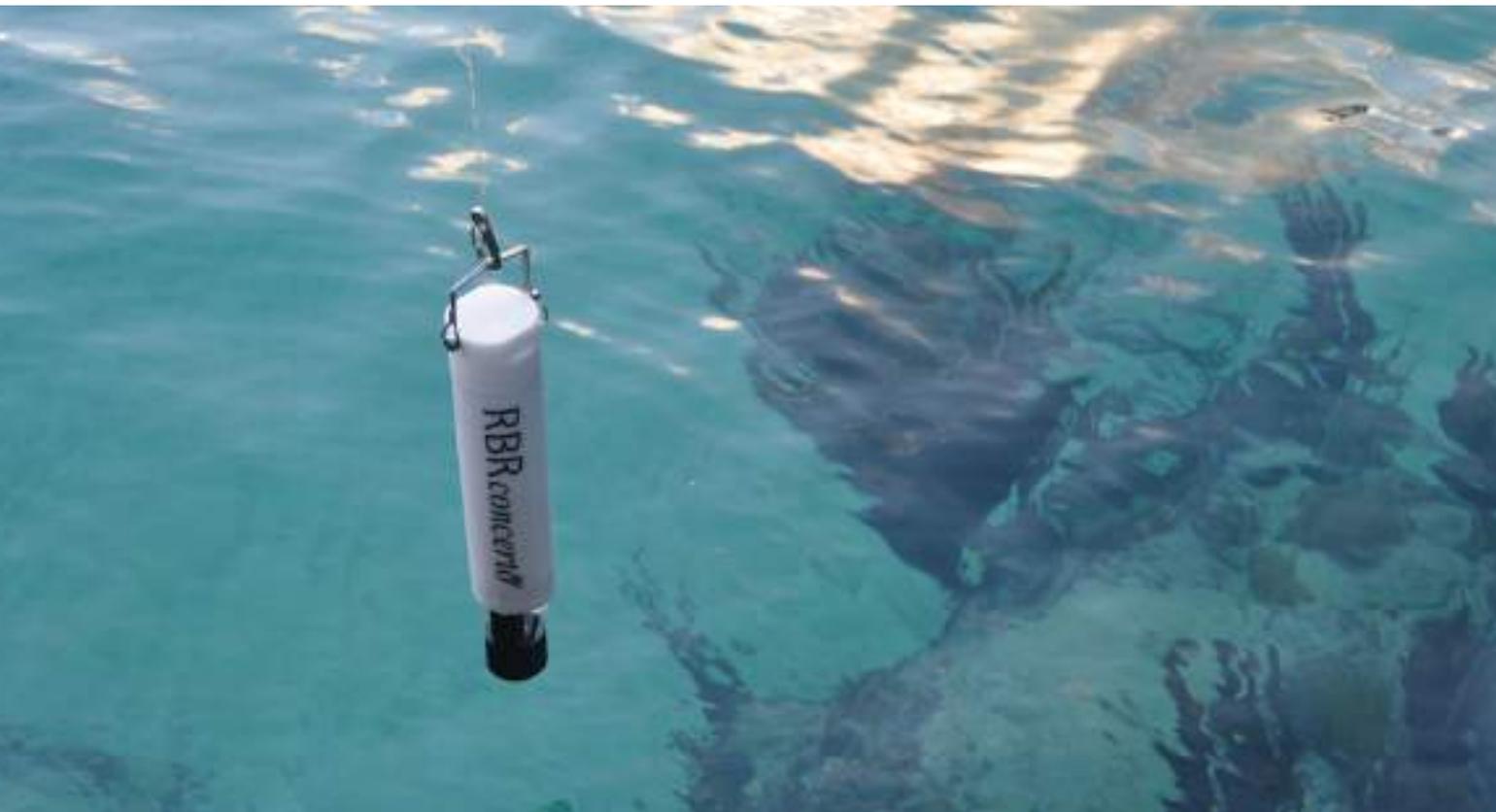
Un esempio di studio della vulnerabilità. Port autonome Abidjan - carta delle vulnerabilità

Indagini geofisiche preliminari per la verifica delle condizioni statiche del viadotto Mingardo sulla s.r. ex s.s. 562C alla km.ca 3+100 c.a. nei comuni di Centola e Camerota.

Individuazione del sistema fondale



Sottocontrollo



I **sensori oceanografici RBR** rilevano con estrema precisione i parametri dell'acqua: temperatura, profondità, salinità, torbidità, clorofilla, gas disciolti, pH... Dalle acque sotterranee agli abissi oceanici.

Strumenti ad alta tecnologia anche a noleggio per:

Monitoraggio sismico

Sismometri, strong motion, reti early warning ...

Ingegneria civile

Georadar 3D, laser scanner, inclinometri ...

Studio del sottosuolo

Georadar, sismica, geoelettrica ...

Studio dei fondali e delle coste

Multibeam, SSS, SBP, sismica marina ...

Monitoraggio ambientale

Magnetometri, elettromagnetismo, sonde oceanografiche ...



CODEVINTEC

Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare

Codevintec rappresenta anche:

RBR

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

La sicurezza di grandi performance su ogni terreno.

G E O



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

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



COMACCHIO

DRILLING HI-TECH



MOHO
SCIENCE & TECHNOLOGY

Siamo con voi,
ovunque vi troviate

Strumenti per geofisica
e ingegneria civile

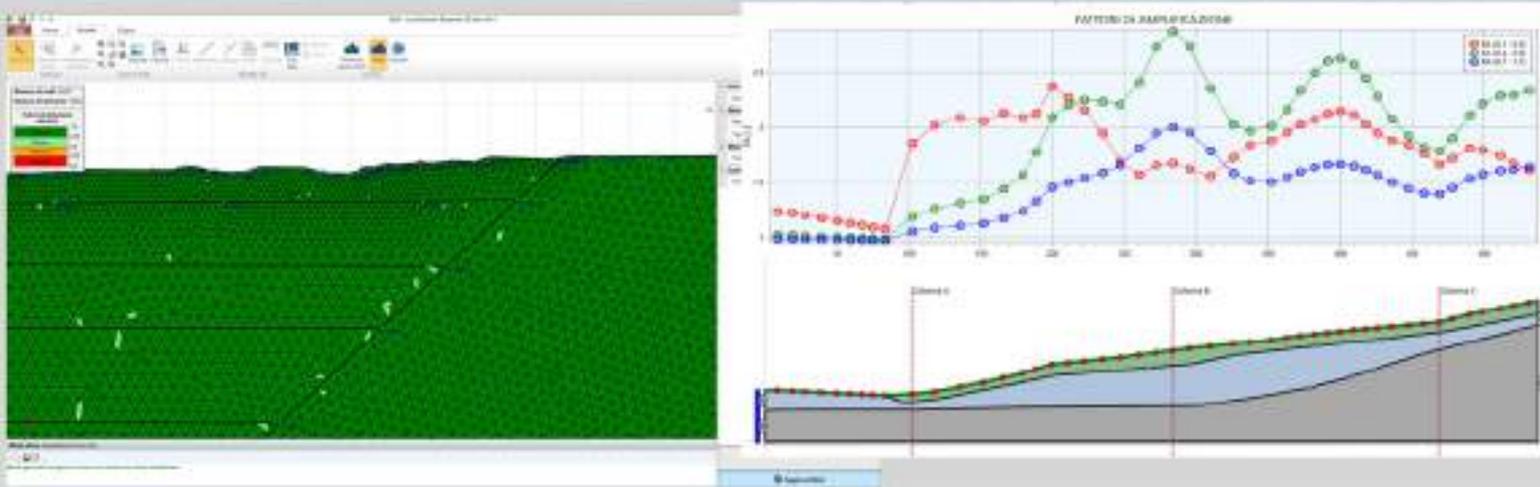
Venezia - Italia
www.moho.world

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



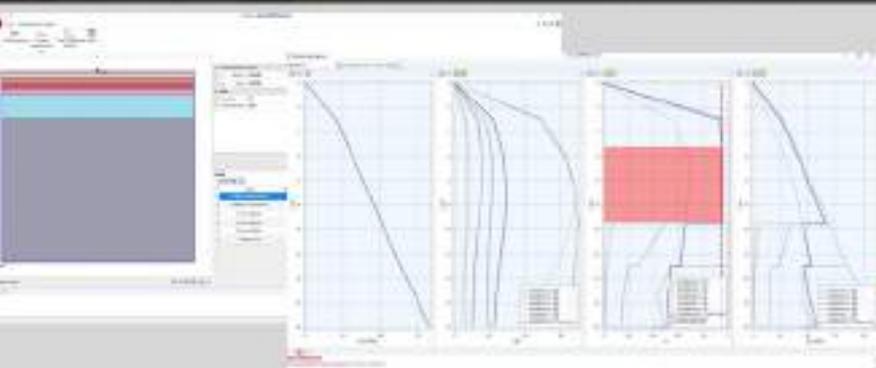
LSR_{2D}

SOFTWARE PER L'ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE 2D

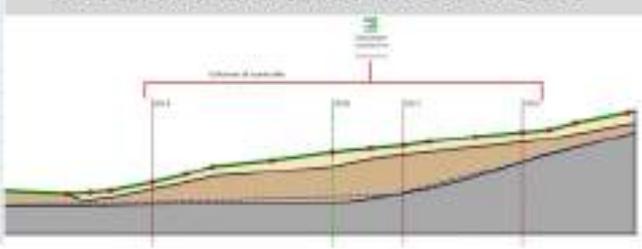


LIQUEFAZIONE

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



INTEROPERABILITÀ CON LSR



CAMPIONAMENTO
LOW-FLOW

NOVITÀ

**NEL CAMPIONAMENTO
DI QUALITÀ**

**DUE NUOVI PRODOTTI SOLINST®
PER PIEZOMETRI DA 2”**

**POMPA A 12 V
36 M DI PREVALENZA
MOD. 415**

**PACKER A
BASSA PRESSIONE
MOD. 800M**

La pompa 415 e il packer 800M possono essere utilizzati insieme per isolare le zone da campionare e minimizzare i volumi di spurgo.

Inquadra qui
e scopri di più



MISURE DI LIVELLO



DATALOGGER
E TELEMETRIE



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

Quadrimestrale dell'Ordine Nazionale dei Geologi
N. 3/2021

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 Emami, 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

Ilenia Ingui | 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

Spadamedia S.r.l.

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

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

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

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

Versamenti sul c/c n. 347005 intestato a:

Consiglio Nazionale dei Geologi

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

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

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

Associato all'USPI, Unione Stampa Periodica Italiana.

GARANZIA DI RISERVATEZZA

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

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

PER GLI AUTORI:

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

IN COPERTINA: Barriere Maccaferri,
S.S 685 Tre Valli Umbre, "Piano Sisma 2016"
impresa Rock&River per conto di ANAS.

Sommario

L'Editoriale **9**

A. Reina

Il Punto del Presidente **11**

A. F. Violo

Risorsa acqua **15**

A. Aquino, M. Ginolfi, S. Aquino

Le acque del torrente Fenestrelle e del rio Rigatore: analisi idrogeologica, criticità ambientali e interventi di risanamento per la realizzazione del parco fluviale della città di Avellino

Risorsa acqua **27**

F. Murgia, G. Badino, S. Frau

Analisi idrogeologiche sulle variazioni dei livelli piezometrici rilevate nell'acquifero carsico che alimenta le sorgenti di Su Gologone (Sardegna Centro-Orientale)

Dissesti e alluvioni **43**

A. Biagioli, A. Reina

Un esempio di studio della vulnerabilità Port Autonome Abidjan (P.A.A) - carta delle vulnerabilità

Rischio sismico **53**

S. Santoro, G. Scalesi, M.G. Soldovieri

Indagini geofisiche preliminari per la verifica delle condizioni statiche del viadotto Mingardo sulla s.r. ex s.s. 562C alla km.ca 3+100 c.a. nei comuni di Centola e Camerota. Individuazione del sistema fondale.



“Servizi ambientali per aziende, enti, privati e condomini”



PREVENZIONE E MAPPATURA AMIANTO

Valutazione dello stato di conservazione del manufatto e del livello di esposizione alle fibre disperse nell'ambiente da parte di tecnici che hanno competenze e maturata esperienza in materia.

BONIFICA AMIANTO

Una gestione professionale della bonifica amianto, eseguita da professionisti specializzati e autorizzati ad eseguire la rimozione amianto da siti industriali, aziendali o privati è importante per la sicurezza e la salute delle persone e dell'ambiente in cui viviamo.

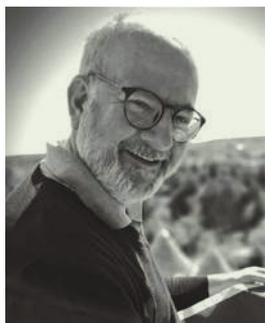


IGIENE AMBIENTALE

Forniamo servizi specifici nell'ambito dell'igiene industriale e dell'igiene ambientale con l'obiettivo di recuperare la qualità dell'ambiente e degli spazi in cui vivono le persone.

Contattaci per un preventivo gratuito
www.assagroup.it





Alessandro Reina

Direttore Responsabile

Anche *l'Economist* la famosa e autorevole rivista inglese, che in passato non ha risparmiato pungenti critiche al nostro paese, ha recentemente dichiarato che l'Italia è la Nazione dell'anno. Lo dice non solo per i numerosissimi meriti sportivi (che avrebbe detto a denti stretti) ma perché abbiamo dimostrato serietà e decisione nella gestione delle molteplici difficoltà emergenziali (pandemia, cambiamenti climatici, lavoro, ecc.) che hanno contraddistinto l'ultimo lungo periodo trascorso. Un plauso va al Presidente Draghi e a tutti coloro i quali hanno contribuito a questo successo.

Non illudiamoci però perché molto ancora si deve fare. Ricordo infatti che siamo un Paese in cui esiste ancora tanta gente (forse troppa) che si dichiara No Vax o si definisce Terrapiattista o crede che la geologia sia solo sinonimo di dinosauri. In più occasioni il Ministro Roberto Cingolani (mio conterraneo, ndr), ha dichiarato che bisognerebbe introdurre nuovamente il nucleare nel nostro Paese. Ricordiamo al Ministro, che i geologi sono per la difesa dell'ambiente in maniera consapevole. Il Ministro nelle sue dichiarazioni fa riferimento ad una generazione di centrali nucleari, meno inquinanti e più prestanti, di quarta o quinta generazione basate sulla fissione nucleare e non sulla fusione e quindi nulla hanno a che fare con quelle che nell'immaginario comune sono del tipo Chernobyl. In questo contesto però è opportuno ricordare che non si dovrà sottovalutare (e questo è il pensiero dei geologi) che il territorio nazionale è a forte rischio geologico e che per la scelta dei siti si dovranno porre in essere tutte le verifiche delle condizioni per la sicurezza degli impianti e dei cittadini, come avviene per legge nel caso di una opera pubblica.

Serietà e responsabilità nei propri ruoli è quello che richiede oggi la nostra società.

Nel numero di *Geologia Tecnica e Ambientale* proponiamo degli interessanti ed attualissimi studi di idrogeologia, valutazione ambientale e di indagini che sono certo attireranno l'attenzione di tutti i colleghi.

Lo studio di Antonio Aquini, Michele Ginolfi e Sabino Aquino, giunge alla conclusione che l'attuale stato quanti-qualitativo delle acque e la realizzazione di opere finalizzate al ripristino degli originari equilibri idrogeologici condizionano la progettazione e la realizzazione del Parco fluviale tra i Comuni di Monteforte Irpino, Mercogliano e Atripalda.

Vengono esposti e commentati i dati del monitoraggio idrogeochimico di una fonte di approvvigionamento idrico di grande qualità come la sorgente di Su Gologone.

L'interessante lavoro vede come Autori Francesco Murgia e Salvatore Frau e il compianto Giovanni Badino (che ho conosciuto e apprezzato personalmente in diverse occasioni alle Grotte di Castellana).

Non un commento al lavoro sulla Vulnerabilità dell'area del Porto di Abidjan (Costa d'Avorio) ma un sentito ringraziamento al collega Antonio Biagioli per avermi coinvolto nella significativa esperienza internazionale.

Sergio Santoro, Giuseppe Scalese e Maria Grazia Soldovieri conducono approfondite indagini geofisiche per la verifica delle condizioni statiche del Viadotto Mingardo rivelando alcune importanti osservazioni.

Buona lettura.



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



Arcangelo Francesco Violo

È passato poco più di un anno dall'insediamento del Consiglio Nazionale in carica e nel corso di quest'anno, nonostante le persistenti difficoltà causate dall'emergenza sanitaria, sono state numerose le attività poste in essere, tese a valorizzare la professione e a diffondere - anche presso le istituzioni, politiche e non solo - una cultura geologica che auspichiamo possa giovare, oltre che alla nostra categoria, a tutti i cittadini.

Infatti, si è inteso, in particolare, collaborare e dialogare con tutti i potenziali stakeholder del Consiglio Nazionale per l'accrescimento della reputazione del Geologo nelle sue molteplici qualificazioni professionali, convinti come siamo della grande importanza sul piano socio-economico delle nostre attività tecniche. E ciò è stato possibile anche e soprattutto grazie ad una rinnovata e più incisiva modalità di comunicazione istituzionale, ad un approccio costruttivo e ragionato nell'espressione di pareri su disegni e proposte di legge o di regolamenti di interesse per la nostra professione, oltre che di una riorganizzazione per l'esercizio delle funzioni del Consiglio Nazionale.

Su tale ultimo versante, il Consiglio Nazionale ha inteso avvalersi della Fondazione Centro Studi al fine di acquisire servizi ausiliari - tra cui analisi, studi, ricerche e approfondimenti - risultati essenziali per la tutela, valorizzazione e promozione della professione. Altrettanto importanti sono risultate le collaborazioni nell'organizzazione di seminari e corsi di aggiornamento, ampiamente seguiti dai

Collegi Geologi e non solo. Dato, quest'ultimo, che ci ha permesso, nell'ambito delle attività di comunicazione, di adottare azioni mirate non solo per rendere note le attività istituzionali, ma anche per progettare innovativi strumenti che consentiranno di raggiungere un più ampio numero di interessati alle attività di nostra competenza e raggiungere l'obiettivo di contribuire a rendere sempre di più efficace e centrale, la figura del Geologo professionista nel panorama istituzionale e di crescita del nostro Paese.

Un primo risultato è già stato perseguito mediante l'inserimento della nostra professionalità in commissioni ed organizzazioni che stanno operando nel senso della crescita.

Infatti, segnali di disponibilità sono venuti proprio dai massimi consessi tecnici dello Stato e in particolare dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, che ha ritenuto importante dialogare con il Consiglio Nazionale per l'elaborazione di numerose Linee Guida, tra cui quelle per la redazione del progetto di fattibilità tecnica ed economica da porre a base dell'affidamento di contratti pubblici di alcuni lavori ricompresi nel PNRR e del PNC, quelle per la costituzione dei Collegi consultivi tecnici previsti dall'art. 6 DL 76/2020 e quelle, in corso, per le verifiche delle gallerie esistenti.

Tra i numerosi riconoscimenti formali mi fa piacere ricordare la richiesta di inserimento del Presidente del Consiglio Nazionale in seno al Comitato Speciale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per la valutazione e l'accelerazione dell'iter autorizzativo delle opere complesse previste nel PNRR e il riconoscimento del fondamentale ruolo del Consiglio Nazionale nelle attività di protezione civile, che ha portato alla programmazione ed erogazione di cospicui contributi agli Ordini Regionali per l'aggiornamento delle attività in campo. In particolare, in relazione alla protezione civile, mi preme evidenziare la pubblicazione in Gazzetta Ufficiale della legge n. 155/2021, recante "Disposizioni per il contrasto degli incendi boschivi e altre misure urgenti di protezione civile", per la quale, nel corso della conversione del decreto legge n. 120/2021, il Consiglio Nazionale ha sollecitato ed ottenuto numerose modifiche al testo di legge ai fini del riconoscimento delle competenze del Geologo nelle attività di prevenzione dei rischi geo-idrologici conseguenti agli incendi boschivi e dei rischi naturali in senso più ampio.

Ulteriori interventi in sede legislativa sono stati resi possibili anche da un'intensa attività di monitoraggio normativo che ha

consentito al Consiglio Nazionale di intervenire in relazione a numerosi disegni di legge, quali quelli aventi ad oggetto la “Delega al Governo in materia di contratti pubblici”, la “Delega al Governo per il riordino delle disposizioni legislative in materia di costruzioni” e le “Misure per la rigenerazione urbana”. All’espressione di pareri su disegni di legge si è poi affiancata anche quella di proposta per l’adozione di regolamenti attuativi di disposizioni legislative. Al riguardo voglio ricordare le attività programmate e poste in essere dal Consiglio Nazionale per l’adozione e l’attuazione di disposizioni che consentiranno ai futuri laureati in scienze geologiche o scienze della terra di entrare direttamente nel mondo del lavoro: si sta, infatti, lavorando per la celere attuazione, da parte del Ministero dell’università e della ricerca, dell’art. 4 della legge n. 163/2021, recante “Disposizioni in materia di titoli universitari abilitanti”: in sintonia con altre professioni tecniche, abbiamo ritenuto questa disposizione una occasione da non perdere nella direzione e nella creazione di percorsi formativi universitari maggiormente rispondenti alla richiesta governativa di professionisti in grado di rispondere immediatamente al mercato del lavoro, anche e soprattutto in relazione alla forte ripresa economica che il Paese sta affrontando e che si sta rivelando sempre più pressante nella richiesta di “geologia” e di esperti nelle diverse declinazioni tecniche che la stessa geologia è in grado di offrire.

Oltre alle attività per la valorizzazione del titolo, sono state adottate concrete iniziative dirette al miglioramento tecnico-culturale dei professionisti iscritti all’albo, non solo incrementando notevolmente le attività di aggiornamento ed organizzando eventi di alta formazione, come accennato, ma anche stipulando un accordo con UNI per la consultazione, a tariffe agevolate, di tutte le norme volontarie di interesse a decorrere dall’anno 2022.

In ambito nazionale, infine, va ricordata la fattiva collaborazione per la stipula di un protocollo d’intesa tra il Ministro per la Pubblica Amministrazione e “Professioni Italiane”, associazione cui aderisce il Consiglio Nazionale, che impegna le parti alla collaborazione tecnica e organizzativa per incrementare le funzioni di ricerca del “Portale del Reclutamento”; iniziativa che ha già dato i primi frutti con la pubblicazione sul Portale InPA di un bando per la ricerca di quasi cento Geologi professionisti in vari enti territoriali, regionali e nazionali.

A livello internazionale, invece, il Consiglio Nazionale ha continuato ad investire in attività e rapporti con gli Stati membri dell’Unione Europea, nonché con tutti gli organismi internazionali meritevoli di attenzione, al fine di allargare i confini professionali e rafforzare la presenza nei contesti di cooperazione. Pertanto, anche durante il corrente anno, si è offerta la possibilità di partecipare a progetti in collaborazione con la Federazione Europea dei Geologi (EFG) e con PERC, organismo internazionale operante in Europa che si occupa di Standard minerari e di Report pubblici dei dati di esplorazione mineraria.

In questo momento storico in cui sono disponibili ingenti risorse finanziarie per la ripresa economica del Paese in campi quali quello ambientale, della prevenzione e mitigazione dei rischi geologici, delle infrastrutture, dell’energie rinnovabili, delle risorse idriche, delle materie prime, il Geologo riveste, senza dubbio, un ruolo centrale e decisivo nell’indicare, con le proprie specifiche competenze tecniche, le necessarie priorità ed indirizzare/collaborare in seno ai diversi gruppi di progettazione le scelte più opportune nella realizzazione di opere ed interventi pubblici strutturali e non strutturali, utili e sostenibili dal punto di vista economico, sociale ed ambientale.

Con la convinzione che tutto quanto finora realizzato dal Consiglio Nazionale porterà benefici all’intera categoria, auguro ai Colleghi Geologi e a tutti i lettori un felice 2022.



global.sensor.excellence



**LA TUA SOLUZIONE
SU MISURA**



**PRESSIONE, LIVELLO E
TEMPERATURA**





Il partner definitivo per geingegneri e geoscientiati

Risolvi problemi complessi, gestisci il rischio e prendi decisioni migliori durante il ciclo di vita dei progetti.

Seequent è leader nel supporto all'elaborazione di modelli in campo geologico, geoambientale e scienze della terra e offre strumenti innovativi e integrati per la collaborazione in team e lo sviluppo di progetti ingegneristici.

In più di 100 nazioni, professionisti nell'Industria, negli Istituti di ricerca e nelle Università, utilizzano le tecnologie Seequent per affrontare le attuali sfide nelle geoscienze e raggiungere ottimi risultati.

Le Soluzioni Seequent

I software Seequent combinano l'analisi, la visualizzazione 2D e 3D e la gestione dei dati in progetti ad ampia scala: costruzione di tunnel stradali e ferroviari, rilevamento e gestione delle acque sotterranee, esplorazione geotermica, mappatura di infrastrutture subacquee, valutazione delle risorse e dello stoccaggio sotterraneo di combustibile nucleare esaurito, e molto altro...



Industria Mineraria



Ingegneria Civile



Ambiente



Energia



Idrocarburi



Ordigni inesplosi

Software e tecnologie collaborative

GeoStudio	Modellazione della stabilità dei pendii, della deformazione del terreno e del trasferimento di calore e di massa nel suolo e nella roccia.
Leapfrog	Modellazione 3D di dati geologici del sottosuolo, stima delle risorse, verifica e tracciabilità del modello.
Oasis montaj	Modellazione 3D del sottosuolo terrestre e degli ambienti sottomarini, integrata mappatura GIS e gestione dei dati di geoscienze.
Seequent Central	Visualizzazione, modifica e gestione dei dati e della cronologia del progetto 3D all'interno di un ambiente Cloud. Condivisione via Web con i colleghi o con le parti interessate.

Le acque del torrente Fenestrelle e del rio Rigatore: analisi idrogeologica, criticità ambientali e interventi di risanamento per la realizzazione del parco fluviale della città di Avellino

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

Michele Ginolfi | Università Telematica PEGASO

Sabino Aquino | Università Telematica PEGASO: sabino.aquino@unipegaso.it

Termini chiave:

Fenestrelle-Rigatore, fiumi, Idrogeologia, degrado ambientale, parco fluviale

Keywords:

Fenestrelle-Rigatore, rivers, Hydrogeology, environmental degradation, river park

Abstract

Fenestrelle-Rigatore basin, that lick the southern part of urban center of Avellino city, for year is the fulcrum of numerous debates focused on its possible inclusion in a system of river parks aimed at relaunching the development of provincial territory of hydrographic basin of Sabato River, that includes so hydrographic auctions of rivers Fenestrelle and Rigatore. If on one hand, the natural and landscape beauties and the historical-cultural aspects that characterize this strip of territory are of particular importance, it is true that these waterways have suffered, in recent decades, a deep anthropic manipulation, responsible of environmental degradation that has particularly affected the quanti-qualitative status of waters. Principally, pollution of waters is attributed to the fact that has aforementioned watercourses often represent the delivery various untreated urban waste discharges and their banks are home to widespread patchy micro-dumps. The problems connected at safeguard of water resources of hydrographic basin of River Fenestrelle-Rigatore strongly draw attention to the need to identify actions and intervention strategies in an integrated perspective. For the achievement of these purposes it is essential to quantify the perennial water sources that the river park can actually dispose of during the hydrological year.

Riassunto

Il bacino Idrografico del torrente Fenestrelle - rio Rigatore, che attraversa a sud il centro urbano della città di Avellino, è da anni al centro di numerosi dibattiti sul suo eventuale inserimento in un sistema di parco fluviale teso a rilanciare lo sviluppo del territorio provinciale del bacino imbrifero del fiume Sabato, che include anche le aste idrografiche del torrente Fenestrelle e del rio Rigatore. Se, da un lato, sono di particolare rilevanza le bellezze naturali e paesaggistiche e gli aspetti storico-culturali che caratterizzano tale lembo di territorio, è pur vero che tali corsi d'acqua hanno subito, negli ultimi decenni, una profonda manipolazione antropica, responsabile del degrado ambientale che ha particolarmente inciso sullo stato quanti-qualitativo delle acque. L'inquinamento delle acque è fondamentalmente da imputarsi alla circostanza che i citati corsi d'acqua costituiscono il recapito di scarichi di reflui urbani spesso non depurati e le loro sponde sono sede di micro-discariche diffuse a macchia di leopardo. Le problematiche connesse alla salvaguardia delle risorse idriche presenti nel comprensorio richiamano fortemente l'attenzione sulla necessità di individuare azioni e strategie di intervento in una prospettiva integrata. Per il conseguimento di dette finalità è fondamentale quantizzare le fonti idriche perenni

di cui il parco fluviale può effettivamente disporre nell'arco dell'anno idrologico.

Introduzione

Nell'area territoriale che delimita il bacino idrografico dei torrenti Fenestrelle e del rio Rigatore la vocazione irrigua, legata alla presenza dei corsi d'acqua e delle diverse sorgenti, è testimoniata tutt'ora dai ruderi dei mulini e canali irrigatori. Tutta questa vasta area in un passato, non molto lontano, veniva coltivata ad orti e l'energia delle stesse acque fluviali veniva utilizzata per la macinazione del grano, il che rendeva tale comprensorio la principale zona di produzione alimentare della città di Avellino. Negli ultimi decenni, invece, la valle del torrente Fenestrelle e del rio Rigatore è stata interessata da una forte espansione urbanistica, caratterizzata soprattutto dall'edificazione di nuovi edifici industriali e commerciali. Parallelamente a tale espansione, si è avuto un improprio utilizzo delle acque del corso fluviale unitamente ad una pesante manipolazione antropica dello stesso. In particolare, l'edificazione di alcune infrastrutture, tra le quali vi è la realizzazione del nuovo viadotto che unisce il centro urbano di Avellino con il raccordo autostradale Av-Sa, così come la costruzione di scatolari in cemento armato lungo alcuni tratti dei corsi d'acqua, hanno inciso sui naturali preesistenti equilibri idrogeologici, gravando negativamente sulle condizioni di alimentazione delle fonti idriche. Inoltre, si è avuto un notevole peggioramento della qualità delle acque poiché le aste fluviali recepiscono, tuttora, i reflui urbani che, essendo in molti casi non depurati, non riescono più a garantire la vita dell'ecosistema del reticolo idrografico. La porzione territoriale presa in considerazione (Fig.1) interessa l'estesa ed ampia area posta a ovest-sudovest di Avellino, delimitata a sud dalle alture di M. Esca - Faliesi, ad ovest dal centro urbano di Monteforte Irpino, a nord dalle frazioni di "Torrelli", "Torrette" e "Valle" e a nord-est dall'abitato di Avellino. La zona, così delimitata dal punto di vista geografico, corrisponde alla parte alta del bacino del rio Rigatore che attraversa il centro urbano di Avellino e che, poco a ovest della Città si suddivide in due rami principali: uno denominato torrente Fenestrelle, proveniente da sudovest, e l'altro denominato vallone Iemale, proveniente dal vicino valico di Monteforte Irpino (situato a ovest-nordovest). Nell'ambito della ricerca condotta, oltre al rilievo idrogeologico dell'intero bacino imbrifero delle due aste idrografiche, è stata effettuata una campagna di misure, finalizzata alla determinazione delle portate delle sorgenti emergenti in zona e alla ricostruzione, attraverso misure effettuate nei numerosi pozzi presenti nell'area, della superficie piezometrica della falda idrica. Tale campagna, inoltre, ha previsto l'esecuzione di quattro diverse misure della portata idrica lungo le diverse aste fluviali (Fig. 1). L'esecuzione di tale studio

di carattere idrogeologico ha permesso di individuare due distinte zone, particolarmente significative per quanto concerne l'aspetto dell'alimentazione dei due corsi d'acqua. La prima è ubicata a valle della Villa Comunale di Avellino, in località "Zigarelli", dove, attraverso la misura delle portate fluviali, è stato possibile accertare la presenza di travasi idrici in alveo provenienti dalle strutture collinari e montuose che bordano il bacino. L'altra zona, invece, ubicata in località "Castagno-San Francesco", è caratterizzata da una diffusa circolazione idrica affiorante dal piano campagna, unitamente alla presenza di una discreta portata sorgiva canalizzata direttamente all'interno dell'alveo fluviale.

Lo stato qualitativo delle acque è stato accertato attraverso la ricerca dei dati di carattere chimico-fisico, microbiologico e batteriologico acquisiti, sia dal Dipartimento ARPAC di Avellino in tre punti di campionamento di acque eseguiti nel Maggio 2021 (Fig.1), sia da alcuni rapporti di analisi redatti in occasione dell'elaborazione di studi di carattere geologico-ambientale condotti nell'area d'interesse. Inoltre, si sono acquisite specifiche informazioni circa gli impatti antropici, di natura civile, agricola e industriale, che determinano significative criticità ambientali sugli ecosistemi fluviali. Ciò attraverso la ricerca degli inquinanti appartenenti alle categorie delle sostanze prioritarie e pericolose di cui alle tabb. 1/A e 1/B del D.Lgs. 172/2015 e dei parametri elencati nella tab. 3 di cui all'Allegato 5 alla Parte III del D.Lgs. 152/2006, relativi agli scarichi all'interno dei corpi idrici superficiali.



Foto storica del torrente Fenestrelle.

Historical photo of Fenestrelle river.

1. Geologia e morfologia

L'area urbana di Avellino, avente una estensione pari a circa 10 Km², corrisponde ad una depressione morfo-strutturale, allungata in direzione est-ovest, delimitata, ad ovest e a sud dai rilievi carbonatici dei Monti di Avella-Partenio-Pizzo d'Alvano, riferibili all'unità stratigrafico-strutturale dei Monti Picentini (BONARDI *et alii*, 1988), a nord e a sudest dai

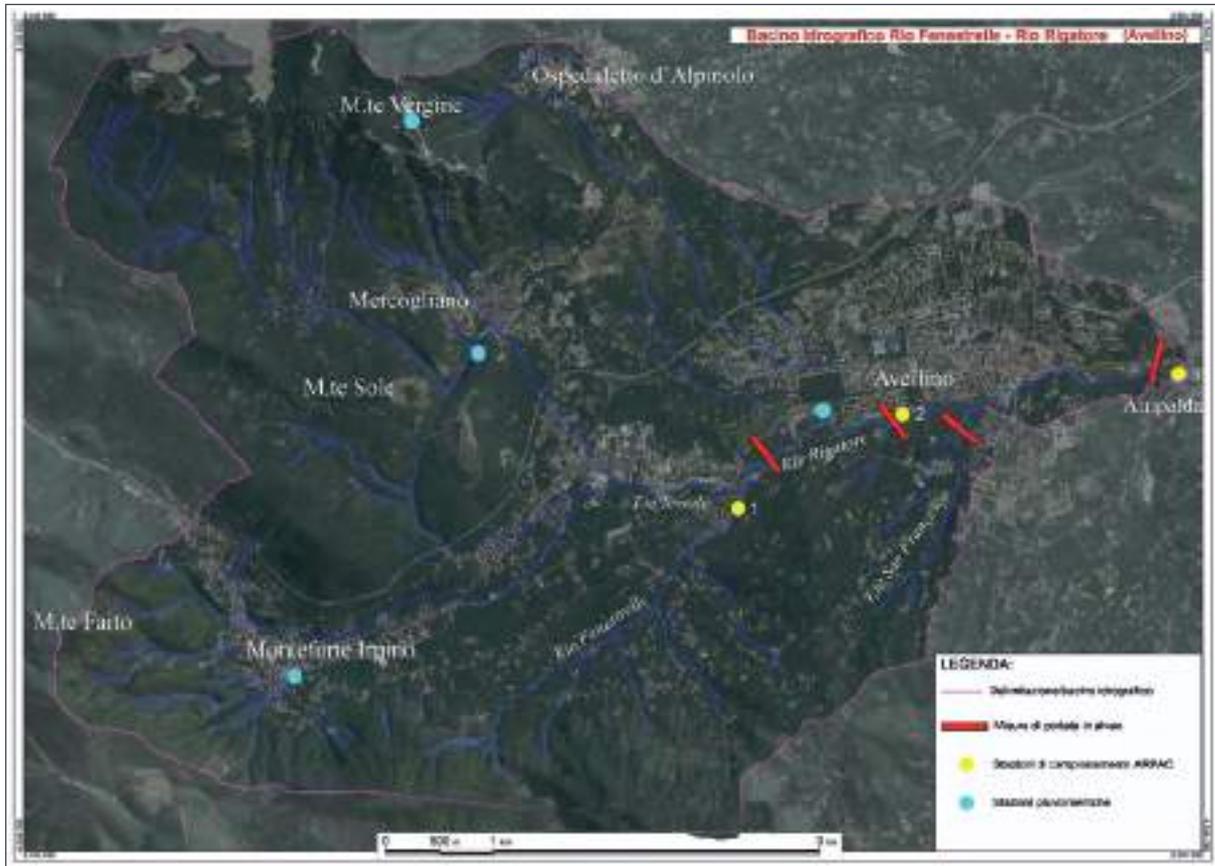


Fig. 1 - Bacino idrografico del torrente Fenestrelle – rio Rigatore.

Fig. 1 - Fenestrelle-Rigatore River idrografic basin map.

rilievi collinari arenaceo-marnosi-argillosi (Unità Irpine) i cui depositi sono derivati dalla deformazione della parte prossimale del Bacino Irpino (PESCATORE *et alii*, 1970; PATACCA *et alii*, 1990). Essa si estende lungo il medio corso del fiume Sabato, localmente rappresentato dal torrente Fenestrelle che scorre in direzione ovest-est, ed ha una lunghezza pari a circa 13 Km. Le valli del torrente Fenestrelle e del torrente lemale corrispondono ad una fascia collinare incastrata tra i Monti di Forino a sudovest e il gruppo di Montevergine a nordovest mentre a nord e nordest si ha il passaggio al paesaggio a morfologia abbastanza pianeggiante della Conca di Avellino che si estende sino al fiume Sabato e ai primi contrafforti del gruppo del Monte Terminio-Tuoro (AQUINO, 1999). La zona pianeggiante, al cui centro si adagia l'area urbana di Avellino, appare solcata da alcune incisioni pronunciate, tra le quali spicca, per importanza, quella del rio Rigatore che ha scavato il suo letto abbastanza profondamente a partire dalla località "Torrette" del Comune di Mercogliano sin quasi alla sua confluenza con il fiume Sabato. La prima parte del bacino s'incunea tra i M.ti di Avella e di Forino, mentre la parte

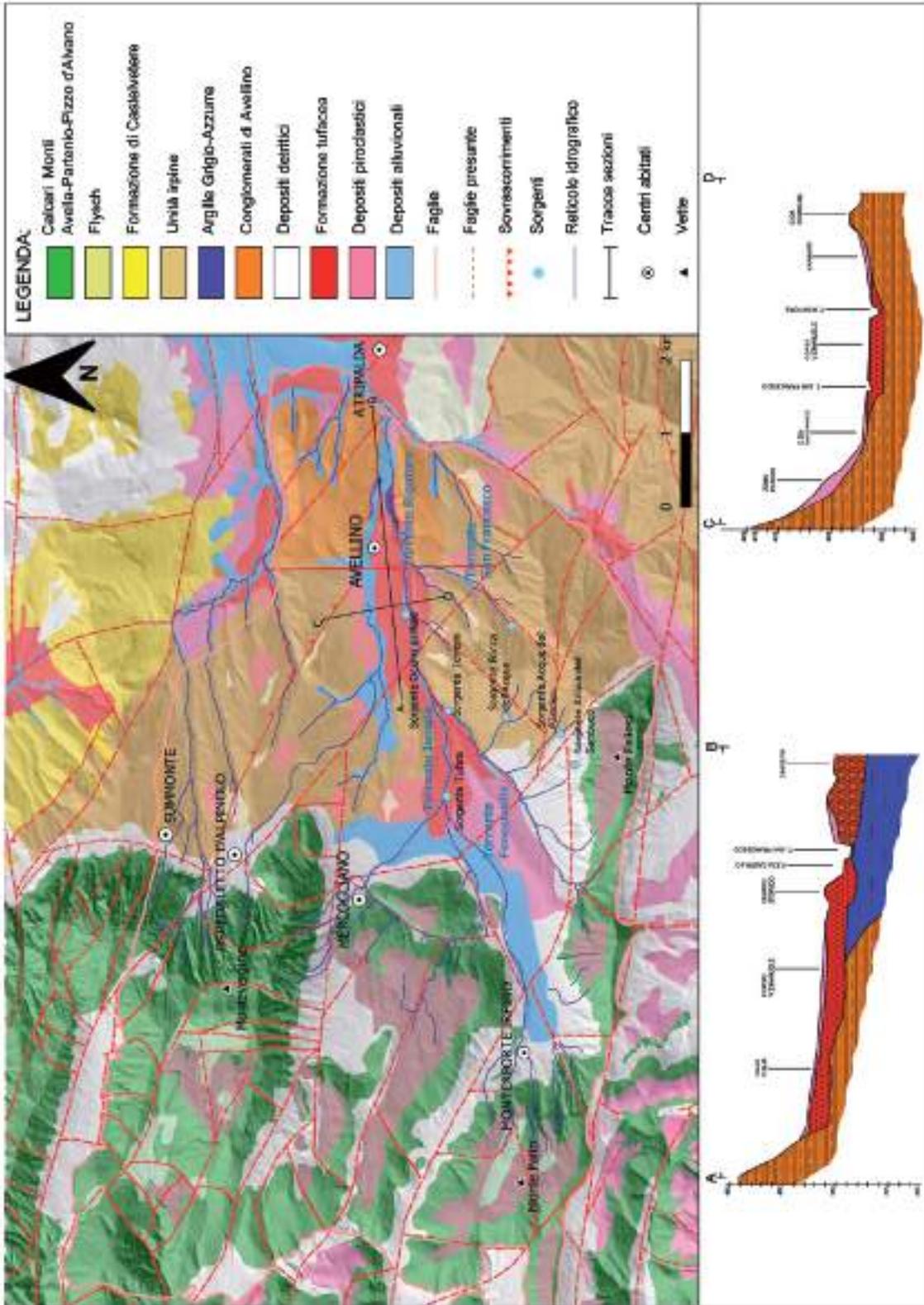
occidentale di questo, meno acclive, si imposta dapprima su terreni detritici provenienti dall'erosione dei versanti e, successivamente, sulle formazioni che colmano l'intera vallata a prevalente componente argillosa. Queste ultime sono stratigraficamente sottoposte alle formazioni piroclastiche, di tipo tufaceo, che costituiscono il substrato sul quale è stato edificato il centro storico della Città di Avellino. I terreni più antichi affioranti nell'area urbana (GIULIVO & SANTO, 1997; AQUINO *et alii*, 2006) sono ascrivibili ai depositi flyschoidi miocenici, di natura marnoso-argillosa, ed alle argille grigio-azzurre messiniane. Questi litotipi si rinvencono, in affioramento, nella parte occidentale del territorio urbano e nella fascia urbana di raccordo tra la piana e i rilievi carbonatici circostanti; i litotipi argillosi, invece, si rinvencono prevalentemente nella parte orientale dell'area. Nella parte settentrionale e meridionale del centro urbano, sono presenti estesi affioramenti di depositi conglomeratici terrazzati (Conglomerati di Avellino; AQUINO *et alii*, 2006), con spessori superiori ai 100 metri, derivanti dai processi di degradazione che hanno coinvolto le unità flyschoidi mioceniche. In dettaglio, tali

affioramenti sono costituiti da puddinghe poligeniche, poco o punto cementate, immerse in una matrice prevalentemente a carattere argilloso. Il settore occidentale dell'area, invece, è caratterizzato dalla presenza in affioramento dei depositi piroclastici dell'Ignimbrite Campana, sia in facies litoide che incoerente. Tale formazione, che presenta uno spessore massimo di alcune decine di metri, sembra colmare una zona di paleo-alveo del torrente Rigatore. In sovrapposizione ai depositi ignimbritici si rinvengono dei depositi vulcanoclastici incoerenti (ceneri, pomici, lapilli ecc.), appartenenti alle più recenti eruzioni vesuviane, nonché depositi detritico-alluvionali recenti e attuali disposti in lembi di limitato spessore lungo le aste fluviali (Fig. 2).

2. Idrogeologia e indagini eseguite

Le caratteristiche lito-stratigrafiche dei depositi che colmano la piana comportano, dal punto di vista idrogeologico, la presenza di un acquifero piroclastico-alluvionale e conglomeratico, caratterizzato da una permeabilità per porosità, per quanto riguarda il complesso piroclastico-alluvionale, e da una permeabilità per porosità e fessurazione, per quanto riguarda l'acquifero conglomeratico, e limitato lateralmente e dal basso dagli anzidetti depositi flyschoidi marnoso-argillosi, che presentano un bassissimo grado di permeabilità. La presenza di detto complesso è certificata da diversi lembi affioranti in tagli recenti nella zona di "Bosco dei Preti", localizzata a sud della S.S. 7 bis che porta a Monteforte Irpino. Si tratta di un complesso terziario, praticamente impermeabile, giustapposto per faglia ai calcari mesozoici dei M.ti di Forino e di Montevegine, caratterizzati da una permeabilità per fratturazione e carsismo con grado elevato e molto elevato (CELICO, 1978; CELICO, 1979; CELICO, 1983; AQUINO *et alii*, 2006, AQUINO *et alii*, 2008). Il complesso impermeabile, dunque, costituisce uno sbarramento alla circolazione idrica che avviene in profondità all'interno delle litologie calcaree, per cui è ipotizzabile che le acque sotterranee contenute all'interno dei calcari fessurati alimentino lateralmente le falde contenute all'interno delle alluvioni e delle brecce poggianti sulle litologie flyschoidi impermeabili, oltretutto quelle contenute all'interno dei livelli permeabili caratterizzanti parte del complesso piroclastico. Tali acque vengono a giorno in corrispondenza delle fessurazioni e delle incisioni più pronunciate, che caratterizzano la formazione tufacea e, quindi, il complesso ignimbritico, costituendo le fonti idriche che si palesano all'interno delle aste idrografiche del torrente Fenestrelle e del rio Rigatore. A grande scala, pertanto, la circolazione idrica sotterranea può essere considerata unica e di tipo freatico (Fig.2). Sebbene possano evidenziarsi diverse soluzioni di continuità all'interno del flusso idrico sotterraneo, la falda, laddove presente, circola preferenzialmente, come già evidenziato, all'interno dei depositi piroclastico-alluvionali granulometricamente più grossolani,

giustapposti all'interno dell'Ignimbrite Campana (AQUINO, 1997; AQUINO, 1999; AQUINO *et alii*, 2006), mentre le zone di recapito preferenziale sono coincidenti con il corso d'acqua principale. Nel settore interessato dai depositi conglomeratici ghiaioso-argillosi, la circolazione idrica sotterranea risulta molto più frazionata: sono presenti più falde sospese, che alimentano le sorgenti stagionali e/o occasionali, oppure si determinano dei deflussi idrici sotterranei che trovano direttamente recapito all'interno dell'alveo fluviale dello stesso rio Rigatore e/o del fiume Sabato. All'interno della parte più alterata del complesso arenaceo-marnoso-argilloso s'instaura, in modo abbastanza discontinuo, una circolazione idrica sotterranea testimoniata dai livelli di soggiacenza della falda idrica, rilevata nei numerosi pozzi ad uso agricolo realizzati nel comprensorio d'interesse, rilevabile ad un intervallo di profondità compreso tra i 3 ed i 30 metri dal piano di campagna. Tale circolazione idrica, inoltre, è ben tamponata alla base dal substrato argilloso impermeabile. La presenza dei predetti tipi litologici, origina alcune scaturigini a carattere stagionale, le quali presentano delle portate idriche irrisorie (inferiori a 1 l/s), connesse con l'andamento pluviometrico dell'area e il cui meccanismo di alimentazione è assimilabile a quello tipico delle sorgenti per limite di permeabilità indefinito (CIVITA, 1972). Nel mese di maggio 2021 nel periodo della "morbida delle sorgenti" che, come è noto, si caratterizza per notevoli incrementi delle portate idriche, è stata eseguita una campagna di misure finalizzate all'accertamento delle portate sorgive erogate, della profondità della falda idrica rilevata nei diversi pozzi dislocati all'interno del comprensorio e, infine, della portata idrica fluviale defluente nelle aste principali del bacino imbrifero. L'indagine condotta sull'analisi delle portate fluviali in alveo ha evidenziato che, risalendo il bacino imbrifero del torrente Fenestrelle e del rio Rigatore, la portata tende a diminuire progressivamente ma con differenziali molto significativi. Tale circostanza è supportata dalle quattro misurazioni della portata idrica eseguite nelle sezioni fluviali ritenute più significative (Fig. 1). Nel settore occidentale del bacino imbrifero, l'alveo ricettore che immette le acque dei torrenti Lemale e Fenestrelle nel rio Rigatore risulta quasi asciutto o interessato da modesti scoli di reflui non depurati. Ciò è avvalorato dal fatto che, durante tutto il periodo nel quale è stata condotta la campagna di misurazione delle portate, tutte le emergenze idriche presenti nei settori meridionali e orientali del bacino imbrifero le cui acque, come già accennato nei paragrafi precedenti, un tempo venivano utilizzate per l'alimentazione di vecchi mulini per diverse finalità, risultano pressoché asciutte o, al massimo, caratterizzate da esigue portate idriche (Sorgenti: Acqua del Sambuco, Torriani, Tufara, Bocca dell'Acqua e Acqua del Paradiso in Fig. 2). Di contro, è stata misurata una portata idrica, lungo una sezione idraulica individuata a valle di Corso Europa, in prossimità del nuovo viadotto di collegamento tra la circumvallazione esterna della città



e il centro urbano, pari ad oltre 1.000 l/s, comprensiva sia delle portate idriche immesse in alveo che dei reflui urbani. In tale zona, inoltre, sono ancora rinvenibili i ruderi dell'opera di captazione della sorgente, denominata Zigarelli o Occhio di Mare (Fig.2), che trae alimentazione dai travasi idrici che provengono dalle vicine idrostrutture carbonatiche che bordano il bacino. Per tale scaturigine, la bibliografia di carattere idrogeologico (CIVITA *et alii*, 1973) e gli annali idrologici segnalano che, negli anni 50', si registravano portate pari anche a 20 l/s. Dal punto di vista idrogeologico assume un'importanza significativa anche la località "Castagno-San Francesco" nella quale, oltre ad accertare un'ampia e diffusa circolazione idrica affiorante dal piano campagna a pochi metri di distanza dell'immissione del torrente San Francesco nel rio Rigatore, è stata riscontrata una portata di acqua, perfettamente limpida e inodore, di provenienza sorgiva, pari a circa 8 l/s. È probabile, quindi, che, in tale zona il torrente San Francesco, affluente in destra idraulica del rio Rigatore, risulti parzialmente in continuità fisica con la falda. Infine, a qualche centinaia di metri dal confine tra i territori comunali di Avellino e Atripalda, all'interno del Parco Comunale Manganelli - Santo Spirito, in prossimità del ponte ad arco sul rio Rigatore è stata effettuata una misura della portata idrica fluviale di circa 2000 l/s. Anche in questa zona la portata idrica misurata rappresenta la quantità d'acqua proveniente dalla circolazione idrica superficiale e sotterranea, unitamente ai reflui urbani non depurati provenienti dagli insediamenti civili e commerciali che gravitavano in zona. In corrispondenza di alcuni tratti del reticolo idrografico, anche per diverse decine di metri, sono stati realizzati scatolari in cemento amato che, oltre ad alterare l'originario deflusso delle acque superficiali e sotterranee, hanno notevolmente inciso sull'aspetto naturalistico e paesaggistico della zona.



Misura della portata fluviale lungo il rio Rigatore.
Fluvial flow measurement along Rigatore river.



Rio Rigatore.
Rigatore river.



Tratto del torrente Fenestrelle interessato da scatolare in c.a..
Stretch of Fenestrelle river interested in c.a. box.

3. Bilancio idrologico medio annuo

Il bilancio idrologico effettuato per l'area di studio ha portato alla determinazione dei volumi di infiltrazione e deflusso in alveo del bacino del torrente Fenestrelle e del rio Rigatore. I dati idrologici, acquisiti nel corso delle espletate indagini, opportunamente integrati con i dati pluviometrici e termometrici, reperiti attraverso il Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile della

Volume annuo di precipitazione (m ³ /a)	Volume di evapotraspirazione (m ³ /a)	Deflusso globale (m ³ /a)	CIP medio (%)	Volume infiltrazione (m ³ /a)	Volume ruscellamento (m ³ /a)
29.736.483	2.278.158	16.067.530	30	4.820.259	11.247.271

Tab. 1 - Dati riassuntivi del bilancio idrologico.

Tab. 1 - Summary data of hydrological balance.

Volumi infiltrazione efficace potenziale medio-annua (m ³ /a)	Portata medio-annua defluente in alveo (m ³ /a)
4.820.259	34.675.200

Tab. 2 - Tabella riassuntiva del bilancio idrologico.

Tab. 2 - Summary table of the balance.

Campione	Data campionamento	torrente	Comune	Località	BOD ₅ (mg/l)	COD (mg/l)	Azoto ammoniacale (mg/l)	Azoto nitrico (mg/l)	Azoto totale (mg/l)	Fosforo totale (µg/l)	Escherichia coli (UFC/100 ml)
1	18/05/2021	Iemale	Monteforte	C.da Molinelle	10	13	1,21	6,32	8,63	256	>200000
2	18/05/2021	Fenestrelle	Avellino	Via Zigarelli	2	6	0,51	6,77	7,90	617	82000
3	1/05/2021	Rigatore	Avellino	Via Fratelli Troncone	14	25	3,78	4,97	11,4	418	>200000

Tab. 3 - Quadro riassuntivo delle analisi chimico-fisiche, microbiologiche e batteriologiche eseguite dall'ARPAC.

Tab. 3 - Summary table of chemical-physical, microbiological and bacteriological parameters proved by ARPAC.

Regione Campania, sono riferiti al ventennio 2000-2020 e sono stati individuati considerando le stazioni pluviometriche e termometriche più significative ai fini della ricerca in atto. Dall'area analizzata sono state escluse le litologie carbonatiche (Monti di Avella e Monti di Sarno), in quanto idrostrutture indipendenti rispetto all'area territoriale considerata. Pertanto, è stata ipotizzata la coincidenza tra il bacino superficiale (quello idrografico) ed il bacino idrogeologico, con l'esclusione della porzione carbonatica. Tale ipotesi è stata formulata tenendo conto delle modalità con le quali si realizza il deflusso idrico sotterraneo e sulla base di quanto viene riportato in bibliografia in merito agli acquiferi dotati di permeabilità mista (CELICO, 1983). La distribuzione territoriale dei dati termici e pluviometrici registrati per il periodo considerato segue le usuali leggi a cui si fa riferimento per la elaborazione del bilancio idrologico. Nell'analisi dei dati meteorologici, effettuata tramite il software GIS, sono stati attribuiti alla quota media di ognuno dei sei intervalli altimetrici di riferimento i relativi valori di precipitazione e temperatura. Successivamente, è stata stimata la lama medio-annua di precipitazione e, attraverso l'applicazione della formula di Turc (TURC, 1961)

quella, sempre medio-annua di evapotraspirazione reale. La Formula di Turc è stata preferita rispetto ad altre formule empiriche per il calcolo dell'evapotraspirazione reale in quanto più appropriata nell'analisi idrologica del bacino d'interesse. Nelle tabelle (Tabb.1 e 2) sono sintetizzati i risultati del bilancio idrologico redatto ai fini della valutazione del deflusso in alveo del torrente Fenestrelle e del rio Rigatore.

Pertanto si è stimata una potenzialità idrica sotterranea pari a circa 4.820.000 m³/a.

4. Aspetti qualitativi delle acque

Relativamente alla vulnerabilità all'inquinamento del comprensorio d'interesse, è stato necessario distinguere le valutazioni sulla presenza o meno di una o più falde idriche interagenti tra loro (falda sovrapposta e falda sottoposta all'orizzonte tufaceo). Le due falde, infatti, ove presenti interagiscono in modo differente con la superficie topografica e, quindi, si avrà un diverso impatto che potrebbe avere su di esse un'eventuale immissione di sostanze inquinanti all'interno del sottosuolo. Nel caso in cui si abbia la

presenza di un'unica falda idrica all'interno dell'acquifero alluvionale-piroclastico questa sovrasta l'orizzonte tufaceo e la vulnerabilità all'inquinamento risulta essere piuttosto elevata, soprattutto in relazione alla scarsa profondità della falda rispetto al piano campagna e della elevata permeabilità orizzontale e verticale dell'acquifero. Nel caso in cui la falda dell'acquifero alluvionale-piroclastico sia sottoposta all'orizzonte tufaceo la vulnerabilità intrinseca all'inquinamento diviene elevata, nel momento in cui l'emungimento della falda idrica sotterranea, tramite pozzi, comporta un abbassamento del livello piezometrico tale da consentire l'inversione del flusso di drenanza naturale dal basso verso l'alto. Durante l'emungimento, invece, questa fenomenologia resta circoscritta nell'ambito del cono di depressione dei singoli pozzi e l'entità del suo impatto, sulla qualità delle acque captate, è funzione delle locali caratteristiche dell'acquifero, nonché delle portate emunte dal pozzo; al termine della derivazione, i quantitativi idrici inquinanti che hanno già raggiunto l'acquifero profondo, ma non ancora il fondo, sono causa del persistere e dell'ampliamento areale del fenomeno di inquinamento indotto (CIVITA, 1994; CHIESA, 1994; CELICO *et alii*, 1996). Gli esiti analitici, relativi alle attività di monitoraggio sui corsi d'acqua condotte dall'AR-PAC (Tab. 3), hanno evidenziato, nelle acque dei torrenti Iemale, Fenestrelle e del rio Rigatore, la presenza di un carico inquinante di natura organica e fecale, riscontrato nei parametri BOD₅, COD, Azoto Ammoniacale, Azoto nitrico, Azoto totale e Fosforo totale, nonché la massiva presenza di *Escherichia Coli*. I valori di concentrazione rilevati sono simili nei punti di prelievo delle località "Molinelle" nel Comune di Monteforte e di via Fratelli Troncone nel Comune di Avellino e sensibilmente inferiori, per alcuni parametri, nel campione prelevato presso la stazione intermedia di via Zigarelli. Ciò in considerazione della circostanza che in tale settore del bacino imbrifero vi sono dei travasi idrici provenienti dalle strutture collinari e montuose che bordano il bacino e, pertanto, il quantitativo d'acqua che in tale zona alimenta l'asta fluviale consente una diluizione del carico inquinante.

5. Interventi di risanamento e considerazioni conclusive

La riqualificazione ambientale dei corsi d'acqua in ambito urbano, soprattutto nelle aree montane, assume un'importanza rilevante in virtù del ruolo che queste debbono svolgere nell'azione di tutela, conservazione, gestione e valorizzazione dei corpi idrici superficiali e sotterranei che accolgono, e nel contempo dei processi di tutela e trasformazione del paesaggio. In tale ottica, la funzione assunta dai fiumi e dalle fasce fluviali nei metabolismi urbani-territoriali e nei processi di sviluppo economico e produttivo diviene elemento di riqualificazione ambientale visto nei suoi rapporti con il paesaggio, con le valenze

naturalistico-ambientali e storico-culturali e con gli aspetti idrogeologici. Purtroppo, soprattutto nell'ultimo trentennio, i diversi reticoli idrografici improntati sulle dorsali montuose che costituiscono la catena appenninica meridionale sono stati oggetto di un'indiscriminata e rilevante manipolazione antropica dei naturali equilibri idrogeologici che ha generato la compromissione quali-quantitativa degli acquiferi con notevoli risvolti negativi soprattutto sugli ecosistemi fluviali (AQUINO, 2004).

Un ambizioso progetto che, da decenni, viene perseguito dalle diverse amministrazioni comunali che si sono succedute nel governo della Città di Avellino è quello di istituire il Sistema - Parco Urbano intercomunale del torrente Fenestrelle del rio Rigatore, finalizzato a riqualificare e valorizzare l'esteso e prezioso "polmone verde" che si articola lungo i predetti corsi d'acqua che solcano il centro urbano della Città di Avellino e che interessano anche i territori comunali di Monteforte Irpino, Mercogliano e Atripalda. In tale sistema urbano si ipotizza la realizzazione di aree attrezzate per attività sportive, ampie zone di sosta, provviste di sedute ombreggiate dalla folta e lussureggiante vegetazione e attrezzate con tavoli e panche per favorire la socializzazione e consentire ai visitatori di godere appieno della vista e della tranquillità che offre questo ambiente fluviale, così come è stata anche ipotizzata la realizzazione di percorsi ciclo-pedonali che si sviluppano lungo l'asta fluviale. Tutto ciò favorirebbe, tra l'altro, anche lo sviluppo della rete delle aree protette già presenti, collegando il Parco Urbano intercomunale del Fenestrelle ai due Parchi Regionali già presenti in Irpinia, con particolare riferimento al Parco Regionale del Partenio nel cui perimetro già rientrano i Comuni di Monteforte Irpino e Mercogliano. Da quanto fin qui esposto, appare evidente che il Parco fluviale rappresenta un'idea e un'opportunità a condizione che si pensi preliminarmente ad attribuire al corso d'acqua "dignità" e "rispetto". Nell'ambito di queste problematiche, e in una logica di riequilibrio e riorganizzazione del territorio attraversato dal torrente Fenestrelle e dal rio Rigatore, deve essere avviata una razionale pianificazione territoriale che, partendo dalle caratteristiche fisiografiche del bacino idrografico dei due corsi d'acqua, indichi le scelte tipologiche degli interventi che assumono un carattere prioritario per una ricomposizione ambientale. Ciò tenendo in debita considerazione che gli interventi per l'esecuzione di un'ottimale riqualificazione ambientale e di recupero delle aste idrografiche d'interesse, travalica ampiamente i confini dei singoli territori comunali ed investe direttamente il comprensorio dell'intero bacino imbrifero. A ciò si potrà pervenire solamente attraverso la rimozione delle "cause del degrado", ossia prevedendo in primis la realizzazione di collettori fognari con il compito di captare e addurre agli impianti di depurazione i reflui urbani. Tale intervento, oltre ad evitare l'inquinamento delle acque che fluiscono all'interno degli alvei fluviali, consentirebbe di

determinare la portata idrica in corrivazione nel reticolo idrografico la cui alimentazione avviene, come già innanzi detto, attraverso dei travasi idrici provenienti dalle dorsali collinari e montane che cingono il bacino imbrifero. In base alla definizione di questo importante parametro idraulico, si potranno meglio calibrare le opere a cui ricorrere per la realizzazione di un parco fluviale favorendo, in particolare modo, gli interventi che utilizzano le tecniche proprie dell'Ingegneria Ambientale. La necessità di riqualificare aree degradate, l'opportunità di ricostruire ambienti naturali, l'esigenza di mettere in sicurezza le fasce fluviali anche in seguito agli eventi alluvionali già verificatisi hanno portato ad una diffusione, soprattutto in ambito urbano, di queste tipologie di opere che utilizzano le piante, o parte di esse, come "materiali da costruzione", spesso assemblati con altri materiali, come pietrame vario o diverse specie di legno. Nei progetti di riqualificazione ambientale dei fiumi esistono diversi campi di applicazione dell'Ingegneria Naturalistica: si va dalla stabilizzazione o consolidamento degli argini fluviali alla rinaturalizzazione e ricostruzione degli habitat tipici del corso d'acqua, alla costruzione di opere trasversali e longitudinali in modo da assicurare la corretta e funzionale regimazione idraulica, all'esecuzione di strade, sentieri e piste ciclabili per la fruizione del parco fluviale. In particolare, nell'ambito dell'intero bacino idrografico, devono essere bonificate le numerose aree che, allo stato, accolgono cumuli di rifiuti di vario genere, assicurando nel contempo con una continua vigilanza, attraverso l'utilizzo di alcuni sistemi di sicurezza quali l'installazione di telecamere, il divieto assoluto di scaricare in sito materiali nocivi all'ambiente. Deve essere poi attribuita una notevole importanza, in fase progettuale, agli interventi di difesa spondale necessari al controllo dell'erosione idrica, che rappresenta il principale meccanismo modellatore di un corso d'acqua, e agli interventi connessi al trasporto solido in alveo, un processo naturale inarrestabile in tempi lunghi e dal quale dipendono molti caratteri morfologici che caratterizzano sia gli alvei fluviali che le aree vallive. Tali interventi hanno lo scopo di impedire che parti di terreno abbandonino la loro sede per effetto della circolazione dell'acqua, sia in superficie che in profondità, costituendo, nel contempo, una sistemazione idraulica idonea, uniforme e duratura che ridoni al fiume gli spazi necessari per il suo regolare deflusso, anche in caso di piena. La sistemazione e l'utilizzazione delle aree spondali, spesso completamente abbandonate e prive sia di una destinazione che di un uso, unitamente agli interventi di riforestazione con essenze autoctone e la creazione di "orti urbani", tanto diffusi in molte città italiane, potrebbero in parte ricondurre queste aree alle antiche vocazioni. In aggiunta a ciò, anche i prelievi idrici che avvengono attraverso i numerosi pozzi ricadenti nella fascia fluviale dovranno essere autorizzati e controllati per assicurare la corretta gestione della risorsa idrica

sia superficiale che sotterranea evitando che il continuo attingimento di acqua dalla subalvea del fiume comporti un sovrasfruttamento e depauperi l'acquifero fluviale evitandone la normale ricarica. L'intero comprensorio del torrente Fenestrelle e del rio Rigatore, nei prossimi anni, si dovrà confrontare con la "normalizzazione della falda", trovando gli opportuni interventi per la bonifica ambientale evitando, allo stesso tempo, potenziali rischi di inquinamento in modo da poter usufruire di un'estesa area boschiva che interessa direttamente l'abitato della Città di Avellino e i Comuni ad esso limitrofi. In definitiva, la progettazione e la realizzazione del Parco fluviale tra i Comuni di Monteforte Irpino, Mercogliano e Atripalda, con l'attraversamento del centro urbano della Città di Avellino, presuppone, in origine, il superamento delle criticità ambientali connesse, essenzialmente, all'attuale stato quanti-qualitativo delle acque e alla realizzazione di opere finalizzate al ripristino degli originari equilibri idrogeologici.

Ringraziamenti

Si ringraziano il Direttore Generale dell'Agenzia Regionale Protezione Ambientale Campania (ARPAC) Avv. Stefano Sorvino, il Responsabile del Dipartimento ARPAC della Provincia di Avellino Dott. Vittorio Di Ruocco e la Dott.ssa Stefania Zollo dello stesso Dipartimento per la collaborazione offerta nel fornire i dati di carattere chimico-fisico, batteriologico e microbiologico delle acque fluviali.

Riferimenti bibliografici

- AQUINO S. (1997) - *Osservazioni idrogeologiche e stato di degrado del reticolo idrografico del comprensorio ubicato a sud-ovest del centro urbano di Avellino (torrente Rigatore-rio Fenestrelle-Vallone Iemale)*. In *Economia Irpina*, n.1-2/97, Avellino.
- AQUINO S. (1999) - *Rete di monitoraggio per la valutazione e la salvaguardia delle risorse idriche dell'acquifero carbonatico del Terminio-Tuoro (Irpina)*. *Economia Irpina*, n.2/99, Avellino.
- AQUINO S. (2002) - *Il fiume Sabato: analisi idrogeologica, degrado ambientale e interventi di risanamento*. *Economia Irpina Anno XI*, n.3/4-2002.
- AQUINO S. (2004) - *Il problema delle acque in Irpinia*. *Economia Irpina - Anno XLII* n.1/2, 2004.
- AQUINO S., ALLOCCA V., ESPOSITO L. & CELICO P. (2006) - *Le risorse idriche della provincia di Avellino*. Vol. unico, ArtiGrafiche Cinque S.r.l., Avellino.
- AQUINO S., ESPOSITO L., BRUNO R & PANZA R. (2008) - *Analisi geo-ambientale sulle acque del torrente Fenestrelle-Rigatore (Avellino-Campania)*. In *Italian Journal of Engineering Geology and Environment, Special Issue I*.
- BONARDI G., D'ARGENIO B. & PERRONE V. (1988) - *Carta Geologica dell'Appennino Meridionale (1:250.000)*. Atti del Congr. Soc. Geol. D'It., 13-17 settembre 1998, Sorrento (Napoli). Mem. Soc. Geol. It., Vol.41, Roma.
- CELICO F., CIRILLO R., ESPOSITO L., GUIDA M. & AQUINO S. (1996) - *La propagazione in falda degli inquinanti idroveicolati, in relazione alla*

- morfologia della superficie piezometrica*. L'acqua, Rivista dell'Associazione Idrotecnica Italiana Volume IV°. Anno 1996.
- CELICO P. (1978) – *Schema idrogeologico dell'Appennino carbonatico centro-meridionale*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl., 14, (pp. 1-97), Napoli.
 - CELICO P. (1979) – *Considerazioni sull'idrogeologia di alcune zone dell'Italia centro-meridionale alla luce dei risultati di recenti indagini geognostiche*. Mem e Note Ist. Geol. Appl., Vol. XV, Cap. I, Napoli, pagg. 1-43.
 - CELICO P. (1983) – *Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale (Marche e Lazio meridionale, Abruzzo, Molise e Campania)*, Quaderni della Cassa per il Mezzogiorno 4/2, Roma.
 - CHIESA G. (1994) – *Inquinamento delle acque sotterranee-Metodi di indagine e di studio per la bonifica e la gestione delle acque inquinate*. Hoepli Editore S.p.a., Milano.
 - CIVITA M. (1972) – *Schematizzazione idrogeologica delle sorgenti normali e delle relative opere di captazione*. Mem. E Note Ist. Geol. Appl., 12, Napoli.
 - CIVITA M. (1994) – *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: Teoria & pratica*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, n. 31. Pitagora Editore, Bologna
 - CIVITA M., DE MEDICI G.B., DE RISO R., NICOTERA P. & NOTA D'ELOGIO E. (1973) – *Carta idrogeologica della Campania nord-occidentale*. In: "Atti del II Conv. Int. Acque Sotterranee", IAH, Palermo.
 - GIULIVO I. & SANTO A. (1997) – *Stratigrafia del sottosuolo e problemi geomorfologico-applicativi della città di Avellino*. Atti del Conv. "Geologia delle grandi Aree Urbane" – Progetto Strategico CNR – pagg. 279-289 – Bologna, 4-5 novembre 1977.
 - PATACCA E., SARTORI E. & SCANDONE P. (1990) – *Tyrrhenian basin and Appenninic arcs: kinematic relation since late Tortonian times*. Mem. Soc. Geol. Ital., 45: 425-451.
 - PESCATORE T. S., SGROSSO I. & TORRE M. (1970) – *Lineamenti di tettonica e sedimentazione nel Miocene dell'Appennino campano-lucano*. Mem. Soc., Natur. In Napoli suppl. boll. 78:337-408.
 - TURC L. (1961) – *Evaluation des desoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle*. Ann., Agron., 1.



ACQUISTA SU WATEC.IT

RUGGED TROLL 100

AFFIDABILE. PRATICO. COMPATTO.

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

CORPO IN TITANIO

BATTERIA INTEGRATA

MEMORIA INTEGRATA

ASSOLUTO (NON-VENTED)

ZERO MANUTENZIONE



EURO

399

VALIDO FINO AL
28/02/2022

WATEC.IT
WATER TECHNOLOGY



Indagini GEOFISICHE

Tomografia Elettrica 2D/3D/4D

Indagini Sismiche 2D/3D

Elettromagnetismo

Rilievi GPR

Un mare di soluzioni...

GECO-DMC Srl

Ordine Geologi Toscana STP-001

geco@geco-dmc.com

WWW.GECO-DMC.COM

instagram GECO-DMC



In memoria di Giovanni Badino,
il cui genio ha acceso tante luci anche nel buio del Supramonte più profondo

Analisi idrogeologiche sulle variazioni dei livelli piezometrici rilevate nell'acquifero carsico che alimenta le sorgenti di Su Gologone (Sardegna Centro-Orientale)

Francesco Murgia | Provincia di Nuoro, Piazza Italia, 22 - 08100 Nuoro

Giovanni Badino | Università di Torino, Via P. Giuria, 1 - 10125 Torino

Salvatore Frau | Sardinia Nature, Via Balduca, 23 - 07100 Sassari

Termini chiave:

acquifero carsico, esplorazione speleologica, fluoresceina, Tinopal® CBS-X, fluorimetro, sensori multiparametrici, idrodinamica sotterranea, carso saturo.

Keywords:

karst aquifer, cave exploration, fluorescein, Tinopal® CBS-X, fluorometer, multiparameter sensors, underground hydrodynamics, saturated karst.

Abstract

Below are some analyzes developed using the data of a hydrogeological monitoring carried out in the years 2013 and 2014 in the karst aquifer that feeds the sources of Su Gologone and aimed at evaluating the evolution of water levels in the heart of the Supramonte's area, an extensive plaque of Mesozoic limestones extending over 160 km² in central-eastern of Sardinia. In this study, the level variations analyzed, which refer to the piezometry in the karst aquifer of Supramonte at levels close to the saturated karst, have allowed to acquire new knowledge on the geometry of the water conducts used to drain the aquifer towards the sources and to obtain useful indications on the vulnerability of the latter in relation to both a more efficient management of the existing aqueduct collection and the expected impacts of the scenarios on future climate change.

Riassunto

Nel seguito si illustrano alcune analisi idrogeologiche elaborate utilizzando i dati di un monitoraggio svolto negli anni 2013 e 2014 nell'acquifero carsico che alimenta le sorgenti di Su Gologone e finalizzato alla valutazione generale dell'evoluzione dei livelli idrici nel cuore del Supramonte, una estesa placca di calcari mesozoici che si estende per

oltre 160 km² nella Sardegna centro-orientale. In questo approfondimento le variazioni di livello analizzate, che si riferiscono alla piezometria nell'acquifero carsico del Supramonte alle quote prossime al carso saturo, hanno consentito di acquisire nuove conoscenze sulla geometria delle condotte idriche deputate al drenaggio dell'acquifero verso le sorgenti e di ottenere utili indicazioni sulla vulnerabilità di queste ultime in relazione sia ad una più efficiente gestione della captazione acquedottistica esistente sia agli impatti attesi dagli scenari sui futuri cambiamenti climatici.

Inquadramento territoriale e lineamenti geostrutturali

Il bacino idrogeologico che alimenta l'acquifero carsico del Supramonte, ubicato nella Sardegna Centro-Orientale, si estende su una superficie complessiva di circa 161,5 km². L'area è costituita da una placca di rocce prevalentemente calcaree ascrivibili alla successione marina mesozoica (Giurassico medio-Cretacico superiore) della Sardegna Orientale, potente oltre 800 metri, che poggia, in completa discordanza, sopra un basamento d'età paleozoica (Fig. 1). Quest'ultimo, inclinato prevalentemente verso i quadranti Nord-Orientali, è costituito da rocce di natura metamorfica e da granitoidi poco permeabili che influenzano la circolazione idrica generale sia lateralmente che verticalmente. La serie calcarea è contenuta tra due importanti sistemi

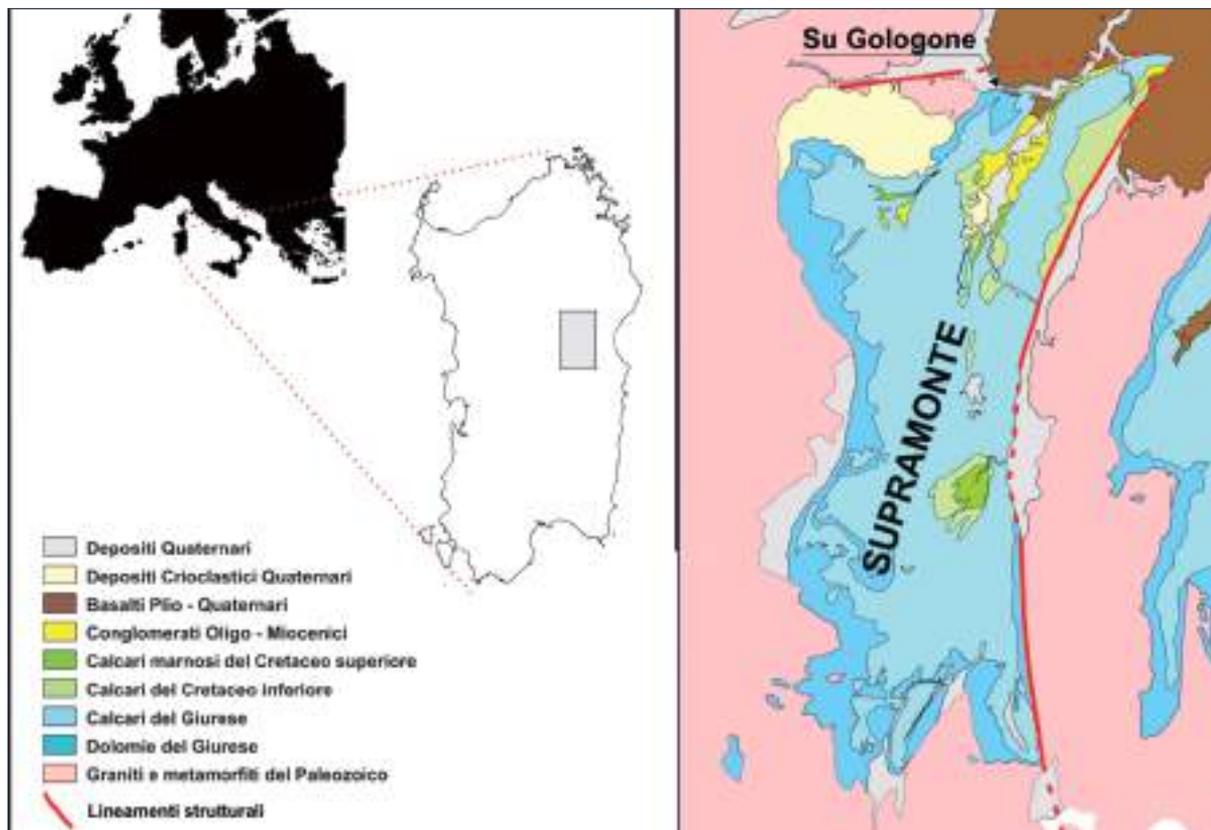


Fig. 1 - Inquadramento territoriale e geologico strutturale (da Pasci, 1997 – modificato).

Fig. 1 - Territorial and geo-structural location (from Pasci, 1997 – modified).

di faglie terziarie (Pasci, 1997): il primo, localizzabile ad est della placca carbonatica, è caratterizzato da discontinuità orientate in direzione N-S mentre il secondo, orientato in direzione E-O, segna l'interfaccia settentrionale tra calcari e basamento, in parte occultata da sedimenti e colate basaltiche recenti.

Particolarmente importante per interpretare l'idrodinamica sotterranea nell'acquifero carsico è proprio la disposizione delle formazioni quaternarie che bordano i calcari mesozoici, localizzabili in prevalenza lungo il versante Nord-Orientale del Supramonte carbonatico. Queste formazioni sono costituite dai sedimenti fluvio-lacustri pelitico-psammitici della formazione di Nuraghe Casteddu intercalati a colate basaltiche del distretto Orosei-Dorgali, alle quali le datazioni radiometriche attribuiscono un'età pleistocenica (ISPRA, 2016).

L'impostazione della successione vulcanico-sedimentaria, la cui potenza è stimabile intorno ai 150 metri, ha ricoperto un reticolo idrografico preesistente, caratterizzato dalla presenza di paleovalli scavate e modellate già nel tardo

Terziario (DIENI & MASSARI, 1973) e modificato l'assetto idrodinamico superficiale e sotterraneo preesistente nell'intera area supramontana (Fig. 2).

Attualmente le acque superficiali s'infiltrano nell'acquifero penetrando sia in un sistema diffuso di fratture in gran parte carsificate sia in singoli inghiottitoi ubicati prevalentemente in corrispondenza dei contatti tra calcari mesozoici e basamento paleozoico. Tra questi punti d'infiltrazione hanno particolare rilevanza quelli ubicati nel settore Sud-Orientale del bacino idrogeologico e, più in generale, in tutti gli alvei superficiali che intagliano il Supramonte lungo le sue principali linee tettoniche. Recenti esplorazioni speleologiche (ASSOCIAZIONE SPELEOLOGICA PROGETTO SUPRAMONTE, 2007), condotte in alcune cavità carsiche poste a diverse centinaia di metri di profondità dalla superficie e localizzabili al di sotto del rio Flumineddu, hanno consentito di individuare alcune direttrici preferenziali di scorrimento idrico ipogeo che drenano le acque provenienti da numerosi apporti sotterranei laterali verso i quadranti settentrionali dell'acquifero carsico. La complessa rete d'infiltrazione



Fig. 3 - Quadro territoriale dei principali elementi idrogeologici nella porzione meridionale del Supramonte.

Fig. 3 - Main hydrogeologic elements in the southern Supramonte area.



Fig. 4 - Schema idrografico del Supramonte.

Fig. 4 - Hydrographic sketch map of the Supramonte.

il margine settentrionale del Supramonte identificabile geograficamente con la sponda destra del Fiume Cedrino. L'acquifero carsico, quindi, può essere inteso come un'unica unità idrostrutturale confinata a sud, ad ovest e ad est dal contatto con le rocce impermeabili del basamento cristallino-metamorfico Paleozoico. A nord, invece, l'idrostruttura è contenuta da una soglia di permeabilità costituita dalla faglia di S. Giovanni, parzialmente sepolta sotto la successione vulcanico sedimentaria del Gollei, che giustappone la successione calcareo-dolomitica del Supramonte al basamento impermeabile (BANDIERA ET AL., 2001). Questo limite di permeabilità impedisce una traslazione idrica sotterranea dall'acquifero carsico verso nord, costringendo le acque ad emergere lungo la sponda destra del fiume Cedrino per costituire un fronte sorgentizio che

si sviluppa tra la quota di circa 104 m s.l.m. delle sorgenti di Su Gologone, ai circa 100 m s.l.m. della sorgente di Su Tippiari sino alla quota di circa 95 m s.l.m. della sorgente di S. Pantaleo (Fig. 4). Le prime stime delle portate di queste sorgenti, effettuate negli anni '30 del secolo scorso ricorrendo a metodi speditivi (MANFREDI, 1934) sono riassunte nella tabella 1. Le due emergenze sulle quali si distribuiscono i deflussi delle sorgenti di Su Gologone sono denominate Sa Vena e Sa Vena Manna. Uno studio idrogeologico recente (Murgia, 2019) attribuisce alla loro portata media annua un valore cumulato di circa 1 m³/s, un valore di circa 0,2 m³/s a quella minima e un valore stimato di poco superiore ai 12 m³/s a quella massima. Non si dispone di stime altrettanto accurate, invece, sulle portate delle sorgenti di Su Tippiari e di San Pantaleo e ciò anche a causa dell'ubicazione di

Sorgente	Data del rilevamento	Portata [m ³ /s]
Su Gologone - Sa Vena Manna (- 104 m s.l.m.)	21/08/1932	0,233
Su Gologone - Sa Vena (- 104 m s.l.m.)	03/1931	0,2
	06/1932	0,15
Su Tippiari (- 100 m s.l.m.)	21/08/1932	0,042
	27/08/1932	0,1
San Pantaleo (- 95 m s.l.m.)	03/1931	0,37
	06/1932	0,35
	21/08/1932	4,256

Tab. 1 - Misure rilevate negli anni '30 sulle tre sorgenti perenni dell'acquifero carsico.

Tab. 1 - Measurements taken in the 1930s on the three perennial springs of the karst aquifer.



Foto 2 - Piena dalla grotta di Sa Oche (foto Massimiliano Mele).

Foto 2 - Flood from Sa Oche cave (photo Massimiliano Mele).



Foto 3 - piena del rio Sa Oche, nella valle di Lanaitto.

Foto 3 - Flood of the rio Sa Oche, in the Lanaitto valley.

queste emergenze, già da alcuni decenni localizzate per gran parte dell'anno sotto il livello del lago artificiale di Preda 'e Othoni sul fiume Cedrino. Sulla base dei dati esposti in tabella, e pertanto in via presuntiva e preliminare, si può quindi stimare un valore di portata media annua di circa $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ per la sorgente di San Pantaleo e un valore di di circa $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ per quella di Tippari.

Il livello piezometrico nell'acquifero del Supramonte subisce, nel corso delle piene, variazioni consistenti, anche di alcune decine di metri, che danno luogo ad imponenti manifestazioni di risorgenza temporanea presso alcune cavità carsiche che si aprono sopra il livello idrico ordinario delle sorgenti di Su Gologone. Alcune di queste, e in particolare le grotte Su Guanù e Mussin Tomasu, scaricano i deflussi di troppo-pieno direttamente nel fiume Cedrino mentre quelle delle grotte di Su Bentu, Sa Oche e di S'Istampu 'e Sas Ballas, che si aprono nella valle di Lanaitto, riversano le acque di piena nell'alveo del Rio Sa Oche (Foto 2) per poi confluire (Foto 3) nel Cedrino. Le manifestazioni sorgentizie presenti nelle porzioni altimetricamente più elevate del Supramonte sono di portata molto limitata e, spesso, legate a circoscritte e ben definite peculiarità strutturali e geomorfologiche; si tratta, per lo più, di piccole scaturigini che si aprono alla base di pareti calcaree le cui fratture sono interessate da una modesta circolazione idrica attiva nei periodi immediatamente successivi agli eventi piovosi.

Test con traccianti

La provenienza delle acque che alimentano le sorgenti di Su Gologone è stata per lungo tempo argomento di discussione e di ricerca sino a quando, nell'estate del 1999, furono immessi 10 kg di fluoresceina sodica nel torrente ipogeo della grotta S'Edera. Il tracciante riemerse dalle sorgenti, ad una stima speditiva, dopo circa 70 giorni dall'iniezione. Nel corso di questa prova il colorante ha attraversato



Fig. 5 - Quadro sintetico delle principali direzioni di deflusso sotterraneo rilevate attraverso i tracciamenti idrogeochimici effettuati nella porzione meridionale del Supramonte.

Fig. 5 - Summary sketch of the main directions of groundwater runoff detected through the hydrogeochemical traces carried out in the southern portion of the Supramonte.



Fig. 6 - Corografia dell'area nella quale si è svolto il tracciamento nell'ottobre del 2013 (base cartografica: Provincia di Nuoro).

Fig. 6 - Location of karst area in which the dye test took place in October 2013 (cartographic base: Nuoro Province).

l'intero acquifero del Supramonte per circa 21 chilometri in linea d'aria annullando un dislivello di oltre 700 metri (BANDIERA, 2000; BANDIERA ET AL., 2001). Dopo aver appurato il collegamento idrologico tra la porzione meridionale del Supramonte e le sorgenti di Su Gologone gli obiettivi della ricerca speleologica si sono concentrati sulla determinazione delle direzioni di deflusso idrico delle acque sotterranee nei contesti propri delle aree di assorbimento. In particolare, i ricercatori dell'Associazione Progetto Supramonte (As. Pro.S.) hanno approfondito la ricerca speleologica effettuando numerosi tracciamenti con l'obiettivo di indagare sulle connessioni idrologiche esistenti tra alcune cavità interessate da scorrimenti idrici i cui ingressi sono localizzati principalmente lungo l'alveo del rio Flumineddu (CROBU, 2003; CROBU, 2004; SANNA & CABRAS, 2008; CABRAS ET AL., 2008; SANNA & CABRAS, 2008; SANNA, 2009). A seguito di queste indagini idrogeochimiche l'idrodinamica dell'acquifero carsico nel settore meridionale del Supramonte risulta distribuita su almeno tre distinti sistemi di deflusso idrico sotterraneo. Questi sistemi di drenaggio, costituiti da condotte di tipo vadoso, risultano impostati lungo linee di fratturazione sub parallele disposte su quote differenti regolate dalla profondità variabile di un basamento impermeabile sbloccato da più faglie (Fig. 5).

Nell'autunno del 2013 il Gruppo Grotte Nuorese, nell'ambito delle indagini idrogeologiche sull'evoluzione dei livelli di piena nell'acquifero del Supramonte, ha svolto una nuova attività di tracciamento allo scopo di accertare l'esistenza di un collegamento idrologico diretto tra alcuni sifoni pro-

fondi presenti nella grotta di Su Bentu e le sorgenti di Su Gologone. Obiettivo del test è stato anche quello di ricavare dati utili per meglio definire la tipologia delle condotte che collegano il carso saturo con le sorgenti. L'iniezione è stata eseguita il 6 ottobre 2013 nel sifone che si apre alla base della diaclasi del Terzo Vento nella grotta Su Bentu (Fig. 6), distante circa 5 chilometri in linea d'aria dalle sorgenti, nel

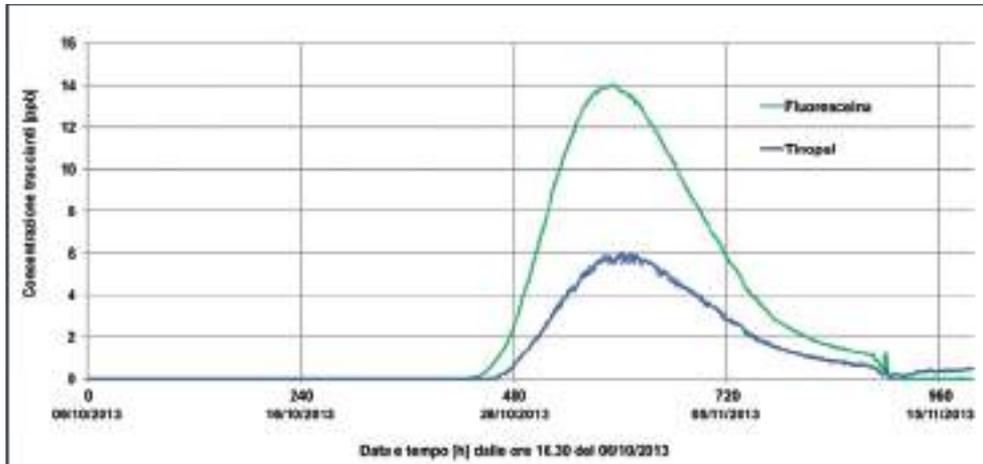


Fig. 7 - Colorazione effettuata nel 2013 nel sifone della grotta di Su Bentu; dettaglio del primo arrivo nelle sorgenti e del picco di concentrazione.

Fig. 7 - Dye test carried in 2013 into the Su Bentu siphon; the first come out of the tracer in the springs and the concentration peak.



Foto 4 - Colorazione effettuata nel 2013 nel sifone della grotta di Su Bentu; i traccianti riemergono dalle sorgenti di Su Gologone (foto Bobore Frau).

Foto 4 - Dye test carried in 2013 into the Su Bentu siphon; the tracers re-emerge from the springs of Su Gologone (photo Bobore Frau).

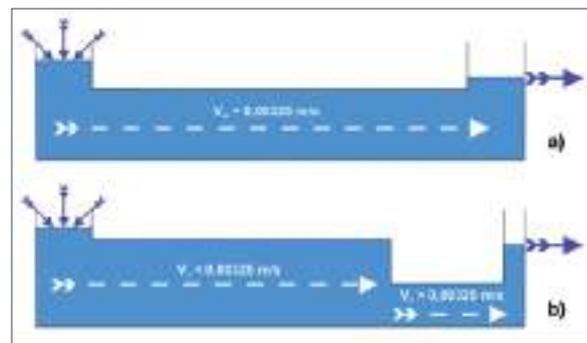


Fig. 8 - Schema esemplificativo della distribuzione delle velocità di flusso in fase di magra nei circuiti di drenaggio sotterranei; a) modello virtuale, b) modello effettivo.

Fig. 8 - Explanatory sketch of the distribution of the flow velocities in the low flow period in the underground drainage circuits; a) virtual model, b) real model.

quale si era osservato un discreto flusso idrico in occasione dell'esplorazione subacquea del condotto sommerso. Il tracciamento si è svolto iniettando nel sifone 2 kg di fluoresceina sodica ed 1 kg di Tinopal® CBSX. Al fine di valutare il passaggio del colorante nelle sorgenti nonché le variazioni di concentrazione del colorante nel tempo, le acque di Su Gologone sono state monitorate con l'ausilio di un fluorimetro a campionamento continuo tipo GGUN-FL30, prodotto dall'Università svizzera di Neuchatel, in grado di rilevare la presenza del tracciante anche in concentrazioni prossime a 0,02 ppb. Il fluorimetro, posizionato nella vasca di carico della captazione acquedottistica alimentata dalle sorgenti, era dotato anche di un sensore per la valutazione della torbidità. Il grafico di figura 7 mostra come la fluoresceina si sia manifestata nelle sorgenti il 24 ottobre 2013, dopo 427 ore dall'iniezione nel carso saturo.

Il picco di concentrazione di fluoresceina, pari a 14,02 ppb, e quello del Tinopal, pari a 6,02 ppb, sono transitati nelle sorgenti il 31 ottobre 2013 (Foto 4), dopo circa 592 ore dall'iniezione. La velocità di deflusso in questo tratto d'acquifero, in condizioni di magra, è quindi stimabile in circa 11,7 m/h; questa velocità, considerata in rapporto ad un valore medio di portata calcolato nelle sorgenti nel periodo di osservazione pari a 0,25 m³/s, consente di valutare una sezione media del circuito idrico di drenaggio pari a 77 m². Tali dimensioni debbono considerarsi, ovviamente, solo indicative della sezione media della condotta carsica: come emergerà nel seguito della trattazione, infatti, il sistema di drenaggio è interessato, lungo il suo percorso, da una o più sezioni di restringimento locale nelle quali il deflusso nell'acquifero trova resistenze al passaggio dell'acqua che accrescono quella intrinseca del sistema (Fig. 8).

Analisi delle grandezze fisiche legate alle caratteristiche della rete di flusso sotterranea

Quello che segue è l'aggiornamento di un'analisi sviluppata insieme a Giovanni Badino nel 2016 (MURGIA ET AL, 2016) rielaborata sulla base della disponibilità di nuovi dati e, in particolare, di una curva di taratura delle portate delle sorgenti di Su Gologone più precisa ed affidabile rispetto a quella utilizzata nell'originaria elaborazione (MURGIA, 2019). In questo aggiornamento sono precisati alcuni aspetti generali relativi all'idrodinamica sotterranea nelle zone di drenaggio che collegano i sifoni riconducibili al carso saturo presenti nella grotta di Su Bentu con le sorgenti di Su Gologone. I dati elaborati sono quelli di portata e livello idrico. Questi ultimi sono stati rilevati nel monitoraggio iniziato nell'ottobre del 2013, in condizioni idrodinamiche prossime alla massima magra, con il posizionamento dei sensori negli alloggiamenti disposti nel sifone del Terzo Vento di grotta Su Bentu e presso le sorgenti di Su Gologone. Nel monitoraggio sono stati utilizzati alcuni sensori multiparametrici DL/N 70 prodotti dalla società svizzera Sensor Technik Simach (STS®), in grado di misurare e memorizzare variazioni di temperatura, conducibilità e livello idrico. La precisione degli strumenti in relazione alla misura della pressione è di $\pm 0,1\%$ sul fondo scala, quella relativa alla misura della temperatura è di $\pm 0,25$ °C mentre quella relativa alla conducibilità è di ± 4 mS/cm e $\pm 2\%$ del valore misurato. Per quanto riguarda la misura delle variazioni di pressione si specifica che i sensori utilizzati hanno una risoluzione di 1 hPa, corrispondente ad 1 cm di livello idrico. Lo strumento posto nel sifone è stato collocato 68 cm sotto il livello dell'acqua mentre quello posto nelle sorgenti è

stato posizionato nel condotto ascendente dell'emergenza principale ad una profondità di circa 5 metri.

Verifica preliminare

Il primo esame è stato quello di verificare la coerenza complessiva dei dati a disposizione per procedere poi, per passi successivi, alle ulteriori elaborazioni. Successivamente è stato elaborato un set di valori di portate alle sorgenti ricavate dall'applicazione della nuova curva di taratura a disposizione. In seguito, queste portate sono state mediate in relazione ai valori di livello assunti dall'acquifero nei due siti di monitoraggio ad ogni singolo centimetro di decremento. Le misure di livello, rilevate ogni 15 minuti, sono relative al periodo di monitoraggio dell'acquifero compreso tra ottobre 2013 e febbraio 2014. A tal fine, tra gli oltre 12.800 dati a disposizione ne sono stati scelti circa 7700 relativi alle fasi di scarica dall'acquifero, scartando tutte le misure corrispondenti alle fasi di risalita della prevalenza nelle quali le portate devono considerarsi in disequilibrio con le corrispondenti variazioni di livello: in tali periodi, infatti, non è verificata la condizione di "quasi-stazionarietà" tra afflussi e deflussi nell'acquifero, requisito necessario per poter procedere alle successive elaborazioni analitiche. La curva relativa alle 7700 coppie di dati, rappresentata in figura 9, risulta coerente con il modello idrogeologico a dreno a primario dominante (VIGNA, 2007); pertanto è possibile raffinare ulteriormente l'elaborazione con la ricostruzione di una curva prevalenza-portata, dove per prevalenza s'intende la differenza fra il livello idrico misurato nel sifone della grotta di Su Bentu (SB) e quello misurato nelle sorgenti di Su Gologone (SG).

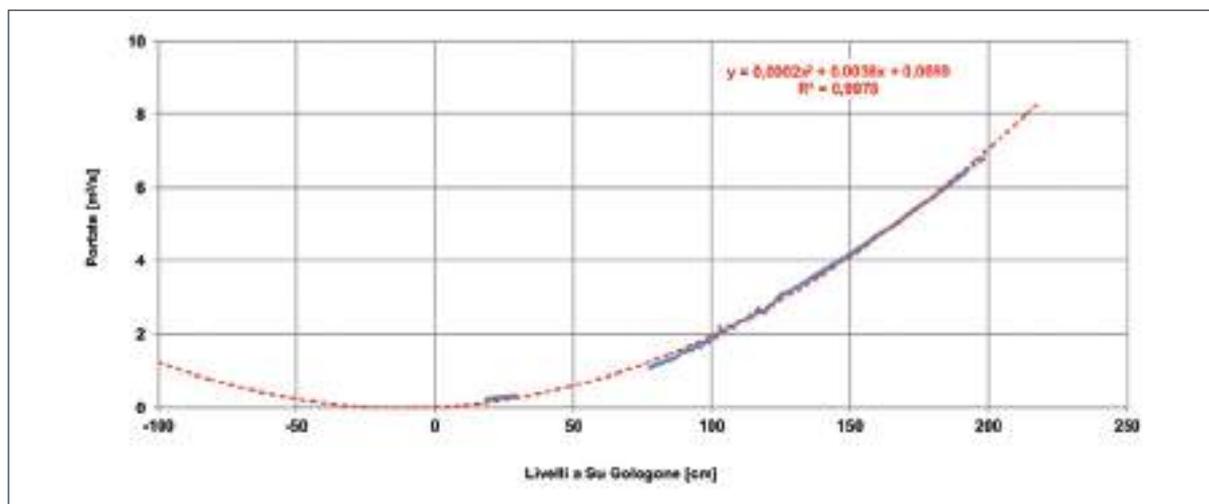


Fig. 9 - Ricostruzione delle variazioni di portata in funzione dei livelli idrici misurati nelle sorgenti.

Fig. 9 - Reconstruction of flow variations in relation to the water levels measured in the springs.

Valutazione delle perdite di carico

Nell'approssimazione modellistica utilizzata, quindi, ci si attende che fra SB e SG sussista un regime idrodinamico vincolato e a condotta unica. In tale condizione deve valere la legge di Darcy per la quale la perdita di carico agli estremi di una condotta lunga L con diametro D in cui un fluido di densità ρ scorre a velocità v è data da:

$$\Delta P = f (L\rho/2D) v^2$$

Nel caso in studio è preferibile valutare la prevalenza (altezza piezometrica) Δh , utilizzando la:

$$\Delta P = \rho g \Delta h$$

con g accelerazione di gravità, dalla quale otteniamo:

$$\Delta h = f [L/(2Dg)] v^2$$

La relazione precedente può essere riscritta in termini di portata q , dato che essa è legata alla velocità ed alle dimensioni del condotto da:

$$q = D^2 v$$

Quindi,

$$\Delta h = f [L/(2D^5g)] q^2 = a q^2$$

Nelle ipotesi di validità dell'equazione di Darcy la prevalenza - in ordinate - dipende dal quadrato della portata - in ascisse. La curva rappresentativa dei due parametri è quindi di tipo parabolico; ci si attende che tale parabola abbia coefficienti b e c nulli e che, quindi, abbia vertice sulle ordinate e sia passante per l'origine.

Analisi dei dati sperimentali

La nuova curva di taratura utilizzata ha reso possibile riferire i dati sperimentali relativi ai livelli misurati in SG al livello di idrostasia dell'acquifero: in relazione a tale riferimento, il livello registrato all'inizio del monitoraggio in SG risulta pari a +19 centimetri dal livello d'idrostasia. In prima battuta si è scelto di attribuire il medesimo valore anche al livello d'inizio monitoraggio in SB per valutare successivamente i termini d'ordine q^1 e q^0 della parabolica interpolante rappresentata in figura 10.

La precisione dell'interpolazione ($R^2 > 0,99$), che ad una valutazione sommaria può sembrare sbalorditiva, indica solamente che il sistema si comporta proprio nel modo previsto dal modello a condotta unica (dreno primario dominante). La curva interpolante, come atteso a seguito dell'equiparazione dei livelli iniziale in SG ed SB, contiene ancora termini d'ordine q^1 e q^0 i cui valori non sono compatibili con il modello adottato. Al livello d'inizio del monitoraggio misurato in SB, quindi, è stato attribuito un incremento h_0 pari a 41,24 centimetri corrispondente al valore del termine d'ordine q^0 della retta interpolante, incrementando e ricalcolando di conseguenza tutti i livelli registrati in SB e imponendo che i deflussi tra SB e SG rispettino la relazione:

$$\Delta h_j + h_0 = a q_j^2$$

Il grafico relativo alla nuova elaborazione è rappresentato in figura 11.

La curva interpolante, in considerazione dell'incremento h_0 adottato per il livello iniziale in SB, non contiene più il termine d'ordine q^0 ma ancora quello d'ordine q^1 , ineliminabile

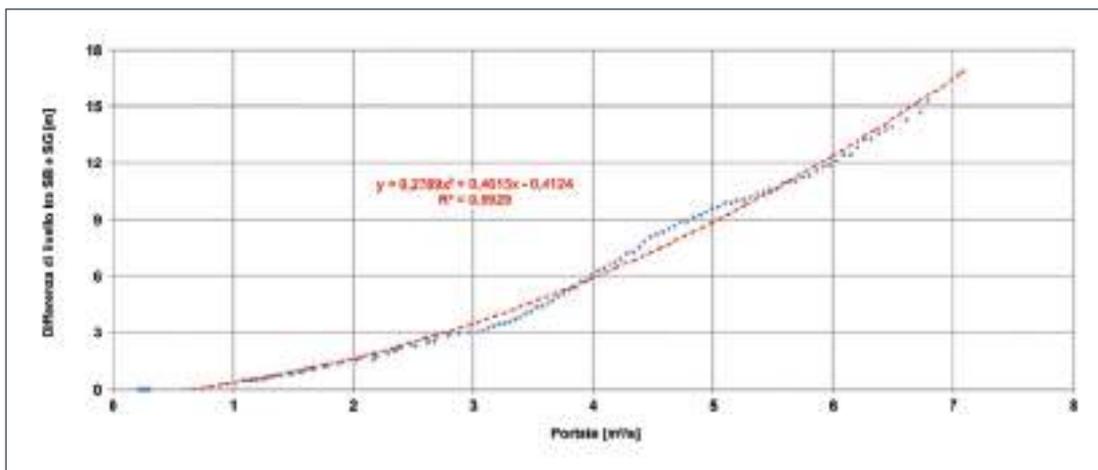


Fig. 10 - Variazioni delle portate nelle sorgenti in rapporto alle differenze di livello idrico misurate tra i due siti di monitoraggio.

Fig. 10 - Variations of flow rates in the springs in relation to the differences of water levels measured in the two monitoring sites.

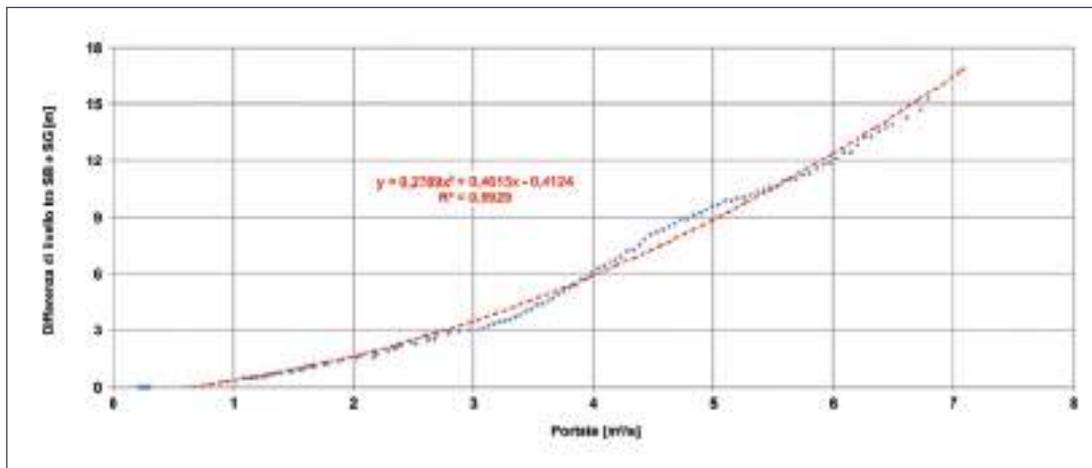


Fig. 11 - Variazioni delle portate nelle sorgenti in funzione delle differenze di livello misurate tra i due siti di monitoraggio. La rimodulazione è effettuata in base al ricalcolo del valore di h_0 .

Fig. 11 - Variations of the flow rates measured in the springs related to the differences of levels measured in the two monitoring sites. The remodulation is based on the recalculation of the h_0 value.

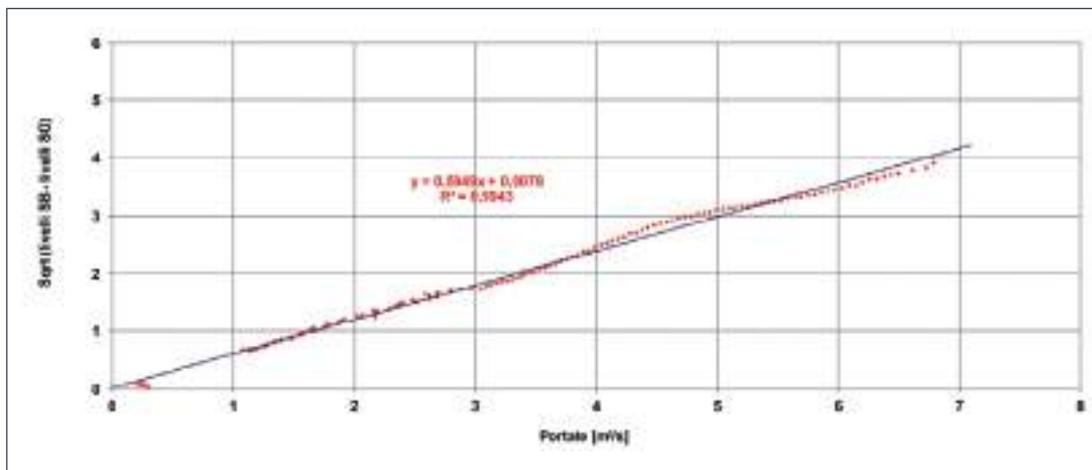


Fig. 12 - Curva di interpolazione fra la radice quadrata della prevalenza e la portata. La relazione di Darcy prevede come interpolante una funzione lineare.

Fig. 12 - Interpolation curve between the square root of the prevalence and the flow rate values. Darcy's formula foresees a linear function as interpolating

considerati i limiti strumentali e quelli legati alla tecnica di interpolazione. Ciò nonostante, la curva rielaborata può ritenersi compatibile con il modello adottato. Per comodità di calcolo l'elaborazione procede con l'estrazione della radice quadrata di h , ripetendo l'analisi su quella che ben si approssima ad una retta passante per l'origine rappresentata in figura 12.

A questo punto si può calcolare il valore di a come quadrato della pendenza della retta con un buon margine di errore che, quantunque possa essere ulteriormente precisato, assume un valore decisamente modesto considerando l' R^2 ,

oltre 0,99, della retta interpolante. In ogni caso, il valore di a così ottenuto corrisponde con buona accuratezza al valore di a dato dalla curva interpolante in q^2 .

Ciò considerato, la relazione fra prevalenza e portata fra SB e SG diventa:

$$\Delta h = 0,354 q^2$$

Andando alle conclusioni, l'equazione di Darcy dice che:

$$a = f [L/(2D^5g)]$$

Il suo significato dipende dalla struttura di drenaggio fra SB e SG ed il caso più semplice, e meno credibile, vorrebbe che si trattasse di un condotto di sezione uniforme. Considerato che la distanza L tra SB e SG è stimabile in circa 5.000 m, che f ha valori usualmente di circa 0,1 e che g è uguale a 9,8 m/s², si può calcolare:

$$D^5 = f(L/(2ag)) = \\ = 0,1 * (5000 / (2 * 0,354 * 9,8)) = 72,1$$

da cui si ottiene una dimensione tipica della condotta D di circa 2,35 metri. Ma i flussi sono generalmente regolati in singoli restringimenti (strettoia di regolazione) ed è quindi più ragionevole ipotizzare che la resistenza al flusso non sia distribuita lungo tutta la condotta ma concentrata in un punto. In tal caso l'equazione di Darcy diventa:

$$\Delta h = K [v^2/(2g)] = K [q^2/(2gD^4)]$$

con K che assume valori intorno a 10 nei bruschi restringimenti. In tal caso abbiamo che:

$$a = K (1/(2D^4g)) = 0,354$$

Il valore di D che si ottiene in questo caso è pari a 1,1 metri. Le velocità ipotizzabili nelle zone di massimo flusso, in piena, sono quindi di circa 1,8 m/s con perdita di carico distribuita e di oltre 8 m/s qualora la perdita di carico fosse concentrata. In condizioni di magra, invece, le velocità di flusso sono cinquanta volte inferiori. I numeri di Reynolds corrispondenti, per entrambi i sistemi, sono di 10⁵ in regime di magra e di 10⁶ in regime di piena; il trasporto idrico nelle zone di regolazione, pertanto, avviene sempre con moto turbolento. Ovviamente l'applicazione di queste formule non è utile per determinare dimensioni reali, difficili da definire con precisione anche con un rilevamento diretto delle condotte, ma consente di interpretare la scala delle dimensioni della struttura di drenaggio. A questo punto è possibile valutare anche la velocità media del flusso che, nel caso di un sistema di drenaggio a singola condotta e con una portata media nel periodo di osservazione pari a 0,25 m³/s, risulterebbe essere:

$$V_m = 0,25 / (2,35)^2 = 0,045 \text{ m/s}$$

Nel caso del singolo restringimento con $D = 1,1$ m la velocità di picco risulterebbe essere quasi quattro volte superiore in quel punto, con un valore di 0,16 m/s. Nella realtà, come già riportato, il tracciante ha impiegato 427 ore a percorrere, in condizioni di magra, i circa 5.000 metri che separano SB da SG con una velocità di 0,00325 m/s; ciò, di per sé, consente di escludere uno scenario che preveda l'esistenza di una singola condotta omogenea con un valore $D = 2,35$ metri, che trasferirebbe in poco più di 30 ore i circa 27.000 metri cubi d'acqua che, in questa ipotesi, dovrebbero essere contenuti

tra SB a SG. Dalla velocità reale, invece, si deduce un valore di scala della zona che trasporta acqua (che a priori è diversa dall'effettivo volume dell'acquifero, che comprende anche tratti almeno parzialmente isolati dalla direzione di deflusso principale) di oltre 380.000 metri cubi, ovvero quasi quattordici volte superiore. È quindi ragionevole ipotizzare che la struttura che collega il sifone del Terzo Vento della grotta di Su Bentu alle sorgenti di Su Gologone in fase di magra sia caratterizzata da una condotta di sezione media ampia molte decine di metri quadrati, geneticamente riconducibile ad un vero e proprio carso allagato, alla quale si interpone una zona di regolazione nella quale la sezione efficace di deflusso si riduce sensibilmente intorno a valori prossimi ad un metro quadro.

Valutazioni su alcuni episodi di torbidità prolungata nella sorgente di Su Gologone

L'acquifero "a carso allagato" che alimenta le sorgenti di Su Gologone (MURGIA, 2010) è quindi caratterizzato dalla presenza di condotte di drenaggio idrico di grandi dimensioni evolute a seguito di una determinata sequenza di eventi di tipo geologico, geomorfologico e speleogenetico verificatisi ad una scala territoriale quantomeno regionale (MURGIA, 2019). In particolare, come risulta anche dai dati sulle velocità di deflusso idrico calcolate in fase di magra, il collegamento idrico fra Su Bentu e Su Gologone sembra assicurato da una condotta nella quale le perdite di carico dipendono dal quadrato delle velocità e su due ordini di grandezza dei parametri in gioco. Eccezion fatta per le circoscritte aree di regolazione, le sezioni di trasporto non scendono mai al di sotto di 1-2 metri quadrati e i dati sui deflussi sembrano attribuire validità all'ipotesi che il trasporto avvenga sempre in condizioni di quasi-stazionarietà. Considerata la generale omogeneità della compagine geologica entro la quale si è sviluppato il carso saturo che alimenta le sorgenti di Su Gologone ci si può attendere che i restringimenti individuati che incrementano la resistenza al deflusso idrico siano localizzabili in quelle porzioni di condotta dove tale omogeneità abbia più probabilità di risultare alterata. Tali situazioni possono verificarsi, ad esempio, per la presenza lungo la direttrice di deflusso sotterraneo di rocce caratterizzate da una minore attitudine ad essere carsificate o per l'intervento di fenomeni di collasso, e dei conseguenti successivi assestamenti, che possono aver dato origine a ostruzioni almeno parziali nelle porzioni di condotta che si sviluppano in rocce particolarmente fratturate. Nell'acquifero carsico del Supramonte entrambe queste condizioni hanno una maggiore probabilità di verificarsi simultaneamente proprio nelle immediate vicinanze delle sorgenti di Su Gologone: in tale area, infatti, le rocce sede dell'acquifero sono caratterizzate da una rilevante

presenza delle calcareniti della Formazione di Monte Tullu, delle dolomie della Formazione di Dorgali e, ad ovest, dei conglomerati della Formazione di Genna Selole, tutti litotipi meno carsificabili dei calcari della Formazione di Monte Bardia che, invece, si estendono diffusamente nella porzione meridionale dell'acquifero (Fig. 13).

La stessa area, inoltre, è interessata da una dislocazione tettonica d'importanza regionale, la faglia trascorrente destra di S. Giovanni (Fig. 1), che ha certamente provocato nella compagine rocciosa antistante alle sorgenti un addensamento della fratturazione rispetto alle aree circostanti.

Un'ultima osservazione, che richiama ad una particolare delicatezza degli equilibri naturali nell'acquifero carsico del Supramonte, fa riferimento ad occasionali e prolungati episodi di intorbidamento, non riconducibili alle conseguenze delle piene, a cui sono soggette le sorgenti di Su Gologone. Tali episodi, di cui tre accertati negli ultimi sette anni, si sono protratti anche per alcuni mesi. Uno di questi eventi è stato registrato nel corso del monitoraggio di fluorescenza e torbidità delle acque delle sorgenti di Su Gologone svolto tra il 2013 ed il 2015 (Fig. 14).

Dal monitoraggio strumentale risulta come questo episodio

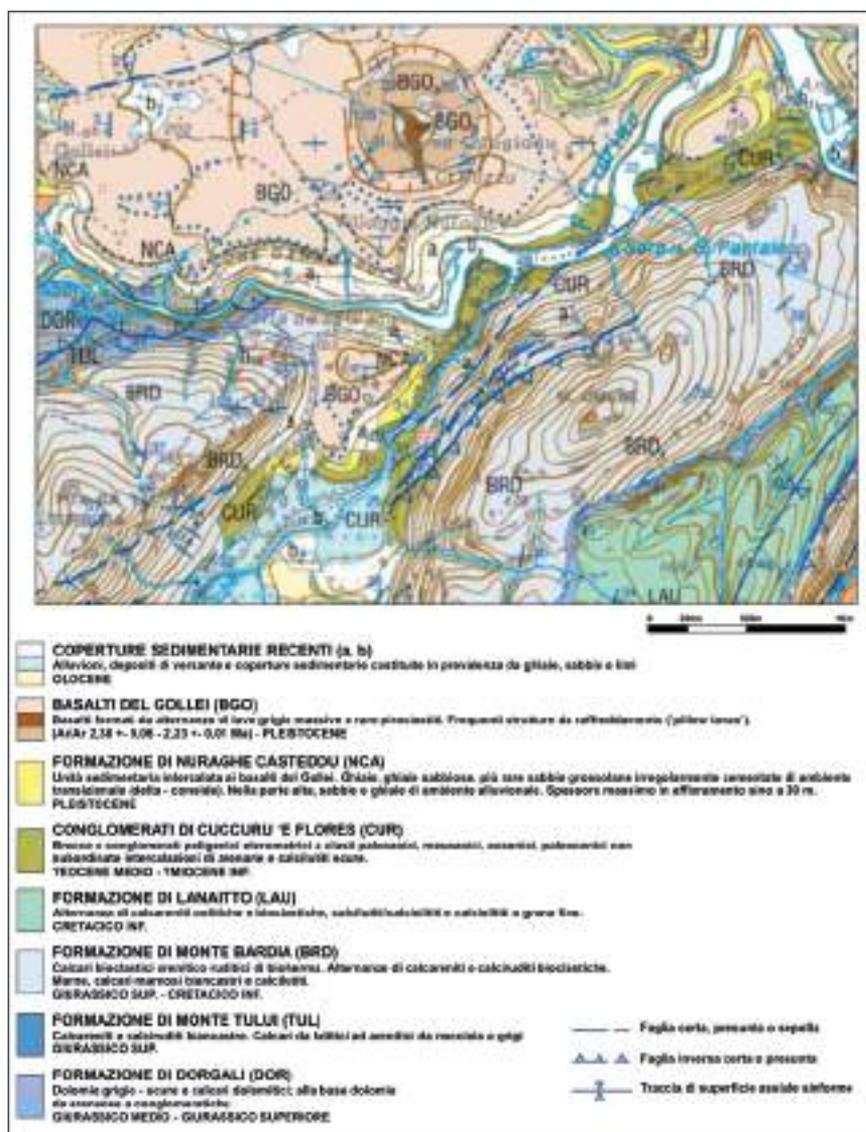


Fig. 13 - Stralcio della carta geologica ISPRA, foglio 500 Nuoro Est, relativo al margine settentrionale del Supramonte. Legenda semplificata.

Fig. 13 - Excerpt from the ISPRA geological map, sheet 500 Nuoro Est, of the Supramonte northern margin. Simplified legend.

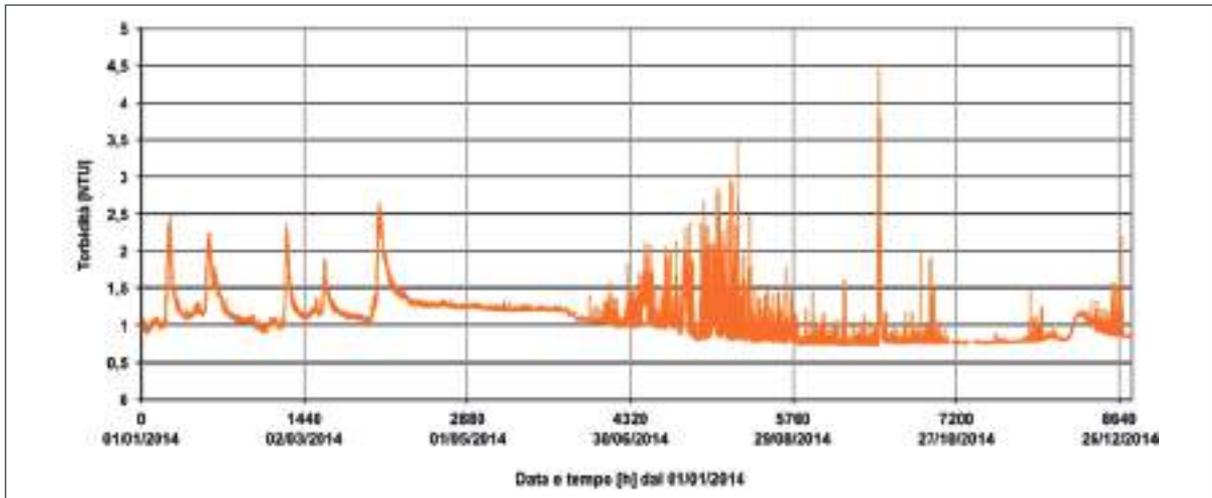


Fig. 14 - Variazione della torbidità nelle sorgenti nell'anno 2014.

Fig. 14 - Variation of turbidity in the springs in 2014.

d'intorbidamento si sia protratto dalla metà di giugno sino alla fine di ottobre mentre la prima osservazione diretta del fenomeno, che trova una precisa corrispondenza temporale nel picco di circa 4,5 NTU rappresentato nel grafico, è stata effettuata nel mese di ottobre da alcuni speleosubacquei impegnati in una ricognizione nel condotto sorgentizio.

Al fine di analizzare il contesto fisico nel quale si è prodotta la torbida è utile sottolineare che la deposizione dei sedimenti si è manifestata nella porzione di condotta prossima allo sbocco dell'emergenza carsica; ciò implica che la velocità dell'acqua subisca proprio nel condotto ascendente un rallentamento tale da non consentire a determinate frazioni granulometriche disperse nella torbida di rimanere in sospensione e, quindi, di essere allontanate verso il fiume Cedrino insieme alle frazioni più fini. Anche in base a tali considerazioni si è provveduto a campionare il sedimento depositato dentro il condotto sorgentizio e ad effettuare alcune analisi a fine di determinare la granulometria e la natura fisica dei materiali legati alla torbida. Tali analisi hanno evidenziato come i depositi fossero costituiti da sedimenti fini di granulometria compresa tra 0,1 e 1 mm, costituiti prevalentemente da aggregati di composizione calcarea e, subordinatamente, argillosa. Considerando i risultati delle analisi granulometriche in relazione alla velocità media di deflusso idrico rilevata nel contesto generale della condotta drenante, valutabile nell'ordine di 3-4 mm/s, è assai probabile che il punto d'origine della torbida sia localizzato in un tratto di condotta posto nelle immediate adiacenze dello sbocco sorgentizio: la combinazione di tali fattori, infatti, non sono compatibili con un trasporto dei sedimenti nell'acquifero da aree distanti dalle sezioni caratterizzate da una maggiore velocità di deflusso.

È assai probabile, quindi, che l'area di origine della torbida possa coincidere con le sezioni di regolazione prossime alle emergenze nelle quali è più elevata la velocità di deflusso idrico e la possibilità di tenere in sospensione i sedimenti che costituiscono la torbida.

Considerazioni conclusive

Le analisi riportate in questo studio consentono di identificare le sorgenti carsiche di Su Gologone come un geosito molto vulnerabile sotto il profilo ambientale: i ricorrenti fenomeni di intorbidamento, in particolare, indicano la presenza di un sistema di drenaggio caratterizzato da equilibri naturali delicati e intrinsecamente instabili. Considerando soprattutto le modalità con le quali si manifestano gli episodi di prolungata torbidità nelle acque in sorgente è assai probabile che tali equilibri possano risiedere nel contesto che comprende i dreni che regolano i deflussi in prossimità delle sorgenti ed i riempimenti che occupano, almeno parzialmente, le stesse condotte carsiche. Ciò comporta che qualsiasi intervento antropico sull'area delle sorgenti debba tenere conto della delicatezza di tali equilibri e degli effetti che potrebbero indursi sul regime idrico naturale dall'acquifero carsico: un eventuale collasso del sistema di regolazione delle portate, infatti, potrebbe avere come conseguenza anche un'evoluzione delle sorgenti da emergenze perenni a temporanee. La necessità che questi equilibri non siano artificialmente alterati risulta ancora più stringente considerando che le sorgenti, attualmente, sono la fonte di un approvvigionamento idrico di grande qualità per una popolazione che, in taluni periodi dell'anno, supera le 10.000 persone. Questa utenza, valutata in relazione alle

portate di massima magra rilevate (MURGIA, 2019), potrebbe essere anche quadruplicata qualora si adottassero interventi utili ad ottimizzare l'attuale sistema di prelievo e di adduzione in rete della risorsa idrica.

Lo studio dell'acquifero che alimenta le sorgenti di Su Gologone necessita, comunque, di ulteriori approfondimenti scientifici che chiariscano, ad esempio, le relazioni idrogeologiche esistenti tra lo stesso acquifero e tutto il fronte sorgentizio che drena il sistema carsico del Supramonte. Tali approfondimenti risultano ancor più auspicabili se si considera l'efficacia che gli acquiferi carsici dimostrano di avere, in generale, in relazione alla loro facilità di ricarica e in funzione dei cambiamenti climatici in atto. E in tal senso assumono ancor più importanza le valutazioni sulle risorse idriche condotte nell'area mediterranea, già oltre venti anni fa, dall'Unesco e dalla Fao (FORTI, 1998) nelle quali si era prevista una rapida crescita dell'utilizzo delle riserve carsiche rispetto a quelle superficiali, utilizzo che non può prescindere da una conoscenza quanto più approfondita delle dinamiche che regolano immagazzinamenti e deflussi idrici.

Bibliografia

- ASSOCIAZIONE SPELEOLOGICA PROGETTO SUPRAMONTE (2007). *Le grandiose Gallerie del VPF* – Speleologia, 57, 70-71.
- BANDIERA F. (2000). *Colorazione con fluoresceina del sistema idrico sotterraneo di Sa Rutta 'e S'Edera- Su Gologone*. Sardegna Speleologica 16, 2-8.
- BANDIERA F., COSSU A., FOIS M., SANNA L., CABRAS S., CABRAS I., CABRAS S., MURRU F. (2001). *Colorazione con fluoresceina nel Supramonte tra la grotta dell'Edera (Urzulei) e la sorgente di Su Gologone (Oliena): esperienze e considerazioni*. Atti del Convegno: "Il carsismo e la ricerca speleologica in Sardegna", Cagliari, 23/25 novembre 2001: 47-60.
- CABRAS S., DE WAELE J., SANNA L. (2008). *Caves and karst aquifer drainage of Supramonte (Sardinia, Italy): a review*. Acta Carsologica 37/2-3: 89-101.
- CROBU V. (2003). *Supramonte verticale*. Speleologia, 48: 34-51.
- CROBU V. (2004). *Un nuovo sistema carsico nel Supramonte di Urzulei*. Speleologia, 50: 83-84.
- DE WAELE J., CROBU V., PAPPACODA M., MELIS G., SANNA L., CABRAS S., MARCIA P., CORONGIU C. (2007). *Nel Supramonte profondo* – Speleologia, 56, 12-27.
- DIENI I., MASSARI F. (1973). *La formazione fluvio-lacustre di Nuraghe Casteddu*. Mem. Soc. Geol. It.: 12, 377409, Roma.
- FORTI P. (1998) - *Gli acquiferi carsici: problematiche per il loro studio ed utilizzo* – Atti del convegno nazionale sull'inquinamento delle grotte e degli acquiferi carsici e possibili ricadute sulla collettività. Ponte di Brenta, pp. 13-39.
- ISPRA (2016). *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 500, Nuoro Est*.
- MANFREDI M. (1934). *Le sorgenti italiane. Sardegna*. Ministero dei Lavori Pubblici, Consiglio Superiore del Servizio Idrografico. Istituto Poligrafico dello Stato, 1934.
- MURGIA F., FANCELLO L. (2000). *Su Bentu 2000: nel cuore del sistema*. Sardegna Speleologica, 17, 3-9.
- MURGIA F. (2010). *Analisi e risultati dei recenti studi idrogeologici svolti nell'acquifero carsico che alimenta le sorgenti di Su Gologone (Sardegna Centro-Orientale)* - Società Speleologica Italiana - L'Acqua che Berremo Speciale Provincia di Nuoro, Terza Ed., 51 – 62.
- MURGIA F., BADINO G., FRAU S. (2016). *Alcuni approfondimenti sulle variazioni dei livelli piezometrici rilevati nell'acquifero carsico che alimenta le sorgenti di Su Gologone (Sardegna Centro-Orientale)*, <http://www.geologi.sardegna.it>
- MURGIA, F. (2019). *Supramonte. Approfondimenti sull'idrogeologia dell'acquifero carsico che alimenta le sorgenti di Su Gologone*. Memorie Istituto Italiano di Speleologia, Serie 2, Vol. 35.
- PASCIS S. (1997). *Tertiary transcurrent tectonics of North-Central Sardinia*. Bull. Soc. géol. France, 168, 301-312.
- SANNA L., CABRAS S. (2008). *Recente colorazione con fluoresceina delle acque sotterranee nel Supramonte di Urzulei (Sardegna)*. Atti del XX Congresso Nazionale di Speleologia, Iglesias 27-30 aprile 2007 – Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, s.II, vol. XXI.
- SANNA L. (2009). *Ultime colorazioni in Supramonte: Operazione Abbasbargias 2009 e Operazione Mare Verde 2008*. Speleologia 61: 74-75.
- VIGNA B. (2007). *Schematizzazione e funzionamento degli acquiferi in rocce carbonatiche*. In Cucchi F., Forti P., Sauro U., 2007 – L'acqua nelle aree carsiche in Italia. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia. Serie II, Vol XIX: 31-26.

Geofisica senza limiti



vent'anni di impegno al vostro fianco

DISTRIBUTORE PER L'ITALIA

GUIDELINEGEO
ABEM MALÀ



MIRA HDR

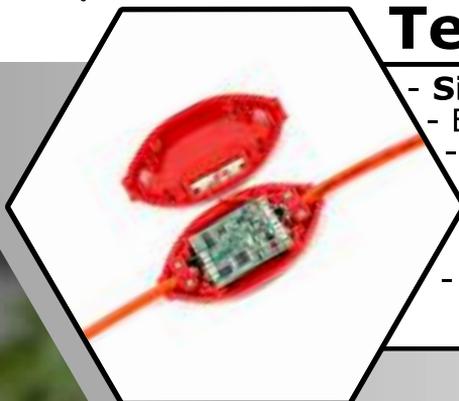
L'array di antenne GPR
con tecnologia HDR per
una risoluzione senza eguali



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



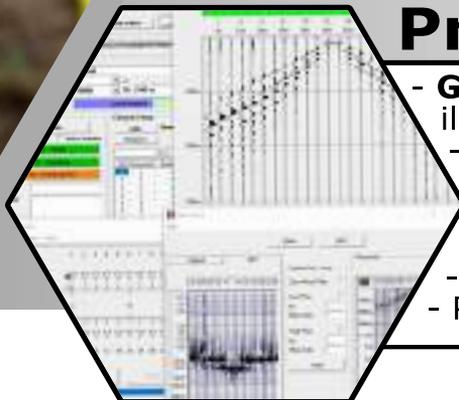
- **Configurabile da 1 a 255 canali**
- Diverse tipologie di geofoni e sensori
- **Componenti intercambiabili**
- Prolunghe e Power Booster al bisogno

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

Un esempio di studio della vulnerabilità Port Autonome Abidjan (P.A.A) – carta delle vulnerabilità

Antonio Biagioli | Ingegnere, Senior Consultant di Gèrant Simam Eau & Environnement srl

Alessandro Reina | Geologo, ricercatore e docente di Geologia territoriale del Politecnico di Bari

1. Prefazione

Abidjan è la città più popolosa e l'ex capitale della Costa d'Avorio, di cui costituisce un distretto autonomo. È il principale centro commerciale del paese nonché la sua capitale de facto (Yamoussoukro è la capitale ufficiale). Sorge sulla Laguna Ébrié su alcune penisole e isole, collegate da ponti. Gli abitanti dell'area metropolitana si attestano sui 5,6 milioni. Il Porto Autonomo di Abidjan (PAA), situato nella parte meridionale della città di Abidjan, è la più importante infrastruttura portuale dell'Africa occidentale e la seconda di tutta l'Africa, dopo quella di Durban in Sud Africa. Collegato all'Oceano Atlantico dal Canale di Vridi, questo porto è in grado di ospitare imbarcazioni di grandi dimensioni. L'area portuale, che occupa un'area di circa 1.010 ettari, ospita circa il 65% delle unità industriali del Paese e diverse altre attività e servizi. Questi poli di attività economica hanno attratto negli anni migliaia di persone in cerca di occupazione. Tale importante movimento di popolazione, per ragioni economiche, ha dato origine alla nascita di diversi agglomerati umani, moderni quanto spontanei, intorno ai vari siti industriali. La problematica della gestione di questo spazio, in termini di consumo di suolo, da un lato, e della sicurezza sia degli impianti industriali che delle aree residenziali, dall'altro, diventa una grande preoccupazione per tutti i partner. I numerosi e gravi incidenti industriali, con conseguenze economiche, umane e ambientali disastrose, osservati in questo tipo di spazio in tutto il mondo, richiamano tutti gli stakeholder sulla necessità di adottare misure adeguate per la sostenibilità di questo strumento. Nella maggior parte delle città costiere come Abidjan, la fascia di popolazione più a rischio è quella povera, poiché la rapida

urbanizzazione spinge la povera gente a insediarsi nei quartieri più vulnerabili, spesso nelle basse zone pianeggianti, lungo i corsi d'acqua a rischio di inondazione e sui pendii e le falesie franose.

Le autorità portuali, consapevoli del fatto che l'area portuale di Abidjan presenta le stesse somiglianze con altre installazioni in altre parti del mondo, e soprattutto che il "rischio zero" non esiste, hanno avviato una politica di controllo del rischio al centro della loro preoccupazione e un obiettivo prioritario. A tal proposito è stato affidato (2013-2015) alla società Simam Eau & Environnement srl lo studio della mappatura delle aree di vulnerabilità nell'area portuale.

2. Inquadramento geologico

La geologia della Costa d'Avorio è quasi del tutto costituita da roccia basale cristallina metamorfica e ignea tra 2,1 e più di 3,5 miliardi di anni, che comprende parte della crosta continentale stabile del cratone dell'Africa occidentale. Vicino alla superficie, queste antiche rocce si sono trasformate in sedimenti e terreni spessi in media da 20 a 45 metri, che contengono gran parte delle acque sotterranee della Costa d'Avorio.

Rocce sedimentarie più recenti si trovano lungo la costa. I bacini sedimentari costieri si sono formati a seguito della separazione del supercontinente Pangea, che ha aperto l'Oceano Atlantico e ora ospitano le riserve di petrolio e gas offshore della Costa d'Avorio.

La città di Abidjan si sviluppa sui depositi recenti che costituiscono la fase regressiva pleistocenica rappresentata da depositi sabbiosi, limosi e argillosi.

Lungo la costa si osserva la presenza di falda acquifera sedimentaria profonda, ad alta trasmissività e non confinata, formata nel Cretaceo, nel Paleogene e nel Neogene.

I depositi di sabbie marine quaternarie formatasi negli ultimi 2,5 milioni di anni costituiscono la falda acquifera principale: ad alta produttività si ricarica rapidamente dalle piogge presentando uno strato inferiore di argilla che spesso separa l'acqua dolce da quella salina.

Le stratigrafie dei sondaggi a carotaggio effettuati in diverse zone della città indicano che la falda acquifera trova la sua alimentazione attraverso le copiose precipitazioni delle aree

interne e scaturigini nelle lagune costiere. La costituzione litostratigrafica e le circolazione idrica sotterranea possono innescare dissesti che conronno a fenomeni di subsidenza.

3. Rischio industriale e vulnerabilità

Il rischio industriale è caratterizzato da un incidente che si verifica in un sito industriale che può avere gravi conseguenze per le persone, i gruppi, i beni, l'ambiente o l'ambiente naturale. Lo sviluppo dei complessi industriali abbinato alla crescita demografica degli ultimi anni ha fatto

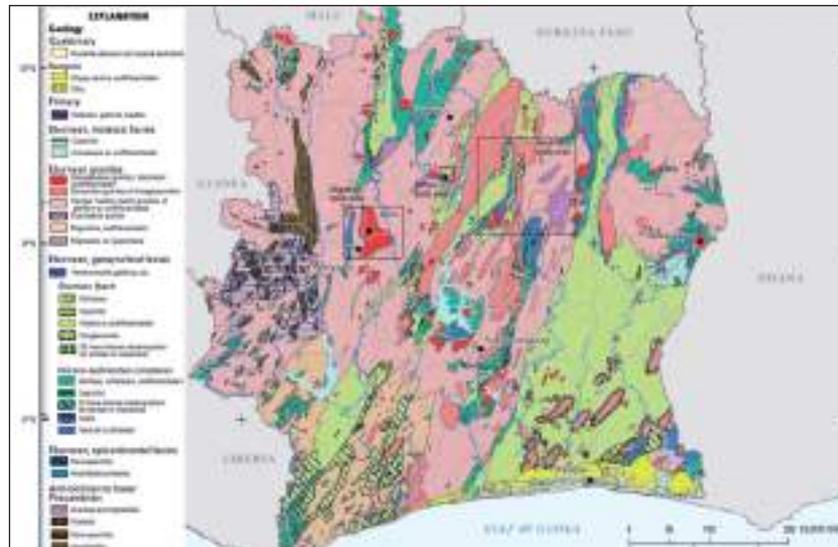


Fig. 1 - Geologia della Costa d'Avorio.

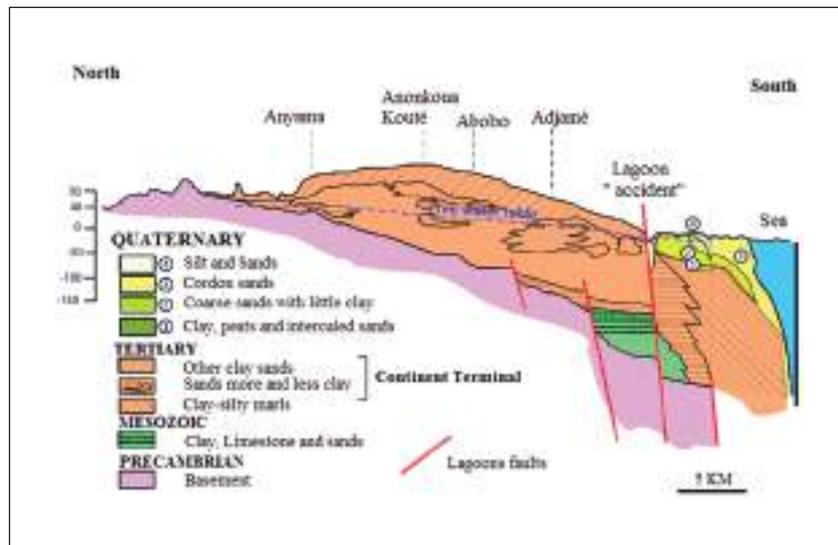


Fig. 2 - Sezione geologica schematica della Costa d'Avorio.

emergere le prime gravi preoccupazioni sociali in tema di ambiente e in particolare di incidenti rilevanti, che hanno provocato perdite di vite umane o danni molto importanti. A titolo di esempio si possono citare il disastro chimico di Seveso (Italia) nel 1976, quello dell'impianto di pesticidi di Bhopal (India) nel 1984, l'incidente della raffineria Total di La Mède (Francia) nel 1992, l'esplosione al Lo stabilimento AZF di Tolosa (Francia) nel 2001, il disastro di Bencefield (Inghilterra) nel 2005, il disastro della centrale nucleare di Fukushima (Giappone) nel 2011 e l'incendio alla raffineria di Amuay (Venezuela) nel 2012. A livello locale, possiamo citare l'incendio avvenuta presso il deposito petrolifero GESTOCI situato nell'area portuale di Abidjan nel 1999.

Le autorità del Porto Autonomo di Abidjan, consapevoli da un lato dei rischi legati alle attività industriali svolte nel loro demanio, e consapevoli dall'altro lato dall'inadeguata gestione dei gravi incidenti occorsi negli ultimi anni sull'area interessata, hanno messo in atto una politica di gestione preventiva e adeguata e adattata a circoscrivere i potenziali eventi.

La necessità dell'adozione di questa politica è giustificata da preoccupazioni caratterizzate dai seguenti fatti:

- L'elevata concentrazione di grandi unità produttive industriali, associate a grandi infrastrutture commerciali, di trasporto e di stoccaggio in quest'area
- la diversità delle attività industriali, commerciali, di trasporto e stoccaggio che sono potenziali fonti di pericolo per l'ambiente, le persone e le cose, a causa dei processi utilizzati e della natura altamente infiammabile, esplosiva e tossica delle sostanze trattate
- la vicinanza di vaste aree abitative moderne, spontanee o precarie con impianti elettrici anarchici;
- il degrado della viabilità e i numerosi ingorghi riscontrati sulla banchina portuale
- una rete idrica antincendio spesso non operativa accoppiata ad idranti antincendio molto spesso inaccessibili e/o con portata insufficiente
- l'assenza di un'analisi del rischio industriale prima dell'installazione di nuove unità industriali
- i rischi rappresentati da effetti domino relativi ad infortuni suscettibili di registrazione.

4. Obiettivi dello studio

Nello specifico lo studio è stato utile per:

- identificare i vari impianti che presentano potenziali rischi maggiori
- caratterizzare i diversi rischi per le varie aree geografiche dell'area portuale e arrivare alla elaborazione di una mappa delle aree a rischio nell'area portuale
- valutare il livello di rischio rappresentato dalle attività di ciascun titolare del permesso
- individuare le società con piani organizzativi interni

installati nell'area portuale e proporre la loro eventuale integrazione nelle tre aree geografiche dell'area portuale

- individuare a livello di ciascun titolare del permesso i mezzi a disposizione di prevenzione e di intervento per far fronte a eventuali incidenti.

Lo studio della mappatura delle vulnerabilità del dominio di Port Autonome d'Abidjan va considerato come uno strumento gestionale e decisionale per i responsabili di questa struttura statale.

Esso è servito per illuminare e guidare l'autorità portuale sulle decisioni da prendere in relazione alla sicurezza e alla protezione, ed ha consentito di identificare, prevedere e valutare le conseguenze dannose delle attività dei vari titolari di autorizzazioni installati nell'area portuale sull'ambiente naturale, sui beni e sulle persone.

L'area di studio

L'area del porto autonomo di Abidjan è stata suddivisa in tre (3) aree di studio in base alla disposizione geografica di questo insieme. Questi sono :

- la zona Nord: questa zona copre una superficie di 100 ha ed è delimitata da CARENA alla banchina Fruitier;
- la zona centrale: parte dalla postazione CIE di Treichville presso il canale Vridi e copre una superficie di 453 ha;
- la zona Sud: che va dal canale Vridi a Nord al limite dei Comuni CIE, a Sud, situata poco distante dalla concessione SIR. Copre una superficie di circa 884 ha
- la zona Ovest: questa zona è studiata per tenere conto degli impianti del canale Vridi.





Fig. 3 - Zone di studio dell'area portuale di Abidjan.

Metodologia

Per la realizzazione dello studio è stato adottato un approccio metodologico dettagliato mostrato di negli schemi riportati nelle figg. 4 e 5.

È stato utilizzato un codice colore (rosso: alto; arancione: medio; verde: basso) per la rappresentazione del livello di rischio per ogni area tematica (uomo, ambiente, infrastrutture) e sono state elaborate le carte tematiche singole e quella di insieme.

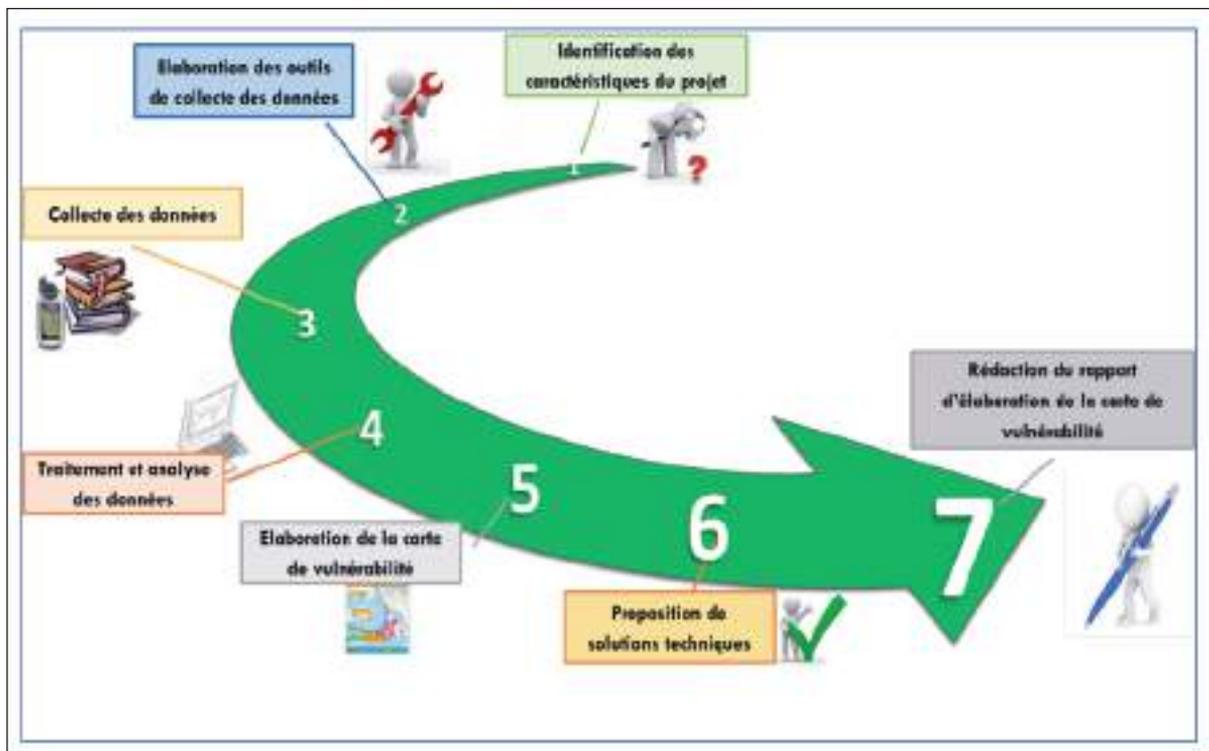


Fig. 4 - Metodologia di elaborazione della carta della vulnerabilità dell'area portuale d'Abidjan.



Fig. 5 - Schema della metodologia adottata per al realizzazione della carta della vulnerabilità.



Fig. 6 - Mappatura delle tematiche ambientali.



Fig. 7 - Mappatura delle esposizioni infrastrutturali.



Fig. 8 - Mappatura delle esposizioni antropiche.



Fig. 9 - Sintesi delle vulnerabilità per l'intera area portuale.

Conclusioni

Lo studio ha permesso di visualizzare la maggiore o minore sensibilità delle problematiche e delle aree dell'area portuale legate alle attività dell'area. Un'azione di sensibilizzazione dei titolari dei permessi ad operare nell'area portuale sull'identificazione e valutazione dei rischi relativi ai propri siti di lavoro permetterebbe di alimentare con proattività il database della mappatura realizzata, per aiutare nel tempo il processo decisionale per gli sviluppi, le emergenze, il primo soccorso.

Inoltre, per una buona implementazione della mappa delle vulnerabilità, sarebbe vantaggioso nel tempo per Port Autonome Abidjan:

- creare una rete dell'area portuale
- mantenere una politica di ispezione sistematica delle banchine per valutarne il livello di degrado al fine di considerare un'efficace pianificazione dei lavori
- mantenere una dettagliata politica di ispezione degli hangar per valutare il livello di degrado (principalmente impermeabilizzazione) al fine di considerare un'efficace pianificazione dei lavori
- prevedere un periodico e sistematico sopralluogo di dettaglio della struttura al fine di anticipare i ripristini
- considerare molto rapidamente servizi alternativi tra le aree industriali di Treichville e il centro città (Treichville e Plateau) al fine di ridurre la pressione del traffico verso il porto e ridurre la vulnerabilità del porto a questa struttura
- mantenere una politica sistematica di ispezione delle strutture per valutarne il livello di degrado al fine di considerare un'efficace pianificazione delle opere
- richiedere a ciascun titolare di autorizzazione i rischi

relativi ai tipi di attività che sviluppano attraverso uno studio dei rischi (EDD) e un piano operativo interno (POI) convalidato.

- monitorare eventuali fenomeni di subsidenza

Bibliografia

- "Côte d'Ivoire Cities Longitude & Latitude". sphereinfo.com. Archived from the original on 13 September 2012. Retrieved 18 November 2010.
- "District d'Abidjan, Site Officiel". Districtabidjan.org. Archived from the original on 6 May 2013. Retrieved 20 June 2013.
- "Abidjan, Ivory Coast Population".
- "Subnational Human Development Index (4.0) [Sud, Abidjan – Côte d'Ivoire]". Global Data Lab of Institute for Management
- Site officiel de la Primature de la République ivoirienne Archived 9 June 2012 at the Wayback Machine
- Special country report on Côte d'Ivoire published in Forbes Global Magazine. August 21th 2000 Issue.
- "Venezuela: Chavez orders Amuay refinery blast probe". BBC News. August 26, 2012. Retrieved August 26, 2012.
- http://www.winne.com/ssa/ivorycoast/reports/2007/cp/port_autonome/index.php, 16-02-2014, 16:10
- ITW Spraytec. (2011). Installations Classées pour la Protection de l'Environnement – Partie 4: Etude de dangers (Dossier n°2046269 – Révision 3). Vireux-Molhain : BUREAU VERITAS
- Plan de Prévention des Risques Technologiques, site de BRENN-TAG, page 10
- Industrie Conseil Environnement, « L'analyse des risques » page 3
- Franck JOLIBERT, « Les risques technologiques en industrie agro-alimentaire », Aout 2013, p22

Indagini geofisiche preliminari per la verifica delle condizioni statiche del viadotto Mingardo sulla s.r. ex s.s. 562C alla km.ca 3+100 c.a. nei comuni di Centola e Camerota. Individuazione del sistema fondale

Sergio Santoro | Geologo, Servizio Geologico - Settore Viabilità e Trasporti
Giuseppe Scalese | Ingegnere, Servizio Geologico - Settore Viabilità e Trasporti
Maria Grazia Soldovieri | Geologo libero professionista - Ordine della Campania

Abstract

A seguito del crollo del viadotto Polcevera (noto anche come ponte Morandi o ponte delle Condotte), si è dato avvio ad una serie di verifiche delle condizioni statiche dei viadotti stimando che i *ponti scaduti* e da revisionare in Italia sono circa 10mila. Gli elementi principali alla base del rischio crollo, secondo i dati, sono i volumi di traffico variato di molto rispetto a quando siano stati realizzati e l'età dei manufatti. Purtroppo la normativa che regola le nuove costruzioni e che ha introdotto il grado di sicurezza strutturale, è solo del 2008. Il direttore dell'Istituto per le Tecnologie della Costruzione del Cnr, Antonio Occhiuzzi, parlando all'Ansa, fotografa una situazione di precarietà che il crollo del ponte Morandi a Genova ha trasformato nella nuova, ennesima emergenza Paese: il crollo di Genova ha ricordato ad amministrazioni ed enti che, per evitare ulteriori incidenti, la manutenzione e i controlli sono indispensabili. Considerata l'età di costruzione dei viadotti, in molti casi non è semplice reperire il fascicolo del progetto del ponte in esame. Con questo lavoro si vuole mostrare come la geofisica, in fase di caratterizzazione preliminare, sia in grado di fornire informazioni utili non solo nella ricostruzione della stratigrafia del sottosuolo ma anche nel definire la tipologia del sistema fondale. In particolare la ricostruzione delle variazioni di resistività elettrica in termini tridimensionali, ha consentito di definire che le fondazioni fossero di tipo dirette. La ricostruzione della tipologia del sistema fondale congiuntamente all'assenza di fratture da correlare a cedimenti strutturali

e/o del piano di posa delle fondazioni ha consentito di programmare interventi solo in merito all'impalcato e non sull'intero viadotto.

Introduzione

Il viadotto Mingardo si trova al confine tra i comuni di Camerota e Centola ed attraversa l'omonimo fiume, lungo il tragitto della Strada Regionale di competenza della Provincia di Salerno, tra la progressiva km.ca 3+100 e la progressiva km.ca 3+200, ed è un'opera che presumibilmente risale agli anni '50.

La struttura, interamente in calcestruzzo cementizio armato gettato in opera, si compone in elevazione di n.6 campate di luce pari a circa 18 m ciascuna; ogni campata è realizzata attraverso un impalcato con una soletta nervata ovvero un graticcio di travi longitudinali e trasversali: tre file di travi sono disposte in direzione longitudinale, mentre sono sette i traversi di cui due ovviamente di testata. Una rappresentazione schematica del viadotto è riportata in Figura 1.

Tutte le travi e i traversi hanno sezione trasversale rettangolare: le travi longitudinali hanno sezione con dimensioni 40 cm di base e 130 cm di altezza, ma con una maggiore altezza della sezione resistente poiché compresa nello spessore della soletta; per quanto riguarda i traversi, sempre al netto dello spessore della soletta, sono state rilevate due tipologie di sezione trasversale rettangolare, ovvero i traversi di testata con dimensioni di 35x130cm e quelli intermedi che hanno dimensioni di 25x45 cm.

Tutti gli impalcati sono poggiati direttamente su apposite rientranze o “selle” sulle spalle, per i tratti alle estremità, o sui pulvini delle pile intermedie, che si stagliano dal greto del corso d’acqua a partire dai plinti, ben visibili in forma e dimensioni nei periodi di magra. Gli elementi portanti verticali e di fondazione sono anch’essi interamente in calcestruzzo cementizio armato e sono quelli, evidentemente, che risentono maggiormente della presenza dell’acqua. Nelle strutture in elevazione sono visibili unicamente interventi di manutenzione ordinaria per il solo impalcato, nulla è stato fatto per i restanti elementi portanti; non si hanno informazioni dell’intervento che ha interessato la pila n.1 in destra orografica, per la quale non sussiste più una schematizzazione a telaio, ma piuttosto come un unico setto per l’intera altezza. Non si conoscono né le motivazioni né il periodo dell’intervento.

Da quanto descritto, come è evidente anche dalle immagini fotografiche, se ne desume che lo schema di calcolo per l’impalcato è quello di elementi semplicemente appoggiati agli estremi, con le condizioni di carico e modellazione tipica degli impalcati con soletta nervata; gli elementi verticali, ovvero le pile, sono perlopiù riconducibili a modelli di calcolo tipo telai, soggetti a forze concentrate trasmesse dagli appoggi.

Oltre alla caratterizzazione dei materiali costituenti l’opera (calcestruzzo e acciaio delle barre di armatura), l’eventuale modellazione dell’opera nelle condizioni attuali, richiede anche la completa definizione delle fondazioni; andava quindi accertata, oltre alla stratigrafia del terreno sottostante, la presenza o meno di pali di fondazione ed eventualmente definire la profondità del piano di posa dei plinti, se quest’ultimi risultassero l’unica tipologia presente.

La Provincia di Salerno, nel 2019 ha avviato uno studio dello stato di fatto dell’opera e della vulnerabilità sismica, con il fine ultimo di identificare i necessari interventi di consolidamento, da attuare per la risoluzione di tutte le criticità che verranno riscontrate a seguito delle verifiche. Sono stati programmati dalla Provincia di Salerno i seguenti step, in parte già realizzati:

- Esame visivo globale e puntuale dell’opera
- Prove sui materiali componenti
- Prove geologiche sul terreno di sedime
- Analisi dei risultati e prime conclusioni sullo stato della struttura
- Prove di carico statiche e approfondimento conoscenza
- Studio definitivo di vulnerabilità sismica e valutazione della transitabilità provvisoria
- Ipotesi di interventi necessari alla messa in sicurezza
- Progettazione esecutiva degli interventi.

Nella prima fase, che doveva culminare con la definizione della vulnerabilità sismica del viadotto e la valutazione della sua transitabilità provvisoria, non essendo disponibili gli elaborati progettuali originali né i certificati di prova sui materiali, è stato necessario svolgere tutte le indagini ed analisi utili per valutare lo stato di degrado dell’opera, ma soprattutto per caratterizzarla dal punto di vista della risposta alle azioni esterne e dell’interazione con il terreno di fondazione.

Metodologia geofisica utilizzata per la ricostruzione del sistema fondale.

Tra le diverse metodologie di prospezione geofisica in grado di risolvere la problematica in esame, si è optato di utilizzare la prospezione geofisica tipo *tomografia elettrica* in quanto i terreni ed il cemento hanno valori di resistività piuttosto differenti e quindi hanno un alto contrasto di resistività. Tale metodologia si basa, in generale, sugli effetti prodotti da una corrente elettrica, di origine naturale o artificiale, circolante nel sottosuolo e rilevabili attraverso misure di differenza di potenziale. In particolare il metodo della resistività in corrente continua consiste nella determinazione sperimentale di un set di valori di resistività apparente che, in accordo con una formulazione matematica deducibile direttamente dalle leggi dell’elettromagnetismo per campi stazionari, descrivono una qualsiasi struttura complessa formata

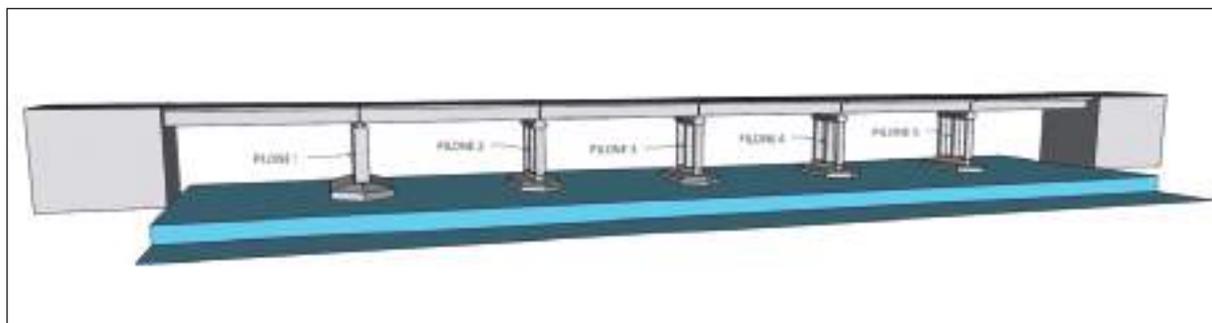


Fig. 1 – Rappresentazione schematica del viadotto oggetto di indagine.

da materiali fisicamente diversi in contatto elettrico tra loro. La resistività elettrica esprime la maggiore o minore predisposizione di un materiale a farsi attraversare dalla corrente e dipende da molti fattori. Quelli più importanti sono rappresentati dalla presenza di acque ionizzate e/o dalla presenza di particelle minerali metalliche eventualmente presenti nella struttura dei pori della roccia. Entrambi i fattori, infatti, possono dar luogo a traiettorie interne particolarmente conduttive, in contrasto con situazioni resistive caratterizzate da strutture compatte e/o da pori anidri. Gli elettrodi, opportunamente posizionati sul terreno, vengono utilizzati sia come elettrodi di corrente che di potenziale, secondo una sequenza opportunamente costruita ed automatizzata. L'esecuzione di un profilo tomografico, si realizza disponendo sul terreno una quantità elevata di elettrodi, con un passo tra gli stessi che dipende dalla risoluzione e dalla profondità d'investigazione. In Figura 2 è riportato un esempio di acquisizione di tipo dipolo-dipolo Assiale. La misura si esegue immettendo nel terreno una corrente continua attraverso i primi elettrodi, indicati con a e b in figura 2, e misurando la differenza di potenziale DV che si determina ai capi di altri due elettrodi, indicati con m e n nella stessa figura, posti simmetricamente al centro dell'allineamento tra a e b (schema di acquisizione definito Wenner o Wenner-Schlumberger) o affiancati ad essi (schema di acquisizione definito Dipolo-Dipolo Assiale). Le acquisizioni sono state fatte con dispositivo polo-dipolo (che consente di raggiungere, a parità di lunghezza dello stendimento, una maggiore profondità di investigazione) e con dispositivo dipolo-dipolo (che consente di evidenziare meglio le discontinuità laterali) al fine di definire le sezioni elettrostratigrafiche del sito.

Per quanto relativo alle acquisizioni 3D, in generale, gli elettrodi possono essere stati posti lungo griglie regolari realizzando profili paralleli tra loro con distanza pari al doppio della distanza minima tra gli elettrodi oppure ubicando gli elettrodi in modo da circoscrivere la zona di indagine (Figura 3). In Figura 4 è riportato lo schema utilizzato per acquisire i dati al di sotto di ciascun Pilone esaminato. E' stata ricostruita una apposita sequenza di acquisizione disponendo gli elettrodi lungo una maglia di dimensioni [18 * 10.5] m.

L'inversione dei dati è stata eseguita utilizzando l'algoritmo di inversione, scritto da Loke and Barker nel 1996 (Res2Dinv e Res3Dinv), che rappresenta un metodo iterativo basato sulla deconvoluzione ai minimi quadrati ed è tra i più utilizzati in letteratura. Con questo algoritmo è necessario definire innanzitutto un modello iniziale, ottenuto discretizzando il sottosuolo in un numero di blocchi rettangolari e/o prismi le cui dimensioni sono legate ai parametri geometrici scelti in fase di acquisizione. La suddivisione del sottosuolo può essere eseguita

secondo diversi modelli ed ad ognuno dei blocchi è assegnato, automaticamente dal programma o a discrezione dell'operatore, un valore di resistività reale e l'algoritmo calcola il valore di resistività apparente che si otterrebbe se il sottosuolo investigato fosse rappresentato proprio dal modello iniziale ipotizzato.....

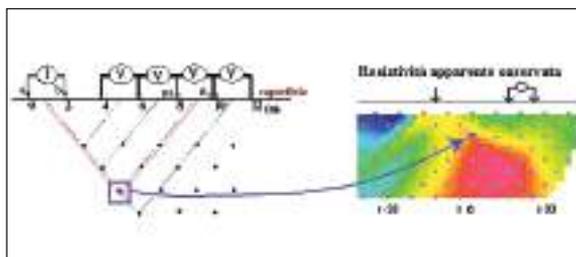


Fig. 2 - Esempio di una ricostruzione di tomografia elettrica in configurazione Dipolo-Dipolo Assiale.

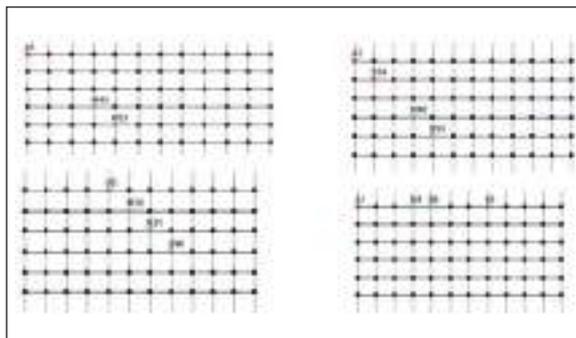


Fig. 3 - Schema di acquisizione 3D su griglie regolari.

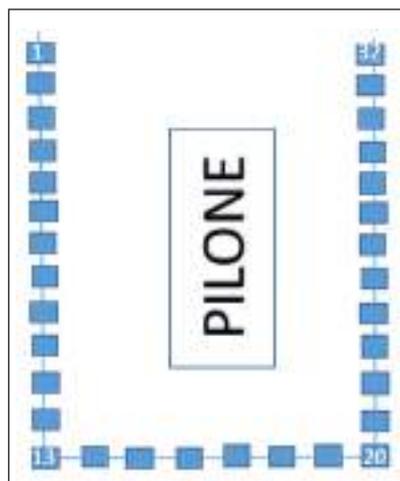


Fig. 4 - Schema di acquisizione 3D ubicando opportunamente degli elettrodi o delle piastre a ridosso della zona da investigare.

Indagini eseguite al disotto dei piloni ed elaborazione dei risultati.

Le acquisizioni dei dati di resistività al disotto di ciascun pilone, sono state eseguite con array Dipolo Dipolo Assiale e ottimizzando la sequenza di dati elaborata dalla scrivente e costituita complessivamente da circa 200 dati. Dopo aver eliminato alcuni spikes, i dati sono stati elaborati utilizzando l'algoritmo di calcolo RES3DInv, descritto precedentemente. I diversi modelli ottenuti sono stati visualizzati con la stessa scala colorimetrica in modo da rendere più immediato il confronto tra le

diverse sezioni. In Figura 5 sono riportate le modalità di rappresentazione dei dati tridimensionali attraverso la ricostruzione di diverse sezioni. In particolare in Figura 6, in Figura 7 e in **Figura 8** si riportano le sezioni elettrostratigrafiche ricostruite elaborando i dati acquisiti a ridosso del Pilone 1; in Figura 9, in Figura 10 e in **Figura 11** si riportano le sezioni elettrostratigrafiche ricostruite elaborando i dati acquisiti a ridosso del Pilone 3 ed infine in Figura 12, in Figura 13 e in **Figura 14** si riportano le sezioni elettrostratigrafiche ricostruite elaborando i dati acquisiti a ridosso del Pilone 4. I diversi pilone sono riportati in Figura 1.

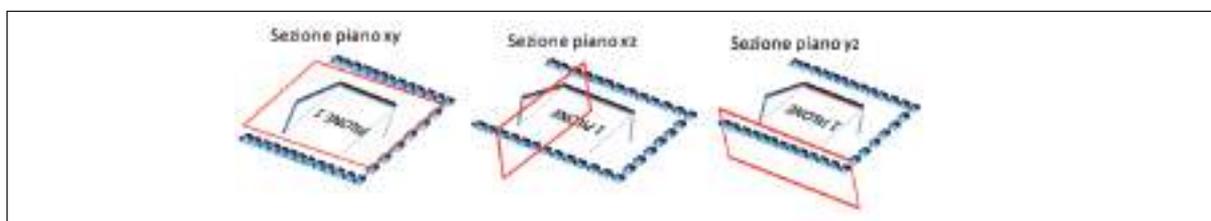


Fig. 5 - Visualizzazione dei dati elaborati considerando diverse sezioni.

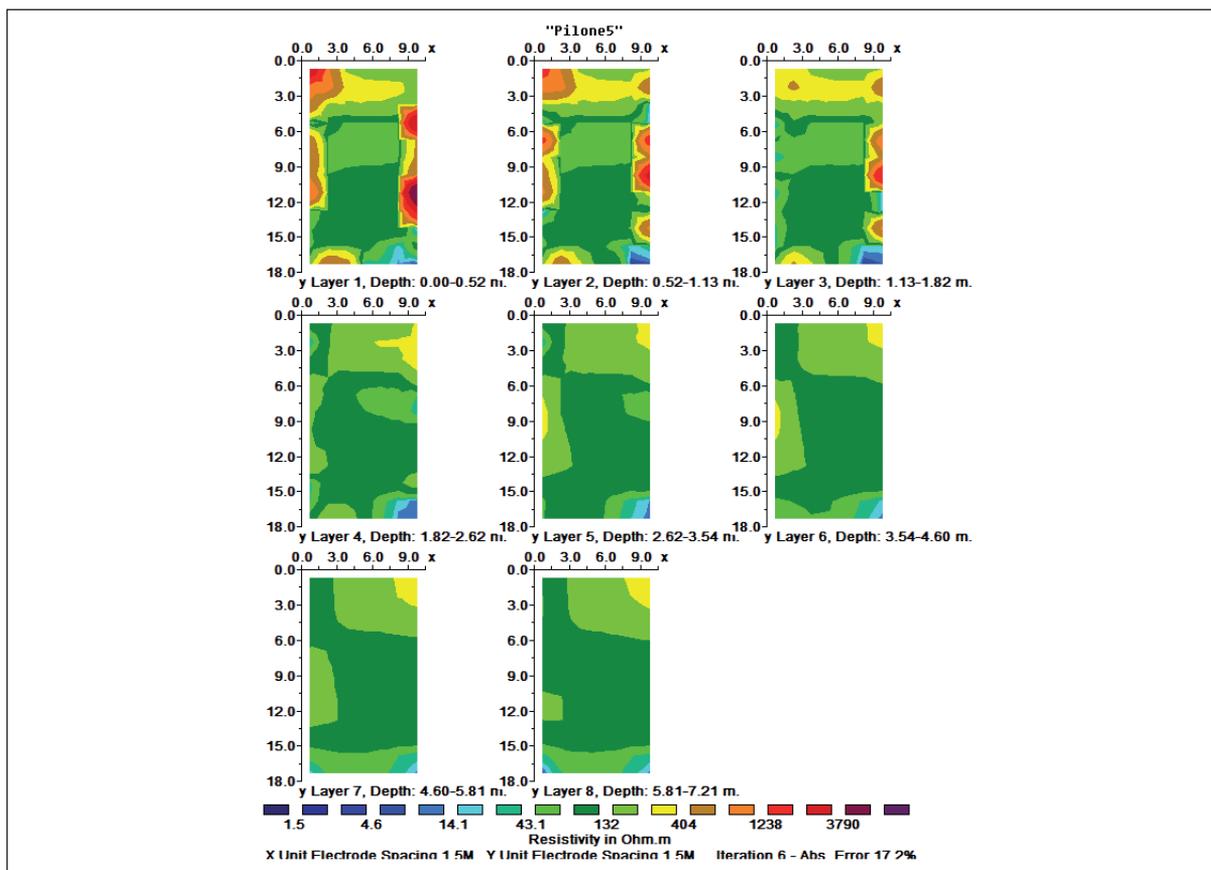


Fig. 6 - Elaborazione dei dati di resistività del Pilone 1. Ricostruzione degli andamenti di resistività nel piano X-Y.

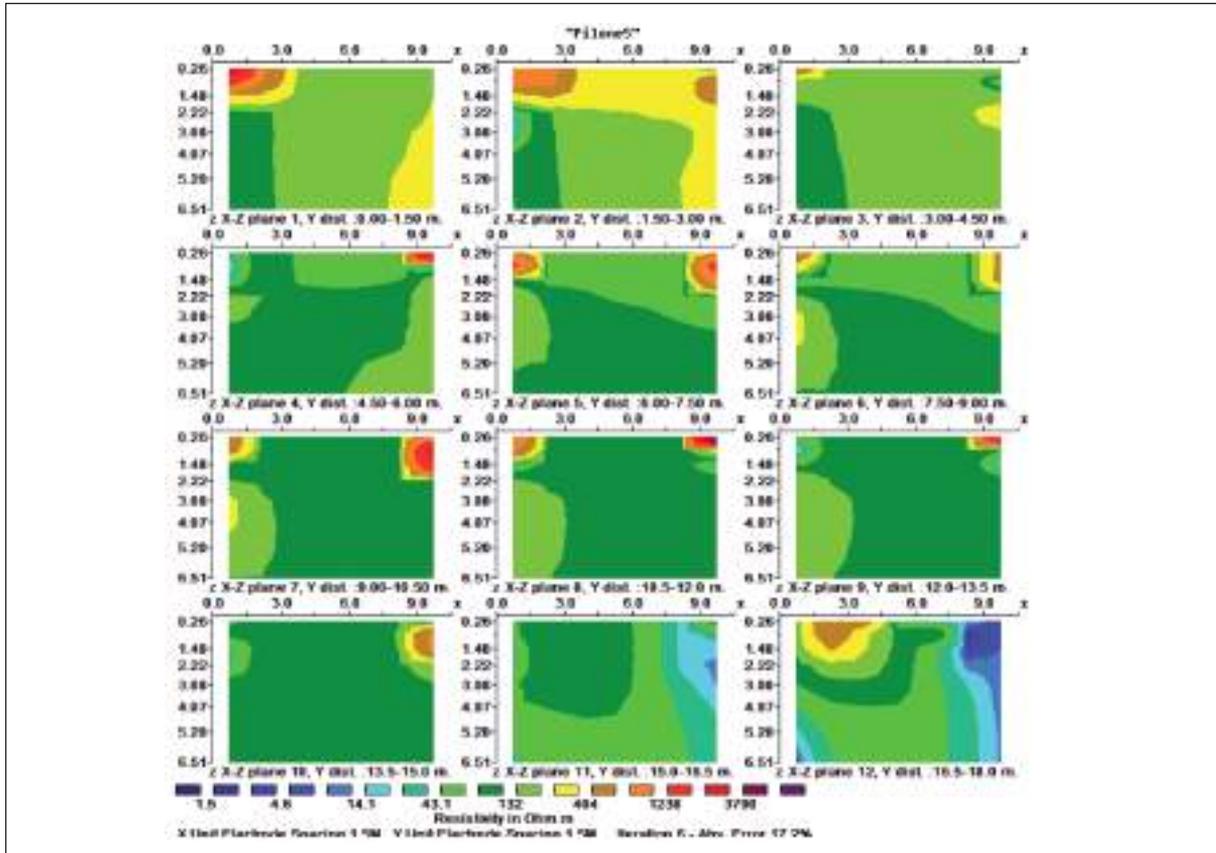


Fig. 7 - Elaborazione dei dati di resistività del Pilone 1. Ricostruzione degli andamenti di resistività nel piano X-Z.

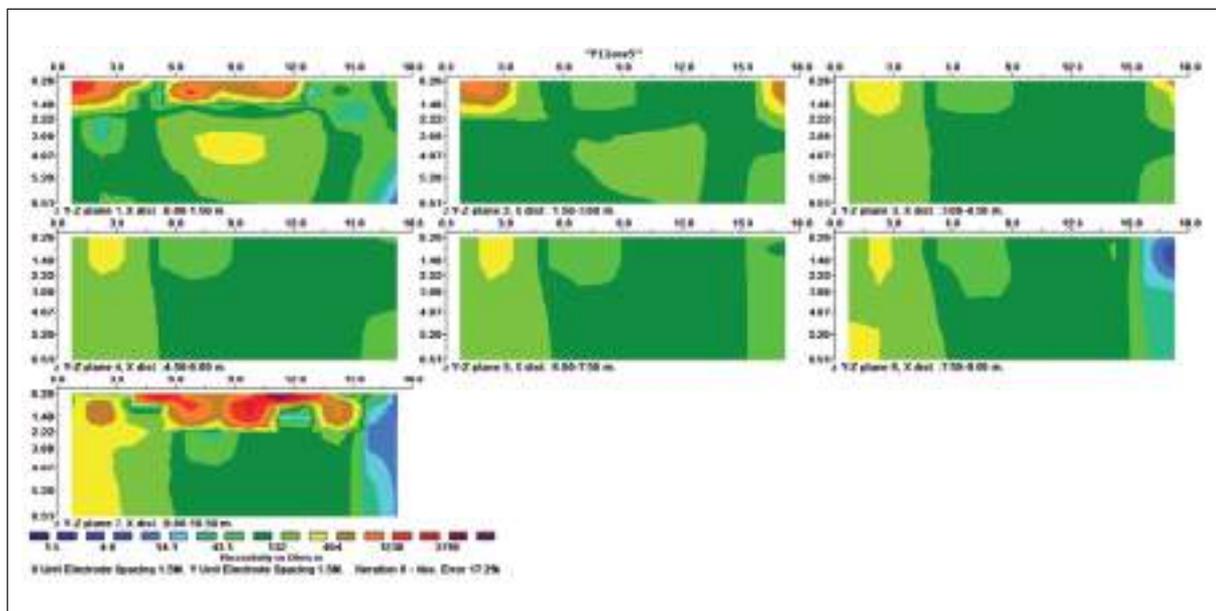


Fig. 8 - Elaborazione dei dati di resistività del Pilone 1. Ricostruzione degli andamenti di resistività nel piano Y-Z.

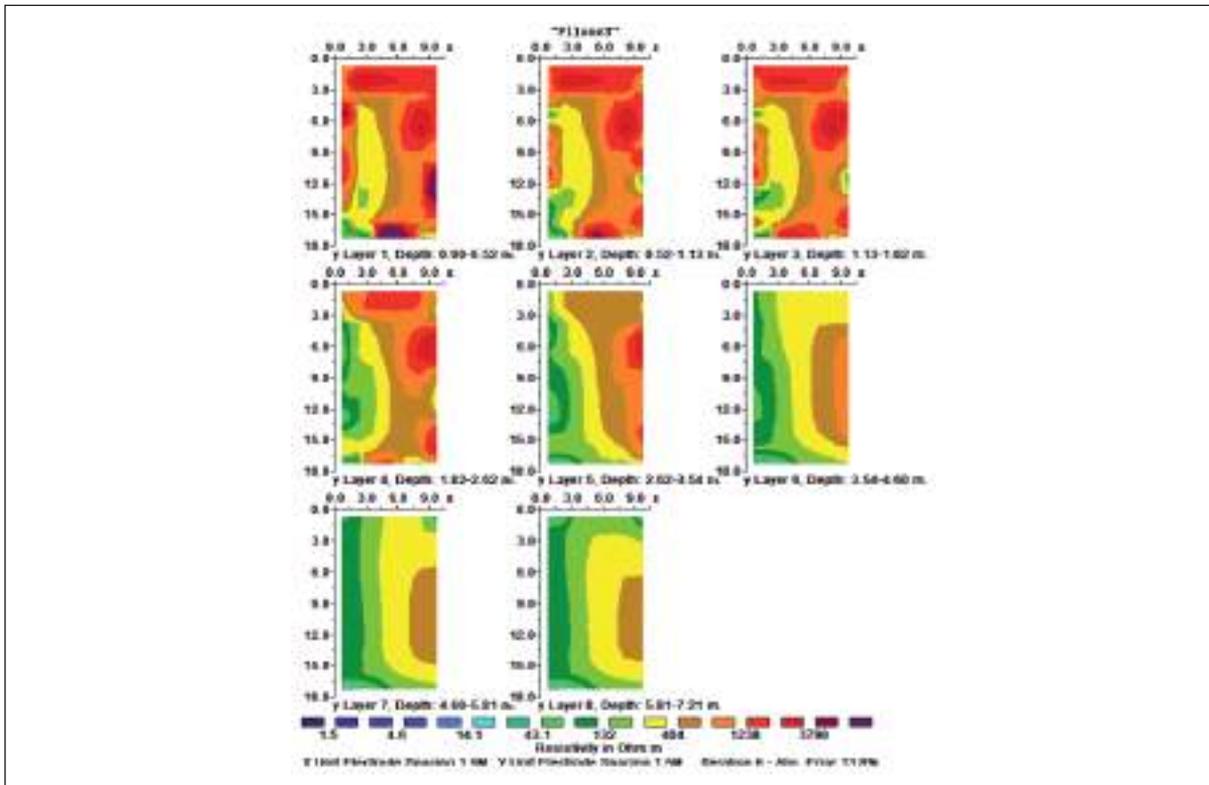


Fig. 9 - Elaborazione dei dati di resistività del Pilone 3. Ricostruzione degli andamenti di resistività nel piano X-Y.

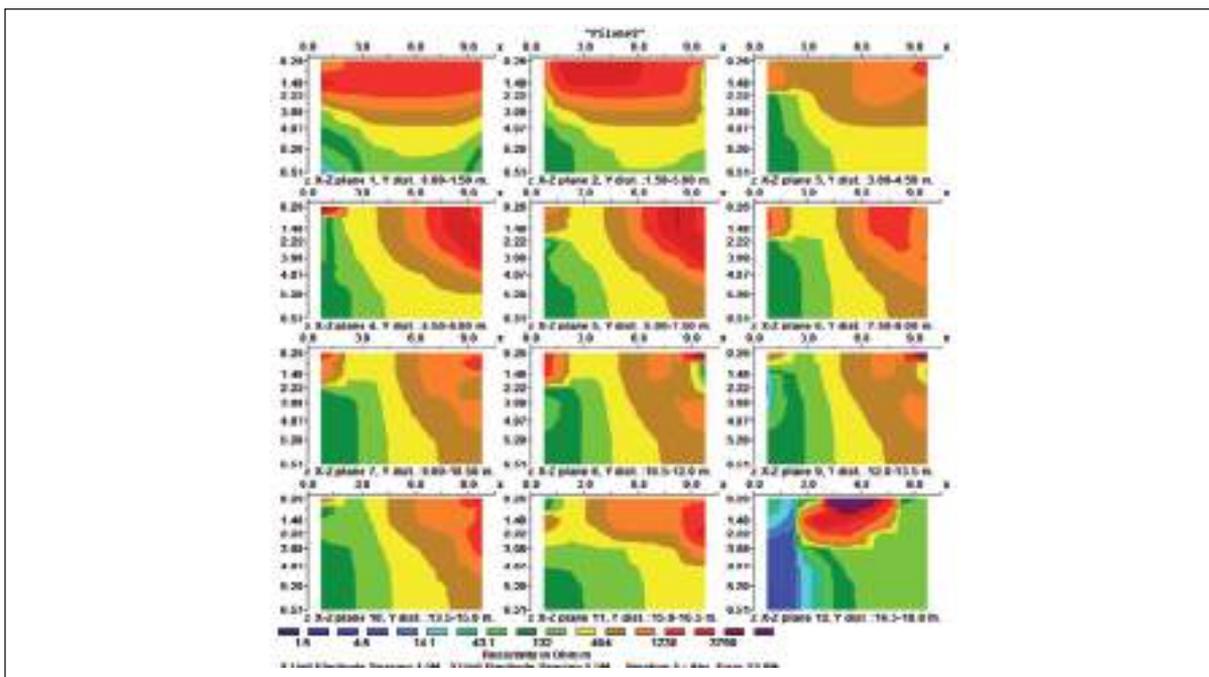


Fig. 10 - Elaborazione dei dati di resistività del Pilone 3. Ricostruzione degli andamenti di resistività nel piano X-Z.

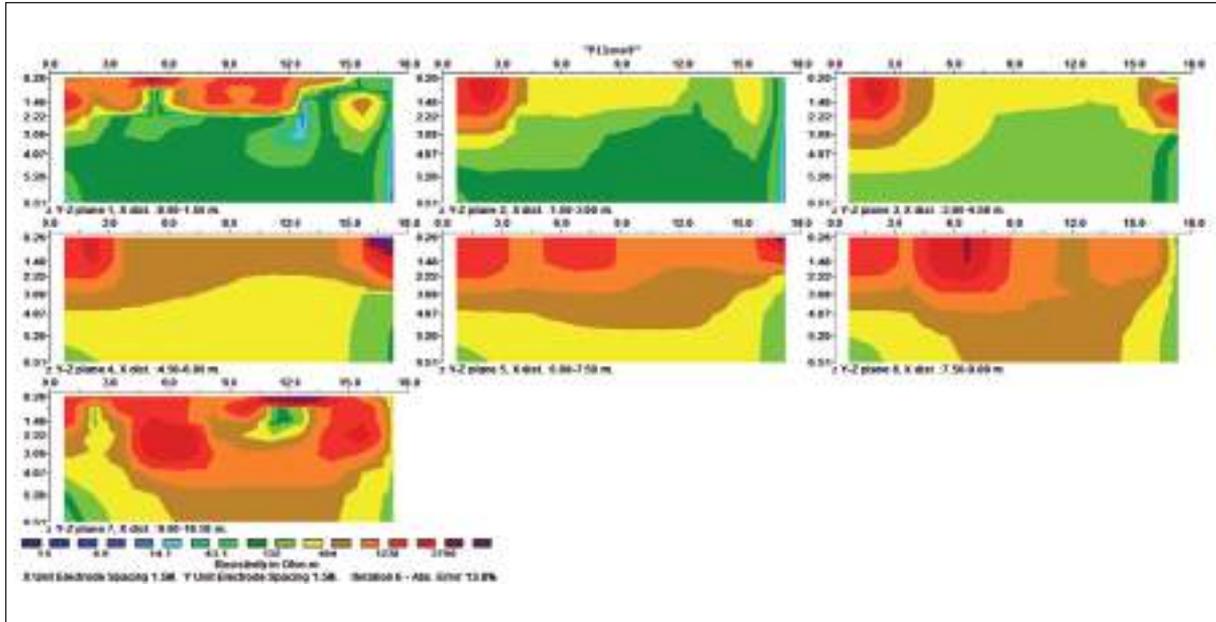


Fig. 11 - Elaborazione dei dati di resistività del Pilone 3. Ricostruzione degli andamenti di resistività nel piano Y-Z..

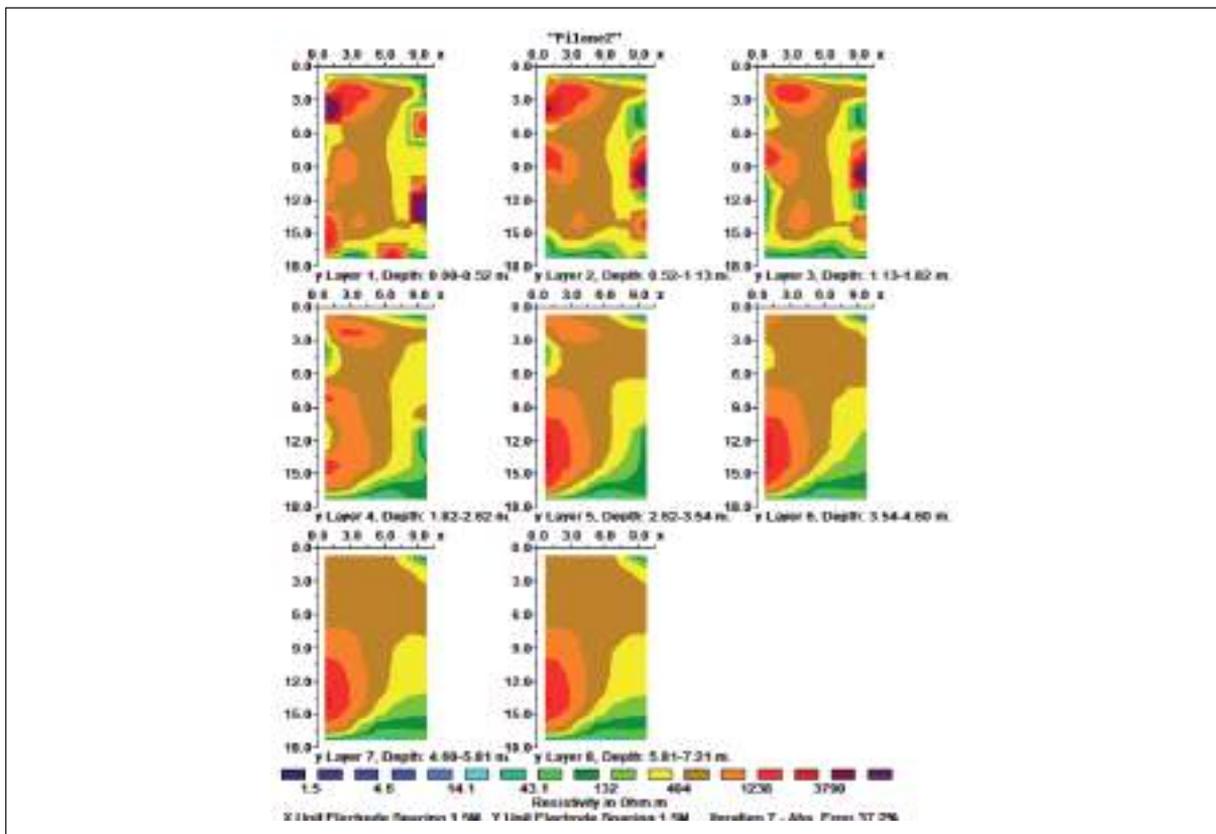


Fig. 12 - Elaborazione dei dati di resistività del Pilone 4. Ricostruzione degli andamenti di resistività nel piano X-Y.

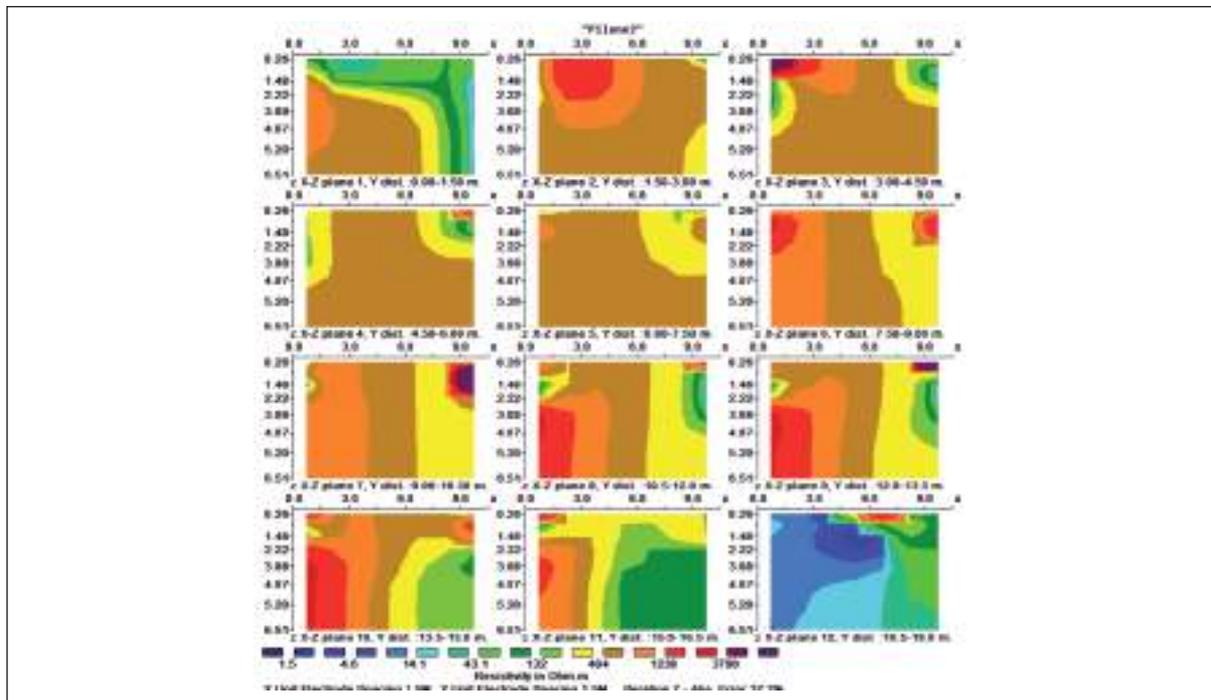


Fig. 9 - Elaborazione dei dati di resistività del Pilone 3. Ricostruzione degli andamenti di resistività nel piano X-Y.

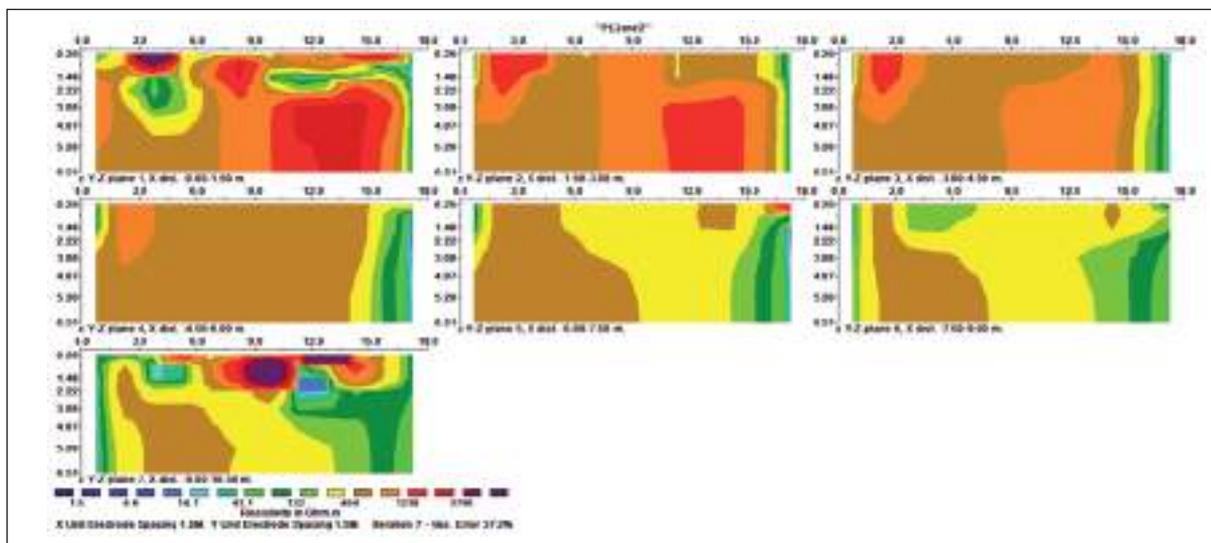


Fig. 14 - Elaborazione dei dati di resistività del Pilone 4. Ricostruzione degli andamenti di resistività nel piano Y-Z.

Verifica gli assi

Le sezioni più rappresentative, che consentono di stimare la tipologia del sistema fondale, sono quelle elaborate lungo i piani Y-Z. Infatti, come sintetizzato in Figura 15

ed evidenziato con delle linee nere, l'effetto sui dati di resistività della presenza del cemento circonda aree a comportamento elettrico resistivo. Le sezioni in cui è stato riscontrato tale effetto sono le sezioni 0.0-1.5 e

9.0-10.5m, ovvero le zone in cui gli andamenti di resistività sono ricostruiti lungo le sezioni esterne al piano fondale del pilone.

Le forme evidenziate si ripetono, conservando le stesse caratteristiche di forma e profondità, nelle sezioni 0.0-1.5 e 9.0-10.5 del Pilon 1, nella sezione 0.0-1.5 del Pilon 3 e nella sezione 9.0-10.5 del Pilon 4. Le forme evidenziate lungo la sezione 0.0-1.5 e lungo la sezione 9.0-10.5 del Pilon 4 non sono simili tra loro ma, l'effetto da correlare con la presenza di cemento, è discriminato fino alla profondità di 2.2mt. **Queste ricostruzioni consentono di asserire che al disotto dei piloni è presente una fondazione superficiale di spessore massimo pari a 2.20mt. Non si vede l'effetto della presenza di micropali al disotto dei piloni esaminati.**

Infine, per quanto ricostruito sulla sezione 9.0-10.5 del pilone 3, il confronto con la sezione 0.0-1.50 evidenzia che non solo la forma da correlare con il sistema fondale nelle due sezioni non è ben conservata ma, risultano essere piuttosto differenti anche le profondità alle quali è presente il resistivo. Infatti, tale resistivo, è discriminato fino ad una profondità di 4.0mt ovvero pari al doppio di quella rinvenuta lungo la sezione 0.0-1.5 dello stesso pilone. **Per comprendere la causa di tale differenza,**

contestualmente allo stato di fatto del viadotto, è indispensabile correlare tale risultato con la stratigrafia dell'area.

Altre indagini eseguite a supporto della ricostruzione geologica dell'area.

Sul sito in esame per una puntuale ricostruzione geologica del sottosuolo a ridosso della zona del viadotto, si è ritenuto opportuno eseguire 3 stendimenti di tomografia elettrica e uno stendimento di tomografia sismica la cui ubicazione è riportata in Figura 16. In particolare sono stati eseguiti due profili di tomografia elettrica con acquisizione polo-dipolo per poter raggiungere una maggiore profondità di investigazione e un profilo con acquisizione dipolo-dipolo in modo da evidenziare meglio le variazioni laterali di resistività. Le ricostruzioni sono riportate con la stessa scala colorimetrica in modo semplificare la lettura dei dati sulle diverse sezioni ricostruite. Infine, la sovrapposizione tra gli andamenti di resistività e quelli delle velocità delle onde P, hanno consentito di definire il modello geologico di sottosuolo presente a ridosso dei piloni.

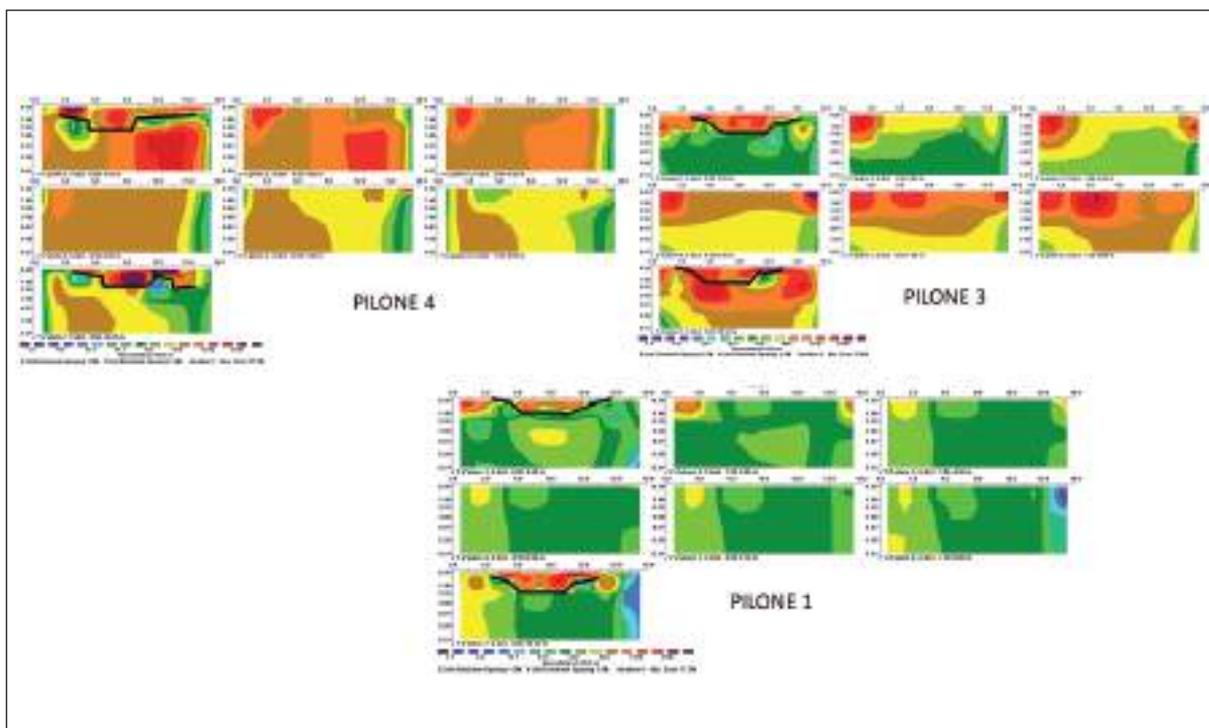


Fig. 15 - Visualizzazione degli andamenti di resistività lungo i Piloni 1-3-4 nel piano Y-Z. La linea in nero indica l'effetto del cemento sui dati.

Particolarmente significative ai fini della ricostruzione del modello geologico di sottosuolo, risultano essere le ricostruzioni elettrostratigrafiche eseguite lungo i profili siglati come TomoE1 e TomoE2. Infatti, è possibile asserire che fino alla profondità massima di circa 15 m è presente uno strato distinto da variazioni laterali piuttosto significative. Si discriminano aree francamente conduttive con valori di resistività inferiori a 20 Ohm m (isoresistive blu) da correlare con la presenza di limi o di materiali argillosi e aree resistive con valori di resistività medi pari a 3500 Ohm m da correlare con la presenza delle ghiaie. Al di sotto è stato discriminato un elettrostrato continuo lungo tutta la sezione investigata e distinto da valori di resistività che aumentano con la profondità con un gradiente piuttosto regolare. Tale elettrostrato è da

correlarsi con il substrato arenaceo tipico della zona oggetto di indagine e presente anche in affioramento.

La geometria emersa dalle indagini elettriche è rafforzata da quanto elaborato dalla tomografia sismica (Figura 20). Il primo sismo strato presenta valori di velocità compresi tra circa 0,5 km/s e 2,0 km/s e spessore medio pari a circa 15 m. Al di sotto i valori di velocità aumentano fino a circa 2,5 km/s e rappresentano il semispazio esplorativo. Così come messo in evidenza dalle elaborazioni geoelettriche, all'interno del primo strato sono osservabili delle geometrie a forma lenticolare che fanno ipotizzare la presenza di aree in cui prevale la granulometria più fine (velocità intorno a 1,3 km/s) rispetto alle circostanti (velocità pari a circa 1,8 m/s) in cui è ipotizzabile la presenza di ghiaie.

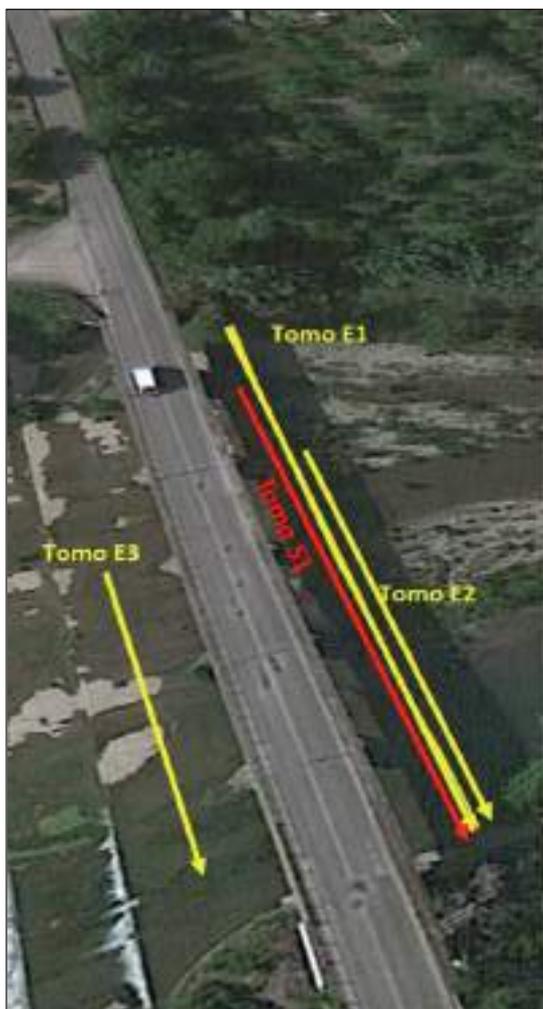


Fig. 16 - Ubicazione stendimenti di tomografia elettrica (in giallo) e di tomografia sismica (in rosso) con indicazione del verso di lettura dei dati.

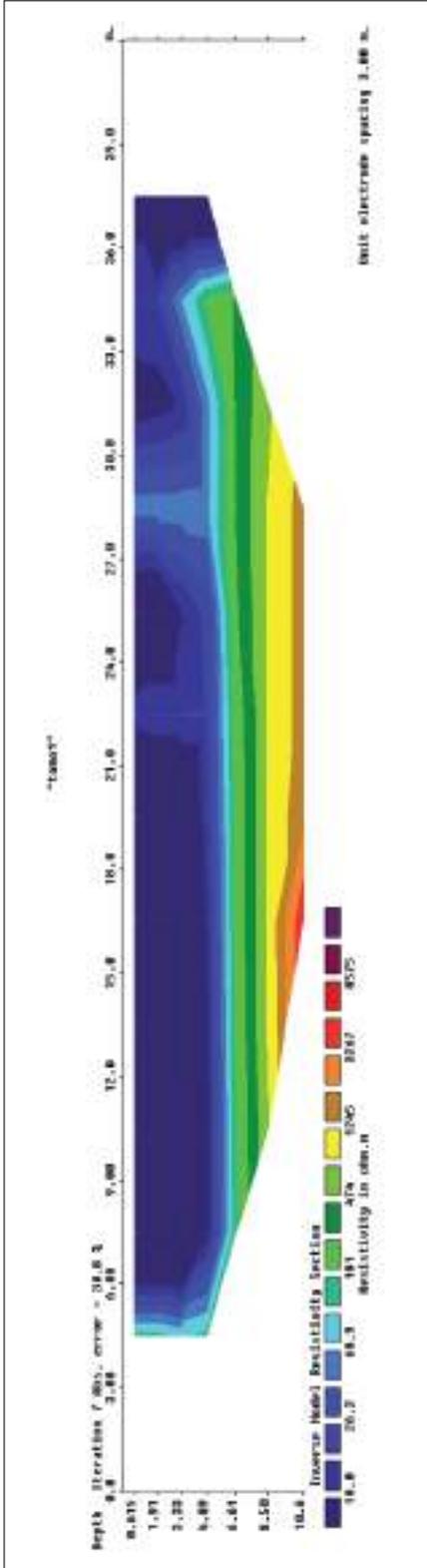


Fig. 17 - Sezione elettrostratigrafica eseguita lungo il profilo siglato come TomoE1. I dati sono stati acquisiti con schema polo-dipolo.

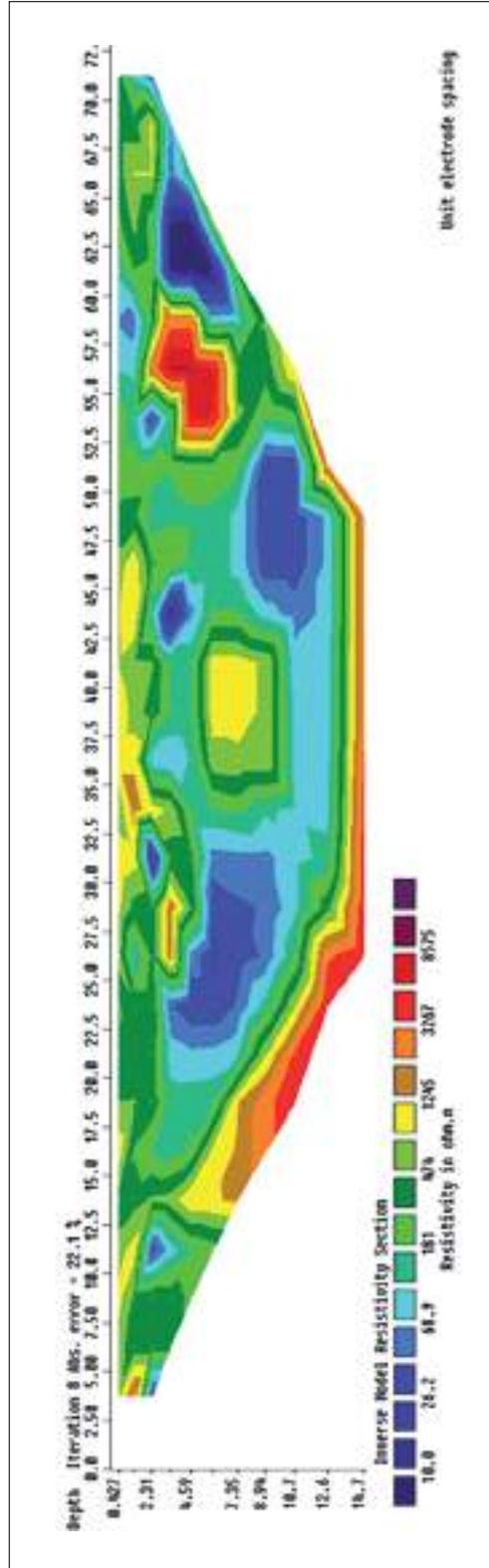


Fig. 18 - Sezione elettrostratigrafica eseguita lungo il profilo siglato come TomoE2. I dati sono stati acquisiti con schema dipolo-dipolo-Assiale.

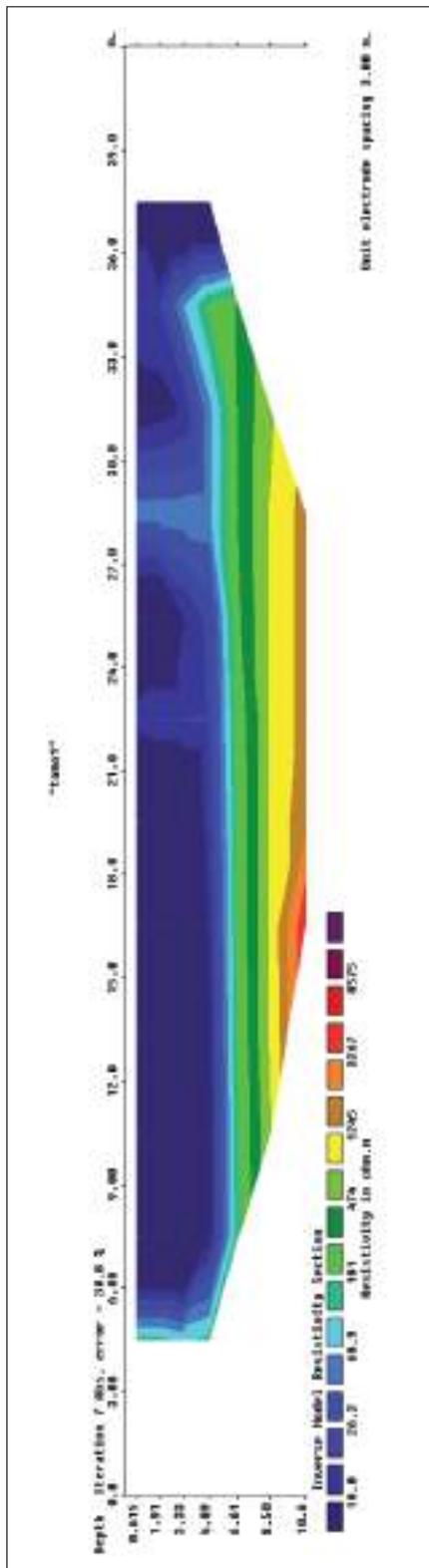


Fig. 19 - Sezione elettrostratigrafica eseguita lungo il profilo siglato come TomoE3. I dati sono stati acquisiti con schema polo-dipolo.

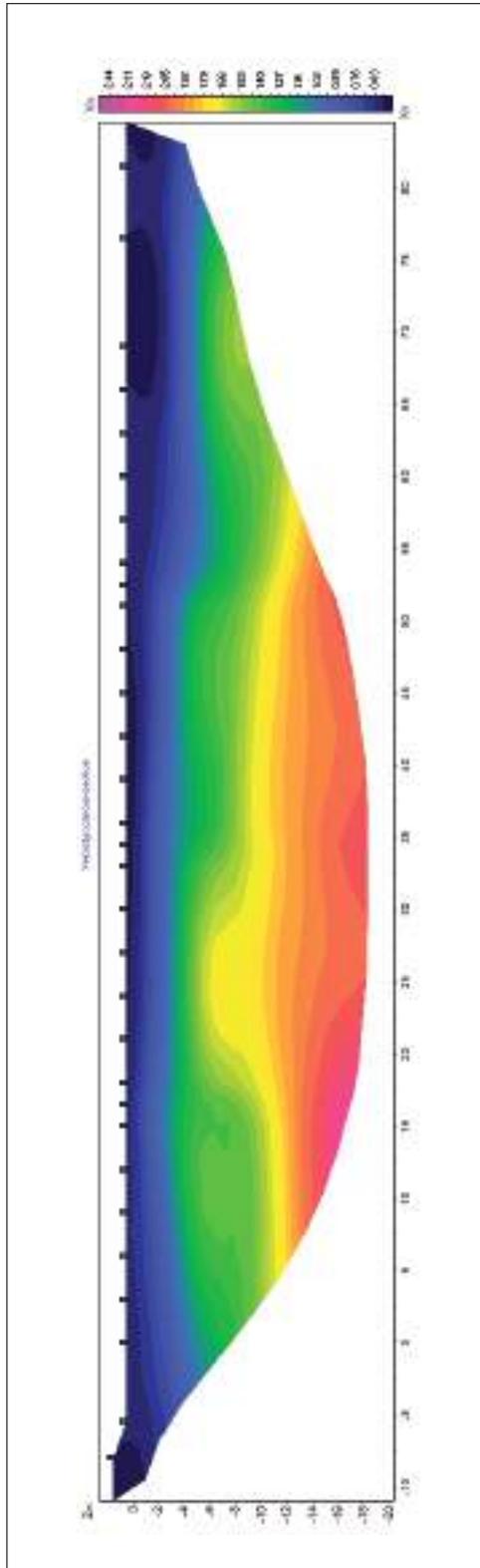


Fig. 20 - Sezione sismostratigrafica eseguita lungo il profilo siglato come TomoS1. Le velocità sono espresse in Km/s.

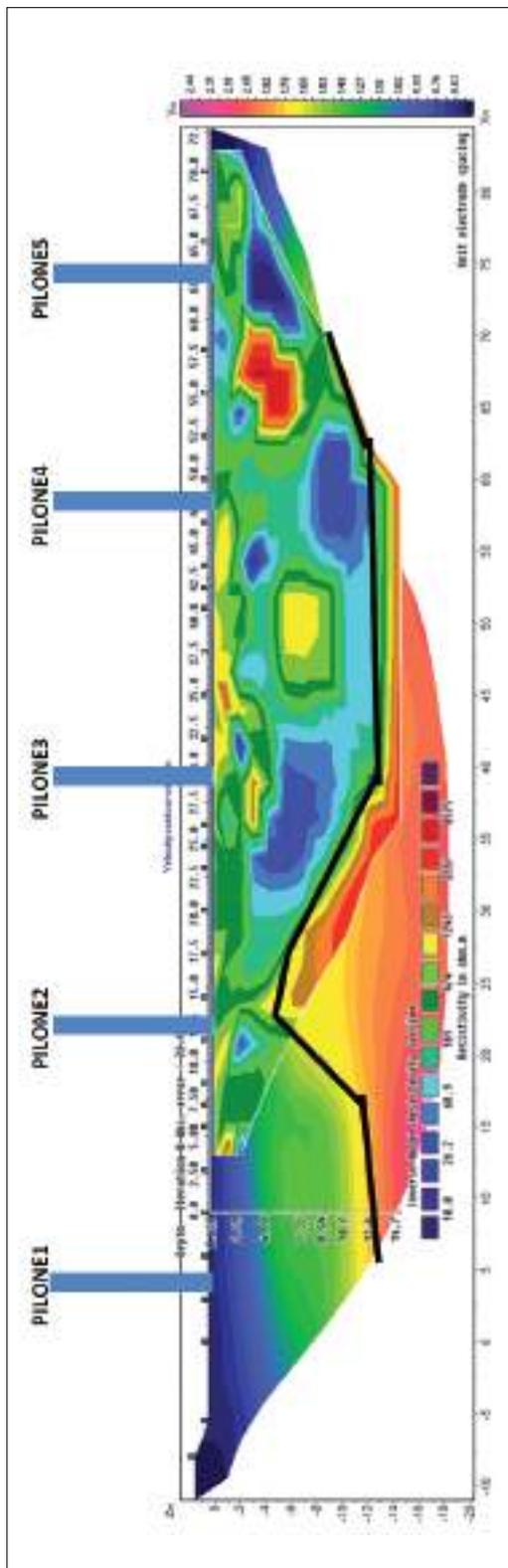


Fig. 21 - Ricostruzione del modello geologico del sottosuolo ottenuto dalla sovrapposizione della sezione sismica e della sezione elettrostratigrafica indicata come TomoE2. I rettangoli in blu indicano la posizione dei piloni proiettati sulla sezione.

Osservazioni conclusive

La tomografia elettrica si è confermata un valido strumento di analisi che ha consentito di valutare, attraverso le ricostruzioni degli andamenti di resistività elettrica in termini sia bidimensionali sia tridimensionali del sottosuolo, la stratigrafia del sito e la tipologia di fondazioni presenti al di sotto dei piloni. Le fondazioni risultano essere di tipo superficiale e si approfondiscono fino alla profondità di 2.20m. Non sono presenti i micropali. Inoltre, la ricostruzione del modello geologico del sottosuolo presente a ridosso dei piloni e riportato in Figura 21, congiuntamente alla sovrapposizione con la sezione sismostratigrafica ha consentito di evidenziare la presenza di uno strato continuo ad una profondità compresa tra [5-15]mt da correlare con il substrato geologico al di sopra del quale sono presenti lenti con diverse caratteristiche elettriche e sismiche, da correlare con la presenza di ghiaie laddove i valori di resistività sono maggiori di 500 Ohm m (isolinee verdi e rosse) e i valori di velocità maggiori di 1.5km/s, ovvero con i limi dove i valori di resistività sono inferiori a 30 Ohm m e i valori di velocità minori di 1.5 km/s. Dalle ricostruzioni elaborate è stato messo in evidenza inoltre che:

1. il confronto tra la sezione 0.0-1.50 con quanto ricostruito sulla sezione 9.0-10.5 del pilone 3 (Figura 22), evidenzia che non solo la forma nelle due sezioni non è ben mantenuta ma, risultano essere piuttosto differenti anche le profondità alle quali è presente il resistivo. Infatti, tale resistivo, che rappresenta l'effetto della presenza del cemento sui dati di resistività, è discriminato fino ad una profondità di 4.0mt ovvero pari al doppio di quella rinvenuta lungo la sezione 0.0-1.5 dello stesso pilone (linea puntinata in bianco di **Figura 15**). A ridosso di questo pilone, la sezione geoelettrica ricostruita, ha evidenziato la presenza di variazioni stratigrafiche piuttosto significative. Pertanto, considerato lo stato di fatto del viadotto, è possibile asserire che, le variazioni di profondità (e non di forma) tra le due sezioni in esame, potrebbero correlarsi al fatto che durante la realizzazione delle fondazioni, il cemento si sia infiltrato nelle litologie più resistive ovvero all'interno delle ghiaie.
2. la ricostruzione della sezione simo-elettrostratigrafica definita a ridosso dei piloni mette in evidenza che gli stessi non poggiano sulla stessa tipologia di materiale.

In funzione di quanto definito dalle indagini di cui sopra, opportunamente integrate con altre tipologie di prove (quali ad esempio le prove di carico su impalcato eseguita utilizzando 4 automezzi a 4 assi debitamente caricati fino alla realizzazione di una massa pari a 75tonn) è stato possibile definire e caratterizzare lo stato di fatto del viadotto PER IL QUALE SONO STATI PREVENTIVATI SOLI interventi in merito all'ammaloramento DELLE STRUTTURE FUORITERRA.

AMBRGEO

Strumenti per Geofisica

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



Seismograph
ECHO 48/2014 Seismic Unit - 24bit



Seismograph
ECHO 24/2010 Seismic Unit - 24bit



ECHO Tromo HVSR3 - 24bit



Mangusta MC 24-120E
Geoelectrical Tomography Equipment



Resistivity Meter Datasres-10



3D/5D - 3D Twin Borehole Geophone



PS Wave Borehole Energy Source



Borehole Deviation Probe



MANGUSTA SYSTEM
MC 96/E

AMBRGEO

BISENCE - ITALY
www.ambrogeo.it



CTD Logger multiparametrico (conducibilità, temperatura, pressione)

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



Competenza nella idrologia

Unità di trasmissione dati a distanza GSM

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

Logger di pressione e temperatura

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



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.

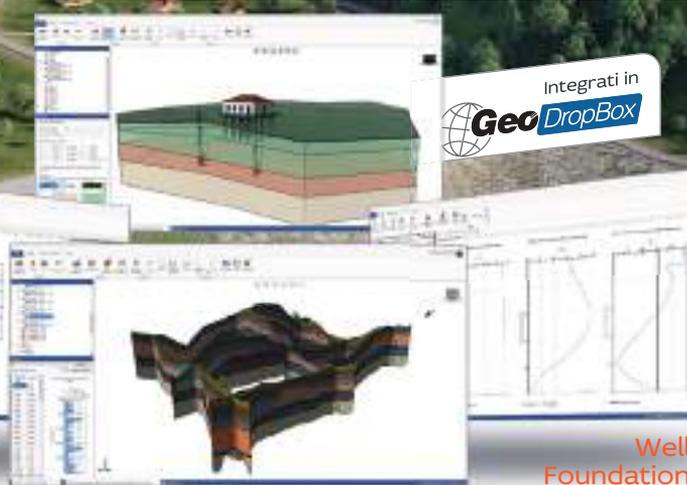
Tutti i prodotti sono pienamente compatibili con Normativa Italiana (NTC) e gli Eurocodici.

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

