

GEOLOGIA

TECNICA & AMBIENTALE



CONSIGLIO NAZIONALE
DEI GEOLOGI

**Estratto
dell'articolo**

**LA SEZIONE
INIZIALE DEL
TRACCIATO
ORIGINALE
DELL'ACQUE-
DOTTO DI
TRAIANO**

di Ugo Chiocchini

Sottocontrollo



Foto: Arianna Pesci - Elaborazione: Codevintec



Foto: CGT - Siena

Strumenti – anche a noleggio – per: monitoraggio sismico

- > esplorazione faglie sismiche
- > strong motion, monitoraggio infrastrutture
- > microzonazione sismica

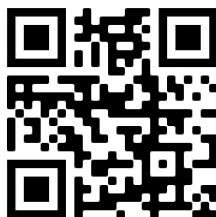
gallerie, ponti, viadotti

- > analisi deformazioni o cedimenti
- > ricerca di vuoti, ammaloramenti, distacchi

studio del sottosuolo

- > indagini geosismiche
- > monitoraggio versanti in frana

Tecnologie



Seleziona il link!



CODEVINTEC

Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare



nanometrics



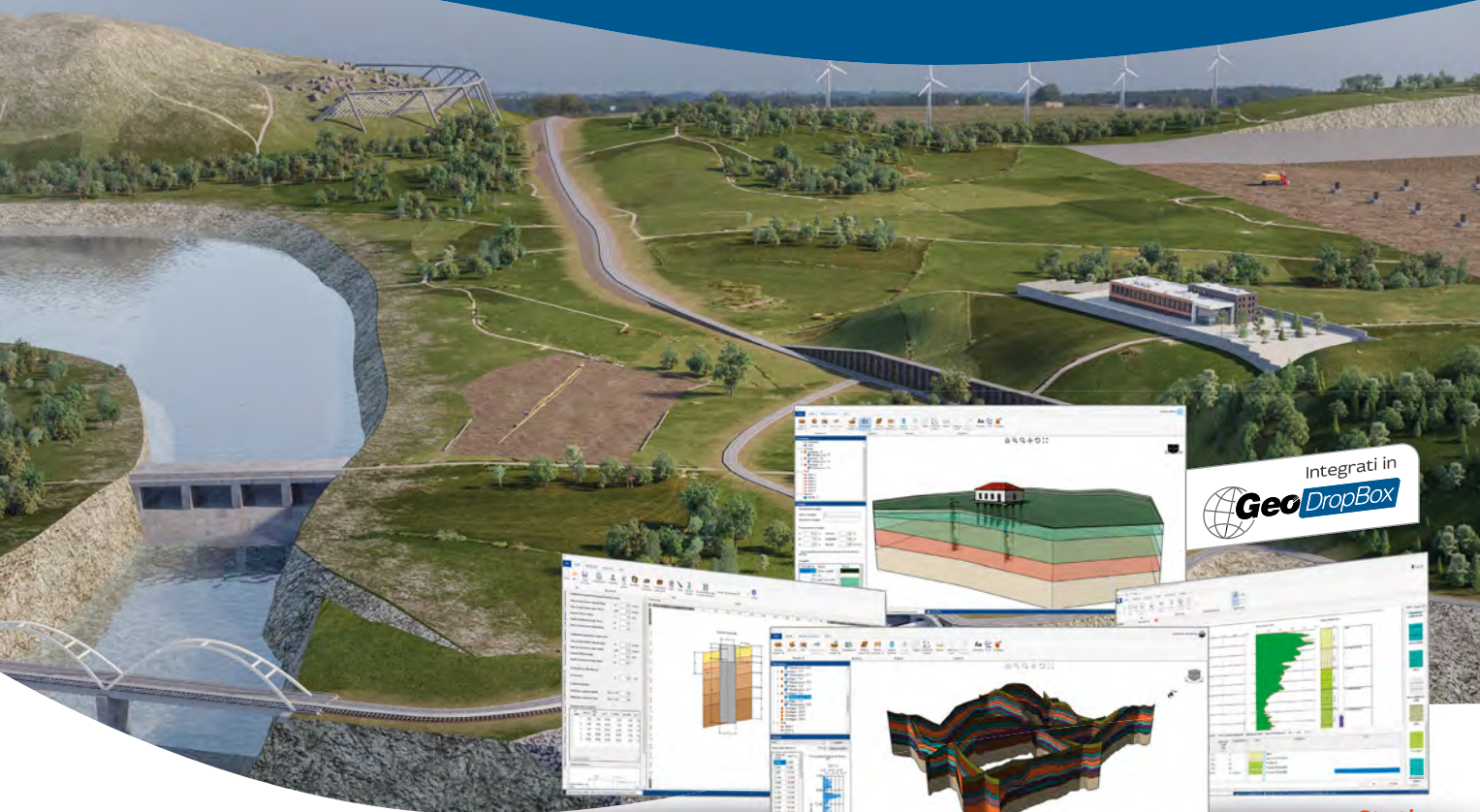
GEOMETRICS
Simplify your search

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

SCEGLI IL PARTNER GIUSTO PER LA TUA PROFESSIONE



Sviluppiamo software di successo a livello mondiale.



GEOSTRU TI OFFRE I SOFTWARE PIÙ POTENTI ED AFFIDABILI.

Produciamo software di successo a livello mondiale per numerosi settori professionali. I nostri software sono caratterizzati da un costo molto competitivo e da una qualità garantita da oltre 48.000 installazioni in più di 145 paesi nel mondo. I prodotti GEOSTRU sono caratterizzati da un'estrema facilità d'uso: ogni software risolve uno specifico problema, riducendo i dati di input a quelli strettamente necessari. Inoltre tutti i software sono integrati fra loro con la possibilità di esportare dati da/e per ogni applicazione della suite anche in formato AGS. Tutti i prodotti sono pienamente compatibili con Normativa Italiana (NTC) e gli Eurocodici.

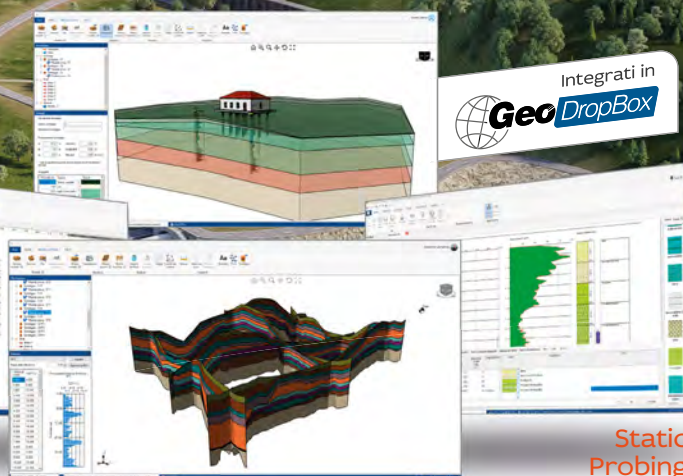
Guadagna con Geostru, ora puoi avere dei crediti nel tuo account che ti consentono di risparmiare sui tuoi prossimi acquisti.

Scarica gratuitamente la copia omaggio del libro *Terrae motus*, conoscere per prevenire.

Coupon di sconto del 100%



(<https://www.geostru.eu/shop/book/terrae-motus-conoscere-per-prevenire/>)



GM3D

Static
Probing

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 2024
- Risposta sismica locale 1D, 2D
- GFAS (Geotechnical and F.E.M. Analysis System)
- GeoDropbox 2024 (geodropbox.com)
- GeoApp 2024 - Oltre 10 applicazioni aggiunte di recente (<https://geoapp.geostru.eu>)
- GeoStru 365
- Resistenza di progetto di fondazioni con il metodo pressiometrico e penetrometrico: PQL
- Soil Nailing Analysis: GSAS
- Geobuild (Innovazione e Interoperabilità nella progettazione)
- 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

2 o 4 NODI SMARTSOLO (TERNE SENZA CAVO)

PERFETTAMENTE INTEGRATI CON I SOFTWARE

HOLISURFACE[®] E WINMASW[®]**PER INFINITE APPLICAZIONI**

- 1) profili Vs da dati attivi e passivi (o ibridi) acquisiti con una sola terna in un unico punto (analisi congiunte dati HoliSurface + HVSR) [necessari 2 nodi]
- 2) tecniche MAAM/SPAC/ESAC da array triangolari [4 nodi]
- 3) analisi vibrazionali su edifici e ponti (tecnica GHM/GVM) [2 o 4 nodi]
- 4) stima reali amplificazioni di sito (tecnica SSR/SSRn) [2 nodi]
- 5) gestione di dati sismologici (per i più esperti e curiosi) [1 o 2 nodi]
- 6) infiniti tools per l'analisi e l'editing dei dati (rimozione segnali industriali, sezioni 2D ecc.)

Tutto ciò che puoi fare girando con uno zainetto e null'altro

visita il nostro sito web e iscriviti alla newsletter per rimanere
aggiornato su incontri formativi, prodotti e servizi

www.winMASW.com

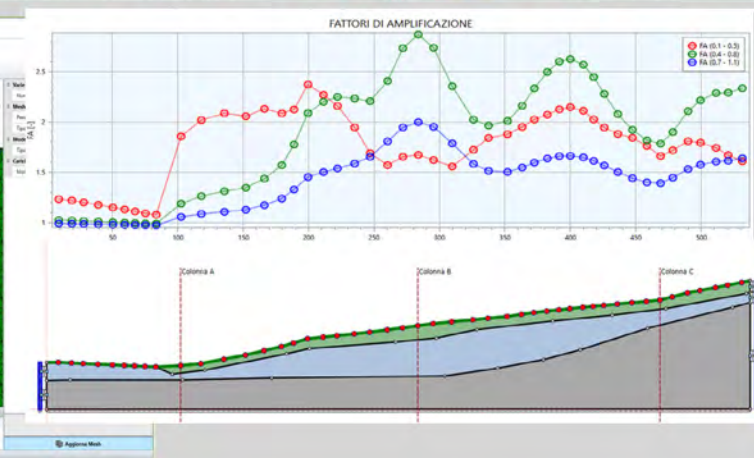
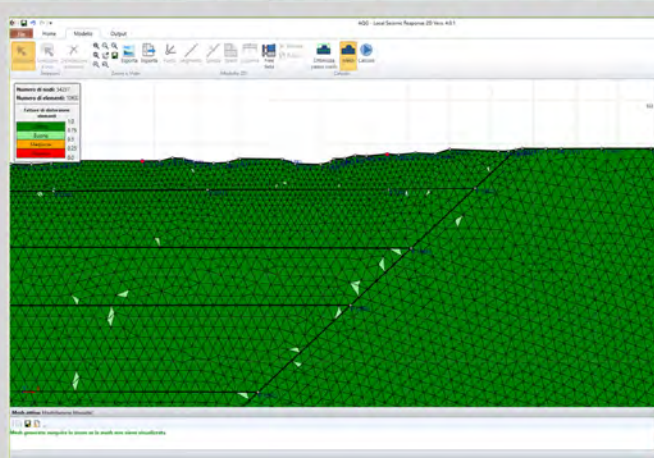
www.winmasw.com

downhole, onde di superficie, rifrazione, analisi vibrazionali

- >> sistemi di acquisizione classici (con cavo) e senza cavo
- >> software per sismica e vari tipi di vibrazioni
- >> training e consulenze
- >> acquisizione ed elaborazione dati

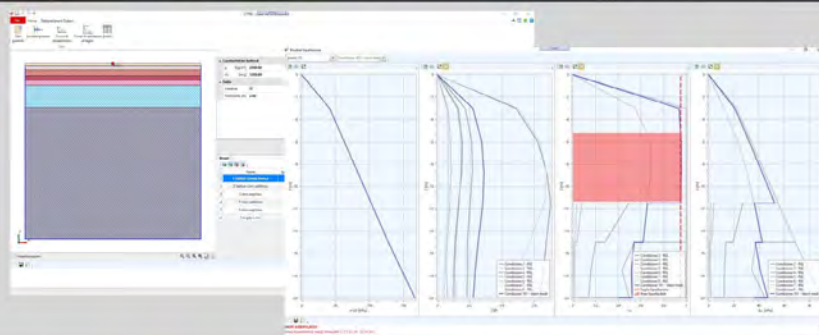
LSR_{2D}

SOFTWARE PER L'ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE 2D

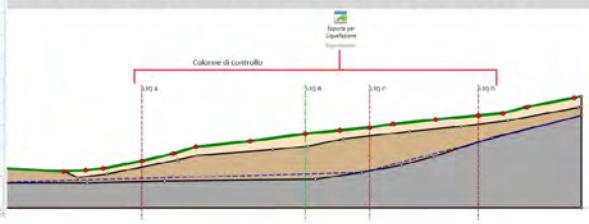


LIQUEFAZIONE[®]

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



INTEROPERABILITÀ CON LSR



stacec.com



La sicurezza di grandi performance su ogni terreno.

GEO



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

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



Live the
experience on:

comacchio.com



COMACCHIO

Quadrimestrale dell'Ordine Nazionale dei Geologi
N. 1/2024

DIRETTORE RESPONSABILE

Alessandro Reina

CO-DIRETTORI

Domenico Angelone

Rudi Ruggeri

COMITATO DI REDAZIONE

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

COMITATO SCIENTIFICO

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

SEGRETERIA DI REDAZIONE

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

addettostampa@cngeologi.it

PUBBLICITÀ

Agicom srl

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

Tel 06.9078285 Fax 06.9079256

agicom@agicom.it

www.agicom.it

GRAFICA E IMPAGINAZIONE

Agicom srl

Immagine: ©shutterstock.com

STAMPA

Stampa digitale

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

Questa rivista è disponibile online:

sfogliabile o scaricabile in formato PDF su cngeologi.it

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

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

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

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

Associato all'USPI, Unione Stampa Periodica Italiana.

GARANZIA DI RISERVATEZZA

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

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

PER GLI AUTORI:

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



IN COPERTINA: foto dell'acquedotto di Traiano

9

l'editoriale

A. Reina

11

il punto del presidente

A.F. Violo

15

Prospettive di utilizzo di acquiferi carsici pedemontani: il caso studio del Mandamento di Baiano (Appennino meridionale, Italia)

A. Aquino, P. Petrone, M. Ginolfi, C. Mazzarotti, S. Rosamilia, S. Aquino, V. Allocca



27

Atlante: l'Italia dei terremoti

Il Sud, il Centro e il Nord visti da vicino

E. Guidoboni e G. Valentini



51

La sezione iniziale del tracciato originale dell'acquedotto di Traiano per il porto di Centumcellae, oggi Civitavecchia, provincia di Roma, Italia centrale

U. Chiocchini, L. Portoghesi, F. Portoghesi, A. Regnani



66

Il Congresso raccontato per immagini

Ferrovie, Strade e Autostrade protette dal dissesto idrogeologico grazie all'imponente ombrello verde PRATI ARMATI® come prescritto dall'Eurocodice 7, dal regolamento UE 2020/852 e dal principio DNSH





Alessandro Reina

Direttore Responsabile

C'è una foto storica e di grande fascino che racchiude il senso del nostro pianeta in termini di unicità per la sua maestosa bellezza ma anche per la sua fragilità e delicatezza: la foto catalogata dalla NASA con la sigla AS8-14-2383HR è stata chiamata Earthrise dal suo autore **William Anders** il 24 dicembre 1968 durante la missione **Apollo 8**.

Un pianeta verde per la vegetazione bianco per le nuvole e blu per l'acqua: questi tre colori sono la firma del nostro pianeta. Una colorata isola di vita in un universo per il resto (probabilmente) vuoto e buio. Sono questi gli elementi che permettono la vita.

Darwin ci dice che l'evoluzione premia il più adatto a sopravvivere. Chiunque di noi ritiene che possedere un cervello sia sicuramente un vantaggio nella lotta per la sopravvivenza. Ma ne siamo sicuri? Non è per caso una distorsione cognitiva?

Ci arrivano segnali di questa possibilità da evidenti elementi di scelleratezza che non hanno nulla a che vedere con l'intelligenza: per esempio la GUERRA. Oggi non si può assolutamente restare indifferenti e certamente non voglio spostare il mio pensiero e le mie parole indicando chi ha ragione o torto...penso solo alla stravolta vita sociale delle persone (soprattutto i bambini) che la stanno subendo. E il nostro pensiero e le nostre attività dovrebbero conservare questo fardello per rendere la nostra vita quotidiana meno astiosa e più serena evitando tutte gli inutili conflitti, che spesso creiamo, se confrontati con le conseguenze sociali che potrebbero verificarsi se fossimo direttamente coinvolti da quella immensa tragedia.

Dobbiamo diventare più umani e dimostrare di avere un cervello cercando di arrivare alla PACE.

In questo numero avrete modo di apprezzare la ricerca condotta da A. Aquino, P. Petrone, M. Ginolfi, C. Mazzarotti, S. Rosamilia, S. Aquino e V. Allocca, sulla caratterizzazione dell'acquifero carsico pedemontano del Mandamento di



Baiano che ha fornito interessanti risultati riguardanti le caratteristiche idrogeologiche e qualitative delle acque sotterranee.

Emanuela Guidoboni e Gianluca Valensise dell'INGV, propongono un secondo contributo su L'azzardo sismico delle città che fa seguito a un primo articolo di presentazione generale dell'Atlante del CNI, pubblicato sul numero 02-2023 del GTA. In questo secondo contributo illustrano il nucleo vero e proprio dell'Atlante, ovvero la descrizione degli effetti che i terremoti hanno causato in 61 città del Sud e 56 del Centro e del Nord. Imperdibile.

Un affascinante contributo di Ugo Chiocchini (come è solito fare), di Luigi Portoghesi, Franco Portoghesi e Angelo Regnani, nel quale sono mescolati sapientemente e scientemente i temi dell'idrogeologia dell'archeologia con quelli dell'ingegneria civile e dell'idraulica nella descrizione dell'acquedotto di Traiano per il porto di Centumcellae.



William Anders



Apollo 8



l'editoriale

Affronta i progetti geotecnici con competenza utilizzando le soluzioni software Seequent.

Quando collabori per una comprensione condivisa delle condizioni del terreno, puoi consegnare progetti più precisi e più velocemente e puoi ottenere così risultati migliori.

Ingegneri, Geotecnici, Geologi e Geofisici utilizzano i software Seequent nei progetti di infrastrutture per pianificare, creare e costruire strade, ferrovie, ponti, tunnel, edifici, dighe e argini.

leapfrog[®] I WORKS

Esplora le condizioni del sottosuolo con la modellazione geologica dinamica 3D.

GeoStudio

Riduci i rischi e sviluppa sofisticate analisi di stabilità all'equilibrio limite 2D e 3D di terreni e pendii rocciosi.

Visualizza il webinar in italiano!

Scopri come sfruttare la connettività tra Leapfrog Works e GeoStudio tramite Sequent Central.

► www.adalta.it/seequent-webinar-lfworks-geostudio

Seequent, The Bentley Subsurface Company



Per saperne di più

 SEEQUENT

Channel Partner



Arcangelo Francesco Violo

Presidente Consiglio Nazionale dei Geologi

In questo numero ritengo utile fare il punto sull'attuazione della legge n.49, contenente "Disposizioni in materia di equo compenso delle prestazioni professionali" (c.d. **"Equo compenso"**), entrata in vigore il 20 maggio 2023, per cui la remunerazione percepita da un professionista per un servizio reso deve essere proporzionata alla quantità ed alla qualità del lavoro svolto, al contenuto ed alle caratteristiche della prestazione professionale, nonché conforme ai "parametri" previsti per ogni specifica professione intellettuale.

Tale tema, soprattutto rispetto al suo richiamo nel nuovo Codice dei contratti pubblici, ha visto, nella sua attuazione pratica, moltissime resistenze.

Va decisamente ribadito, quindi, come tale principio di civiltà non sia suscettibile di indebolimenti ed attenuazioni, sia nel settore privato sia in quello pubblico, rappresentando un baluardo a difesa non solo della dignità professionale, contro i tentativi di sminuire il lavoro intellettuale, ma anche e soprattutto della qualità della prestazione, nell'interesse della committenza e, più in generale, della collettività.

A ribadirlo è intervenuta, innanzitutto, la sentenza del TAR Veneto, Sez. III, n. 632 del 3 aprile 2024.

Con tale decisione, è stato sancito, innanzitutto, un fondamentale principio in relazione all'applicazione della disciplina dell'equo compenso: **«l'interpretazione letterale e teleologica della legge n. 49/2023 depone in maniera inequivoca per la sua applicabilità alla materia dei contratti pubblici»**, sia nell'ipotesi in cui questi ultimi siano sottoposti alle previsioni del d.lgs. 50/2016 sia nel caso in cui essi siano assoggettati alle disposizioni del d.lgs. 36/2023.

Nel dettaglio, il TAR ha ritenuto che:

«il legislatore, al dichiarato intento di tutelare i professionisti intellettuali nei rapporti contrattuali con "contraenti forti" ha espressamente previsto l'applicazione della legge anche nei confronti della Pubblica Amministrazione e ha riconosciuto la legittimazione del professionista all'imputazione del contratto, dell'esito della gara dell'affidamento qualora sia stato determinato un corrispettivo qualificabile come iniquo ai sensi della stessa legge», al fine di chiedere la rideterminazione del compenso nel rispetto dei parametri statuiti dal relativo decreto ministeriale di attuazione;

sulla base del dettato normativo dell'art. 8 del d.lgs. n. 36/2023, *«e Pubbliche Amministrazioni, salvo che in ipotesi eccezionali di prestazioni rese gratuitamente, devono garantire comunque l'applicazione del principio dell'equo compenso nei confronti dei prestatori d'opera intellettuale»*; non è necessario che nella documentazione di gara vi sia un esplicito e formale richiamo alla legge n. 49/2023, affinché possa ritenersi applicabile la disciplina dell'equo compenso alla procedura, in quanto ove la legge di gara nulla preveda a riguardo, essa va necessariamente letta in coerenza con tale disciplina, essendo, essa, sottratta **«alla disponibilità della stazione appaltante»** e contiene **«norme imperative»**;

il criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa in ragione del rapporto qualità/prezzo è da ritenersi applicabile anche dopo l'entrata in vigore della legge n. 49/2023, considerato che il "prezzo", di cui al citato criterio di aggiudicazione, è composto dal "compenso" del professionista e dalle "spese ed oneri accessori" (ai sensi di quanto statuito dal D.M. del 17/06/2016 e dal D.M. 140/2012) e che, pertanto, sono comunque ribassabili gli oneri di cui alla voce "spese ed oneri accessori";

ciò risulta compatibile con la normativa europea, in quanto *«escludere la proposizione di offerte economiche al ribasso sulla componente del prezzo rappresentata dai "compensi" non è un ostacolo alla concorrenza o alla libertà di circolazione e di stabilimento degli operatori economici, ma al contrario rappresenta una tutela per questi ultimi, a prescindere dalla loro nazionalità, in quanto permetterà loro di conseguire un corrispettivo equo e proporzionato anche da un contraente forte quale è la Pubblica Amministrazione e anche in misura superiore a quella che sarebbero stati disposti ad accettare per conseguire l'appalto»*;

il principio dell'equo compenso risulta, altresì, compatibile con il principio di uguaglianza di cui all'art. 3 della Costituzione, in considerazione dell'interesse generale perseguito.

Con una nota, inviata il 19 aprile al Ministero dell'Economia e al Ministero delle Infrastrutture, l'ANAC ha sostenuto che **«l'equo compenso non si applica agli appalti pubblici»**, in controtendenza rispetto ai principi contenuti nella citata sentenza del TAR Veneto. Tale posizione è stata poi in parte attenuata da una successiva nota, datata 23 aprile 2024, nella

quale «L'Autorità ritiene che “i due ambiti normativi (codice dei contratti pubblici e legge n. 49/2023) vadano adeguatamente coordinati tra loro, accedendo ad una soluzione interpretativa che eviti l'insorgere di contrasti».

Successivamente, è intervenuto il TAR Lazio Roma, Sez. V Ter, con la sentenza n. 8580 del 30 aprile 2024, che ha sancito:

«la legge n. 49/2023 non preclude l'applicabilità ai contratti in questione del criterio di aggiudicazione dell'offerta economicamente più vantaggiosa: il compenso del professionista è, infatti, soltanto una delle componenti del “prezzo” determinato come importo a base di gara, al quale si affiancano altre voci, relative in particolare a “spese ed oneri accessori”»;

«non si può ritenere che l'art. 41, comma 15, e l'all. I.13 al d.lgs. n. 36/2023 individuino nelle tariffe professionali i criteri per la determinazione del (solo) importo da porre a base di gara, non precludendo affatto l'applicabilità di un ribasso alla base d'asta così composta»;

«delle disposizioni da ultimo menzionate va, infatti, offerta un'interpretazione coerente con il richiamato art. 8 dello stesso d.lgs. n. 36/2023, ai sensi del quale, come detto, le pubbliche amministrazioni debbono garantire comunque l'applicazione del principio dell'equo compenso nei confronti dei prestatori d'opera intellettuale».

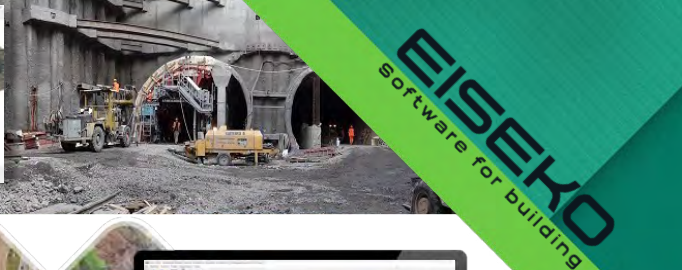
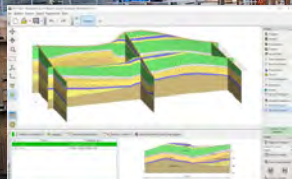
Infine, segnalo che:

l'Osservatorio bandi del Consiglio Nazionale degli Ingegneri ha condotto una analisi relativa agli affidamenti di servizi di ingegneria e architettura, sul periodo che va dal 1° luglio 2023 al 13 maggio 2024, con la verifica di 1954 bandi di gara, tracciando, quindi, un quadro dell'applicazione del principio in esame e rilevando che la maggior parte dei committenti pubblici applica correttamente le disposizioni del nuovo Codice dei contratti pubblici e della legge sull'equo compenso (74% del totale in automatico e un ulteriore 6% a seguito di segnalazioni);

l'ANAC, nella sua Relazione annuale alla Camera dei Deputati, del 14 maggio 2024, ha ritenuto che «... un altro profilo

che scoraggia la partecipazione degli operatori economici alle gare riguarda le modalità di quantificazione dei compensi, relativamente alle procedure di affidamento dei servizi di ingegneria e architettura, in relazione alla possibile violazione dei principi in tema di adeguata remunerazione delle prestazioni professionali ... ulteriori problematiche sono venute in rilievo con riferimento agli appalti di servizi di architettura e ingegneria, disciplinati dal d.lgs. n. 36/2023, prospettandosi dubbi interpretativi in ordine alle modalità di applicazione dell'equo compenso per le prestazioni professionali, come definito dalla legge n. 49/2023, e in particolare alla valenza da attribuire alle tabelle dei corrispettivi, contenute nel predetto decreto ministeriale del 17 giugno 2016, richiamate dall'Allegato I.13 dell'attuale Codice dei contratti, atteso il mancato coordinamento tra le citate norme primarie ... l'opportunità di valutare con attenzione il criterio di selezione dell'offerta da porre a base di gara e la legittimità della riduzione dell'importo a base di gara. In tale quadro di criticità va evidenziato che gli interventi di vigilanza di ANAC hanno comportato, in diversi casi, correzioni delle procedure effettuate in autotutela da parte delle stazioni appaltanti, consentendo di ricondurre gli affidamenti in corso nell'alveo dei principi di concorrenza sottesi alle procedure di gara. In prospettiva, grazie anche alle frequenti interlocuzioni con le associazioni di categoria che segnalano le criticità riscontrate nelle procedure di gara, l'Autorità intende potenziare, in un'ottica “correttiva”, il proprio intervento, per consentire di rimuovere tempestivamente le eventuali anomalie rilevate nei bandi di gara ...».

Il Consiglio Nazionale dei Geologi, anche nell'ambito delle attività svolte nella “Rete Professioni Tecniche” ed in “Professionitaliane”, sarà, quindi, ancor più impegnato a mettere in campo le necessarie azioni finalizzate al superamento delle difficoltà e dei ritardi che il reale stato dei fatti sta comportando per le procedure di affidamento dei servizi professionali e di conseguenza di progettazione e realizzazione delle opere pubbliche.



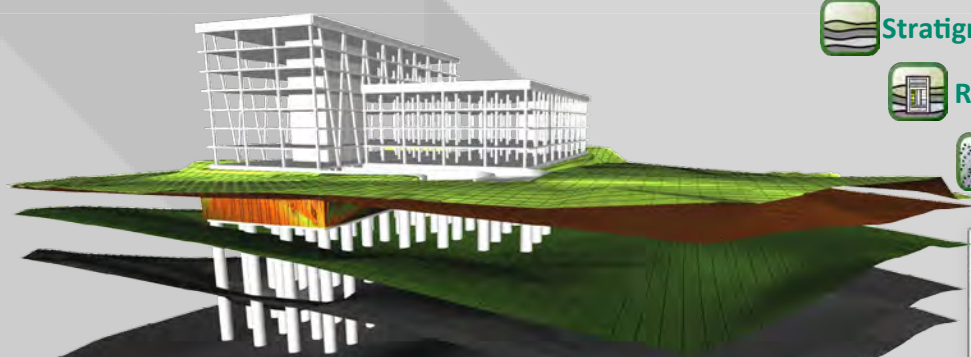
EISEKO
Software for building

GE05

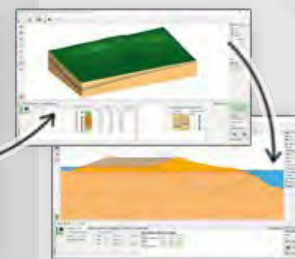
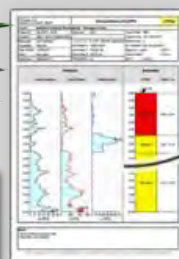
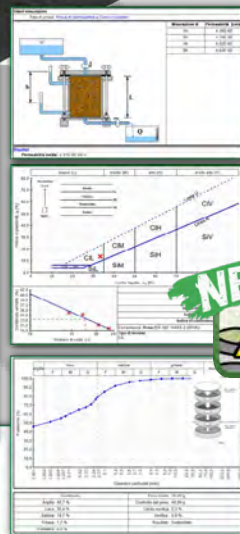
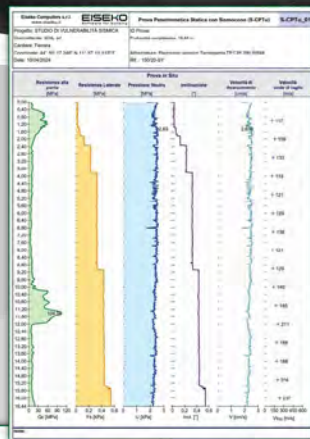
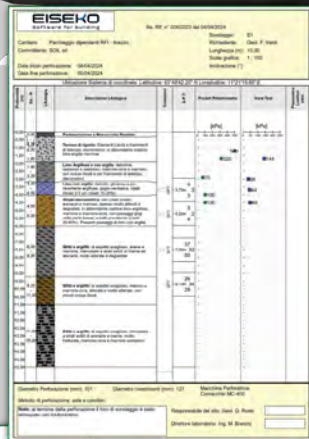
Software per la GEOLOGIA



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



- Stratigrafia
- Sezioni Geologiche
- Registro
- Movimento Terra
- Point Cloud
- Data Collector



Laboratorio

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



Richiedi la versione DEMO dei software

SCONTO RISERVATO



PER I LETTORI

EISEKO
Software for building

EISEKO COMPUTERS S.R.L.

Viale del Lavoro, 17

37036 - San Martino Buon Albergo (VR)

✉ informazioni@eiseko.it

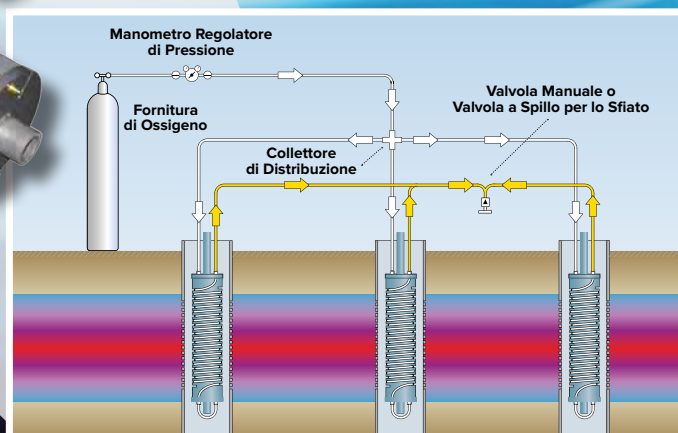
🌐 www.eiseko.it

☎ +39 045 8031894

**BONIFICA
IDROCARBURI**

WATERLOO EMITTER™

Immissione di gas in falda per attività di bonifica



Installazione multipla con Singola Fornitura di Gas

SISTEMA BREVETTATO PER IL RILASCIO DI OSSIGENO E ALTRI GAS AMMENDANTI PER DIFFUSIONE MOLECOLARE A BASSA PRESSIONE.

Applicazioni

- Rilascio di ossigeno per biorisanamento aerobico di BTEX, MTBE ed ETBE
- Rilascio di idrogeno per riduzione di solventi
- Introduzione di SF₆, He, Ar, ecc. per test di tracciamento
- Rilascio di CO₂ per attività di aggiustamento del pH
- Rilascio di alcani leggeri per attività di biodegradazione co-metabolica del MTBE
- Barriere contro la migrazione del plume e attività di correzione primaria

Vantaggi

- Facilità di installazione e rimozione
- Intera copertura del plume
- Minima manutenzione
- Nessuna perdita di gas ammendanti a causa di "bubbling"
- Nessuna sostanza pericolosa immessa in falda o prodotta
- Nessun liquame da mescolare, maneggiare o iniettare
- Sistema passivo che non necessita di energia elettrica

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



MISURE DI LIVELLO



CAMPIONAMENTO
LOW-FLOW



DATALOGGER
E TELEMETRIE



PROFILAZIONE
MULTILIVELLO

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.EGEOLAB.IT

Prospettive di utilizzo di acquiferi carsici pedemontani: il caso studio del Mandamento di Baiano (Appennino meridionale, Italia)

Prospective for using of piedmont karst aquifers: the case study of the Baiano District (southern Apennines, Italy)

A. Aquino | MIUR, Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca

P. Petrone | Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse
Email paola.petrone2@unina.it

M. Ginolfi | Università degli Studi del Sannio

C. Mazzarotti | Alto Calore Servizi S.p.A.

S. Rosamilia | Provincia di Avellino, Settore Ambiente

S. Aquino | Università Telematica Pegaso

V. Allocca | Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse
Email vincenzo.allocca@unina.it



Termini chiave: acquifero carsico pedemontano, bilancio idrologico, prove di pompaggio, qualità delle acque, Appennino meridionale

Keywords: piedmont karst aquifer, hydrological balance, pumping test, groundwater quality, southern Apennines

Abstract

The piedmont area situated within the administrative borders of Avella, Baiano, Mugnano del Cardinale, Quadrelle, Sirignano and Sperone municipalities, also called Mandamento of Baiano (Campania region), is of high hydrogeological interest. From a hydrogeomorphological point of view, this region is located between the Nola plain and the Avella Mountains and hosts a strategic piedmont karst aquifer. Although groundwater are used from a long time to supply water to local communities, there aren't water balance-based hydrogeological studies and a groundwater monitoring to ensure sustainable use of the water resource. The purpose of this paper is to characterize the piedmont karst aquifer to evaluate: i) the groundwater recharge through the hydrological balance; ii) the aquifer

productivity by pumping tests; iii) the hydrochemical quality of groundwater.

The results highlight that the piedmont karst aquifer is characterized by significant groundwater resources (annual recharge is about 0.90 m³/s), with a high groundwater quality and an aquifer productivity (transmissivity is the order of magnitude 10⁻¹-10⁻³ m²/s) among the highest in Italy.

The results open new perspectives for using piedmont karst aquifers of southern Apennines as supplementary groundwater resources or reserve for local water needs. However, in the case study of the Baiano District, current and future withdrawals must be authorized on the basis of an updated water balance of the Avella Mountains, from basin to local scale, implementing a continuous monitoring of groundwater, to avoid overexploitation and interference with shallow plain aquifer, urban areas and anthropogenic activities.

Riassunto

L'area pedemontana compresa tra i comuni di Avella, Baiano, Mugnano del Cardinale, Quadrelle, Sirignano e Sperone, denominata Mandamento di Baiano (Campania), è di notevole interesse idrogeologico. Questa regione, dal punto di vista idrogeomorfologico, è situata tra la piana di Nola ed il rilievo dei Monti di Avella ed ospita un importante acquifero carsico pedemontano. Sebbene le acque sotterranee siano utilizzate da tempo per l'approvvigionamento idrico delle comunità locali, mancano studi idrogeologici basati sul bilancio e monitoraggio per garantire un uso sostenibile della risorsa.

L'obiettivo di questo lavoro è quello di effettuare una caratterizzazione idrogeologica dell'acquifero carsico pedemontano per valutare: i) la ricarica delle acque sotterranee attraverso il bilancio idrologico; ii) la produttività locale dell'acquifero mediante prove di pompaggio; iii) la qualità idrochimica e microbiologica delle acque.

I risultati evidenziano che l'acquifero carsico pedemontano è caratterizzato da risorse idriche significative (la ricarica annua è mediamente pari a 0,90 m³/s), di elevata qualità idrochimica e microbiologica e la produttività locale dell'acquifero (la trasmissività è dell'ordine di 10⁻¹-10⁻³ m²/s) è tra le più alte in Italia.

I risultati aprono nuove prospettive sulla possibilità di utilizzo degli acquiferi carsici pedemontani dell'Appennino meridionale come risorse integrative e/o di riserva per i fabbisogni idrici locali. Tuttavia, nel caso studio del Mandamento di Baiano i prelievi attuali e futuri devono essere autorizzati sulla base di un bilancio idrico aggiornato dei Monti di Avella, dalla scala di bacino a quella locale, ed essere implementati mediante un monitoraggio continuo quali-quantitativo della risorsa, per evitare sovrasfruttamenti ed interferenze con la falda di piana, i centri abitati e le attività antropiche.

Introduzione

A scala globale, gli acquiferi carsici ospitano importanti risorse utilizzate per il consumo umano, l'industria e l'agricoltura (Goldscheider, 2012). In molte regioni del mondo svolgono un ruolo vitale per la conservazione degli ecosistemi fluviali e marino-costieri, ospitando patrimoni culturali e ambienti naturali con grande geo e biodiversità (Allocca et al., 2018; 2022; Goldscheider et al., 2020).

In Italia meridionale gli acquiferi carsici da sempre hanno rivestito un'importanza strategica per lo sviluppo

socioeconomico ed ambientale (Allocca et al., 2014; 2015). A partire dalla fine '800, le sorgenti carsiche hanno consentito di progettare e realizzare grandi opere idrauliche e infrastrutture acquedottistiche, per alimentare le grandi città, aree metropolitane e rurali (Allocca et al., 2007) costituendo un eccezionale volano di crescita e di miglioramento delle condizioni di vita delle popolazioni.

Sebbene le grandi sorgenti e falde siano, oggi, utilizzate dai grandi sistemi di rete regionali e interregionali, in talune aree carsiche pedemontane possono rinvenirsi volumi idrici che, per posizione altimetrica rispetto alle utenze e qualità delle acque, possono costituire una risorsa integrativa e/o di riserva di interesse locale. Infatti, le zone pedemontane caratterizzate da rocce carbonatiche e ampie fasce detritiche ospitano falde relativamente poco profonde che possono favorire gli interventi di captazione e ridurre i costi di gestione degli impianti. Per queste caratteristiche intrinseche, gli acquiferi carsici pedemontani dell'Appennino meridionale possono costituire una "nuova" risorsa da esplorare in futuro, anche allo scopo di mitigare gli effetti delle variazioni del regime sorgivo sulla disponibilità idrica nei periodi di magra e rendere più resilienti i sistemi di rete agli scenari di crisi connessi con il cambiamento climatico.

Tuttavia, studi idrogeologici basati sul monitoraggio qualitativo per valutare, per esempio, la potenzialità della risorsa, la produttività locale degli acquiferi e la qualità idrochimica delle acque sono necessari, per prevenire fenomeni di sovrasfruttamento e d'inquinamento e garantire una gestione sostenibile della risorsa, a scala locale e di bacino. L'obiettivo di questo lavoro è quello di caratterizzare l'acquifero carsico pedemontano del cosiddetto Mandamento di Baiano che, per caratteristiche idrogeomorfologiche, rappresenta un caso esemplificativo dell'Appennino meridionale. La caratterizzazione è stata espletata attraverso la valutazione della potenzialità della risorsa, la stima della produttività locale dell'acquifero e l'analisi della qualità idrochimica e microbiologica delle acque.

La parte restante del lavoro è strutturata come segue. Nel paragrafo 2 sono descritte le caratteristiche dell'area di studio, nel paragrafo 3 sono riportati i dati e metodi utilizzati per la caratterizzazione, nel paragrafo 4 e 5 sono sintetizzati i risultati e le conclusioni.

Descrizione dell'area di studio

L'acquifero carsico pedemontano del Mandamento di Baiano ricade nel settore nord-occidentale del rilievo dei Monti di Avella (Fig. 1a) e comprende i comuni di Avella, Baiano,

Mugnano del Cardinale, Quadrelle, Sirignano e Sperone (Fig. 1b).

I Monti di Avella rappresentano un rilievo montuoso tra i più estesi dell'Appennino meridionale, la cui superficie pari a circa 370 km² si estende su tutte e cinque le province della Campania. Dal punto di vista geologico il rilievo è costituito da una successione carbonatica di piattaforma di spessore pari a circa 2100 m, formata da calcari e calcari dolomitici cretaceo-giurassici e, subordinatamente, da dolomie triassiche, di ambiente di mare basso (Vitale e Ciarcia, 2018).

I versanti carbonatici, con pendenze di 30-35°, sono ricoperti da depositi piroclastici da caduta di origine vesuviana (Fusco et al., 2017) e da depositi detritici ed eluvio-colluviali. Numerose forme carsiche, sia epigee che ipogee, sono presenti sottoforma di conche endoreiche, grotte, polje e inghiottitoi, in varie zone del rilievo (Allocca et al., 2008; Allocca et al., 2014).

Dal punto di vista idrogeologico, i Monti di Avella rappresentano un acquifero strategico per l'intera regione Campania. Numerosi sono gli Enti pubblici, le società e i soggetti privati che captano, con grandi e piccole opere idrauliche,

le acque sotterranee per uso potabile, industriale, irriguo, igienico-sanitario, etc.. A scala di bacino, la falda di base defluisce verso NW, ossia verso l'abitato di Cancellò (Civita et al., 1978) dove scaturivano a quota di circa 30 m s.l.m. le sorgenti Calabritto e Mefito (8 e 9 in Fig.1a), e verso SW, ossia verso l'abitato di Sarno (Nicotera e Civita, 1969a, b; Celico, 1983) dove affiorano a quota di 26÷28 m s.l.m. le sorgenti Santa Maria La Foce, Mercato-Palazzo, Cerola, Santa Marina di Lavorate e San Mauro (10, 11, 12, 13 e 14 in Fig.1a). Lauro e Labso (15 e 16 in Fig.1a) che scaturiscono a quota di circa 190÷200 m s.l.m. nella valle del Solofrana sono altre due sorgenti basali, in collegamento con l'inghiottitoio della conca endoreica di Forino (Celico, 1983; Santo et al., 2008). A partire dalla fine degli anni '60, le sorgenti di Cancellò e Sarno (Fig. 1a) sono state captate mediante gallerie drenanti e campi pozzi in galleria per alimentare importanti sistemi acquedottistici regionali (Acquedotto Campano, GORI SpA, ABC Napoli). Nell'ambito del rilievo numerose sono anche le sorgenti di alta quota (Allocca et al., 2008) alcune delle quali captate mediante bottini di presa per l'alimentazione di acquedotti comunali o provinciali (Fig. 1a).

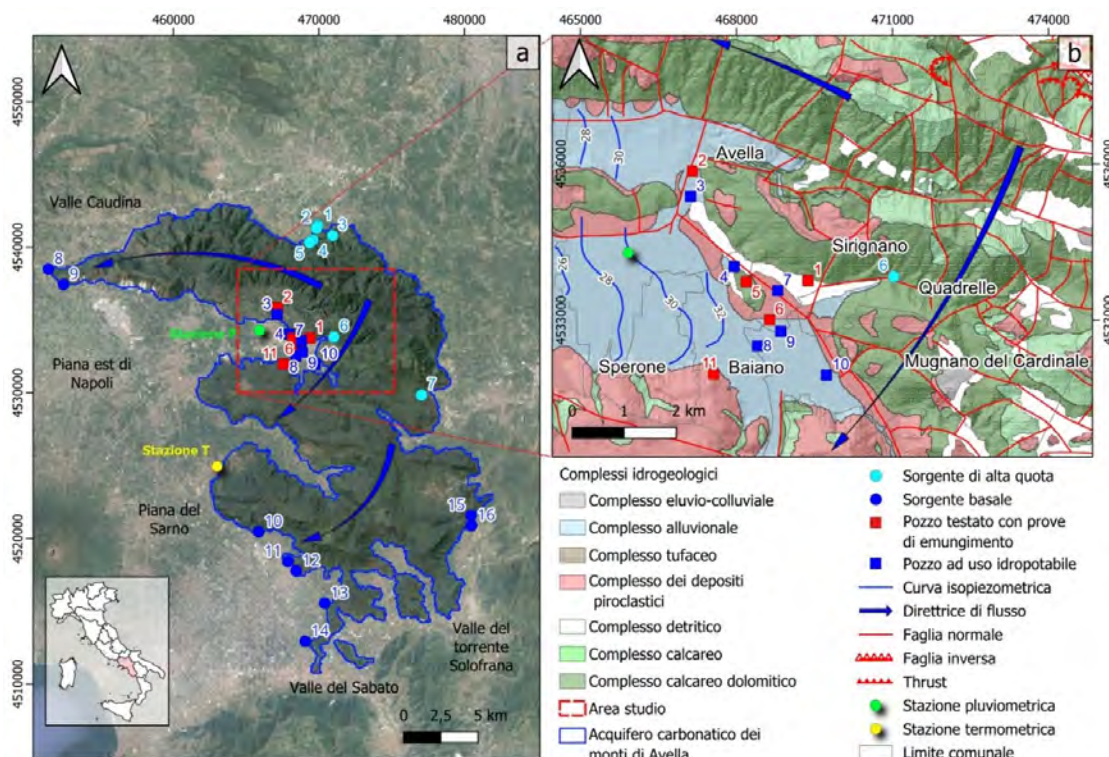


Fig. 1 - a) Schema di flusso a scala di bacino dell'acquifero carbonatico dei Monti di Avella, con ubicazione di sorgenti basali e di alta quota, pozzi e stazioni meteorologiche (stazione P e T). b) Mappa idrogeologica dell'acquifero carsico pedemontano del Mandamento di Baiano (De Vita et al., 2018 modificato)

L'area del Mandamento di Baiano (Fig. 1b), di superficie pari a circa 100 km², rappresenta per caratteristiche idrogeomorfologiche un tipico esempio di acquifero carsico pedemontano dell'Appennino meridionale. Essa è, infatti, caratterizzata da versanti calcarei e calcareo-dolomitici, ricoperti da depositi piroclastici ed eluvio-colluviali, con spessori fino a 6-8 metri lungo i versanti (De Vita et al., 2006; Fusco et al., 2017). Alla base dei rilievi, ampie fasce detritiche fanno da raccordo morfologico con i depositi alluvionali di piana. Localmente sono presenti numerose faglie (Fig. 1b) che, con orientazione NE-SW, SW-NE e N-S, dislocano il substrato carbonatico al di sotto dei depositi di piana.

Nella zona pedemontana, dati stratigrafici di pozzi profondi (Fig. 1b e 3) evidenziano una successione di depositi quaternari (prodotti piroclastici, con intercalazioni argillose, Tufo Grigio Campano, depositi detritici e ghiaioso-limosi) di spessore investigato fino a 96 m, poggiante direttamente su un substrato di rocce calcaree fratturate e carsificate (con spessore osservato fino a 350 m circa; pozzo 1 di Fig. 3) passanti verso il basso a dolomie.

L'area pedemontana ospita un importante acquifero carsico, la cui falda di base avente una profondità di qualche centinaio di metri dal p.c. (Fig. 3) è espressione locale della più estesa falda in rete dei Monti di Avella, che alimenta le sorgenti di Sarno. Infatti, sulla base del modello di flusso a scala di bacino (Fig. 1a), le acque sotterranee dirette verso SW in parte travasano verso i depositi di piana (Fig. 1b), in parte defluiscono verso le sorgenti di Sarno (Fig. 1a).

Nel Mandamento di Baiano numerose sono le utenze idriche che per scopo idropotabile (Fig. 1b) (es. Alto Calore Servizi SpA, acquedotti comunali), industriale e, subordinatamente, irriguo, captano le acque della falda di base dei Monti di Avella, mediante pozzi profondi.

Considerata l'importanza della risorsa e la crescita della pressione antropica sull'acquifero dei Monti di Avella negli ultimi decenni, è indispensabile una gestione coordinata che travalichi i confini distrettuali e provinciali, basata sul monitoraggio continuo quali-quantitativo delle acque sotterranee e sul bilancio idrico multi scalare (dalla scala di bacino a quella locale), che tenga conto di tutte le utenze idriche, per piccole e grandi derivazioni, in atto ed in progetto.

Dati e metodi

Bilancio idrologico

Per la stima della ricarica annuale dell'acquifero carsico pedemontano per il periodo 2008÷2022 è stato applicato

il codice di calcolo *Soil Water Balance* (SWB, versione 1.2) implementato dall'USGS (*United States Geological Survey*). Il codice SWB è stato implementato mediante la procedura di Figura 2, in un modello discretizzato (di estensione di circa 100 km²) in celle quadrate (o pixel) con risoluzione 10 m. L'algoritmo si basa sull'approccio modificato del bilancio idrico del suolo di Thornthwaite-Mather (Westenbroek et al., 2010) per calcolare il potenziale di ricarica delle acque sotterranee per ogni singola cella del modello, attraverso la seguente formula:

$$\text{Recharge} = (\text{precipitations} + \text{melting snow} + \text{inflow}) - (\text{outflow} + \text{ET} + \text{interception}) - \Delta \text{soil moisture}$$

dove *recharge (inches)* è la ricarica annuale; *precipitations (inches)* è l'apporto di acqua al suolo sottoforma di pioggia (giornaliera); *melting snow (inches)* è la quantità di acqua derivante dalla fusione della neve presente sulla superficie del suolo; *inflow (inches)* è l'apporto di acqua superficiale proveniente da aree esterne rispetto alla cella; *outflow (inches)* è il deflusso superficiale calcolato con il metodo del Curve Number (USDA, 1972); *ET (inches)* è il quantitativo d'acqua di evapotraspirazione reale stimato con il metodo di Thornthwaite e Mather (1955); *interception (inches)* è la quantità di pioggia che viene intercettata dalla vegetazione; $\Delta \text{soil moisture (inches)}$ è la variazione temporale della quantità di acqua nel suolo. L'applicazione del modello SWB richiede dati di ingresso sia in formato raster (ARC ASCII files) che tabulare (.txt). I dati raster sono stati generati in ambiente GIS e comprendono la mappa della *flow direction*, la mappa del *land use*, la mappa dell'AWC (*Available Water Capacity*), la mappa dell'HSG (*Hydrological Soil Group*). Inoltre, nel modello sono stati implementati dati tabulari meteorologici giornalieri di precipitazione e temperatura dell'aria minima e massima. I dati di pioggia (P) si riferiscono alla stazione di Avella e quelli di temperatura dell'aria (T) alla stazione di Palma Campania, entrambe gestite dal Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile Regione Campania (<http://centrofunzionale.regione.campania.it>). Infine, il codice utilizza un file di testo (.tvs) per associare ad ogni uso e tipo di suolo i parametri che non vengono specificati nel *grid* e che includono l'intercettazione, la profondità delle radici delle piante e il massimo tasso di ricarica.

Prove di pompaggio

Sono stati analizzati i dati di cinque prove di pompaggio condotte su singoli pozzi attestati nel substrato carbonatico

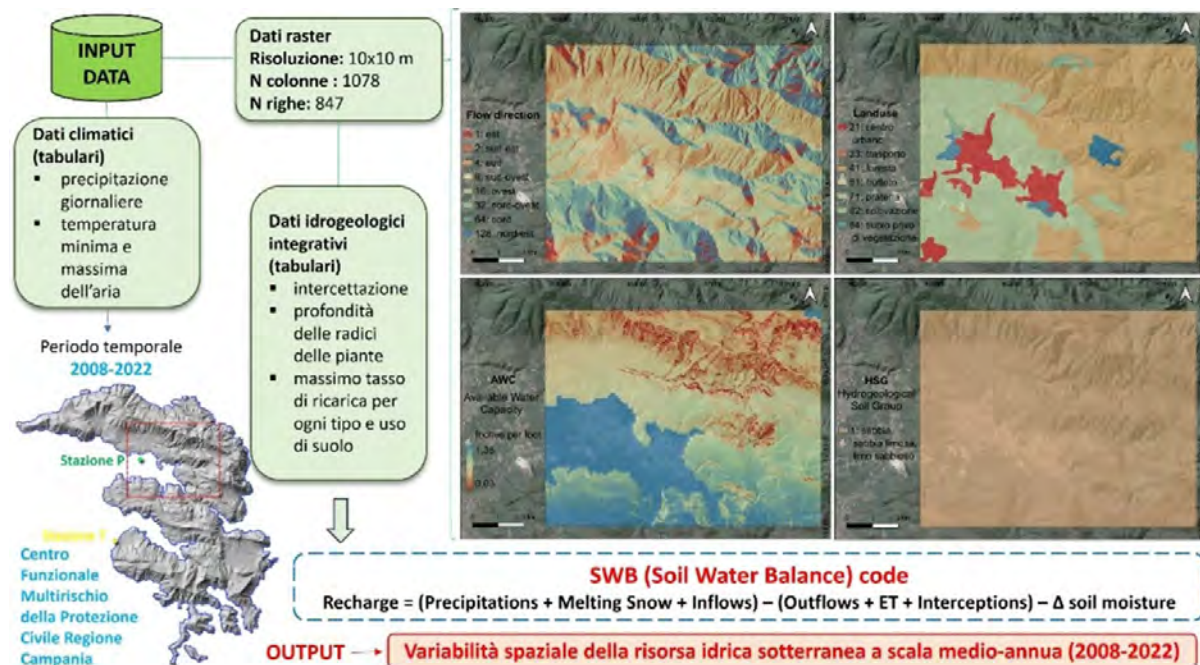


Fig. 2 - Flow chart del modello SWB implementato per la stima del bilancio idrologico

della zona pedemontana ed aventi una profondità fino a 348 metri dal p.c. (Fig. 1b). In Figura 3 sono riportate le stratigrafie dei singoli pozzi testati.

Le prove di pompaggio sono state effettuate in regime di equilibrio, a gradini crescenti di portata, misurando i tempi e le depressioni piezometriche fino alla stabilizzazione. La durata massima delle prove è stata di 70 ore (pozzo 2 in Fig. 3). I dati sono stati utilizzati per costruire la curva caratteristica del pozzo (Fig. 3), stimare la portata critica (Q_c), la portata ottimale del pozzo, la depressione critica (Δh_c) e la portata specifica (Q_s) del pozzo.

Sulla base di equazioni empiriche disponibili in letteratura (e.g. Valigi et al., 2021) è stato, inoltre, possibile ricavare il valore di trasmissività (T) dell'acquifero carsico, mediante l'equazione:

$$T = \alpha Q_s^\beta$$

dove Q_s è la portata specifica (m^2/s), derivata dal rapporto tra Q_c (m^3/s) e Δh_c (m), α e β sono costanti pari a 0.85 e 1.06, rispettivamente, ricavate per gli acquiferi carsici italiani (Valigi et al., 2021).

Qualità delle acque

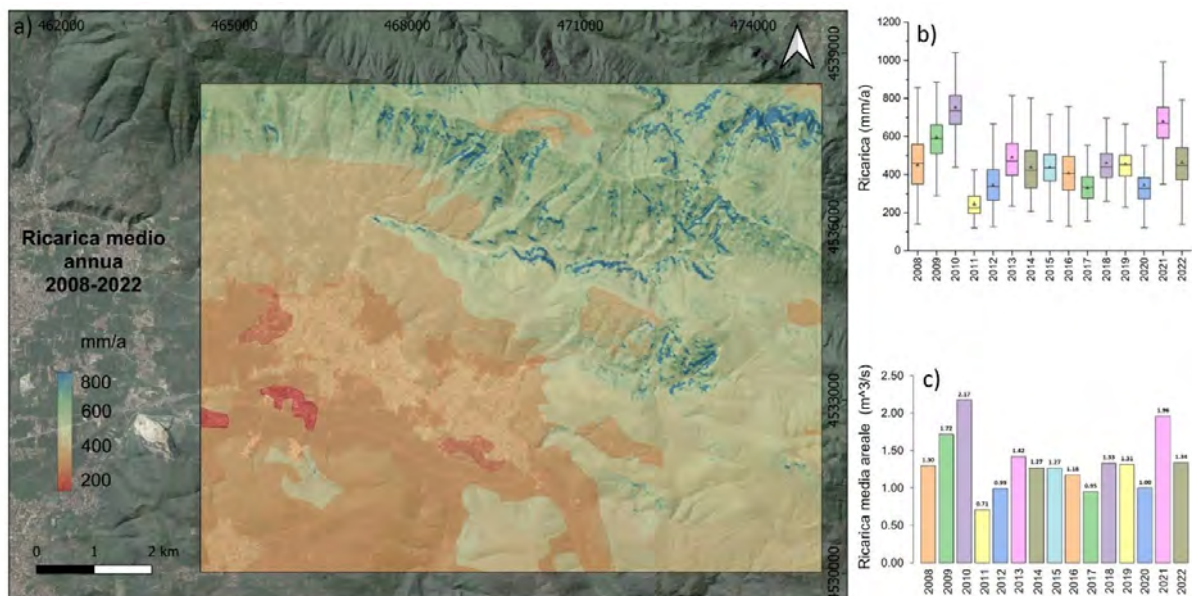
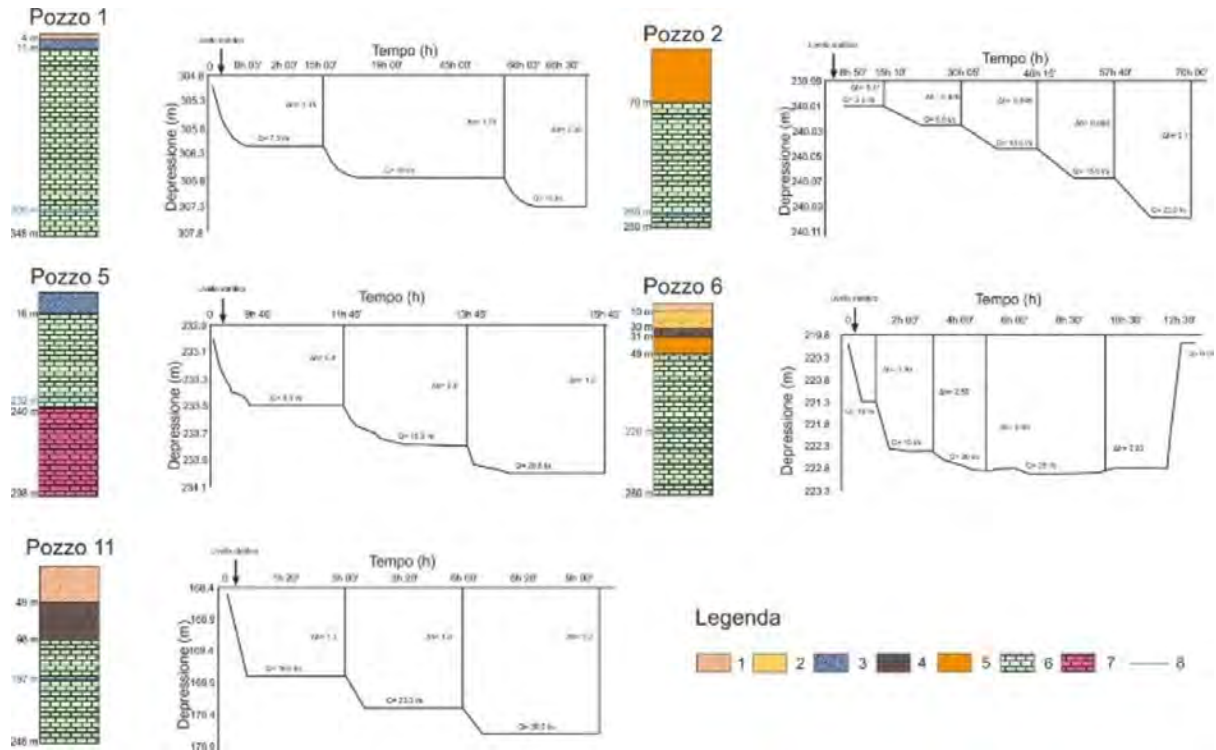
Sono stati analizzati i dati di analisi chimico-fisiche e microbiologiche di 8 punti d'acqua (7 sorgenti di alta quota e 1 pozzo profondo; Figg. 1 e 7) campionati con cadenza quadrimestrale, dal 2018 al 2023.

Al fine di valutare la qualità delle acque ed accertare l'idoneità per il consumo umano (D.L. 31/2001; D.Lvo 152/2006; D.Lvo 18/2023), in Tabella 1 sono riportati i 57 parametri chimico-fisici e microbiologici (33 elementi inorganici, 17 organici e 7 parametri microbiologici) e i relativi valori, minimi e massimi, monitorati negli ultimi 5 anni. Allo scopo di effettuare un confronto con il chimismo delle acque delle sorgenti basali di Cancellò e Sarno sono stati utilizzati i dati idrochimici disponibili in letteratura (Celico et al., 1980). Tutti i dati raccolti sono stati elaborati in ambiente Origin 2021 per la realizzazione di diagrammi di classificazione e comparazione di Piper e Schöeller-Berkaloff.

Risultati

Valutazione delle risorse idriche sotterranee

L'applicazione del metodo SWB ha fornito un modello spaziale della ricarica medio-annua (Fig. 4a) e la variazione annuale (Fig. 4b e 4c) per il periodo 2008-2022.



Parametri chimico-fisici e microbiologici	Valore di parametro	Unità di misura	Vulso	Fontana Stella		Trofa		Rieti		Santo Spirito		Bocca dell'Acqua		Acqua del Pero		Pozzo 1	Calabritto	Mefito	S. Maria la Fuce	Mercato Palazzo	Cerola	S. Marina di Lavarate
				2018-2020		2018-2020		2018-2022		2018-2022		2018-2023		2018-2023								
				min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max							
Temperatura	—	° C	12.70	11.70	12.30	10.60	11.30	10.40	11.40	10.50	11.20	10.7	10.7	8.70	10.00	14.40	13.50	14.00	11.00	12.00	13.40	13.00
Turbidità	—	NFU	0.76	0.36	0.77	0.47	1.00	0.33	1.43	0.24	1.15	1.15	1.48	0.55	4.94	3.68	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
pH	8.659 ± 0.50	unità pH	7.75	8.23	8.29	7.24	8.70	7.66	8.91	7.50	8.46	7.98	8.07	7.68	8.40	7.40	6.90	6.00	7.00	6.80	6.60	6.90
Conduttività elettrica	2500.00	microsiemens a 20°C	104.00	905.00	909.00	303.00	380.00	335.00	386.00	341.00	397.00	279.00	294.00	368.00	353.00	473.00	1246.00	847.00	459.00	663.00	1050.00	647.00
Ammonio	0.50	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Nitrito	0.50	mg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Nitrato	50.00	mg/l	1.90	2.66	3.40	1.80	3.10	1.00	3.40	0.75	3.80	2.97	2.97	13.40	26.00	13.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Durezza	≥ 15.00	°F	17.80	22.50	23.90	15.00	16.00	16.50	17.50	16.40	18.30	14.3	14.3	17.50	21.00	23.50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Calcio	≤ 30.00	mg/l	60.00	80.00	84.80	51.20	55.00	56.00	66.00	56.40	66.00	47.8	47.8	60.40	72.00	70.00	245.00	193.00	101.00	103.00	249.00	159.00
Magnesio	≤ 10.00	mg/l	6.20	6.60	6.20	3.60	6.70	2.40	6.20	2.40	6.20	5	5	4.90	9.00	14.40	59.00	31.00	27.00	26.00	66.00	33.00
Alcalinità	—	°F	20.50	23.50	24.00	17.60	19.00	15.00	19.80	19.80	21.00	13.40	14.40	13.60	28.00	28.30	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cloruro	250.00	mg/l	10.20	13.20	19.30	8.60	15.00	11.30	12.40	9.94	14.90	9.9	9.9	10.80	17.70	28.40	239.00	146.00	60.00	89.00	99.00	53.00
Solfato	250.00	mg/l	7.40	1.60	9.14	3.90	5.90	1.00	6.60	2.79	7.90	4.3	4.3	11.30	26.90	5.39	40.00	29.00	39.00	14.00	21.00	16.00
Fluoruro	1.50	mg/l	0.61	0.31	0.34	0.00	0.21	0.00	0.46	0.10	0.43	0.33	0.33	0.33	0.70	0.35	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Boro	1.50	mg/l	n.d.	<0.05	<0.05	0.34	0.00	0.14	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	<0.05	0.00	<0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cinque	50.00	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ossigeno	5.00	mg/l	1.04	0.98	1.00	0.80	0.90	0.64	1.04	0.64	1.28	1.20	1.60	0.32	1.30	1.20	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Riduzione ferro	—	mg/l	276.00	282.00	228.00	218.00	243.00	250.00	255.00	246.00	270.00	212	212	279.00	296.00	311.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Sodio	200.00	mg/l	10.20	12.90	12.90	8.40	9.80	7.54	9.20	7.14	9.10	7.9	7.9	11.95	15.95	n.d.	115.00	80.00	33.00	30.00	53.00	26.00
Alumina	200.00	mg/l	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	36	36	27.56	42.00	<20.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Potassio	—	mg/l	5.30	8.50	8.50	6.40	8.40	5.66	6.50	2.93	6.39	n.d.	n.d.	8.42	11.85	n.d.	12.00	10.00	8.00	10.00	11.00	
Vanadio	140.00	mg/l	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	5.10	5.99	<5.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cromo	25.00	mg/l	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Manganese	50.00	mg/l	<5.00	41.50	<5.00	<5.00	41.5	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ferro	200.00	mg/l	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Nichel	20.00	mg/l	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Rame	2.00	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Argento	10.00	mg/l	1.10	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Selenio	20.00	mg/l	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cadmio	5.00	mg/l	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Antimonio	10.00	mg/l	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Mercurio	1.00	mg/l	n.d.	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Piombo	5.00	mg/l	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Bromo (a) Fluoruro	0.01	mg/l	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Bromo (b) Fluoruro	—	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Iodio 123 (a) Perce	—	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Iodio (b) Perce	—	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Bromo (b) Fluoruro	—	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Iodocloro Polidici Anionici	0.10	mg/l	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cloruro di Sodio	0.50	mg/l	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cloruro di Sodio	—	mg/l	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Bromocloruro	—	mg/l	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Dibromocloruro	—	mg/l	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Bromoclorocloruro	—	mg/l	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Triclorocloruro	10.00	mg/l	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Triclorocloruro + Triclorocloruro	10.00	mg/l	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Triclorocloruro	1.00	mg/l	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cloruro di Sodio	1.00	mg/l	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cloruro di Sodio 27 °C	—	numeri variabili assoluti	164.00	12.00	30.00	10.00	26.00	7.00	67.00	13.00	50.00	6.00	14.00	13.00	16.00	247.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cloruro di Sodio 17 °C	—	numeri variabili assoluti	103.00	3.00	0.00	10.00	1.00	21.00	2.00	24.00	8.00	3.00	10.00	91.00	91.00	91.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Bromo cloruro 17 °C	—	numeri variabili assoluti	3.00	15.00	0.00	26.00	0.00	30.00	0.00	84.00	<1.00	7.00	61.00	3.00	3.00	3.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Iodocloro Clor</																						

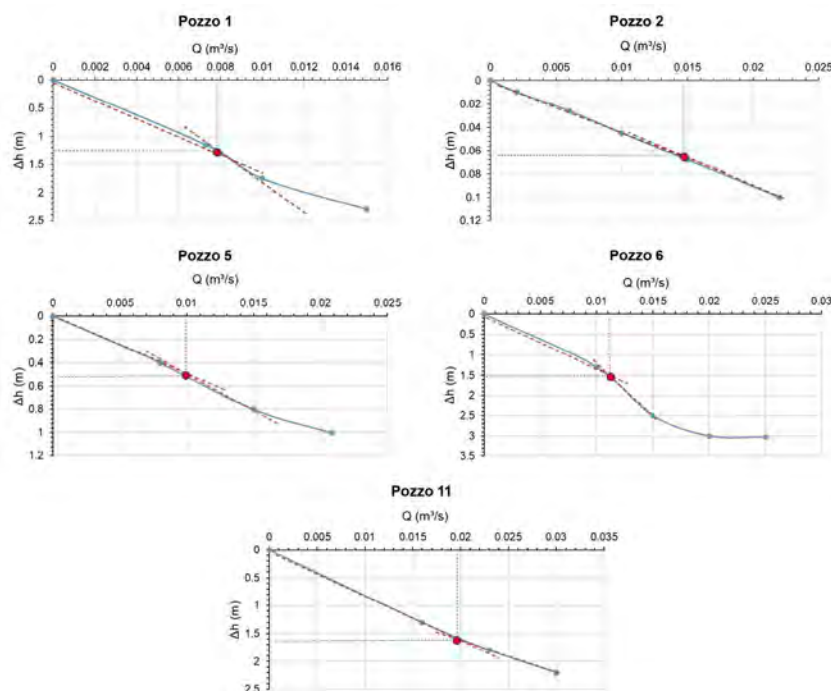


Fig. 5 – Curva caratteristica dei pozzi testati con indicazione della portata critica e dell'abbassamento critico (punto rosso)

altri pozzi evidenziano una buona resa; gli abbassamenti piezometrici critici sono contenuti (fino ad un massimo di 1,8 m), a fronte di portate di esercizio variabili da 5,3 a 11 l/s. Dal confronto con i valori di Q_c e T (Fig. 6) stimati per altri acquiferi carbonatici italiani (Fabbri, 1997; Valigi et al., 2021) si osserva che quelli stimati per l'acquifero carsico pedemontano del Mandamento di Baiano sono tra i più alti riscontrati a livello nazionale (Fig. 5) e coerenti con quelli già stimati in altri acquiferi carsici dell'Appennino meridionale (Celico, 1983; Allocca et al., 2007).

Prove di pompaggio

In Figura 5 sono riportate le curve caratteristiche dei pozzi (Fig. 1b), mentre in Tabella 2 sono indicati i valori di portata critica, abbassamento critico, portata specifica, trasmissività e portata ottimale di esercizio. Dall'analisi dei dati si evince, complessivamente, un'elevata produttività locale dell'acquifero carsico pedemontano. La portata specifica (Q_s) e la trasmissività (T) variano in un range molto ristretto, dell'ordine di 10^{-1} – 10^{-3} m²/s. Il valore più alto, dell'ordine di 10^{-1} m²/s, si osserva per il Pozzo 2 (Fig. 1b), per il quale con una portata ottimale di esercizio di 13,3 l/s si osserva un abbassamento critico è di appena 6,4 cm. Anche per gli

Qualità delle acque

Il diagramma di Piper (Fig. 7a) mostra che le acque sotterranee di tutti i campioni analizzati (sorgenti di alta quota, sorgenti basali e Pozzo 1) hanno una facies bicarbonato-alcalino-terrosa, a conferma della stessa natura e litologia della roccia-serbatoio. Il range ristretto di valori minimi e massimi mostrati in Tabella 1 per il periodo di monitoraggio 2018-2023 testimonia una discreta stabilità idrochimica (inter-annuale e stagionale). Il diagramma di Shöeller-Berkaloff (Figg. 7b e 7c) evidenzia che tra i vari elementi maggiori prevalgono (meq/l), per i cationi, il calcio, magnesio e il sodio, mentre per gli anioni, il

Pozzo	Portata critica (Q_c)	Abbassamento critico (Δh_c)	Portata specifica del pozzo (Q_s)	Trasmissività dell'acquifero (T)	Portata ottimale di esercizio
	l/s	m	m ² /s	m ² /s	l/s
1	8.5	1.8	4.72E-03	2.91E-03	7.60
2	14.8	0.064	2.31E-01	1.80E-01	13.30
5	5.9	0.48	1.23E-02	8.01E-03	5.30
6	11.0	1.5	7.33E-03	4.64E-03	9.90
11	19.5	1.6	1.22E-02	7.95E-03	11.00

Tab. 2 – Parametri idraulici del sistema acquifero-pozzo stimati attraverso le prove di pompaggio

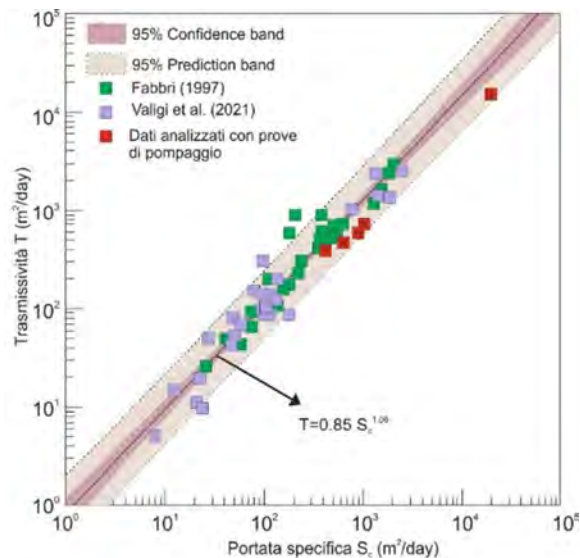


Fig. 6 - Confronto tra i valori Qs-T di prove di pompaggio eseguite in acquiferi carbonatici italiani (Fabbri, 1997; Valigi et al., 2021) e nei pozzi dell'area di studio

bicarbonato di calcio, i solfati e cloruri.

Dai dati di temperatura e conducibilità elettrica (Tab. 1) e dai profili idrochimici (Fig. 7b e 7c) si osserva che le acque delle sorgenti basali sono relativamente più calde e mineralizzate, rispetto alle acque delle sorgenti di alta quota, in linea con i tempi più lunghi di residenza delle acque all'interno dell'acquifero. Infine, dall'analisi di tutti i parametri inorganici, organici e microbiologici (Tab. 1)

è possibile constatare un'elevata qualità idrochimica e microbiologica di tutte le acque analizzate e l'idoneità delle stesse al consumo umano, tenuto conto che gli stessi valori misurati (minimi e massimi) per l'intero periodo di monitoraggio rientrano nei limiti imposti dalla normativa italiana (D.L.vo 31/2001; D.L.vo 152/2006; D.L.vo 18/2023).

Conclusioni

La caratterizzazione dell'acquifero carsico pedemontano del Mandamento di Baiano ha fornito interessanti risultati riguardanti le caratteristiche idrogeologiche e qualitative delle acque sotterranee.

A scala locale, il *Soil Water Balance* ha evidenziato un'infiltrazione medio-annua pari a $2.86 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$, equivalente a circa $0.90 \text{ m}^3/\text{s}$. Per il periodo 2008÷2022 è stata osservata una significativa variabilità inter-annuale (valori minimi di ricarica fino a $0.71 \text{ m}^3/\text{s}$), legata alle variazioni climatiche inter-annuali, di cui bisogna tener conto per evitare crisi idriche e sovrasfruttamenti della risorsa.

Il modello di flusso a scala di bacino evidenzia che le acque sotterranee del Mandamento di Baiano in parte travasano verso i depositi di piana, in parte defluiscono verso le sorgenti di Sarno.

Le prove di pompaggio, condotte su cinque pozzi profondi attestati nel substrato carbonatico pedemontano, hanno evidenziato un'elevata produttività locale dell'acquifero. I valori di portata specifica e trammissività, dell'ordine di 10^{-1} ÷ $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, sono tra i più alti in Italia e in Appennino meridionale.

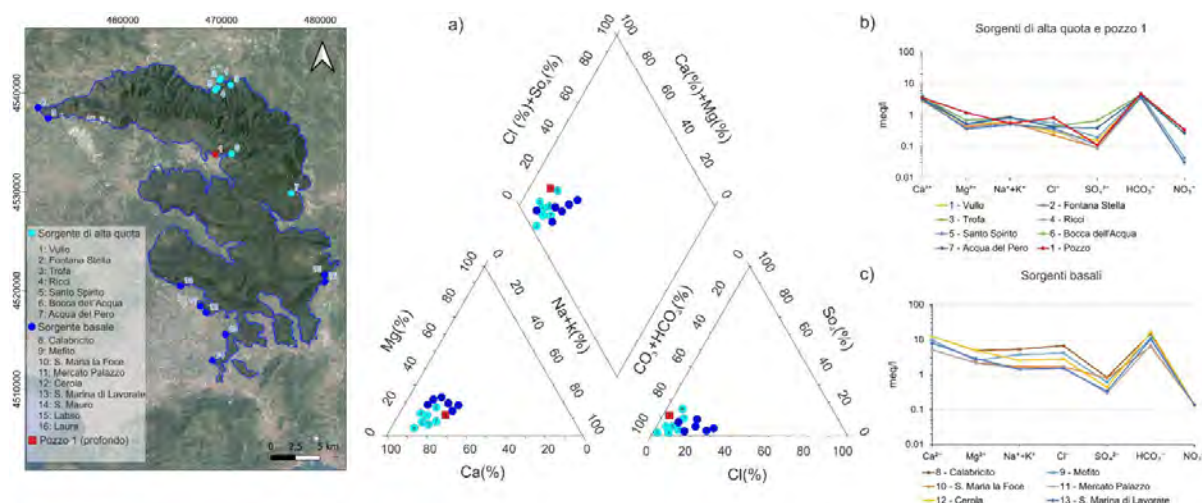


Figura 7 – a) Diagramma di Piper dei campioni analizzati; b) Diagramma di Shöeller-Berkaloff dei campioni di acqua analizzati delle sorgenti di alta quota e del Pozzo 1; c) Diagramma di Shöeller-Berkaloff dei campioni di acqua analizzati delle sorgenti basali (Celico et al., 1980).

Le analisi chimico-fisiche e microbiologiche, effettuate dal 2018 al 2023, su 7 sorgenti di alta quota e un pozzo profondo hanno evidenziato la presenza di acque di ottima qualità, aventi un chimismo bicarbonato-calcico tipico degli acquiferi carbonatici dell'Appennino meridionale. I valori minimi e massimi dei parametri inorganici, organici e microbiologici monitorati rientrano nei limiti della normativa italiana per le acque da destinare al consumo umano.

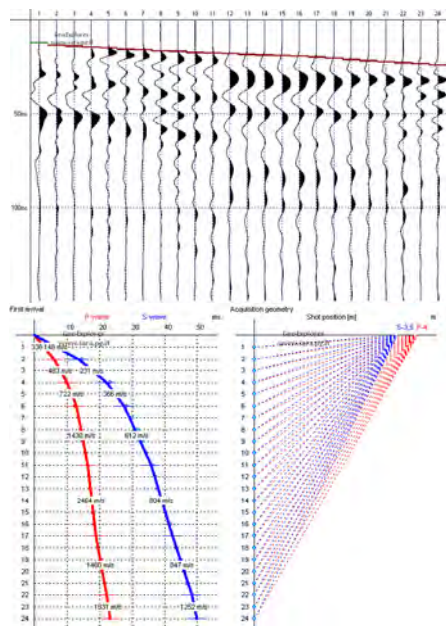
I risultati aprono nuove prospettive sulla possibilità di utilizzo degli acquiferi carsici pedemontani dell'Appennino meridionale come risorse integrative e/o di riserva per i fabbisogni idrici locali, mitigare gli effetti delle variazioni del regime sorgivo sulla disponibilità idrica nei periodi di magra e rendere più resilienti i sistemi di rete agli scenari di crisi connessi con il cambiamento climatico. Nel caso studio del Mandamento di Baiano, tuttavia, i prelievi in atto e futuri dovranno tener conto del bilancio idrico dell'acquifero dei Monti di Avella, dalla scala di bacino a quella locale, e devono essere implementati attraverso un continuo monitoraggio quali-quantitativo della risorsa, per prevenire fenomeni di sovrasfruttamento ed interferenze con le acque di piana, i centri abitati e le attività antropiche.

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano l'Alto Calore Servizi SpA e i Comuni del Mandamento di Baiano per aver la disponibilità e condivisione di dati delle analisi chimico-fisiche e microbiologiche e delle prove di pompaggio.

Bibliografia

- Allocca V., Celico F., Celico P., De Vita P., Fabbrocino S., Mattia C., Monacelli G., Musilli I., Piscopo V., Scalise A. R., Summa G., Tranfaglia G., 2007. *Note illustrative della Carta Idrogeologica dell'Italia Meridionale*. Mem. Ist. Pol. Zecca Stato, 1-211 (2007), ISBN 88-448-0215-5.
- Allocca V., Aquino S., Esposito L., Celico P., 2008. *Le acque sotterranee dell'Irpinia (Italia meridionale): stato delle conoscenze e prospettive future*. L'ACQUA, 6 (2008), 39-66.
- Allocca V., Manna F., De Vita P., 2014. *Estimating annual groundwater recharge coefficient for karst aquifers of the southern Apennines (Italy)*. Hydrology and Earth System Sciences 18(2), 803-817.
- Allocca V., De Vita P., Manna F., Nimmo J.R., 2015. *Groundwater recharge assessment at local and episodic scale in a soil mantled perched karst aquifer in southern Italy*. Journal of Hydrology, 529(2015), 843-853.
- Allocca V., Marzano E., Tramontano M., Celico F., 2018. *Environmental impact of cattle grazing on a karst aquifer in the southern Apennines (Italy): quantification through the grey water footprint*. Ecological Indicators, 93, 830-837.
- Allocca V., Marzano E., Tramontano M., Celico F., 2022. *The Impact of Cattle Grazing on Recreational Ecosystem Services in a Park Area: a Gray Water Footprint Assessment*. Journal of Environmental Accounting and Management 10(3) (2022) 269-278.
- Celico P., de Riso R. 1978. *Il ruolo della Valle Caudina nella idrogeologia del Casertano e del Sarnese (Campania)*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl., 14, 1-25, Napoli.
- Celico P., De Gennaro M., Ferreri M., Ghiara M., Russo D., Stanzione D., Zenone F., 1980. *Il margine orientale della Piana Campana: indagini idrogeologiche e geochimiche*. Period. Miner. 49, 241-270.
- Celico P., 1983. *Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centromeridionale (Marche e Lazio meridionale, Abruzzo, Molise e Campania)*. Quaderni della Cassa per il Mezzogiorno, 4/2, 1-203, Roma.
- Civita M., de Riso R., Nicotera P., 1970. *Sulla struttura idrogeologica alimentante le sorgenti del Fiume Sarno e le falde pedemontane profonde della parte sud-orientale della Conca Campana*. Atti I Conv. Intern. Acque Sott., IAH, 1-24, Palermo.
- Fabbri P., 1997. *Transmissivity in the geothermal Euganean Basin: a geostatistical analysis*. Ground Water (1997), 35, 881-887.
- De Vita P., Agrello D., Ambrosino F., 2006. *Landslide susceptibility assessment in ash-fall pyroclastic deposits surrounding Mount Somma-Vesuvius: Application of geophysical surveys for soil thickness mapping*. Journal of Applied Geophysics 59(2), 126-139.
- De Vita P., Allocca V., Celico F., Fabbrocino S., Mattia C., Monacelli G., Musilli I., Piscopo V., Scalise A.R., Summa G., Tranfaglia G., Celico P. 2018. *Hydrogeology of continental southern Italy*. Journal of Maps, 14:2, 230-241.
- Fusco F., Allocca V., De Vita P., 2017. *Hydro-geomorphological modelling of ash-fall pyroclastic soils for debris flow initiation and groundwater recharge in Campania (southern Italy)*. Catena 158 (2017) 235-249.
- Goldscheider N., 2012. *A holistic approach to groundwater protection and ecosystem services in karst terrains*. Aquat. Mundi Am., 2012, 06046, 117-124.
- Goldscheider N., Chen Z., Auler A.S., Bakalowicz M., Broda S., Drew D., Hartmann H., Jiang G., Moosdorf N., Stevanovic Z., Veni G., 2020. *Global distribution of carbonate rocks and karst water resources*. Hydrogeology Journal (2020) 28:1661-1677.
- Nicotera P., Civita M. 1969a. *Ricerche idrogeologiche per la realizzazione delle opere di presa delle sorgenti Mercato e Palazzo in Sarno (Campania)*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl. (1969), Vol. 11, 1-59, Napoli.
- Nicotera P., Civita M. 1969b. *Indagini idrogeologiche per la captazione delle sorgenti S. Marina di Lavorate (Sarno)*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl. (1969), Vol. 11, 1-50, Napoli.
- Santo A., Prete, S., Giulivo L., 2008. *Nuove ipotesi sulla formazione dei piping sinkhole in aree alluvionali: il caso della piana di Forino (Avelino, Campania)*. Alpine and Mediterranean Quaternary 21.2: 395-408.
- Thornthwaite C.W., Mather, J.R., 1955. *The Water Balance*. Publ. Climatol. Drexel Institute of Climatology, Centerton, New Jersey, 8.1: 1-104.
- USDA, 1972. *Soil Conservation Service, National Engineering Handbook*. Hydrology Section 4 Chapters 4-10, Washington, D.C: USDA.
- Valigi, D., Cambi, C., Checucci, R., Di Matteo, L. 2021. *Transmissivity Estimates by Specific Capacity Data of Some Fractured Italian Carbonate Aquifers*. Water, 13(10), 1374.
- Vitale S., Ciarcia S., 2018. *Tectono-stratigraphic setting of the Campania region (southern Italy)*. Journal of Maps, 14:2: 9-21.
- Westenbroek S.M., Kelson V.A., Dripps W.R., Hunt R.J., Bradbury K.R. 2010. *SWB - A modified Thornthwaite-Mather Soil-Water-Balance code for estimating groundwater recharge*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods, Book 6-A31, 60 p.



SS-DH

Nuovo sensore downhole

- cinque assi
- utilizzabile con pozzi da 2 a 5 pollici
- azionamento elettrico
- sonda distaccabile

GEOEXPLORER DH

Completo software per elaborazione prove downhole.
Richiedete una demo!

**GEOFISICA, MONITORAGGIO,
INGEGNERIA CIVILE**

Offriamo una vasta gamma di soluzioni
consultate le nostre pagine web.

Via Angelo Morettini, 11 06128 Perugia
+39 075 5051014
www.sara.pg.it - info@sara.pg.it



- 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 Datares-10



3D/5D - 3D Twin Borehole Geophone



P/S Wave Borehole Energy Source



Borehole Deviation Probe



Atlante: l'Italia dei terremoti. L'azzardo sismico delle città. Il Sud, il Centro e il Nord visti da vicino

Atlas: Italy, earthquake country

Seismic hazard of Italian cities. The South, the Center and the North of Italy seen up close

Emanuela Guidoboni | INGV - Dipartimento Terremoti, Roma; Centro EEDIS - Eventi Estremi e Disastri

Gianluca Valensise | INGV - Dipartimento Terremoti, Roma



Termini chiave: Atlante, terremoti, città storiche, rischio sismico, Protezione Civile

Keywords: Atlas, earthquakes, historical cities, seismic risk, Civil Protection

Abstract

We resume the analysis of the **Atlas of seismic hazard of Italian cities** of Italian cities, a large effort dedicated to informing and developing an awareness of the threat posed by earthquakes. In this article, attention is paid to the description of the largest earthquakes that hit the cities of the South and those of the Center and North of Italy, as well as the systematic examination of the effects they caused and the of the initiatives undertaken for the recovery, reconstruction or relocation of settlements. The text uses only material taken from the Atlas, providing the necessary references for readers who wish to consult the two printed volumes comprising the work. For references please refer to the Atlas.

Riassunto

Riprendiamo l'esame dei contenuti dell'ATLANTE **L'azzardo sismico delle città**, un'opera innovativa di divulgazione e di orientamento sul tema sismico. In questo articolo l'attenzione è rivolta alla descrizione dei principali terremoti che hanno colpito le città del Sud e quelle del Centro e del Nord, oltre che all'esame sistematico degli effetti che questi eventi hanno causato e delle iniziative intraprese per il recupero, la ricostruzione o lo spostamento degli

insediamenti. Il testo utilizza solo materiale tratto dall'ATLANTE e contiene riferimenti utili a proseguire la lettura sui due volumi che compongono l'OPERA. Per la bibliografia si rimanda ai due volumi dell'Atlante.

1. Premessa

Questo secondo contributo su *L'azzardo sismico delle città* fa seguito a un primo articolo di presentazione generale dell'ATLANTE del CNI, pubblicato sul numero 02-2023 di questa stessa rivista. Nel precedente contributo abbiamo descritto l'opera nella sua generalità, delineando lo scopo dell'opera e richiamando alcune delle questioni fondamentali su cui l'ATLANTE cerca di fare luce: dai metodi usati per valutare la pericolosità sismica, alla vulnerabilità del patrimonio monumentale e abitativo italiano, alla consapevolezza di tale vulnerabilità e alle azioni di mitigazione del rischio sismico messe in campo a partire dall'Unità d'Italia (e in qualche caso anche prima), anche per sottolinearne l'attuale urgenza.

In questo secondo contributo illustriamo il nucleo vero e proprio dell'ATLANTE, ovvero la descrizione degli effetti che i terremoti hanno causato in 61 città del Sud e 56 del Centro e del Nord, selezionate secondo due criteri: una dimensione demografica dai 30.000 abitanti in su, e l'aver già subito almeno una volta effetti di VIII grado MCS o superiore.

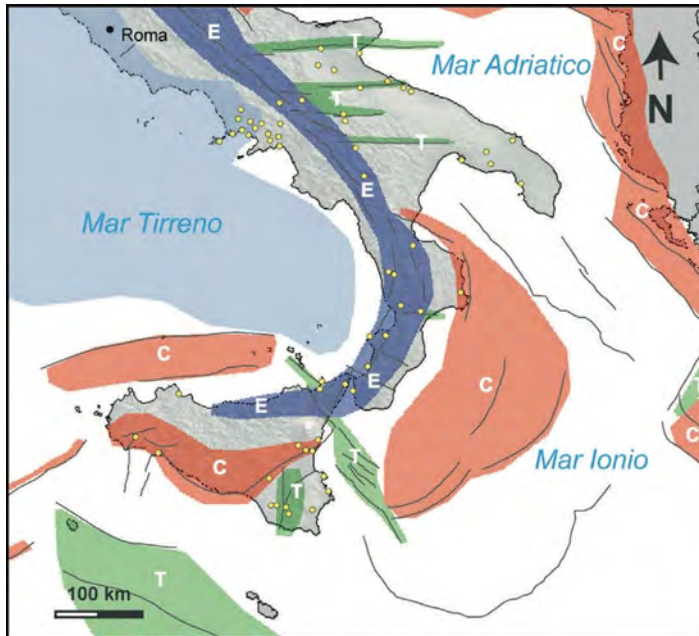


Fig. 1 – La sismogenesi del Sud e la grande diversità dei domini sismotettonici dell'Italia meridionale. In rosso il dominio compressivo (C), in blu il dominio estensionale (E), in celeste il dominio di *rifting* del bacino Tirrenico, in verde quello trascorrente (T). I sistemi di faglie sismogenetiche sono mostrati in grigio (ATLANTE, Sud, da P. Vannoli, pag. 19).

Questi dati si completano con la presentazione sintetica dei terremoti più forti che hanno colpito l'Italia: 49 nel Sud, quasi tutti distruttivi, e 68 nel Centro e nel Nord, dove gli effetti sono stati in genere mediamente meno devastanti, ma non per questo meno gravi. L'arco di tempo considerato va dal mondo antico al 2016, anno dell'ultimo disastro sismico che ha colpito il nostro Paese. Per capire la *ratio* che ha informato l'ATLANTE rimandiamo quindi il lettore al precedente articolo.

Il percorso qui seguito ha una logica geografica e tematica e riguarda aree sismiche note e meno note: sono soprattutto queste ultime a richiedere una maggiore sottolineatura, perché la limitata o mancata consapevolezza di vivere in una zona sismica è proprio uno dei principali problemi evidenziati nell'ATLANTE.

Questo percorso inizia dal Sud dell'Italia (primo volume) e prosegue con il Centro e il Nord (secondo volume). Sin dalla scuola dell'obbligo in genere si apprende che in Italia i forti terremoti avvengono soprattutto al Sud, ed è in queste aree che si concentrano le città la cui storia è stata più duramente segnata da disastri sismici ed eventi naturali catastrofici, incluse le eruzioni vulcaniche e i maremoti. Ma l'ATLANTE sfata diversi miti, riguardo all'impatto dei terremoti in Italia e soprattutto riguardo al grado di *preparazione sismica* delle diverse comunità.

Con le sue oltre mille pagine complessive, l'ATLANTE rappresenta una fonte estesa e approfondita di informazioni, dati, elaborazioni originali, analisi e confronti su molte delle tematiche della sismologia contemporanea, ma anche sulle dinamiche insediative e sull'evoluzione urbanistica del territorio italiano attraverso la sua storia. Questi temi sono qui delineati attraverso alcuni casi significativi, e il lettore potrà esplorare direttamente nei due volumi gli innumerevoli esempi di ricostruzione e di trasformazione di città e di reti insediative modificate dopo forti terremoti, oltre che di interazione tra gli insediamenti colpiti e l'ambiente naturale: si può affermare che tali esempi inducono a vedere con altri occhi le realtà attuali. L'obiettivo ultimo dell'ATLANTE

è infatti di aumentare la conoscenza dei caratteri sismici delle nostre aree urbane, perché solo conoscendoli si può essere più consapevoli e responsabili di un rischio dal quale ci si può e ci si deve difendere.

Con la sola eccezione delle mappe di distribuzione della sismicità, tratte dal catalogo CFTI5Med (Guidoboni et al., 2018), tutte le immagini qui inserite sono tratte dall'ATLANTE: per ognuna viene fornito il riferimento esatto al volume di provenienza e alla relativa pagina, dove potrà essere reperita anche la citazione bibliografica completa.

2. Il Sud: una storia marcata da terremoti ed eruzioni

Il volume riguardante il Sud si apre con un articolo di Paola Vannoli, che descrive dove e perché avvengono i terremoti che colpiscono le regioni dell'Italia meridionale e la Sicilia. Il testo documenta la grande diversità dei domini sismotettonici di questa regione: una porzione cruciale del Mediterraneo centrale, un'area relativamente piccola, ma nella quale sono attivi simultaneamente tutti i processi geodinamici che hanno dato forma a questo bacino negli ultimi dieci milioni di anni. (Fig. 1). Tra tali processi domina certamente l'estensione che caratterizza tutta la catena appenninica, seguendone l'asse attraverso l'Italia centrale e meridionale fino allo Stretto di Messina, e poi in Sicilia settentrionale. Secondo in ordine di importanza è il processo di progressiva dissezione dell'area di avampaese

Fig. 2 - Localizzazione delle 61 città dell'ATLANTE Sud, selezionate secondo due criteri: una dimensione demografica dai 30.000 abitanti e oltre, e l'aver già subito almeno una volta effetti di VIII grado MCS o superiore. Da ATLANTE, Sud, pag. 8.

posta e est e nordest dell'Appennino meridionale, dove domina una tettonica che si esplica attraverso faglie profonde con cinematica trascorrente destra; un processo che si è iniziato a comprendere chiaramente solo a seguito del terremoto di San Giuliano di Puglia (CB) del 2002, e che è poi servito come *template* per reinterpretare i due più forti terremoti italiani (1456 nell'Appennino meridionale e 1693 nella Sicilia sud-orientale) come risposta diretta alla spinta tuttora esercitata dal moto relativo tra Placca Africana e Placca Euroasiatica.

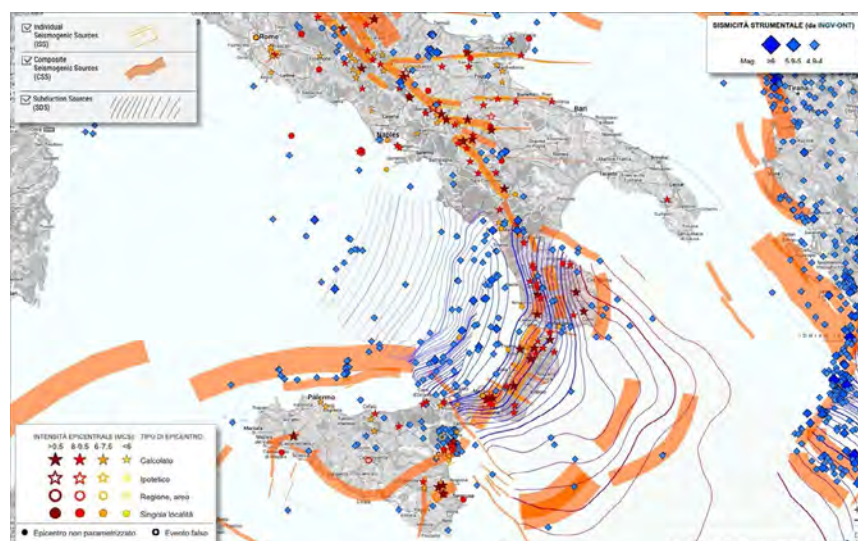
L'ATLANTE documenta attraverso numerosi esempi e schede di approfondimento come forti terremoti e grandi eruzioni abbiano interessato il Sud e come questo carattere sia fortemente connaturato con l'evoluzione storica delle regioni e delle città meridionali, fino a diventarne parte inscindibile.

2.1. Città del Sud e forti terremoti rari

La Figura 2 mostra la distribuzione geografica delle 61 città prese in esame nell'ATLANTE Sud, elencate nella Tabella 1. È interessante rilevare che assieme a città la cui sismicità distruttiva è nota, vi sono città che ricadono oggi in Zona 3 o anche Zona 4, ovvero in classi a pericolosità sismica molto bassa, pur avendo subito storicamente effetti macrosismici fino al grado VIII della scala di intensità MCS



(Mercalli-Cancani-Sieberg), come ad esempio Brindisi. Questo indica che in tali città i forti scuotimenti sono rari ma possibili, ed è solo grazie alla eccezionale lunghezza della storia sismica dell'Italia che queste circostanze possono essere messe chiaramente in evidenza e suonare come veri e propri campanelli d'allarme. Sono città in prevalenza della regione Puglia, un'area considerata scarsamente sismica e generalmente 'tranquilla', ma che invece è stata in passato fortemente coinvolta in eventi distruttivi, come l'ATLANTE mostra con autorevoli riferimenti e documentazione (si veda anche oltre).



2.2. La sismicità storica e strumentale

La Figura 3 mostra la distribuzione geografica dei forti

Fig. 3 - Sismicità del Sud, tratta dal Catalogo dei Forti Terremoti (CFT15Med). Sono mostrati anche i terremoti di ML 4.0 e superiore registrati dalla Rete Sismica Nazionale dell'INGV tra il 1° gennaio 1985 e il 31 dicembre 2023 (<http://terremoti.ingv.it>) e le sorgenti sismogenetiche Composite (CSS, in arancione), Individuali (ISS, gialle) e di Subduzione (SDS, isolinee blu) tratte dal database DISS 3.3.0 (<https://diss.ingv.it>).

terremoti dell'Italia meridionale: essa include i 49 terremoti selezionati nell'ATLANTE SUD, elencati nella Tabella 2. Per ogni terremoto sono indicati la magnitudo-momento (M_w), l'intensità epicentrale (I_0) e il numero di punti di intensità disponibili per il calcolo dei parametri dell'evento.

2.3. Alcuni focus sul Sud

In questa sezione presentiamo alcuni spunti tematici che riguardano le città del Sud, selezionati e illustrati con il supporto di immagini specifiche.

Terremoti forti ma rari

Un primo tema riguarda terremoti che sono certamente *forti*, ma soprattutto molto *rari*, e come tali rendono bassa la pericolosità locale: non perché tali eventi non siano stati distruttivi, ma perché la pericolosità stimata per via probabilistica, come prevede la normativa vigente in Italia e in quasi tutto il mondo, è sensibile alla *frequenza* degli eventi più che alle loro dimensioni.

Un esempio emblematico è quello di Francavilla Fontana (Brindisi), una delle numerose località del Salento che il 20 febbraio 1743 furono colpite da un forte terremoto la cui corretta localizzazione – quasi certamente in mare aperto – è ancora molto incerta, e la cui magnitudo è stimata pari a 6,9. Francavilla Fontana attualmente è in Zona 4, e ha quindi una pericolosità da normativa tra bassa e molto bassa: ma fu estesamente danneggiata dal terremoto del 1743, con effetti valutati del grado VIII MCS. Il fortissimo scuotimento lasciò “tutti sconvolati e a terra” i principali palazzi della nobiltà locale, allineati su via del Carmine (Fig. 4).

Il terremoto del 1743 è l'unico forte terremoto noto nel Salento, una delle regioni sismicamente più tranquille d'Italia: fu quindi come un “fulmine a ciel sereno” per gli abitanti dell'area, dove furono molti i paesi gravemente danneggiati. La popolazione partecipò attivamente alla ricostruzione della città, puntellando e rinforzando le proprie case, dopo aver demolito quelle irrecuperabili. Il terremoto fu anche

l'occasione per cospicui rinnovamenti edilizi: i vecchi palazzi costruiti *a cannizzu*, ovvero con coperture e muri divisorii di cannucciati, furono sostituiti con nuovi edifici in muratura. La trasformazione di Francavilla è evidente nel Catasto nel 1753-54, con cambiamenti urbanistici che contribuirono a rendere la città più grande e moderna: questo fece ritenere ai contemporanei che ci fosse stato quasi un concorso di intenti fra eventi naturali e volere dei principi per migliorare qualità e stile della città.

Per questo stesso terremoto Nardò, sempre nel Salento, subì danni ancora più gravi ed estesi, valutati di IX grado, e la piccola città dovette essere ricostruita quasi completamente.

Le amplificazioni ricorrenti del moto del suolo

La storia sismica delle città mette in evidenza fenomeni ricorrenti, come le amplificazioni del moto del suolo in specifiche aree urbane: amplificazioni non legate a profonde modificazioni antropiche – caso che tratteremo nel seguito – ma alle caratteristiche naturali dei depositi di fondazione. A Messina la Palazzata rappresenta uno dei casi più noti di tali fenomeni (Fig. 5). Questa costruzione era una cortina di tredici grandi edifici intervallati da monumentali porte cittadine, che insieme formavano quasi una quinta scenografica, tanto da essere chiamata anche Teatro Marittimo. L'edificio fu costruito all'inizio del XVII secolo per sostituire le mura cittadine, ma fu poi distrutto dai terremoti della Calabria meridionale del 1783. Ricostruita in stile neoclassico a partire dal 1803, fu nuovamente distrutta dal terremoto dello Stretto di Messina del 1908. I due edifici risposero in maniera disastrosa a entrambi i terremoti, peraltro ben diversi tra loro dal punto di vista sismotettonico, evidenziando sia la loro sostanziale *vulnerabilità*, sia soprattutto la scarsa qualità dei loro terreni di fondazione.

L'aumento del rischio sismico indotto dallo sviluppo economico e urbanistico

Un altro tema cruciale trattato nell'ATLANTE è quello del



CLICCA

e leggi la **tabella 1** delle Città trattate nell'ATLANTE Sud
e la **tabella 2** che elenca i forti terremoti del Sud analizzati nell'ATLANTE



Fig. 4 - Francavilla Fontana (Brindisi): Porta del Carmine e via del Carmine, oggi via Roma (foto di Vincenzo Balestra; da ATLANTE, Sud, pag. 184).

MCS. L'ultimo forte scuotimento, del VII grado, fu causato dal terremoto del Golfo di Squillace dell'11 maggio 1947, di magnitudo 5,7 (Fig. 7): ne consegue che il ponte non ha ancora subito il suo "battesimo del fuoco" sismico, anche se si deve ritenere che sia stato progettato per resistere a terremoti anche più forti.

Un caso "misto" è quello delle modificazioni del territorio urbano finalizzate a estendere e regolarizzare dal punto di vista topografico la superficie edificabile: situazioni molto frequenti nelle città storiche italiane. Ne è un chiaro esempio

il centro storico di Palermo (Fig. 8), dove la *tombatura* di due corsi d'acqua (Papireto e Maltempo) ha determinato forti quanto prevedibili amplificazioni del moto del suolo, che sollecitano gli edifici costruiti sui depositi usati per il riempimento. È difficile stabilire se il problema sia da classificare come un aumento artificiale della *pericolosità sismica*, dovuta alla presenza stessa dei riempiimenti e alle conseguenti amplificazioni, o come un aumento della *esposizione*, perché si è costruito in modo intensivo in aree che in origine erano solo parzialmente edificabili.

Terremoti ed eruzioni: una condizione avversa delle grandi città del Sud

Alcune grandi città italiane, come Napoli e Catania (Fig. 9) – ma anche molti centri urbani rilevanti come Pozzuoli – convivono simultaneamente con l'attività eruttiva e con i terremoti; questi a loro volta possono essere locali, dunque generalmente piccoli anche se superficiali e quindi localmente distruttivi, o di provenienza appenninica, e quindi

progressivo aumento del rischio sismico a causa dell'aumento della *esposizione*: un fenomeno legato all'aumento della popolazione e delle infrastrutture, e quindi in larga misura inevitabile. Sappiamo che la *pericolosità sismica* è un carattere permanente di qualunque territorio, quantomeno alla scala dei millenni. Ma se su quel territorio sorgono nuove infrastrutture critiche, come ad esempio il ponte che collega alla viabilità regionale la città di Catanzaro, che sorge in cima a un rilievo, fatalmente aumenta l'*esposizione*, e di conseguenza il rischio sismico locale. Infatti il ponte Bisantis, realizzato da Riccardo Morandi e inaugurato nel 1962, e le sue rampe di accesso hanno certamente aumentato di molto l'*esposizione* di Catanzaro nel suo complesso, e implicitamente anche la sua vulnerabilità fisica, visto che il danneggiamento del ponte creerebbe immediatamente problemi di raggiungibilità del centro cittadino (Fig. 6).

Catanzaro ha una storia sismica travagliata, avendo subito ripetutamente scuotimenti di intensità fino al grado VIII-IX



Fig. 5 – Messina. A sinistra, la Palazzata distrutta dai terremoti della Calabria meridionale del 1783 (dettaglio di una tavola di Schiantarelli e Stile, 1784). A destra: ricostruita in stile neoclassico a partire dal 1803, la Palazzata fu nuovamente distrutta dal terremoto dello Stretto di Messina del 1908 (ATLANTE, Sud, pagg. 271-273).



Fig. 6 - Catanzaro. *In alto*: veduta ottocentesca della città, da nord verso il Lido, dipinto di Thomas Miles Richardson Junior (1857); da *ATLANTE*, Sud, pag. 200. *In basso*: veduta del ponte Bisantis realizzato da Riccardo Morandi e inaugurato nel 1962.

anche molto forti. La situazione è aggravata dal fatto che da sempre nelle aree intorno ai vulcani si riscontrano picchi della densità abitativa, per le molteplici opportunità agricole e insediative che essi offrono. Tuttavia, questa convergenza tra rischio vulcanico, rischio sismico e alta densità degli insediamenti rende particolarmente complessa la stima del rischio globale a cui le città di queste aree sono soggette, e particolarmente laboriose le strategie che possono essere adottate per mitigarlo.

Iscrizioni, epigrafi e bassorilievi: un prezioso lascito

La ricchezza della storia sismica del Sud è resa ancora più straordinaria dall'esistenza di numerose epigrafi e

bassorilievi, talvolta le uniche fonti disponibili per comprendere la distruttività dei forti terremoti dei secoli più remoti ed esplorare i caratteri degli edifici colpiti. Uno dei casi più eccezionali, un vero *unicum* a scala mondiale, è rappresentato da due bassorilievi che documentano il terremoto del 62 d.C. a Pompei, 17 anni prima della grande eruzione del Vesuvio del 79 d.C. (Fig. 10).

Un carattere italiano con cui fare i conti: le sequenze sismiche complesse

Sappiamo che la magnitudo massima dei terremoti italiani è di poco superiore a 7,0; una osservazione sperimentale, ma anche una caratteristica che discende da specifici

storia sismica di Catanzaro

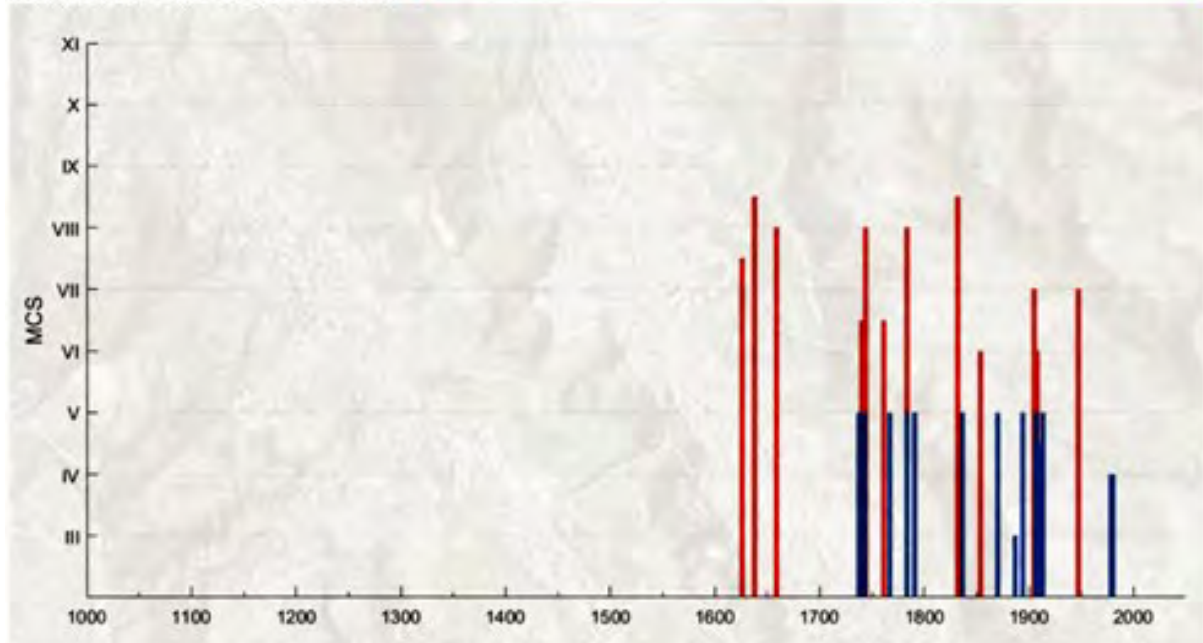


Fig. 7 - La città ha subito ripetuti scuotimenti con effetti di intensità fino all'VIII-IX grado MCS, l'ultimo dei quali fu causato l'11 maggio 1947 dal terremoto del Golfo di Squillace (M_w 5,7): da allora non ci sono stati terremoti importanti in quest'area. Da *ATLANTE*, Sud, pag. 201.

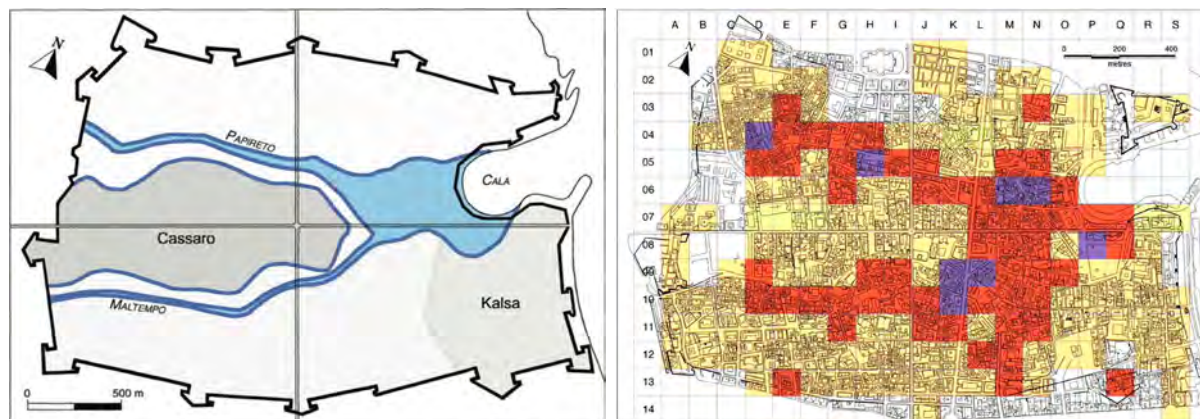


Fig. 8 – Palermo. *A sinistra*: veduta schematica del centro della città con evidenziati i due corsi d'acqua – il Papireto e il Maltempo – che furono interrati nel corso del XVII secolo per far spazio alla nascente città settecentesca. *A destra*: visione sinottica dei danni causati nella stessa area dai tre terremoti del 1726, 1823 e 1940. I danni più gravi, mostrati in viola e in rosso, sono sistematicamente concentrati nell'area dei due corsi d'acqua interrati (da ATLANTE, Sud, pag. 247).

elementi geodinamici che variano solo sulla scala delle epoche geologiche. Cionondimeno la sismicità italiana mostra un carattere ricorrente e preoccupante: l'accadimento di sequenze di terremoti di dimensioni confrontabili tra loro, che nell'arco di giorni o settimane finiscono per simulare gli effetti di un singolo terremoto molto più grande. Le Figg. 11 e 12 mostrano con immediatezza la vastità delle aree interessate da due di queste sequenze, accadute nel 1456 e nel 1783.

I terremoti del Sud: tragedie sociali, ma anche un motore di sviluppo urbanistico

ATLANTE dedica molta attenzione al grande tema delle ricostruzioni dopo i forti terremoti, con riferimento sia agli aspetti urbanistici che alle tecniche costruttive adottate e ai materiali utilizzati. Fra le ricostruzioni storiche del Sud un posto di riguardo è occupato da quella seguita ai terremoti calabresi del 1783. Infatti, dopo le immani distruzioni, il



Fig. 9 - Eruzione del 1669 a Catania. *A sinistra*: copia anonima del grande dipinto attribuito a Giacinto Platania (1612-1691) oggi conservata nella Sacrestia della cattedrale di Catania (da ATLANTE, Sud, pag. 259). Platania fu testimone oculare e attivo nel progettare la deviazione della lava, che modificò per sempre la morfologia della città causando un cospicuo avanzamento della linea di costa. Ma nel suo complesso la città non fu danneggiata. Nella parte centrale del dipinto si notano i due bracci di lava che investirono nel lato ovest parte dell'area urbana. *A destra*: rappresentazione di fantasia del crollo della cattedrale di Catania e del suo campanile a seguito dai due violenti terremoti della Sicilia orientale del 9 e 11 gennaio 1693 (M_w 6,2 e 7,4), in una stampa anonima conservata dalla Staatsbibliothek di Berlino. Nella sola Catania, dove gli effetti massimi sono valutati del grado XI, ci furono oltre diecimila morti ed enormi rovine, ma l'immagine mostra anche che la cerchia delle mura cittadine (oggi non più esistenti) resistettero o quasi al potente urto sismico. Da ATLANTE, Sud, pagg. 259 e 261.



Fig. 10 - Pompei, due bassorilievi in marmo, prime immagini storiche riferite a uno specifico terremoto; quello del 62 d.C.. Come tali esse rappresentano testimonianze uniche nel quadro archeologico mondiale. *Sopra*: bassorilievo proveniente dal larario della casa di Lucius Caecilius Jucundus (*Regio IV, insula 1, 26*), e raffigurante a sinistra il crollo del tempio di Giove e dell'arco di trionfo, mentre sulla destra si scorge un sacrificio espiatorio celebrato dopo la calamità. *Sotto*: a sinistra si nota il *castellum aquae*, dove terminava l'acquedotto, rimasto integro; al centro la porta "Vesuvio", abbattuta dalle scosse, con accanto due muli spaventati e in fuga. Questa lastra marmorea è stata trafugata nell'estate del 1977 e non è stata ancora recuperata (da *ATLANTE*, Sud, pag. 332).

governo borbonico avviò un'importante azione riformatrice lungo due direttrici principali: 1. la rifondazione delle piccole città più colpite, applicando nuovi criteri che coniugavano razionalità e sicurezza; e 2. l'attenzione alla qualità delle tecniche e dei materiali utilizzati per i nuovi edifici.

Riguardo al primo punto, furono realizzate nuove piante urbane, entro regolari geometrie e strade ortogonali, lasciando quindi alle spalle le tortuosità medievali. Riguardo al secondo punto, furono diffuse delle *Istruzioni reali*, note anche come *Normative Pignatelli*, dal nome del generale

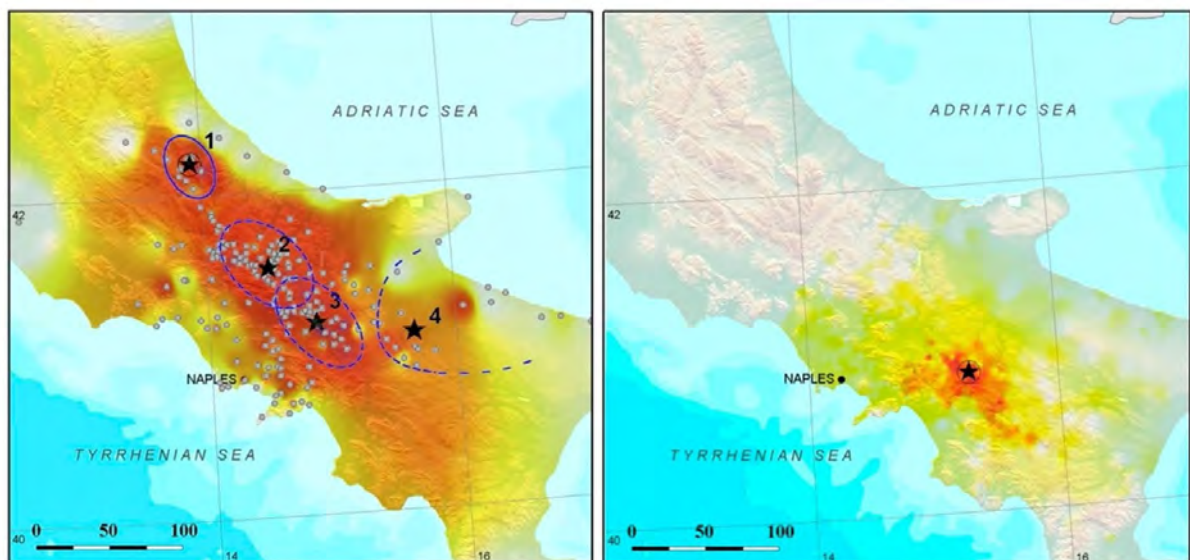


Fig. 11 - *A sinistra*: sintesi del danneggiamento causato dal terremoto del dicembre 1456; insieme a quello della Sicilia orientale dell'11 gennaio 1693 (M 7,4) questo è considerato il più forte terremoto italiano. Nella mappa è mostrata in rosso l'area complessiva degli effetti del terremoto, con evidenziate quattro diverse aree-sorgente indipendenti ipotizzate su base storica. *A destra* sono rappresentati con la stessa scala cromatica gli effetti del terremoto della Campania e della Basilicata del 23 novembre 1980, l'ultimo forte terremoto del Sud. Colpisce il fatto che l'estensione della prima area è forse dieci volte superiore a quella della seconda (da *ATLANTE*, Sud, pag. 344).

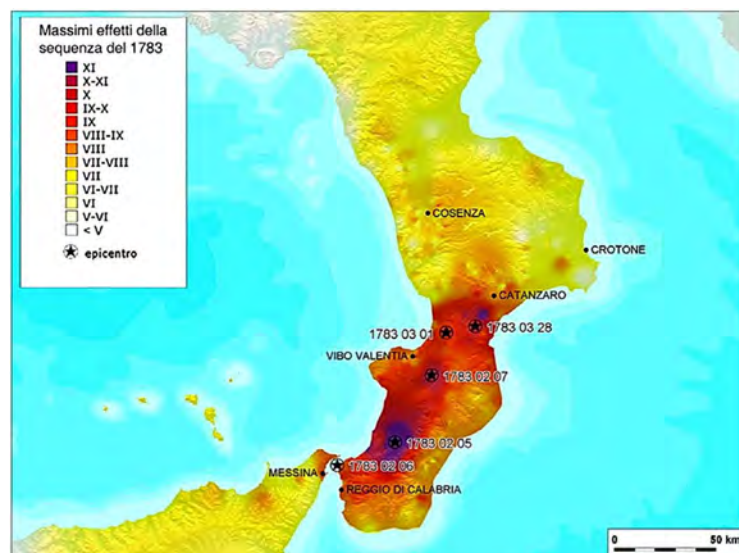


Fig. 12 – Sintesi degli effetti della sequenza dei cinque forti terremoti accaduti tra il 5 febbraio e il 28 aprile 1783. Le stelle indicano la localizzazione epicentrale delle scosse principali. Gli effetti delle singole scosse si sovrapposero aggravando progressivamente il quadro del danneggiamento; quasi la metà del territorio calabrese subì effetti distruttivi, ovvero dal grado VIII MCS e oltre (da ATLANTE, Sud, pag. 377).

pensiero umano. Mallet introdusse il termine Sismologia nel corso dei suoi studi sul terremoto della Basilicata occidentale e parte della Campania meridionale il 16 dicembre 1857. Gli studi di Mallet, molto articolati e approfonditi, furono fortemente innovativi, e grazie ad essi si è potuto cogliere oggi aspetti di quel terremoto che sarebbe stato difficile desumere dalla sola analisi del danneggiamento (Fig. 13).

che ne doveva favorire l'applicazione. Tali *Normative* miravano a realizzare nuove case non solo più basse delle precedenti, ma anche ben solide e 'incatenate', quindi più resistenti ai terremoti. Fu consigliato anche l'uso del legno, come gabbia interna di tralicciato, per meglio sostenere i muri portanti. Quelle borboniche non furono norme vincolanti, ma piuttosto dei suggerimenti ai costruttori e ai proprietari.

Nel rapporto fra saperi teorici e pratici trovò posto anche una sorta di sintesi fra la teoria elettricista, allora dominante, e alcune indicazioni delle *Normative*: è la famosa 'casa baraccata' di Giovanni Vivencio, pubblicata nel 1784. Tale edificio era pensato con una gabbia tralicciata di legno, materiale indicato come ideale per le nuove costruzioni, sia perché isola dall'elettricità terrestre (che si riteneva la causa dei terremoti), sia per la sua buona resistenza allo scuotimento (il tema è sviluppato nell'ATLANTE Sud, pag. 382).

Il Sud, culla della Sismologia mondiale

Non tutti sanno che la Sismologia è nata in Italia: non solo per ciò che la riguarda come ambito disciplinare dedicato allo studio dei terremoti e dei loro effetti, ma anche nella dominazione di tale ambito. Il termine *Sismologia* fu infatti introdotto da Robert Mallet, un ingegnere geofisico irlandese, come composizione dei due termini *seismòs*, che in greco antico indicava l'atto dello scuotimento, e *loghìa*, parola usata anche oggi per indicare "la scienza che si interessa di", con riferimento a qualunque campo del

Quei 'vuoti' nella rete insediativa: gli abbandoni dei paesi

Un ulteriore tema ricorrente nello studio dei forti terremoti del passato è quello degli abbandoni, ossia degli spostamenti della popolazione dai centri colpiti verso altri centri abitati, in cerca di condizioni di vita migliori e di nuove opportunità, in assenza di interventi amministrativi adeguati. Di conseguenza, i luoghi di residenza originari erano abbandonati e tali quasi sempre rimanevano, creando una sorta di 'vuoto' nel paesaggio e nella rete insediativa, ancora oggi rilevabile. Tali abbandoni hanno talvolta riguardato anche delle città, soprattutto nel periodo tardoantico, quando ai danni dei terremoti si aggiungevano cambiamenti degli assi viari, e quindi dell'economia di un'intera area. Gli abbandoni avvenuti in epoca contemporanea riguardano invece centri abitati minori, dove il terremoto è stato forse l'ultima causa di una catena di fattori di crisi precedenti, e l'abbandono è stato attuato con decisioni politico-amministrative, non di rado contro la volontà degli abitanti. L'ATLANTE dedica attenzione a questo tema, con esempi che spaziano dall'antichità ai nostri giorni, per evidenziare che i danni dei terremoti possono ben superare quelli subiti dalle singole costruzioni, intaccando e modificando le reti insediative e creando dei vuoti che sono quasi delle ferite aperte nel paesaggio (Fig. 14).

3. Il Centro e il Nord dell'Italia: una pericolosità solo in parte nota e un rischio sismico molto alto

Anche il volume dedicato al Centro e Nord si apre con

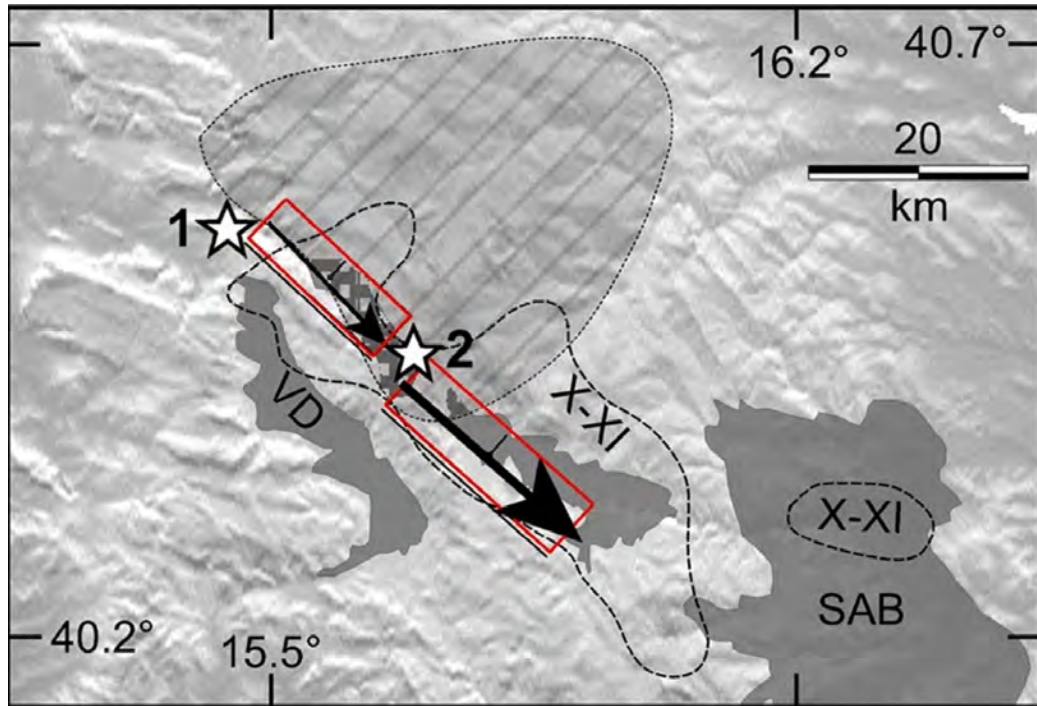


Fig. 13 – Terremoto del 16 dicembre 1857: localizzazione delle sorgenti delle due forti scosse secondo uno studio condotto da Burrato e Valensise nel 2008. I due rettangoli rossi rappresentano la proiezione in superficie delle relative faglie. I dati storici hanno consentito di mettere in evidenza che il terremoto fu in realtà composto da due scosse indipendenti, di magnitudo pari o superiore a 6,5 ciascuna, separate da due minuti circa. I due asterischi indicano il punto di nucleazione, o inizio della rottura sismogenetica, rispettivamente per la prima e per la seconda scossa (l'area di risentimento della prima scossa, meno forte, è indicata da un'area grigia con linee diagonali). Le due frecce indicano la direttività delle due rotture, ovvero la direzione verso cui ha proceduto il meccanismo di fratturazione che genera lo scuotimento. Una direttività verso sud-est spiega il fatto che il terremoto avesse avuto effetti più severi, fino al X-XI grado, nella porzione più meridionale della Media Val d'Agri e al di fuori di essa, fino al Bacino di Sant'Arcangelo (SAB). Da ATLANTE, Sud, pag. 405.

un contributo di Paola Vannoli, che delinea i meccanismi che presiedono alla generazione dei terremoti nelle regioni considerate (Fig. 15). Il quadro sismotettonico è più semplice di quello relativo al Sud Italia, quantomeno a grande scala, ed è dominato da due meccanismi principali: l'estensione che ha luogo sulla cresta della catena appenninica, che si pone in diretta continuità con il medesimo processo attivo nell'Appennino meridionale, e la compressione che si genera intorno alla Pianura Padana. Questo secondo processo a sua volta si scompone in un movimento verso nord-nordest e nord-est del margine padano-adriatico dell'Appennino centrale e settentrionale, al quale si contrappone un movimento verso sud-sudest, sud-est e sud del cosiddetto Suldalpino, la porzione più meridionale delle Alpi che confina con la pianura lombardo-veneta. Le due catene – alpina e appenninica – si incontrano nel sottosuolo delle aree di pianura fra esse interposte, dando luogo a un meccanismo abbastanza insolito e compreso a

fondo solo a partire dalla metà del secolo scorso, soprattutto grazie all'avvio dell'esplorazione petrolifera.

L'ATLANTE documenta attraverso numerosi esempi e schede di approfondimento i forti terremoti che hanno interessato tutte le regioni trattate nel volume; tuttavia, mentre i terremoti del Centro sono frequenti e interessano aree la cui sismicità è ben nota – si pensi solo alla sequenza dell'Appennino centrale del 2016-2017, quelli del Nord tendono a essere piuttosto rari e isolati, e come tali sono quasi sempre vissuti con sorpresa dalle popolazioni colpite.

3.1. Le città del Centro e del Nord tra scuotimenti frequenti e rari terremoti distruttivi

La Figura 16 mostra la distribuzione geografica delle 56 città prese in esame nell'ATLANTE dedicato al Centro e al Nord, elencate nella Tabella 3. Anche in questo caso va notato che alcune città ricadono in Zona 3, ovvero in una



Fig. 14 – In tutte le epoche i terremoti hanno causato l'abbandono di piccoli centri arroccati e la migrazione della popolazione verso aree poste a quote più basse e più facilmente integrate nella rete viaria. A sinistra, ciò che resta di Bruzzano Vecchia (Reggio Calabria): dopo aver subito gli effetti dei terremoti del 1783, 1894 e 1905, il paese è stato fortemente danneggiato dai terremoti del 1907 e del 1908, che ne hanno segnato il definitivo abbandono. La foto mostra l'Arco Trionfale dei Carafa, di ispirazione classico-rinascimentale, costruito nel XVII secolo, le cui colorate decorazioni a motivi floreali contrastano fortemente con l'austerità degli altri edifici e del paesaggio circostante (da ATLANTE, Sud, Pag. 414). A destra: Romagnano al Monte (Salerno), un borgo di origine romana che sorge a 650 m di quota sulle gole del Fiume Platano, al confine tra le province di Salerno e Potenza. Nel corso della sua lunga storia il paese è stato flagellato da pestilenze, carestie, brigantaggio e terremoti, fino al suo completo abbandono dopo il terremoto del 23 novembre 1980, quando subì effetti valutati del grado VIII-IX MCS: la popolazione fu ricollocata in un nuovo insediamento denominato Romagnano Nuovo, costruito con i criteri di un'anomima modernità assai diffusa nella ricostruzione successiva a quel terremoto (da ATLANTE, Sud, Pag. 441).

classe a bassa pericolosità sismica, pur avendo subito storicamente effetti macrosismici fino all'VIII-IX grado di intensità (es. Trieste). In queste città dunque i forti scuotimenti sono rari ma possibili; ancora una volta questa importante informazione può essere ottenuta solo grazie alla eccezionale lunghezza della storia sismica dell'Italia.

3.2. La sismicità storica e strumentale

La Figura 17 mostra la distribuzione geografica dei 68 terremoti trattati nell'ATLANTE Centro e Nord, elencati nella Tabella 4. Per ogni terremoto sono indicati la magnitudo-momento (M_w), l'intensità epicentrale (I_0) e il numero di punti di intensità disponibili per il calcolo dei parametri dell'evento.

3.3. Alcuni focus sulle città del Centro e del Nord

Analogamente a quanto fatto per il Sud, in questa sezione abbiamo raccolto una serie di focus riguardanti prevalentemente il Centro e il Nord, illustrati con immagini significative tratte dall'ATLANTE stesso.

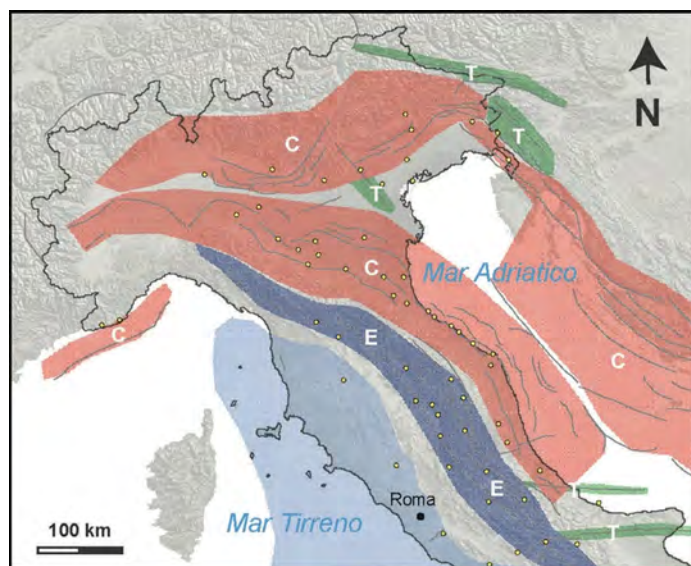


Fig. 15 – La sismogenesi del Centro e del Nord: in rosso i domini compressivi (C), in blu il dominio estensionale appenninico (E), in celeste il dominio di *rifting* del bacino Tirrenico, in verde i settori caratterizzati da movimento trascorrente (T). I sistemi di faglie sismogenetiche sono mostrati in grigio (da ATLANTE, Centro e Nord, pag. 20).

Fig. 16 - Localizzazione delle 56 città dell'ATLANTE Centro e Nord, selezionate secondo due criteri: una dimensione demografica dai 30.000 abitanti e oltre, e l'aver già subito almeno una volta effetti di VIII grado MCS. Da ATLANTE, Centro e Nord, pag. 92.

L'elevato rischio sismico delle città d'arte del Centro e del Nord. Due casi illustri

Nell'ATLANTE sono sviluppati diversi casi di importanti città d'arte, come Venezia, Firenze e Roma, che hanno bassa pericolosità sismica ma esposizione e vulnerabilità elevate, e quindi un rischio sismico piuttosto alto. La loro bassa pericolosità, come si può vedere nel caso di Venezia (Fig.18), è spesso fraintesa, per via della loro classificazione sismica in Zona 3, per cui il loro alto livello di rischio sembra quasi contro-intuitivo: è invece reale. Riportiamo qui dall'ATLANTE alcune parti dei testi e delle immagini riguardanti Venezia e Roma, città estesamente trattate.

Il caso estremo di Venezia

Venezia è certamente la regina delle "città sulle acque": non solo dell'Italia, ma del mondo intero. Città di una bellezza estrema, meta agognata di milioni di turisti di ogni latitudine, è unica nella sua intrinseca e inevitabile fragilità; non solo quella che riguarda la conservazione dei suoi preziosi beni artistici e architettonici, sottoposti alle ingiurie del tempo e all'usura ambientale, ma anche quella connaturata alla sua stessa ubicazione. È una fragilità che costituisce una vera e propria minaccia esistenziale. I ricorrenti e frequenti episodi di acqua alta, per combattere i quali è stato ideato e costruito il MOSE, ne sono solo l'esempio più vistoso.

Venezia indubbiamente detiene diversi primati mondiali, oltre a quello di essere tra le città più visitate e quindi in qualche modo 'consumate' da un eccesso di presenze. È infatti quasi certamente la città più antropizzata, perché letteralmente ogni lembo del suo territorio ha richiesto un intervento umano per essere abitabile: per quanto possa



sembrare un'espressione eccessiva, non c'è più nulla che sia realmente naturale nel centro storico cittadino. Ma è anche la città più esposta alle fluttuazioni del livello marino, per il semplice fatto di trovarsi tutta a una quota massima di 3-4 m sull'attuale livello del mare

Da sempre il territorio veneziano è al centro di una contesa tra mare e terra. I dati geologici indicano che la sequenza sedimentaria su cui poggia la città ha registrato una subsidenza naturale media fino a 1,3 mm all'anno, come effetto del progressivo consolidamento dei depositi più recenti; decisamente inferiore alla subsidenza di natura antropica, che a partire dagli anni '30 del XX secolo ha causato un abbassamento annuo di 2,5 mm/anno, dovuto al sovrassfruttamento delle acque di falda, a sua volta causato dalle necessità dei primi insediamenti industriali di Porto Marghera. Nel secondo dopoguerra il depauperamento delle falde ha spinto la velocità di subsidenza fino a 17 mm/anno



CLICCA

e leggi la tabella 3 delle Città trattate nell'ATLANTE Centro e Nord
e la tabella 4 che elenca i forti terremoti del Centro e del Nord
analizzati nell'ATLANTE

a Marghera e 14 mm/anno a Venezia, tanto che a partire dal 1970 si è corsi ai ripari, regolamentando e diversificando le fonti di approvvigionamento idrico. I provvedimenti hanno avuto immediato successo: nel 1973 la subsidenza indotta è stata annullata, e addirittura nel 1975 nel centro storico è stato misurato un 'rimbalzo' di 2 cm.

Quindi, come si coglie con immediatezza nella straordinariamente dettagliata rappresentazione della città 'a volo di uccello' in Fig. 19, Venezia sorge in una condizione di "metastabilità geologica" che è anch'essa un *unicum* a livello mondiale. La sua laguna inizia a delinearsi circa 6.000 anni fa, quando si attenua la velocità di risalita del livello del mare, che all'apice della glaciazione Würmiana – circa 18.000 anni fa – era sceso fino a 120 metri al di sotto del suo livello attuale, trasformando tutto l'Adriatico settentrionale in una immensa pianura emersa. La combinazione dell'innalzamento del livello del mare con il trasporto solido dei fiumi veneti avrebbe creato le condizioni per la nascita di tutte le aree lagunari altoadriatiche, da quelle che orlano il delta del Po a quelle di Marano e Grado, in Friuli. Le lagune costiere infatti si formano quando i sedimenti prevalentemente sabbioso-limosi scaricati in mare dai fiumi si

accumulano in cordoni paralleli alla costa: questo avviene in particolare nelle fasi in cui il livello del mare è alla fine di un lungo periodo di risalita, come negli ultimi 6.000 anni. A questo quadro di marcata instabilità ambientale si aggiungono i terremoti (Fig. 20). Venezia non ha una propria sismicità, essendo stata fondata in un'area stabile dal punto di vista tettonico, ma come tutte le città della Pianura Padano-veneta risente dei più forti terremoti generati in area alpina e prealpina, come quelli avvenuti nel 1117, 1348 e 1511 (tutti trattati nella sezione Terremoti dell'ATLANTE) e anche altri minori, che combinano la loro elevata magnitudo con una propagazione degli effetti molto efficiente proprio verso sud e verso est (Figg. 21 e 22). Sappiamo che in molte città fondate sulle piane alluvionali attuali – o su depositi riferibili a piane alluvionali del passato, oggi sollevate ed erose – in occasione di forti terremoti si osservano fenomeni di "amplificazione stratigrafica". Questi fenomeni, chiamati comunemente *effetti di sito*, possono essere causati dalla presenza di formazioni geologiche poco compatte – quali alluvioni, depositi di frana o addirittura i terreni di riporto – su formazioni più rigide.

Nel propagarsi da tali formazioni più rigide, nelle quali la velocità delle onde sismiche è elevata, alle soprastanti

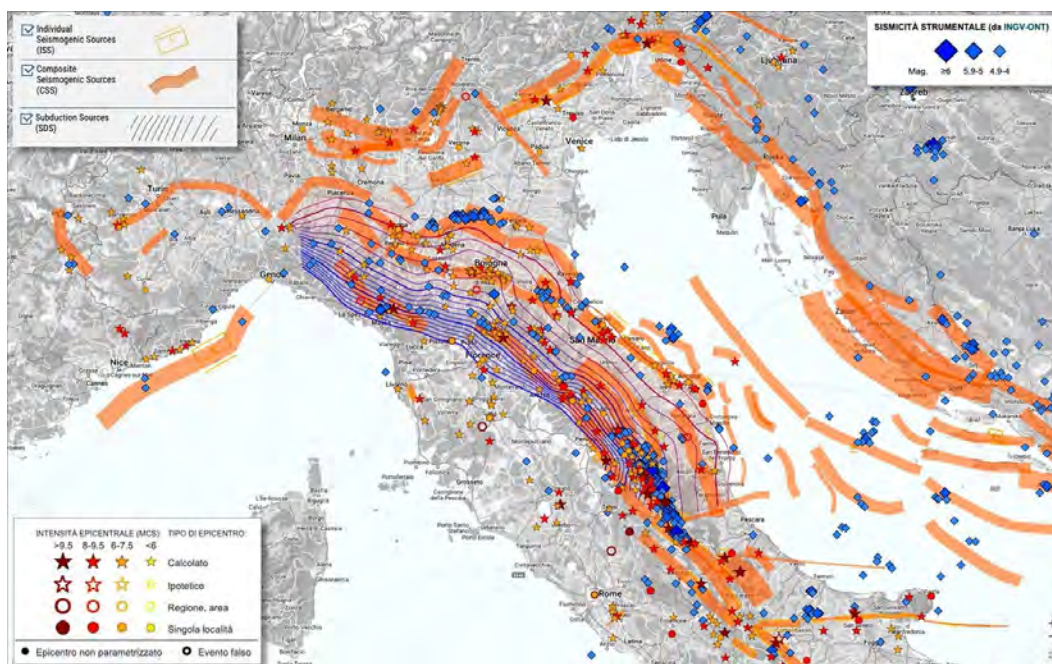


Fig. 17 - Sismicità del Centro e Nord, tratta dal Catalogo dei Forti Terremoti (CFT15Med). Sono mostrati anche i terremoti di M_L 4.0 e superiore registrati dalla Rete Sismica Nazionale dell'INGV tra il 1° gennaio 1985 e il 31 dicembre 2023 (<http://terremoti.ingv.it>) e le sorgenti sismogenetiche Composite (CSS, in arancione), Individuali (ISS, gialle) e di Subduzione (SDS, isolinee blu) tratte dal database DISS 3.3.0 (<https://diss.ingv.it>).

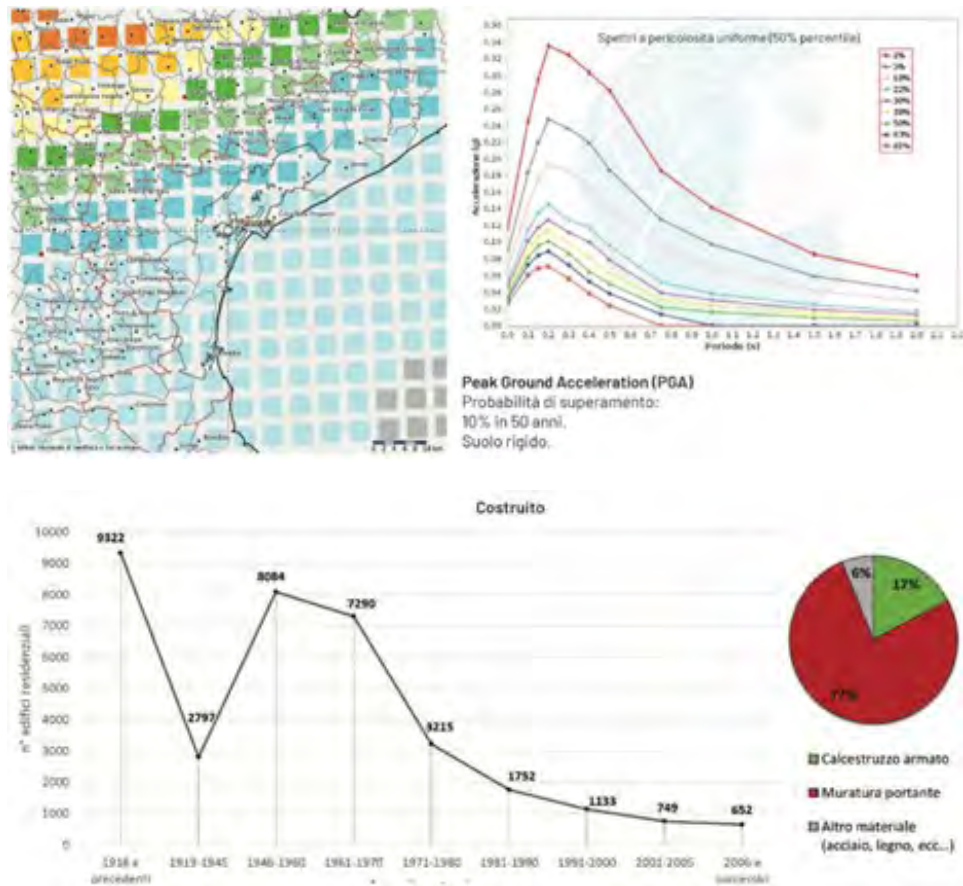


Fig. 18 – Venezia. Sopra: pericolosità sismica da normativa vigente (<http://esse1.mi.ingv.it>). Sotto, andamento nel tempo del numero degli edifici costruiti dal 1918 al 2021 nel Comune di Venezia, da dati ISTAT. Si evince che il 77% degli edifici è in muratura portante. Poiché l'area comunale include anche Mestre, per la sola città di Venezia questo valore è probabilmente vicino al 100% (ATLANTE, Centro e Nord, pag. 427).



Fig. 19 – Venezia: vista a volo d'uccello, che ne evidenzia il secolare radicamento e sviluppo sull'acqua della laguna, in una stampa del 1636 di Matheus Merian il Vecchio (ATLANTE, Centro e Nord, pag. 421).

storia sismica di Venezia

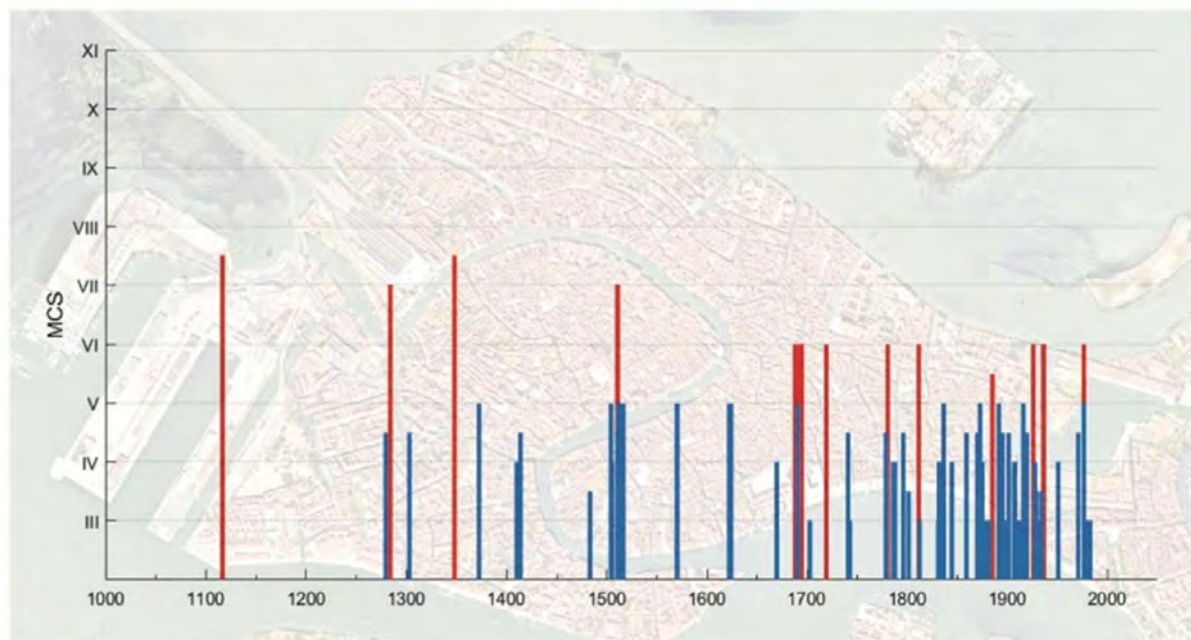


Fig. 20 - Storia sismica di Venezia. In un contesto prezioso e vulnerabile anche effetti di VI grado MCS possono indurre danni economici rilevanti, per la chiusura dei musei e il blocco delle attività turistiche (ATLANTE, Centro e Nord, pag. 422).

formazioni poco compatte, in cui la propagazione è molto più lenta, si determina un significativo aumento di ampiezza del moto sismico, e quindi le temute amplificazioni. Viceversa, se la struttura della coltre sedimentaria è regolare, e mostra una velocità delle onde simiche che aumenta progressivamente con la profondità, non si creano le condizioni per queste amplificazioni. Il sottosuolo della Laguna di Venezia è costituito da due complessi sedimentari ben identificati: un deposito continentale del tardo-Pleistocene (100.000-200.000 anni), spesso molte centinaia di metri e formato da alternanze di orizzonti limosi-argillosi e sabbie, sovrastato da un sottile deposito limoso-sabbioso strettamente lagunare di età olocenica (circa 10.000 anni), spesso tra i 5 e i 20 metri. Ne consegue che nel sottosuolo di Venezia, come in molte altre zone della Pianura Padana, non esistono forti contrasti di rigidità – o meglio, di *impedenza*, per usare il termine più appropriato – e quindi quasi certamente la città non risente di “effetti di sito” significativi. Questa ipotesi deve però essere confermata da studi di microzonazione, che al momento sono stati condotti solo alla scala dell'intera provincia.

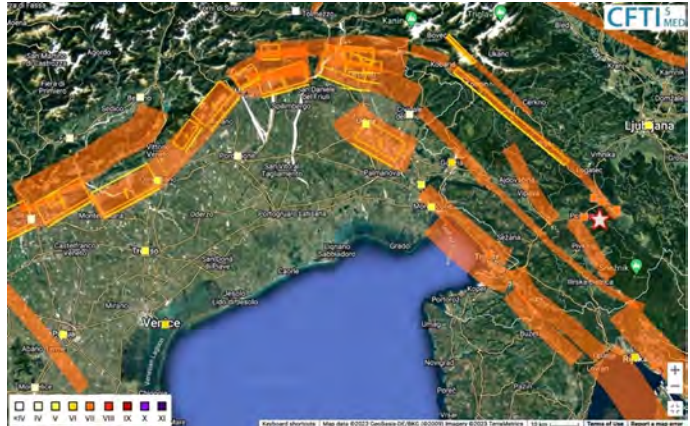
Il caso Roma: una millenaria convivenza con terremoti lontani

L'antichità, la continuità di sito e la grande cultura scritta sviluppata nei secoli come sede di poteri centrali, consentono a Roma di avere tracce scritte sui terremoti avvertiti nel corso di più di due millenni: un caso unico al mondo, di straordinario interesse storico e culturale, che è stato oggetto di studi specifici, condotti con storici antichisti, epigrafisti e archeologi.

Pur nella incertezza – talvolta nella palese impossibilità – di attribuire un grado certo di Intensità, nella serie storica dei terremoti si è scelto di inserire anche le citazioni più antiche, a volte persino enigmatiche, perché nell'insieme questa prestigiosa e unica eredità storica delinea un'idea di convivenza della città di Roma con i terremoti; un fenomeno naturale a cui gli antichi scrittori prestarono grande attenzione dal punto di vista del suo significato simbolico e culturale. Del periodo tardoantico e altomedievale si conservano tracce di effetti di forti terremoti attraverso testimonianze epigrafiche e archeologiche, a volte anche correlabili a fonti scritte.

Roma sorge entro 200 km dalla sorgente di numerosi tra i terremoti più forti dell'Italia centrale e centro-meridionale (Fig. 23). Gli eventi in assoluto più preoccupanti sono

Fig. 21 - Effetti del terremoto della Slovenia del 1° gennaio 1926, di magnitudo M_w 5,9 e intensità epicentrale di grado VIII-IX MCS (da ATLANTE, Centro e Nord, pag. 426). In giallo e in arancione sono indicate rispettivamente le sorgenti sismogenetiche Individuali e Composite del database DISS. Il rapporto tra magnitudo e intensità epicentrale, quest'ultima relativamente bassa, fa ritenere che l'evento possa aver avuto ipocentro abbastanza profondo, il che spiegherebbe l'efficace propagazione verso le città del Friuli e del Veneto. Venezia ha una pericolosità sismica medio-bassa, ma subisce gli effetti di numerose sorgenti sismogenetiche potenziali che formano quasi una corona intorno alla città: le sorgenti poste a est sono mediamente più distanti, ma capaci di terremoti più forti di quelle poste a nord e a ovest.



quelli generati dalle aree sismogenetiche dell'Abruzzo; dall'Aquila (2 febbraio 1703) al Fucino (1915) passando per la Valle del Salto (1349), che distano dalla città tra i 70 e i 100 km. Seguono per gravità i terremoti causati nell'area di Norcia, Amatrice e della Valnerina (es. 14 gennaio 1703), tra i 100 e i 130 km, quelli della Ciociaria (1654), intorno ai 100 km, quelli del Molise (1456, 1805 e altri del primo millennio), tra i 130 e i 170 km, e quelli del Beneventano (1688), intorno ai 180 km. I terremoti dei Colli Albani, la cui magnitudo difficilmente supera 5,5, sono localizzati a circa 30 km dal centro cittadino, ma a solo 10-15 km dai quartieri più meridionali della città.

Già dall'inizio del XVIII secolo tali effetti sono stati descritti da testimoni diretti, perizie, documentazione amministrativa e relazioni scientifiche: nell'ATLANTE in particolare per gli ultimi due secoli, oltre ai cataloghi storici sono stati utilizzati gli studi condotti dal Dipartimento Ambiente dell'ENEA già a partire dagli anni '90 del Novecento, curati da Sergio Castenetto, Eugenio Di Loreto, Diego Molin e altri, nell'ambito degli studi sulla Geologia di Roma, pubblicati da ISPRA nel 2008 (Fig. 24, a sinistra). Il quadro complessivo del rapporto fra Roma e i terremoti è oggi chiaramente delineato e consente valutazioni ben supportate da dati storici, archeologici e geologici.

La vulnerabilità fisica delle città italiane: l'espansione verso il mare delle città portuali

Un tema che riguarda numerose città portuali italiane è certamente quello della espansione dei centri urbani a spese del mare, e della inevitabilmente scadente risposta sismica delle aree così strappate alle acque. Il tema è in parte analogo – pur riguardando aree molto più estese – a quello già descritto per la città di Palermo, dove nel XVII secolo per regolarizzare la pianta urbana e ampliare gli spazi edificabili furono *tombati* dei corsi d'acqua.

Come esempio di questo tema abbiamo scelto Trieste, una

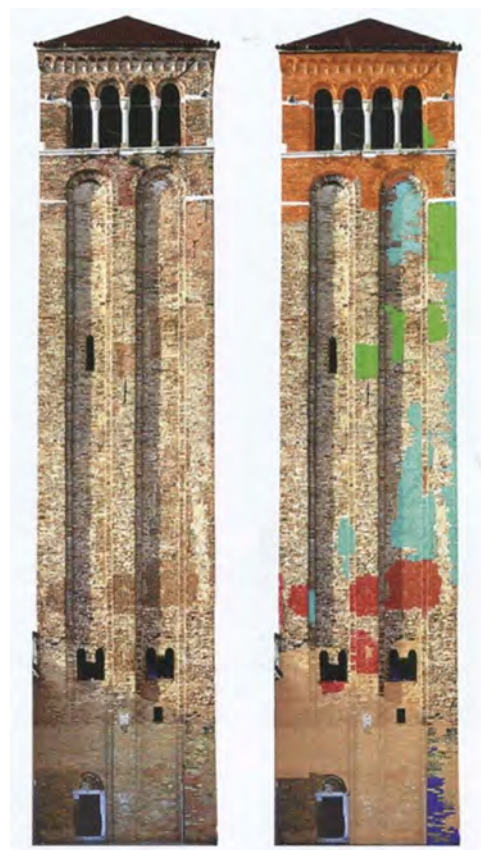


Fig. 22 - Venezia ha un gran numero di bellissimi campanili: oggi se ne contano ottanta, preziose testimonianze di una cultura costruttiva e di un gusto architettonico che, pur costituendo elementi-chiave di un paesaggio urbano unico e irripetibile, passano spesso inosservati. Qui il Campanile di San Giacomo dell'Orio, che fu estesamente danneggiato dal terremoto del 1348. Questa fotomontaggio del paramento esterno del lato est mostra la mappatura delle principali murature e delle riparazioni post-sismiche medievali, compresa la cima, che crollò (ATLANTE, Centro e Nord, pag. 424).



Fig. 23 - Localizzazione dei principali terremoti risentiti a Roma e loro distanza epicentrale dalla città. Le fasce arancioni sono la proiezione in superficie delle Composite Seismogenic Sources del database DISS, ovvero delle aree-sorgente dei più forti terremoti del passato e di quelli attesi (ATLANTE, Centro e Nord, pag. 102).

città stretta tra mare e rilievi molto acclivi, che da epoche remote ha visto tentativi di far avanzare la linea di costa, in cerca di spazi che le consentissero di sviluppare la sua vocazione portuale e commerciale. La Fig. 25 (*a sinistra*) mostra la posizione della linea di costa nell'anno 1450, durante il regno dell'imperatore Federico III: la città si era già espansa verso il mare rispetto all'epoca romana, ma dovevano ancora essere sottratte alle acque ampie zone del cosiddetto 'quartiere teresiano', che appare con una maglia regolare quasi al centro dell'immagine, a nord-nord-est del centro storico, e che fu così chiamato in onore di Maria Teresa d'Austria, sotto il cui regno fu completato intorno alla metà del XVIII secolo. Mancava inoltre il colmamento dell'area della stazione ferroviaria del Porto Antico e di quella delle cosiddette 'rive', fino al promontorio che ospita la attuale stazione ferroviaria di Campo Marzio.

La mappa di microzonazione sismica (Fig. 25, *a destra*) mostra il prevedibile effetto sulla risposta sismica di queste trasformazioni urbane; nelle aree interessate, dove si è edificato su terreni alluvionali o di riporto, sono infatti previste importanti amplificazioni potenziali del moto del suolo (evidenziate dai colori rosa, verde, rosso mattone e giallo). Come avviene quasi sempre, l'espansione della città ha quindi comportato un peggioramento della risposta sismica media.

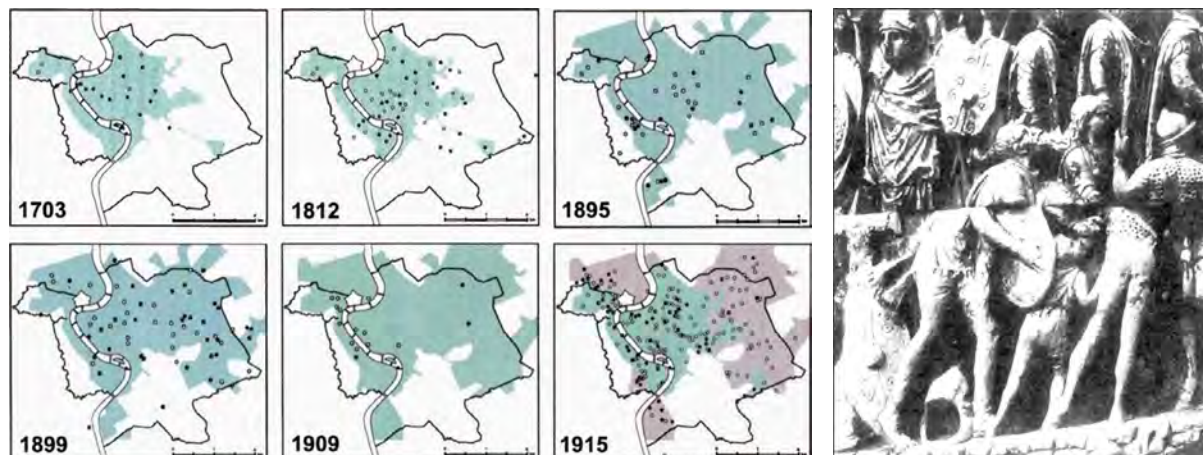
La situazione è resa preoccupante da due considerazioni. La prima è che il 'quartiere teresiano' è oggi il principale centro amministrativo e direzionale di Trieste; ma

quello del 1511, ma tutti i terremoti recenti hanno manifestato con sistematicità i loro effetti più gravi nelle aree più basse della città. Sappiamo che in media la sismicità non varia nel tempo, ma è chiaro che dal 1511 a oggi la città ha inesorabilmente aumentato la sua esposizione ai forti terremoti; e per quanto questi a Trieste siano decisamente rari, è necessario che cittadini ed amministratori tengano sempre la guardia alta, nella piena consapevolezza della particolare struttura del sottosuolo di buona parte della città moderna.

Le ricostruzioni nell'Italia del Centro e Nord e il grande tema della prevenzione

Nel nostro Paese le ricostruzioni sono sempre difficilissime, delle scommesse quasi mai vinte: gli incoltabili ritardi accumulati trasformano di fatto la fase di ricostruzione in una nuova emergenza, senza tuttavia che si possa disporre dei connessi poteri speciali, che comporterebbero ovviamente serie conseguenze. Si tratta di una grave *patologia*, chiamiamola così, della quale da tempo fra gli addetti ai lavori c'è piena consapevolezza. Le ragioni della persistenza di questa anomalia, nel Paese dei ricorrenti forti terremoti, dovrebbero essere oggetto di un'accurata analisi e di una partecipata interpretazione: non è certo la mancanza di conoscenze tecniche e scientifiche a trasformare i terremoti distruttivi in tragedie dalle dimensioni inaccettabili, e le ricostruzioni in nuove, lunghissime e sempre difficilmente risolvibili emergenze.

tale quartiere sorge su terreni alluvionali recenti o di riporto, che inevitabilmente peggiorano la risposta sismica degli edifici fondati su di essi. La seconda è che Trieste non ha più subito un terremoto forte come



Nel mondo abitato delle città e dei paesi un terremoto distruttivo è una tragedia che si svolge in più atti; quello conclusivo e determinante è la ricostruzione, che non può in nessuna misura essere considerata indipendente da ciò che la precede.

L'ATLANTE Centro e Nord sviluppa in modo molto esteso il tema delle ricostruzioni storiche che hanno segnato la vita non solo delle 59 città analizzate, ma anche quella di centinaia e centinaia di paesi e di borghi che formarono

il tessuto connettivo delle reti abitative dell'Italia centrale e settentrionale.

Per lunghissimo tempo e fino all'inizio del Novecento, salvo qualche rarissimo caso, mancarono i mezzi finanziari per realizzare riparazioni e ricostruzioni. I governi che hanno preceduto l'Unità dell'Italia (1861) si sono limitati ad alcuni esoneri fiscali temporanei e quindi non hanno messo a disposizione le misure economiche necessarie per ricostruire, o lo hanno fatto in misura molto ridotta, solo per

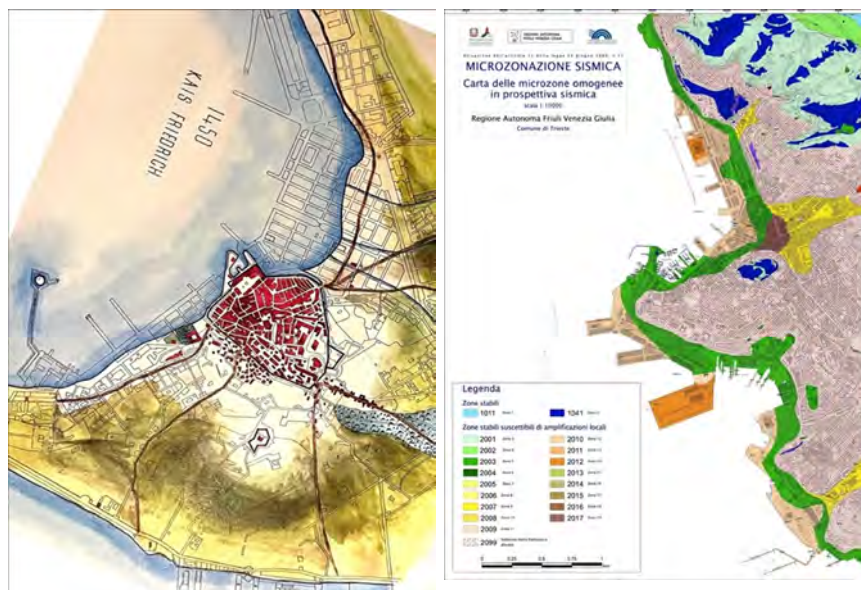




Fig. 26 - Gemona (Udine): terremoto del 1976. *A sinistra* il duomo subito dopo il crollo; *a destra*, la ricostruzione completata seguendo il criterio *dov'era com'era*, uno dei principi su cui si basò gran parte della ricostruzione del Friuli. Da *ATLANTE*, Centro e Nord, Pag. 620

limitare lo spopolamento e la miseria che inevitabilmente seguivano i disastri sismici. Solo dopo l'unificazione dell'Italia il nuovo governo iniziò a predisporre misure finanziarie, ma sempre in misura non adeguata. Segnò una svolta importante il disastro di Messina e di Reggio Calabria del 1908, la cui ricostruzione fu regolamentata, pur con fasi alterne e molte fermate, da una legge specifica. Ma tutte le ricostruzioni della prima metà del Novecento, fra guerre e altri disastri naturali, furono una sequela tragica di fatiche e di abbandoni.

In uno specifico studio nell'Introduzione, l'*ATLANTE* riguardante il Centro e il Nord si sofferma con particolare

attenzione sulle cinque grandi ricostruzioni degli ultimi cinquanta anni, quelle che hanno segnato la nostra storia recente: Friuli, post-terremoto del 1976, Umbria e Marche post 1997-1998, L'Aquila post-2009, Emilia post-2012, e infine la ricostruzione dell'Italia centrale post-2016, ancora in corso, fra molti problemi e fermate (Figg. 26, 27, 28).

Ci si è chiesti come affrontare il tema della *qualità* della ricostruzione, che presuppone per prima cosa una *governance* affidabile e quindi un *modello* di riferimento: questo perché a tutt'oggi nessuna legge indica le norme da seguire prima, durante e dopo una ricostruzione, ma si applica ogni volta un modello diverso.



Fig. 27 - L'Aquila, terremoto del 2009: *a sinistra*, una selva di tubi sorregge pareti di case danneggiate e pericolanti; *a destra*, un momento della protesta detta *delle carriole* del 2010, simbolo della volontà popolare di riavviare la ricostruzione del centro storico, allora arenata a favore di nuovi insediamenti (*ATLANTE*, Centro e Nord, pag. 69 e pag. 636)



Fig. 28 - Terremoto dell'Emilia del maggio 2012, chiesa di San Felice sul Panaro: a sinistra la chiesa dopo la rimozione delle macerie; a destra, le rovine dotate di una copertura provvisoria (ATLANTE, Centro e Nord, pag. 644).

Quando ci si riferisce ai terremoti e ad altri eventi calamitosi di origine naturale, l'abusata frase "messa in sicurezza del territorio" suona quasi beffarda. L'attuale normativa per le costruzioni in zona sismica, come è noto, non promette la sicurezza totale, perché ciò non potrebbe trovare riscontro nella realtà. Si punta responsabilmente al "non collasso della struttura" per salvare la vita delle persone, obiettivo dal cui raggiungimento tuttavia siamo ancora molto lontani. Alle popolazioni, soprattutto quelle più esposte, dovrebbero essere chiaramente spiegato che non esistono pratiche di assoluta tutela e che la prevenzione (anche quella che si realizza nelle ricostruzioni di un dopo terremoto) va interpretata quale riduzione dello spazio che separa gli effetti del terremoto dalla dimensione *inaccettabile* (Amatrice distrutta) a quella considerata *inevitabile* (Norcia danneggiata).

Delocalizzare, demolire e ricostruire *ex novo* sono termini da usare con enorme cautela e per specifiche situazioni. Il mantenimento dei caratteri identitari – sul piano sociale e culturale – dovrebbe essere un elemento centrale anche in termini economico-finanziari. L'esame delle ricostruzioni degli ultimi cinquant'anni (Tab. 5) offre un quadro disordinato, rimasto a lungo privo di uno schema d'intervento da applicare al momento necessario, asseverato, che ponga la conservazione come obiettivo prioritario, salvo poi ammettere deroghe vigilantissime.

Ma la qualità della ricostruzione post terremoto non riguarda solo le città storiche e i borghi d'Italia. Anche le città moderne e le periferie vengono danneggiate, e sul tema della qualità si dovrebbe aprire un dibattito, con l'auspicio che porti alla definizione di un obiettivo, ben riconoscibile, che ogni ricostruzione dovrebbe raggiungere, in quanto tempo e con quali mezzi e con quali decisori.

Il più ampio contenitore rappresentato dalla *riqualificazione* (conservazione e valorizzazione dell'ambiente) e dalla *rigenerazione* dei contesti urbani degradati e molto vulnerabili propone oggi strategie e nuove politiche pubbliche finalizzate anche a una maggiore sicurezza abitativa e a una limitazione dei rischi: in questo senso si dovrebbe intendere la *preparazione alle emergenze*, tipicamente affidata a un Piano e poi, inevitabilmente, alla *preparazione alla ricostruzione*. Un Piano, inevitabilmente di lungo periodo (alcuni decenni) dovrebbe essere inteso come una nuova forma di convergenza di progettualità in settori diversi, concorrenti agli stessi obiettivi e raccordati in un'unica strategia.

Come scrivono nell'*Introduzione* Roberto De Marco ed Emanuela Guidoboni (ATLANTE, pag. 76) oggi, nel XXI secolo, riguardo alle ricostruzioni siamo in attesa di soluzioni nuove che consentano di uscire da una sconsolante *routine* di insuccessi e fallimenti – pur accanto a qualche buona pratica innovativa – nei confronti dei quali la percezione diffusa del Paese rischia una sorta di assuefazione,

probabilmente già in atto. Si deve evitare che le ricostruzioni divengano una condizione necessaria, grave, costosa, estesa e sempre subita: in breve, si deve evitare che diventino una condizione penalizzante di *seconda emergenza*, ancorché non dichiarata. Si può concludere evocando come un obiettivo ancora lontano le parole di Kofi Annan pronunciate più di venti anni fa:

«Costruire una cultura di prevenzione non è facile. Mentre i costi della prevenzione devono essere nel presente, i suoi benefici si avvertono in un futuro distante. Per di più i benefici non sono tangibili: essi sono quelli dei disastri che non sono accaduti».

La gerarchia delle faglie attive: un aspetto centrale nella valutazione dell'Azzardo Sismico

L'ATLANTE tocca frequentemente anche temi di Sismotettonica, questioni aperte che possono avere un impatto sulla valutazione dell'Azzardo Sismico. Si riporta qui, come esempio, un approfondimento sul tema della fagliazione sismogenetica e superficiale in relazione al terremoto del 6 aprile 2009 a L'Aquila (da ATLANTE, Centro e Nord, pag. 638). Una delle principali attività che vengono condotte dopo l'accadimento di un terremoto di magnitudo superiore a M_w 5,5 è l'indagine sulla faglia che lo ha generato. La ricerca è finalizzata a capire se essa ha causato effetti in superficie, o se si invece si è trattato di una faglia cieca, ovvero posta in profondità nella crosta terrestre e quindi incapace di causare effetti diretti sulla superficie topografica. Resta sempre vero che qualunque terremoto produce in superficie deformazioni a grande scala, che non si manifestano come rotture fragili, ma come avvallamenti o sollevamenti che possono essere identificati solo grazie a osservazioni geodetiche o alla moderna tecnica satellitare DInSAR (interferometria differenziale resa possibile dal Synthetic Aperture Radar montato sui satelliti); la loro entità e distribuzione è funzione della magnitudo del terremoto e della geometria della faglia. L'indagine serve anche a capire se la faglia era già nota agli studiosi – e quindi già censita nelle loro banche-dati – o se al contrario era del tutto ignota, e a valutare il ruolo giocato dalle eventuali altre faglie note nella zona.

Le indagini di terreno avviate dopo il terremoto del 6 aprile 2009 mostrarono subito un movimento relativo di qualche centimetro lungo la faglia di Paganica, solo parzialmente nota alla letteratura geologica; la rottura era osservabile su una distanza di diversi chilometri tra l'abitato di Paganica e quello di Tempèra. Il fenomeno ebbe come effetto la rottura con interruzione della fornitura dell'acquedotto del

Gran Sasso, che incanalava una sorgente scoperta durante i lavori dell'omonimo traforo e che alimenta numerosi comuni dell'aquilano. Verso nord-ovest la faglia proseguiva in direzione di un viadotto dell'autostrada A24, che però non riportò alcuna conseguenza. Furono inoltre osservati modesti fenomeni di riattivazione lungo le faglie del Monte Stabiata, di Colle Praticciolo, del Macchione, del Pettino, del Monte Marine, di Roio-Canetra, di Bazzano, di Monticchio-Fossa e di Villa Sant'Angelo-Tione, anche se nella gran parte dei casi si trattò di piccole frane e scoscendimenti di materiale lapideo piuttosto che di reali riattivazioni della porzione profonda della faglia (Fig. 29).

La faglia di Paganica fu in seguito riconosciuta come l'espressione superficiale della faglia profonda responsabile del terremoto del 6 aprile 2009, in virtù della sua buona congruenza con tutti i dati strumentali disponibili, con l'evoluzione geologica di lungo termine della media valle dell'Aterno e con il quadro del danneggiamento. Ma questa conclusione accese un animato dibattito: quella di Paganica infatti non era considerata la faglia più importante della conca aquilana, e pertanto – a differenza di altre faglie che invece non hanno mostrato alcun movimento nel 2009 – non era stata esplicitamente considerata in grado di generare un forte terremoto. Va precisato però che questo dibattito aveva un carattere più accademico che sostanziale, perché la normativa in vigore nel 2009 non prevedeva che si tenesse conto in modo puntuale della eventuale presenza di grandi faglie sismogenetiche, e ancor meno di faglie anche non sismogenetiche, ma in grado di causare fagliazione della superficie topografica: le cosiddette *faglie attive e capaci*. Attive perché suscettibili di muoversi nel regime di sforzi tettonici attuale, e capaci perché in grado di tagliare la superficie topografica, potenzialmente causando danni alle fondazioni di edifici e alle infrastrutture – come nel caso dell'acquedotto – non prevenibili con le normali norme antisismiche.

La situazione delineata emerge chiaramente dalla Fig. 30, che mostra il campo di deformazione superficiale causata dal terremoto in relazione alle numerose faglie mappate nell'area. Con PAG è indicata l'espressione superficiale della faglia di Paganica, che pende verso sud-ovest, quindi verso la media valle dell'Aterno: PET indica la faglia del Monte Pettino, che sovrasta uno dei quartieri nord-occidentali di L'Aquila e che fino al terremoto del 2009 era ritenuta in grado di generare essa stessa forti terremoti. Le isolinee colorate, fornite dall'indagine DInSAR, descrivono l'andamento della deformazione che la faglia sismogenetica ha causato sulla superficie topografica: si tratta di una

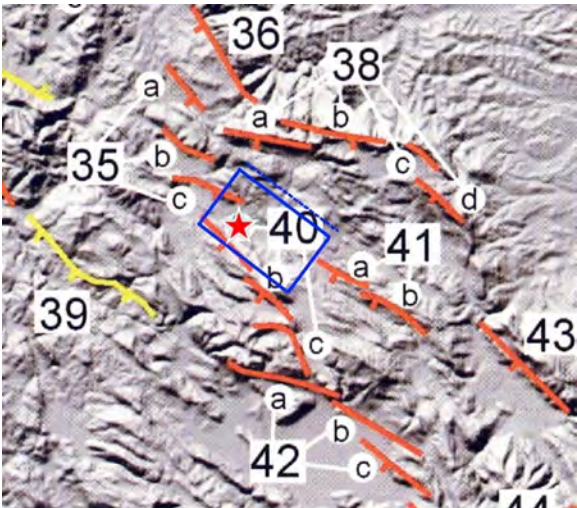
Terremoto	Anno	Periodo previsto di rientro del debito contratto	Costo (mld di euro)
Valle del Belice	1968	1968-2028	9.179
Friuli Venezia Giulia	1976	1976-2006	18.540
Irpinia	1980	1980-2023	52.026
Marche-Umbria	1997	1997-2024	13.463
Puglia-Molise	2002	2002-2023	1.400
Abruzzo*	2009	2009-2029	13.700
Emilia**	2012	2012 -?	13.000
Amatrice-Norcia ***	2016	2016 - ?	30.000
Totale			151.608

Tab. 5 - Costi attualizzati in miliardi di euro sostenuti dallo Stato per i terremoti accaduti dal 1968 al 2016. Le cifre indicate sono in difetto perché non sono conteggiate le spese in corso e prossime dovute ai terremoti indicati. La somma finale spesa o impegnata in cinquant'anni, dal 1968 al 2022, dovrebbe scoraggiare il proseguimento di una politica che rincorre i disastri e punta solo alle ricostruzioni; ai costi economici occorre aggiungere i gravissimi danni immateriali, quali il numero dei morti, circa 5.000, la dispersione della popolazione e la disgregazione di intere comunità (da De Marco e Guidoboni, *ATLANTE*, Centro e Nord, pag. 75).

depressione a forma di ellisse, lunga circa 30 km e larga circa 15, che culmina con uno sprofondamento fino a circa 20 cm nella sua parte centrale, corrispondente approssimativamente con l'area di Onna e del polo industriale di Bazzano. Sommandosi nel tempo terremoto dopo terremoto, questa deformazione rende ragione della creazione della piana alluvionale dell'Aterno, che ha progressivamente modificato la distribuzione delle principali linee di drenaggio e il trasporto di sedimenti dai vicini rilievi. Ma la Fig. 30 mostra anche che le faglie già note nell'area hanno in qualche misura 'accomodato' la deformazione causata dalla faglia profonda, dislocandosi per qualche millimetro o centimetro: allo stesso tempo queste faglie sembrano "galleggiare" nel campo di deformazione causato dalla faglia responsabile del terremoto del 2009, suggerendo con forza che questa deve essere considerata come l'unica certamente sismogenetica di questa zona. Il ragionamento si chiude prendendo atto della congruenza tra la deformazione misurata a seguito del terremoto e l'assetto della geologia e della topografia della zona, che evidentemente ha registrato il ripetersi dei terremoti *predecessori* di quello del 2009. La faglia che ha generato

questo terremoto è evidentemente un attore del rango gerarchico più elevato nell'evoluzione di questa zona, mentre le faglie che si sono mosse sopra di essa appartengono a un rango inferiore. Quali sono le conseguenze pratiche di questo ragionamento, forse complesso e apparentemente astruso? Che le faglie già mappate – perché ben visibili in superficie e quindi più facilmente apprezzabili all'occhio del geologo – non sempre sono gli attori principali nella pericolosità sismica di una qualunque area del globo: quando arriva il forte terremoto, che è la testimonianza certa della

Fig. 29 - Dettaglio della Carta delle faglie attive dell'Appennino centrale pubblicata nel 2000 dal Gruppo Nazionale Difesa dai terremoti (GNDT). Alle faglie, indicate in rosso, con sovrapposti l'epicentro della scossa del 6 aprile 2009 (asterisco rosso) e la proiezione sulla superficie della relativa sorgente sismogenetica (in blu). Si nota che la rottura causata dalla sorgente del terremoto del 2009, indicata da una linea blu a tratto, non coincide con alcuna delle faglie mappate (da *ATLANTE*, Centro e Nord, pag. 637).



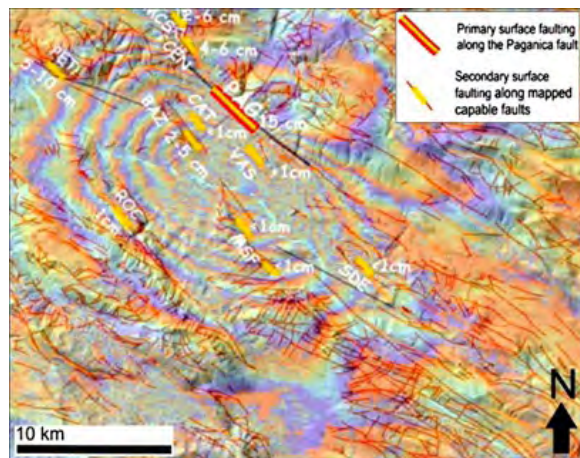


Fig. 30 - L'area colpita dal terremoto del 6 aprile 2009. Gli anelli colorati sono isolinee dei cambiamenti di quota causati dal movimento della faglia responsabile di quel terremoto. Esse descrivono una depressione che 'inghiotte' diverse delle faglie mappate nell'area da decenni e ritenute tutte in grado di generare forti terremoti, indicate con un simbolo giallo e con una sigla che si rifà al nome con cui sono note in letteratura; l'indicazione in cm indica l'entità della dislocazione a seguito del terremoto del 2009 (da *ATLANTE*, Centro e Nord, pag. 638).

pericolosità della faglia che lo ha generato, può emergere il fatto che quella faglia era meno visibile e quindi meno conosciuta di altre, se non addirittura invisibile perché del tutto priva di espressione superficiale diretta. Ma nel frattempo le *altre faglie*, quelle più facilmente identificabili, e quindi verosimilmente più antiche e forse già estinte, potrebbero aver dominato la scena, venendo considerate le sorgenti potenziali di terremoti che non saranno mai in grado di generare.

In sintesi, quella che si crea nell'aquilano, come in tante altre italiane e del globo, è una curiosa ma insidiosa "gerarchia inversa" delle faglie visibili sul terreno. Come tutti i forti terremoti che lo hanno preceduto, anche il terremoto del 2009 ha rivelato agli studiosi dettagli cruciali per capire quali delle tante faglie attive mappate negli ultimi 50 anni detengano realmente un potenziale per forti terremoti, e quali siano invece semplicemente dei relitti – ancorché ben visibili – di regimi tettonici antichi ormai estinti. Il terremoto del 2009 ha rivelato che nella media valle dell'Aterno esiste una faglia sismogenetica importante – quella che ha generato quell'evento e che in precedenza era poco nota – e una serie di faglie che si muovono solo passivamente, in risposta al movimento sulla sottostante faglia sismogenetica. Sarebbe un errore introdurre in un modello di pericolosità sismica queste faglie secondarie, ossia non radicate a profondità sismogenetica; un errore che peraltro presupporrebbe una elevata frequenza dei forti terremoti che però – fortunatamente – contrasta sia con l'evidenza storica, sia con la velocità a cui tutto l'Appennino si sta deformando in risposta ai processi geodinamici in atto.

Quello italiano è un territorio ad alta pericolosità; l'Abruzzo è una delle aree più pericolose e l'indagine sulle grandi

faglie sismogenetiche è centrale nella conoscenza e nella mitigazione dell'*Azzardo Sismico*, qui e altrove. Occorre però definire una volta per tutte una "gerarchia" delle faglie, per non rincorrere pervicacemente la mappatura di faglie che manifestamente non sono in grado di generare forti terremoti, anche se possono causare fagliazione superficiale. Al tema è stato dedicato il progetto Interoperabilità ITHACA-DISS, finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile e tuttora in corso, a cui si rimanda il lettore per ulteriori dettagli (<https://diss.ingv.it/ithadiss>).

Conclusioni, in forma di auspicio

La *virtù della memoria*, su cui è incardinato l'*ATLANTE*, ha sempre una forte rilevanza culturale e scientifica, e possiamo dire che rende evidente quanto sia necessaria la prevenzione. Lottica multidisciplinare di lungo periodo, qui adottata sistematicamente, mostra e spiega che in numerose aree del Sud e del Centro del Paese ci sono città con alta e altissima pericolosità sismica; a fronte di altre, nello stesso Sud e nel Nord, che hanno livelli di pericolosità sismica medio-bassi, ma in cui si riscontrano livelli di rischio sismico urbano decisamente alti e quasi sempre largamente sottovalutati.

In questa ottica anche le ricostruzioni sono un antefatto della prevenzione, perché rendono palesi le cause dei danni e mostrano i criteri per limitarli.

A valle di questa rapida sintesi sul lungo percorso geografico, storico e sismico dell'*ATLANTE*, si può fare una riflessione generale che riguarda il futuro.

Non c'è dubbio che nelle ricostruzioni dopo i forti terremoti del XXI secolo, la maggior parte delle quali è ancora in corso, siano state profuse con generosità e competenza enormi energie per valutare l'abitabilità delle migliaia di edifici danneggiati, per classificarne i danni e per creare le basi degli interventi di riparazione e ricostruzione. Ma dopo ormai otto anni dall'ultimo disastro sismico, quello del 2016, manca ancora un ente o una istituzione in grado di fornire alla cultura del Paese una sintesi statistica quantitativa, ragionata e chiara dell'impatto dei terremoti che sono accaduti nel XXI secolo. Nell'enorme frammentarietà di dati e documentazione, non si è fatta ancora strada

l'idea di raccogliere e custodire in modo sistematico rilievi tecnici, fonti scritte, fotografie e video sui danni e sulle successive riparazioni, per ogni centro abitato coinvolto. È quantomai necessario e auspicabile che siano progettati archivi tematici unificati che raccolgano i dati dei terremoti contemporanei, e che tali dati siano resi disponibili a ricercatori e cittadini.

Conoscere gli effetti dei terremoti dei secoli passati e di quelli contemporanei aumenta la consapevolezza di cosa implichi un forte terremoto in assenza di politiche di prevenzione, e offre un quadro generale di conoscenze anche alle generazioni future, mantenendo quindi vivo il processo

di propagazione della memoria, a cui questo ATLANTE intende contribuire.

Conoscere–valutare–responsabilizzare: tre azioni che rappresentano la chiave di volta di ogni solida politica di prevenzione.

Bibliografia

- GUIDOBONI E., FERRARI G., MARIOTTI D., COMASTRI A., TARABUSI G., SGATTONI G., VALENSISE G. (2018), CFTI5MED, CATALOGO DEI FORTI TERREMOTI IN ITALIA (461 A.C.-1997) E NELL'AREA MEDITERRANEA (760 A.C.-1500), ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA (INGV), DOI: 10.6092/INGV.IT-CFTI5.

La sezione iniziale del tracciato originale dell'acquedotto di Traiano per il porto di Centumcellae, oggi Civitavecchia, provincia di Roma, Italia centrale

The initial section of the original layout of Traiano's aqueduct for the port of Centumcellae, today Civitavecchia, province of Rome, central Italy

Ugo Chiocchini | Già professore ordinario di Geologia applicata, Università degli Studi della Tuscia

E-mail: luca_chiocco@libero.it

Luigi Portoghesi | Professore di Pianificazione forestale, Dipartimento per la Innovazione nei Sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali, Università degli Studi della Tuscia, E-mail: lporto@unitus.it

Franco Portoghesi | Ingegnere civile, Via Luigi Angeloni 29, 00149 Roma

Angelo Regnani | Via della Repubblica 2 b, 00051 Allumiere, E-mail angeloregnani53@gmail.com



Termini chiave: Risorsa geotermica, Tolfa, Civitavecchia, Lazio nordoccidentale, Monti della Tolfa, Modello idrogeologico concettuale

Keywords: Geothermal resource, Tolfa, Civitavecchia, northwestern Lazio, Tolfa Mountains, Conceptual hydrogeological model

Riassunto

L'acquedotto costruito da Traiano per il porto di *Centumcellae* nel 102 – 110 A.D., lungo 35,5 km, è ubicato nei Monti della Tolfa con morfologia collinare e costituiti in gran parte dal Flysch della Tolfa argilloso calcareo (Cretacico superiore-Eocene) e dalle lave ricche in silice dell'Unità di Allumiere (Pliocene superiore–Pleistocene inferiore), subordinatamente dalle argille dell'Unità del Fosso di San Savino (Pliocene inferiore). Il Complesso delle lave è un acquifero sostenuto dai complessi del Flysch e delle argille, caratterizzati da un grado di permeabilità relativa molto basso, bassissimo o nullo, ed è suddiviso verticalmente e lateralmente in compartimenti con grado di permeabilità relativa da medio alto a basso, separati dal *limite di permeabilità indefinito*. L'acquifero contiene corpi idrici sospesi a quote differenti di limitata estensione, che emergono in sorgenti minori con portata < 1 L/s, e maggiori Cinque Bottini e Trinità con portata > 5 L/s.

Utilizzando la mappa di Lulier (1887) con il tracciato dei due rami dell'acquedotto, che provengono dalle opere di presa terminali delle sorgenti Cinque Bottini e Trinità, è stato possibile riconoscere nove parti dei due rami. La struttura dell'acquifero suggerisce che le sorgenti Cinque Bottini e Trinità sono state captate tramite i cunicoli drenanti. Dopo lo scavo del canale, l'acquedotto è stato costruito in muratura di calcestruzzo romano con copertura a volta. Questa tecnica costruttiva ha richiesto un'elevata disponibilità di legname come fonte di energia per la produzione della calce e come materiale ad uso strutturale per la costruzione delle casseforme. Il legno è stato ricavato dalle specie arboree più diffuse nei boschi dei Monti della Tolfa, cioè querce, in particolare leccio e cerro, castagno e, in misura minore, faggio. L'acquedotto, che ha fornito acqua a Civitavecchia fino alla fine degli anni Cinquanta, merita di essere ricordato e conservato come ulteriore testimonianza dell'ingegno e della tecnica costruttiva del popolo romano.

Summary

The aqueduct built by Traiano for the port of Centumcellae in 102 – 110 A.D., 35.5 km long, is located in the Tolfa Mountains with hilly morphology and made up largely of the clayey calcareous Tolfa Flysch (upper Cretaceous-Eocene) and lava rich in silica of the Allumiere Unit (upper Pliocene-lower Pleistocene), subordinately of the Fosso di San Savino Unit clays (Lower Pliocene). The Lava complex is an aquifer supported by the Flysch and Clay complexes with a very low or zero degree of relative permeability, vertically and laterally divided into compartments characterized by medium high to low degree of relative permeability separated by an indefinite permeability limit. The aquifer holds perched water bodies of limited extension at different altitudes, that emerge in the minor springs with a yield < 1 L/s, and the Cinque Bottini and Trinità major springs with a yield > 5 L/s. Using Lulier's map (1887) with the layout of the two branches of the aqueduct, that come from the terminal catchment works of the Cinque Bottini and Trinità springs, it was possible to recognize nine parts of the two branches. The structure of the aquifer suggests that the catchment of the Cinque Bottini and Trinità springs was performed by the drainage tunnels. After the excavation of the canal, the aqueduct was built in Roman concrete masonry with a vaulted roof. This construction technique required a high availability of wood as a source of energy to produce lime and as a raw material for the formworks. The wood was obtained from the most widespread tree species in the Tolfa Mountains forests, namely oaks, particularly holm oak and turkey oak, chestnut and, to a lesser extent, beech. The aqueduct, which supplied water to Civitavecchia until the late 1950s, deserves to be remembered and preserved as further testimony to the intelligence and construction technique of the Roman people.

Introduzione

Per costruire l'acquedotto di Traiano, lungo 35,5 km, che adduceva acqua al porto di *Centumcellae* nel 102 – 110 A.D., è particolarmente rilevante la sezione del tracciato compreso tra le opere di presa terminali Cinque Bottini e Trinità, illustrate da Chiocchini et al. (2023), e il ponte necessario per scavalcare il torrente affluente di sinistra del Fosso della Botte, circa 1,4 km a nord di Allumiere, denominato ponte 1 da Chiocchini et al. (2023) e Ponte museo da Lulier (1887). Questo Autore ha prodotto una mappa, che illustra i due rami dell'acquedotto provenienti

dal “passo della Vecchia” (Cinque Bottini) e dal “Romitorio della Santissima Trinità”, e il relativo “Ponte museo”^[1]. Si evidenzia che la precisione di questa mappa è molto scarsa perché non è frutto di un rilevamento plano altimetrico in cui è riportata la superficie topografica con le relative quote dal “passo della Vecchia” (Cinque Bottini) fino al “Romitorio della Santissima Trinità”. Inoltre, si deve ricordare che l'acquedotto è stato oggetto di sostanziali lavori di restauro dal Papa Innocenzo XII nel 1756-1758.

Lo scopo della presente ricerca, svolta nell'interesse della Associazione Nazionale per gli Interessi del Mezzogiorno d'Italia (ANIMI) - Società Magna Grecia e dell'Università degli Studi della Tuscia, è il controllo sul terreno della suddetta sezione del tracciato dell'acquedotto per verificare sia le modalità di captazione dell'acqua lungo i due rami da Cinque Bottini fino a Trinità, sia la tecnica di costruzione del canale.

Materiale e metodi

Le operazioni della ricerca sono state sviluppate in due fasi. Nella prima fase sono stati acquisiti i dati geologici e idrogeologici di Chiocchini et al. (2023) relativi all'acquedotto di Traiano per il porto di *Centumcellae*. Nella seconda fase è stata determinata preliminarmente la lunghezza del tracciato dell'acquedotto, compreso tra le opere di presa terminali delle sorgenti Cinque Bottini e Trinità e il Ponte museo, necessario per scavalcare un torrente nella zona di Trinità, mediante il curvimetro Silva Misuratore di Mappa sull'elemento 363031 La Farnesiana della Carta Tecnica della Regione Lazio (CTR) in scala 1: 5000. Le misure sono state eseguite tre volte, i cui valori molto simili hanno consentito di ricavare il valore medio. Successivamente l'area del suddetto tracciato è stata controllata sul terreno mediante il Barometre Holosterique Altimétrique compensé 1131, con lettura fino a 0,5 m, e il GPSMAP 64 Garmin.

La vegetazione forestale oggi presente lungo la sezione di acquedotto considerata nello studio è stata analizzata attraverso sopralluoghi in campo integrati dalle indagini bibliografiche. È stato così possibile identificare le specie arboree che più caratterizzano gli attuali popolamenti e che, molto probabilmente, i tecnici romani hanno avuto a disposizione per le esigenze della costruzione dell'acquedotto.

¹ I nomi “passo della Vecchia”, “Romitorio della Santissima Trinità”, “Ponte museo” sono quelli originali utilizzati nella mappa di Lulier (1887) riportata in Figura 3. Nel seguito si useranno, rispettivamente, i nomi Cinque Bottini, La Trinità, Ponte museo.

Ubicazione dell'area di studio

Il tracciato dell'acquedotto, compreso tra le opere di presa terminali delle sorgenti Cinque Bottini e Trinità e il primo ponte necessario per scavalcare il torrente affluente di sinistra del Fosso della Botte, è ubicato nel territorio comunale di Allumiere nei Monti della Tolfa (provincia di Roma) (Fig. 1), nelle tavolette I SE La Farnesiana e II NE Tolfa del Foglio 142 Civitavecchia e negli elementi 363032 Allumiere e 363031 La Farnesiana della Carta Tecnica della Regione Lazio in scala 1: 5000.

Cenni sull'assetto geologico e idrogeologico

Nei Monti della Tolfa affiorano in gran parte il Flysch della Tolfa argilloso calcareo del Cretacico superiore – Eocene (Abbate & Sagri, 1970; Alberti et al., 1970; Servizio Geologico d'Italia, 1969, 1971; Bertini et al., 1971; Fazzini et al., 1972; Baldi et al., 1974; Boccaletti et al., 1987; Civitelli & Corda, 1993; De Rita et al., 1994, 1997; ISPRA - Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia, 2016;

in attesa di stampa; Chiocchini et al., 2022, 2023), le lave dell'Unità di Allumiere (Lauro et al., 1965; Lombardi et al., 1965 a, 1965 b, 1974; Negretti et al., 1963, 1966; Devoto & Lombardi, 1977; Alberti et al., 1970; Ferrini et al., 1970; De Rita et al., 1994, 1997) connesse alla Provincia Magmatica Toscana (Poli et al., 1984; Van Bergen, 1984; Pinarelli, 1991; Serri et al., 1992; Peccerillo & Donati, 2003; Peccerillo, 2005; Palozza, 2019), subordinatamente le argille dell'Unità del Fosso di San Savino del Pliocene inferiore.

Dal punto di vista geomorfologico il territorio dei Monti della Tolfa comprende colline con forma complessiva ellissoidale, orientata in direzione SO - NE, ed elevata energia del rilievo, fino a quote di 510 m s.l.m. ad Allumiere e 515 m s.l.m. a Tolfa. Il reticolo idrografico è costituito da numerosi corsi d'acqua a regime torrentizio disposti con andamento radiale, valli con forma di "V" molto accentuata, e pendenza > 30°. Uno spartiacque orientato ONO - ESE attraversa i Monti della Tolfa separando i torrenti che confluiscono in sinistra del F. Mignone da quelli che sboccano nel Mare Tirreno tra Civitavecchia e Santa Marinella. Inoltre, i Monti della Tolfa sono interessati da diverse frane, come indicato dalla carta del Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia, <http://www.progettoiffi.ispambiente.it>) e confermato da Chiocchini et al. (2023). Questi movimenti franosi interessano sia il Flysch della Tolfa nel territorio di Allumiere e Tolfa, in particolare la Strada Provinciale 3/A, mediante frane rotazionali/di scivolamento, colate lente, aree con frane superficiali diffuse, e meno frequenti movimenti di tipo complesso, sia le lave dell' Unità di Allumiere mediante movimenti per crollo/ribaltamento nelle aree di Allumiere, Tolfa, e Ripa Maiale.

Il rischio sismico del territorio comunale di Allumiere, Tolfa e Civitavecchia è classificato con il grado 3B e indice di accelerazione (a_g) < 0,10^[2], con una probabilità di essere superato pari al 10% in 50 anni. Si tratta di un rischio sismico basso che implica scuotimenti modesti (<https://protezionecivile.regione.lazio.it>).

Nell'area in esame affiora l'Unità di Allumiere che comprende lave trachitico andesitiche affioranti in diversi domi (Lauro et al., 1965; Lombardi et al., 1965a, 1965b, 1974; Negretti & Morbidelli, 1963; Negretti et al., 1966; Lauro & Negretti, 1969; Alberti et al., 1970; Ferrini et al., 1970; Taylor & Turi, 1976; Devoto & Lombardi, 1977; Vollmer, 1977; De Rita et al., 1994, 1997; Pinarelli, 1991; Palozza, 2019; Chiocchini et al., 2023), ricche in silice e caratterizzate da elevata

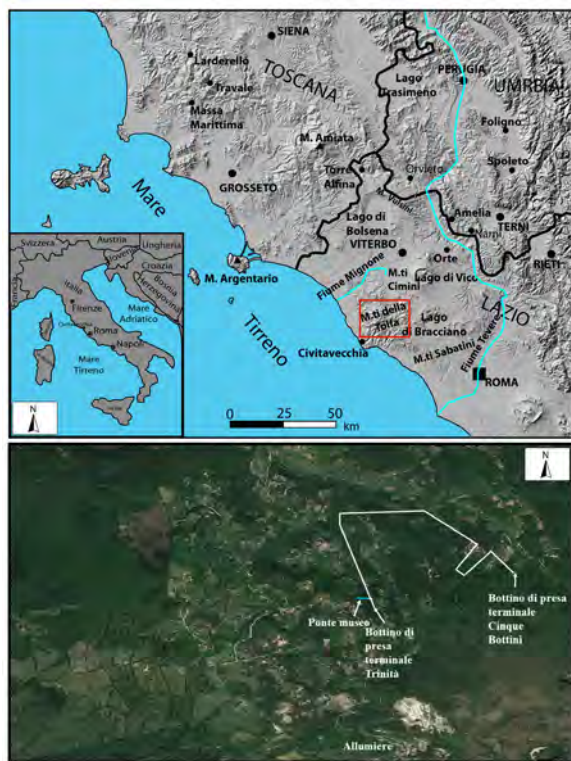


Figura 1. Ubicazione dell'area studiata in cui è indicato il tracciato dell'acquedotto tra le opere di presa terminali dei rami Cinque Bottini e Trinità e il Ponte museo.

² Questo indice rappresenta l'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido e pianeggiante.

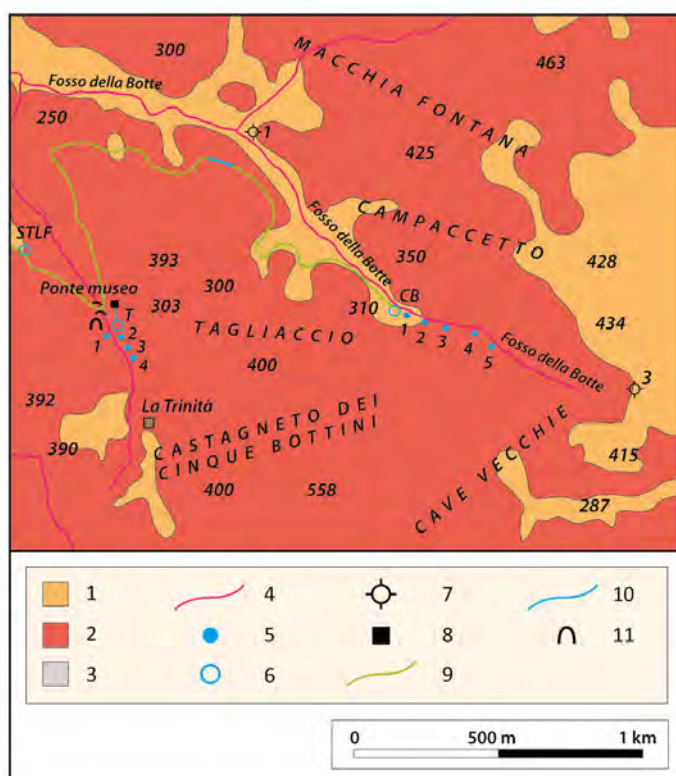


Figura 2. Carta che illustra i complessi idrogeologici e il tracciato dell'acquedotto tra le opere di presa terminali dei rami dell'acquedotto Cinque Bottini e Trinità e il Ponte museo. 1, Complesso detritico con grado di permeabilità relativa medio alto per porosità e Coefficiente di Infiltrazione Potenziale 0,80 - 0,90 (Olocene); 2, Complesso delle lave con grado di permeabilità relativa per fessurazione e fratturazione da medio alto a basso e Coefficiente di Infiltrazione Potenziale 0,65 (Pliocene superiore - Pleistocene inferiore); 3, Complesso del Flysch con grado di permeabilità relativa per fratturazione da molto basso a nullo e Coefficiente di Infiltrazione Potenziale < 0,5 (Cretacico superiore - Eocene); 4, torrente; 5, punti di captazione 1 - 5 delle vene di acqua del ramo Cinque Bottini (CB) e 1 - 4 del ramo Trinità (T); 6, opera di presa terminale dei punti 1 - 5 del ramo Cinque Bottini (CB) e 1 - 4 del ramo Trinità (T); 7, pozzo; 8, vasca di raccolta dell'acqua che proviene dai due rami dell'acquedotto; 9, tracciato dell'acquedotto di Traiano non osservabile lungo la strada interpoderale; 10, tracciato dell'acquedotto di Traiano riconosciuto lungo la strada interpoderale (v. Figura 7 e 9); 11, cunicolo drenante del ramo Trinità.

alterazione superficiale secondaria, che le rende molto friabili e di colore bianco N 9 con chiazze e venature di colore giallo chiaro arancione 10YR 8/6. Negli affioramenti di lava non alterata la roccia è molto compatta, di colore grigio chiaro N 7, e mostra in alcune zone fessure verticali o molto inclinate per lo più aperte, connesse alla contrazione della lava durante il raffreddamento, e fratture verticali dovute alle fasi della tettonica distensiva del Pliocene e Pleistocene.

L'alterazione delle lave dell'Unità di Allumiere produce estese coperture costituite da suoli e depositi colluviali. La ricerca geopedologica e forestale di Alessandrini et al. (2008) nel versante settentrionale di M. Piantangeli, circa 1 km a SE di Tolfa, evidenzia che i suoli, caratterizzati da tessitura franca e franco sabbiosa, humus acido con sostanza organica tipo *moor*, buon contenuto di sostanza organica e di azoto, pH acido e differente saturazione in basi, sono di tipo *Xeroubret andico* e *Haploxeralf ultic* secondo la Soil Taxonomy (Usda, 1975 - 1999). La sostanziale omogeneità della composizione mineralogica dell'Unità di Allumiere, suggerisce che questi tipi di suoli sono diffusi

in tutta l'area costituita dalle lave trachitico andesitiche. Inoltre, l'alterazione produce depositi colluviali costituiti da sabbie grossolane eterometriche e ghiaie in matrice sabbiosa e più raramente limoso-argillosa, di colore moderatamente rosso arancione 10R 6/6, con frammenti grossolani di lava alterata di colore bianco N 9, il cui spessore arriva a circa 6-10 m in alcuni versanti, valli,

e vallecicole. Lo spessore dell'Unità di Allumiere raggiunge il massimo di circa 250 m nell'area di Allumiere, e l'età è Pliocene superiore - Pleistocene inferiore (Lombardi et al., 1974; De Rita et al., 1997).

Le unità sopra descritte corrispondono a due complessi idrogeologici: il Complesso detritico e il Complesso delle lave (Fig. 2). Il Complesso detritico, che comprende i suoli e i depositi colluviali, è caratterizzato da permeabilità relativa medio alta per porosità con Coefficiente di Infiltrazione Potenziale (C.I.P.) (Celico, 1988; Civita, 2005) = 0,80 - 0,90. Il Complesso delle lave, costituito dall'Unità di Allumiere, mostra un grado di permeabilità relativa per fessurazione e fratturazione variabile, in generale da medio alto a basso e da zona a zona. Infatti, la disomogenea distribuzione delle fessure e fratture suddivide l'ammasso roccioso di questo complesso in compartimenti con un grado di permeabilità relativa medio alto sovrapposti e/o contigui a quelli caratterizzati da un grado di permeabilità relativa basso, separati tramite un *limite di permeabilità indefinito* (Civita, 2005; Chiocchini et al., 2023), che controlla la quota delle sorgenti compresa tra 175 m s.l.m. e 535 m s.l.m. Pertanto,

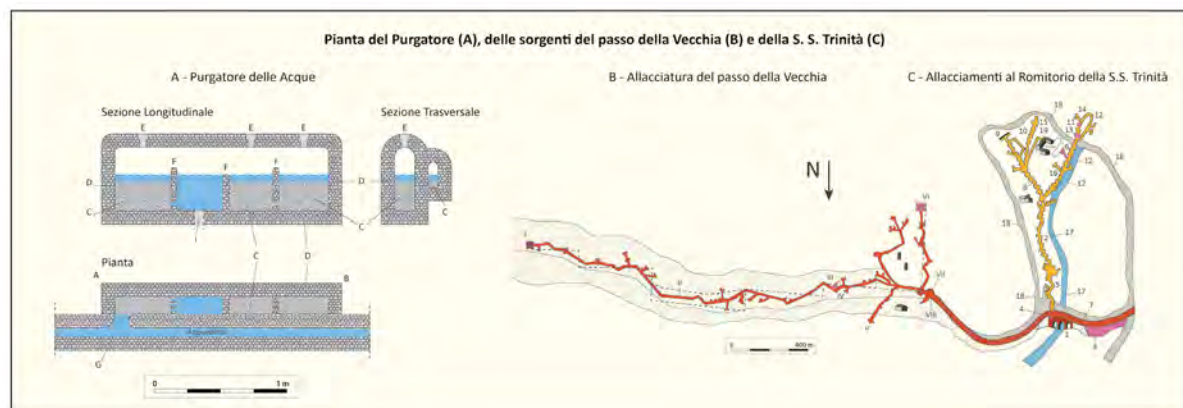


Figura 3. La mappa di Lulier (1887) che illustra il tracciato dei due rami dell'acquedotto Cinque Bottini e Trinità nella legenda è stato conservato il testo originale di Lulier (1887). **A Purgatore delle acque:** AB Dimostra la lunghezza del purgatore di piedi 50 largo piedi 7 fondo più dell'acquedotto di piedi 8; C Massiccio di manufatto nel fondo del purgatore della misura come sopra in pietra viva; D Muri che ricingono il suddetto purgatore grossi piedi 2 e alti 5 sopra al massiccio fino all'imposta della volta; E Volta sopra il purgatore grossa nella cima piedi 20 in pietra a tutto sesto con fori per i chiusini; F Tramezzi grossi una testa di mattoni formanti vani interni del purgatore, cioè il 1° e il 3° alto piedi 8 e il 2° piedi 6, nei due primi vi sono tre fori ognuno di piedi 9/4 e dal piano alto piedi 1/2; G Buca nel muro entro l'acquedotto per l'acqua entro il purgatore; H Tramezzo di muro entro l'acquedotto per l'acqua entro il purgatore; I Apertura nel muro alla estremità inferiore del purgatore per rimettere l'acqua nel suo acquedotto dopo essersi purificata. Tutto l'interno è rivestito di intonaco a cocchiopesto ed incollato con malta e pozzolana. **B Allacciatura del passo della Vecchia:** I Prima sorgente al passo della Vecchia; II Condotta che riceve i braccioli laterali allacciati; III Fontanella lasciata per un comodo dei pastori; IV Muro di rifolta; V Monte della Sibilla con 1 grosso capo d'acqua; VI Monte dei Lecini con due grossi capi d'acqua; VII Botte antica con grosso muro di rifolta; VIII Principio del grande acquedotto. **C Allacciamenti al Romitorio della Santissima Trinità:** 1 Ponte museo; 2 Acquedotto intermedio; 3 Guado della Carbonara; 4 Purgatore; 5 Guado dell'acque bianche; 6 Botte con due purgatori; 7 Muraglione di sostegno; 8 Primo braccio; 9 Botte ove sono le sorgive; 10 Secondo braccio; 11 Altra botte con sorgenti; 12 Terzo braccio; 13 Bottino per unire l'acqua; 14 Braccio che va verso l'alberi; 15 Botti ove sono altre sorgive; 16 Braccio con suoi braccioli; 17 Fosso superiore dell'acquedotto; 18 Strada del Romitorio; 19 Chiesa del Romitorio.

la conseguente anisotropia idraulica dell'intero ammasso roccioso suggerisce che il CIP di questo complesso è mediamente 0,65 (Celico, 1988; Civita, 2005). Il Complesso delle lave costituisce un acquifero fessurato e fratturato, sostenuto dai complessi del Flysch e delle argille, caratterizzati, rispettivamente, da permeabilità relativa molto bassa e bassissima o nulla e C.I.P. < 0,5 e 0,15 (Boni et al., 1986; Piscopo et al., 2006; Chiocchini et al., 2022, 2023), tranne lungo le fasce cataclastiche delle faglie, e da corpi idrici sospesi a quote differenti di limitata estensione, che emergono in sorgenti minori con portata < 1 L/s e maggiori con portata > 5 L/s (sorgenti Cinque Bottini e Trinità) (Chiocchini et al., 2022, 2023).

Il tracciato dell'acquedotto tra le opere di presa terminali dei rami Cinque Bottini e Trinità, e il Ponte museo

La Figura 3 mostra la mappa di Lulier (1887) (Fig. 4) con il tracciato dei due rami dell'acquedotto che provengono da Cinque Bottini e Trinità. Si evidenzia che l'Autore ha scritto numeri romani nella legenda di "B" della figura originale, mentre lungo il tracciato dell'acquedotto ha inserito



Figura 4. Frontespizio della mappa di Lulier (1887).

numeri arabi. Nella Figura 3 si è preferito riportare i numeri romani rispettando la legenda originaria. Dalla mappa di Lulier risulta che: (i) il canale principale (“condotto”) dei due rami riceve, da destra e sinistra, diversi contributi di acqua da rami secondari denominati “braccioli”, “botti”, e “grossi capi d’acqua”; (ii) sono presenti un “purgatore” (depuratore) e una “botte con due purgatori”. La natura dell’acquifero del Complesso delle lave, sopra descritta, suggerisce che i contributi di acqua sono forniti dalla captazione delle sorgenti Cinque Bottini e Trinità tramite i cunicoli drenanti, cioè i rami secondari o “braccioli”, come evidenziato da Chiochini et al. (2023). Al riguardo è necessario ricordare che il sistema dei cunicoli drenanti è stato utilizzato anche nello scavo delle rocce piroclastiche presso il Lago di Bracciano, circa 20 km a est di Allumiere, per il condotto principale, il ramo di adduzione di Vicarello, il ramo delle Sette Botti, e il sistema del Fosso della Calandrina dell’acquedotto che Traiano fece costruire nel 109 – 114 A.D. (Aqua Traiana; a cura di Cifarelli & Marcelli, 2022), cioè poco dopo la costruzione dell’acquedotto per il porto di *Centumcellae*. Il controllo sul terreno del tracciato dei due rami dell’acquedotto è risultato molto difficile a causa della copertura del bosco spesso comprendente zone con densa vegetazione arbustiva³. Pertanto, è stato possibile riconoscere le seguenti parti dei due rami dell’acquedotto nella mappa di Lulier (Fig. 3), iniziando dalla zona Cinque Bottini:

- i punti di captazione delle vene di acqua 1 - 5 (Fig. 5) e l’opera di presa terminale del ramo Cinque Bottini (Fig. 6), coincidente con “VII Botte antica” in B della mappa di Lulier;
- il tratto del canale dell’acquedotto lungo 8 m (Fig. 7), con la calotta rotta, la sezione larga 0,55 m e alta 0,60 m, e un pozzo di ispezione con dimensioni 0,57 x 0,53 m, situato sulla strada interpoderale tra Il Ponte museo e Cinque Bottini;
- la vasca di raccolta dell’acqua che proviene dai due rami dell’acquedotto (Fig. 8), attigua al Ponte museo, lunga 3,42 m, larga 3,04 m, alta 1,45 m, e coincidente con “4 Purgatore” in C della mappa di Lulier;
- un tratto del canale dell’acquedotto lungo 8,5 m, quasi completamente coperto da una muratura in conci di lava (Fig. 9), con sezione larga 0,55 m e alta 0,60 m, ubicato tra la sorgente Trinità e la vasca di raccolta dell’acqua che proviene dai due rami dell’acquedotto coincidente con “4 Purgatore” in C della mappa di Lulier;

- il ponte costituito da tre archi e lungo 35 m che scavalca il torrente tributario di sinistra del Fosso della Botte (Fig. 10), cioè “1 Ponte museo” in C della mappa di Lulier;
- l’ingresso di un cunicolo drenante (Fig. 11) alla base di “8 Primo braccio” in C della mappa di Lulier;
- i punti di captazione delle vene di acqua 1 – 4 (Fig. 12) e l’opera di presa terminale del ramo Trinità (Fig. 13).

Il ramo proveniente da Cinque Bottini, lungo 2,5 km segue quasi fedelmente il tracciato della strada interpoderale tra Cinque Bottini e il Ponte museo. Il ramo Trinità nella mappa di Lulier (1887) (Fig. 3) è caratterizzato da un primo tratto con andamento leggermente curvo lungo circa 300 m, che, poco a monte, mostra una doppia diramazione con forma di Y: una segue sulla destra il torrente affluente di sinistra del Fosso della Botte, l’altra diramazione si sviluppa a est di Trinità, a sua volta con forma di una seconda Y. La lunghezza dei rami della prima Y è di circa 200 e 250 m, quella della seconda Y è circa 100 e 150 m. Il dislivello, definito mediante gli elementi Allumiere e La Farnesiana della CTR del Lazio e il barometro altimetrico olosterico compensato, tra la parte superiore dei due rami a quota, rispettivamente, 375 m e 385 m s.l.m., e la vasca di raccolta dell’acqua che proviene dai due rami dell’acquedotto (“4 Purgatore” in C della mappa di Lulier, 1887), attigua alla spalla sudorientale del Ponte museo a quota 299,4 m s.l.m., è compreso tra 75,6 e 85,6 m. Si deve ritenere che le opere di captazione mediante i cunicoli drenanti indicati nella mappa di Lulier (1887) abbiano mantenuto una pendenza idonea per una lunghezza complessiva di 500 e 550 m per il ramo della prima Y, di 400 e 450 m per il ramo della seconda Y.

I dettagliati sopralluoghi su tutto il ramo Trinità sopra descritto hanno consentito di riconoscere l’ingresso di un cunicolo drenante e i punti di captazione 1 – 4 (Fig. 2).

Le modalità costruttive del canale dell’acquedotto

I tecnici romani, seguendo le indicazioni del libro VIII, VI del *De Architectura* scritto dal grande maestro e ingegnere (*magister et machinator*) Marco Vitruvio Pollione, hanno costruito il canale dell’acquedotto “in solida muratura con una pendenza tra un quarto e un mezzo piede⁴ ogni cento, dotata di una copertura a volta per proteggere l’acqua dal sole”. Per la posa in opera della muratura è stata utilizzata la malta costituita da frammenti di pietra con

³ La vegetazione arbustiva copre densamente il suolo solo dopo il taglio degli alberi perché al sottobosco arriva più luce.

⁴ Un piede (*pes*) = 0,2964 m.



Figura 5. Punto 3 di captazione di vena acqua nel ramo Cinque Bottini.



Figura 6. Opera di presa terminale del ramo Cinque Bottini. Da Chiocchini et al. (2023).



Figura 7. Tratto del canale dell'acquedotto lungo 8 m sulla strada interpoderale tra il Ponte museo e Cinque Bottini. A sinistra si vede il pozzo di ispezione. L'asta è lunga 0,80 m.



Figura 9. Tratto del canale dell'acquedotto lungo 8,5 m sulla strada interpoderale tra la sorgente Trinità e la vasca di raccolta dell'acqua che proviene dai due rami dell'acquedotto coincidente con "4 Purgatore" in C della mappa di Lulier. L'asta è lunga 0,80 m.



Figura 8. Vasca di raccolta dell'acqua che proviene dai due rami dell'acquedotto, corrispondente a "4 Purgatore" in C della mappa di Lulier (v. Fig. 3).



Figura 10. La foto mostra due dei tre archi del Ponte museo che scavalca il torrente tributario di sinistra del Fosso della Botte.



Figura 11. Ingresso di un cunicolo drenante alla base di "12 terzo braccio" della mappa di Lulier (v. Fig. 3), di fronte all'opera di presa terminale Trinità. Da Chiocchini et al. (2023).



Figura 12. Punto "1" di captazione di vena di acqua nel ramo Trinità.

granulometria sabbiosa fino a granulo e da legante (calce e pozzolana) che li amalgama, producendo la loro perfetta coesione e, quindi, la solidità e durata della muratura. Infatti, la malta è stata usata dai tecnici romani per realizzare moltissime opere di ingegneria civile (strade, ponti, edifici pubblici, templi, terme, ecc.) e di ingegneria idraulica (acquedotti, cisterne). Vitruvio descrive nel libro VIII del *De Architectura* le tecniche costruttive delle opere murarie *opus incertum* e *opus reticulatum*, fornendo le indicazioni precise per i materiali che si devono usare nella preparazione della malta: sabbia, calce, e pozzolana. E' suggerita "la sabbia di cava nera, bianca, rossa e rosso scura, e, in assenza di cave, la sabbia di fiume", mentre per

la sabbia di mare occorre molta cautela. "La calce (*calx* o *calcis*) si ottiene mediante la cottura (calcinazione) di pietra bianca; quella ricavata da una pietra dura è adatta per la struttura muraria, mentre quella ottenuta da una pietra porosa va bene per l'intonaco. Quando la calce è raffreddata, si mescola con la sabbia con rapporto di uno a tre se la sabbia è di cava, di uno a due se la sabbia è di fiume, e il risultato sarà migliore se alla sabbia di fiume si aggiunge la terza parte di frammenti di coccio pestato e setacciato". Tuttavia, poichè l'indurimento della malta avviene con molta lentezza, Vitruvio suggerisce l'uso della "polvere di Baia nelle diffuse zone delle campagne dei municipi che esistono intorno al Vesuvio, perché, mi-

sta a calce e pietre, non solo rende estremamente solidi i vari tipi di costruzioni, ma anche le strutture dei moli sotto l'acqua". Pertanto, l'uso della "polvere di Baia", cioè la pozzolana, e del cocciopesto consentiva alla malta di fare presa e indurire anche in acqua mediante una malta con elevata resistenza. La calcinazione della pietra avveniva in appositi forni con tre diversi sistemi: cottura con focolare alla base; cottura per impilamento di strati di pietre calcaree e combustibile a lenta ignizione o carbone di legna (cottura "a fiamma corta");



Figura 13. Opera di presa terminale del ramo Trinità. Da Chiocchini et al. (2023).



Figura 14. Tratto di canale sulla strada Allumiere – La Farnesiana, circa 250 m a NO del Ponte museo, ricostruito utilizzando conci di calcare marnoso del Flysch della Tolfa.

cottura in area scoperta (Adam, 2011).

In base alle osservazioni dirette, risulta che la malta mostra i seguenti caratteri macroscopici uniformi: è dura; di colore grigio chiaro N 7 e grigio medio chiaro N 6 per la subordinata frazione silicatica costituita da frammenti di minerali neri (anfibioli e/o pirosseni); gli inerti sono costituiti da sabbia molto grossolana (1 – 2 mm) e granuli (2 – 4 mm); le prove con acido cloridrico diluito al 10 % indicano che è molto ricca in calcite. Al riguardo, si deve tenere presente che, a seguito dei lavori di restauro dell'intero trecciato dell'acquedotto eseguiti da Papa Innocenzo XII nel 1756-1758, alcuni tratti del canale sono stati ricostruiti utilizzando una muratura costruita con i litotipi calcarei del Flysch della Tolfa (Fig. 14). Secondo il libro VIII del *De Architettura* la conduzione dell'acqua dalle sorgenti alle città può avvenire mediante tre tipi di condotti: canali in muratura con copertura a volta, tubi di piombo o di terracotta. Qualora l'acquedotto debba attraversare zone montuose,

come nel caso in esame, la canalizzazione dovrà essere sotterranea, costruita in modo da avere la pendenza opportuna. Il canale potrà essere scavato direttamente in substrati rocciosi consistenti, mentre in presenza di suoli naturali profondi o sabbiosi la galleria nel cui interno scorrerà l'acqua avrà una sua struttura muraria con pavimentazione, pareti e soffitto a volta (Fig. 3 A). La muratura era realizzata in calcestruzzo versando all'interno

di casseforme di legno (Fig. 15) strati alternati di pietrame e di malta ottenuta con le modalità e i materiali sopra descritti, che garantiva la fabbricazione di strutture con rilevanti caratteristiche meccaniche e di durabilità, anche a contatto con l'acqua, come evidenziato da Seymour et al. (2023).

Un altro materiale che i tecnici romani hanno abbondantemente impiegato per la costruzione delle varie parti dell'acquedotto in questione è stato il legname, utilizzato in particolare per le casseforme e come combustibile

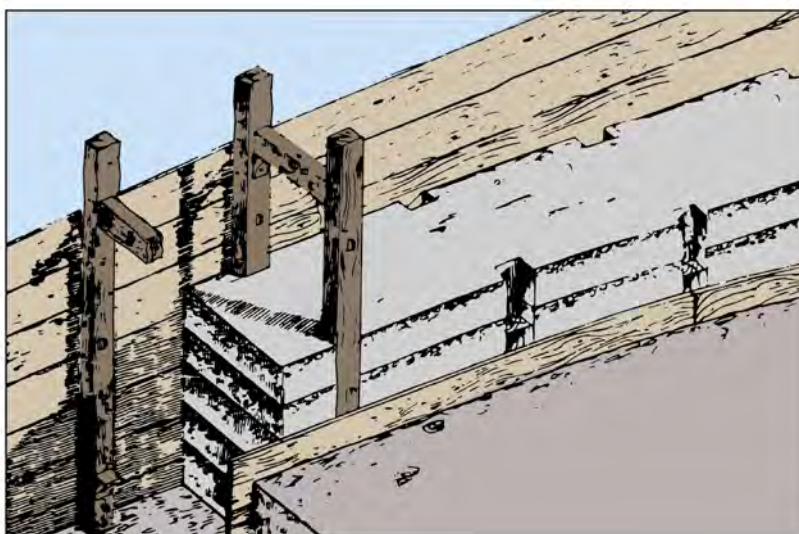


Figura 15. Esempio di cassaforma romana per la costruzione di opere murarie.

per la produzione della malta. Certamente, il legno non mancava nell'ambiente dei Monti della Tolfa, anche oggi molto ricco di boschi costituiti in gran parte da querceti e castagneti con lembi di faggeta nella parte più alta dei rilievi collinari e in fondo alle valli più profonde dove si realizza il fenomeno dell'inversione termica (Di Pietro et al., 2010; Chiocchini et al., 2023). E' probabile che nel periodo della costruzione dell'acquedotto (102 – 110 A.D.) le querce come il leccio (*Quercus ilex*) e il cerro (*Q. cerris*), il castagno (*Castanea sativa*) e il faggio (*Fagus sylvatica*) (Fig. 16), in quanto specie a temperamento mesofilo, fossero ancora più dominanti di quanto non lo siano oggi a motivo del clima mite e umido che caratterizzò il Mediterraneo in quell'epoca favorendo il progresso economico e demografico dell'Impero Romano grazie ad un optimum climatico durato fino al 150 d.C. (Harper, 2019). Insediamenti umani erano presenti sui Monti della Tolfa fin dall'epoca etrusca (D'Ascenzo, 2013; Stracci, 2019) e il loro successivo sviluppo ha sicuramente determinato il progressivo disboscamento di parte del territorio per la coltivazione agricola, e lo sfruttamento dei boschi rimanenti per l'approvvigionamento di legname (*silva cedua*) e il pascolo del bestiame (*silva fructifera*) che hanno dato forma nel corso del tempo all'attuale paesaggio (Agnoletti, 2018). La composizione e la struttura dei popolamenti forestali erano allora molto meno uniformi di oggi ma era già iniziato il processo di coltivazione del bosco che nei secoli ha portato a favorire specie di maggiore valore economico quali, appunto, le querce, il castagno e il faggio (Agnoletti, 2018). In particolare, il castagno era solo una componente di boschi misti con le querce o il faggio a seconda di altitudine ed esposizione dei versanti boscati e ancora non formava gli estesi popolamenti monospecifici oggi presenti anche sui Monti della Tolfa (Conedera et al., 2004).

Si può, quindi, ipotizzare che per le casseforme e le strutture di supporto sia stato utilizzato principalmente legno di faggio e di castagno, meno duro e più facilmente lavorabile di quello delle querce che è, invece, molto adatto, unitamente a quello di faggio, alla produzione di carbone a elevato potere calorifico da impiegare per la calcinazione.

Discussione e Conclusioni

I rilievi collinari dei Monti della Tolfa, costituiti in gran parte dal Flysch della Tolfa con prevalenti litotipi argillosi, e dalle lave dell'Unità di Allumiere, sono caratterizzati da corsi d'acqua con regime torrentizio ed elevato gradiente.

Questo contesto geomorfologico, che agevola l'erosione lineare con il relativo trasporto del carico solido e lo sviluppo di movimenti franosi in molte aree del territorio comunale di Allumiere e Tolfa, e la copertura boschiva, probabilmente più estesa di quella attuale nei Monti della Tolfa, sono stati oggetto di adeguata valutazione da parte dei tecnici romani che hanno progettato ed eseguito i lavori per la costruzione dell'acquedotto.

L'apertura dei cantieri dell'acquedotto è stata preceduta dalle opere preliminari, come le strade di servizio, la livellazione del tracciato dell'acquedotto tramite il *corobate* [5], il taglio del bosco nei primi sei chilometri del tracciato. Inoltre, si è dovuto provvedere alla estrazione del materiale lapideo, sabbioso, e argilloso, indispensabile per la produzione degli inerti, della calce, dei mattoni, e alla preparazione del calcestruzzo e della malta idraulica (*opus signinum*). A tale scopo, sia i depositi colluviali, dovuti alla alterazione delle lave dell'Unità di Allumiere, sia le rocce calcaree e marnose del Flysch della Tolfa, facilmente disponibili, sono stati utilizzati in larga misura.

Per la captazione delle vene di acqua delle sorgenti Cinque Bottini a quota 310 m s.l.m. e Trinità a quota 303 m s.l.m. è stato adottato il metodo dei cunicoli drenanti con le loro diramazioni convogliate in tre cunicoli con i contenitori per la raccolta dell'acqua, dei quali uno comprende il depuratore. Con questo sistema, l'acqua defluisce nel sottosuolo in canalette con base in laterizio e perviene nel recapito dei bottini di presa delle sorgenti Cinque Bottini e Trinità. Il cantiere relativo alla costruzione e alla sistemazione della forma del canale e della cisterna terminale è stato organizzato in trincea e/o a cielo aperto per agevolare l'approvvigionamento del materiale e la progressione della costruzione dal basso verso l'alto. Le pareti della sezione interna del canale con forma geometrica a volta e della cisterna terminale sono rivestite con la malta idraulica (*opus signinum*). Per predisporre le casseforme necessarie alla produzione del calcestruzzo, le centine per costruire gli archi dei ponti, e le paratie per il contenimento provvisorio di scavi con dimensioni rilevanti, come quello in trincea di M. Rovello e per l'alloggiamento della cisterna terminale, è stato utilizzato l'abbondante legname derivato dal taglio del bosco. Quest'ultimo è servito anche per alimentare le fornaci necessarie alla produzione della calce.

I boschi dei Monti della Tolfa hanno generosamente contribuito alla realizzazione dell'acquedotto fornendo

5 Vitruvio illustra il *corobates* nell'ambito dei sistemi di livellamento in De Architectura VIII, 5, 1.

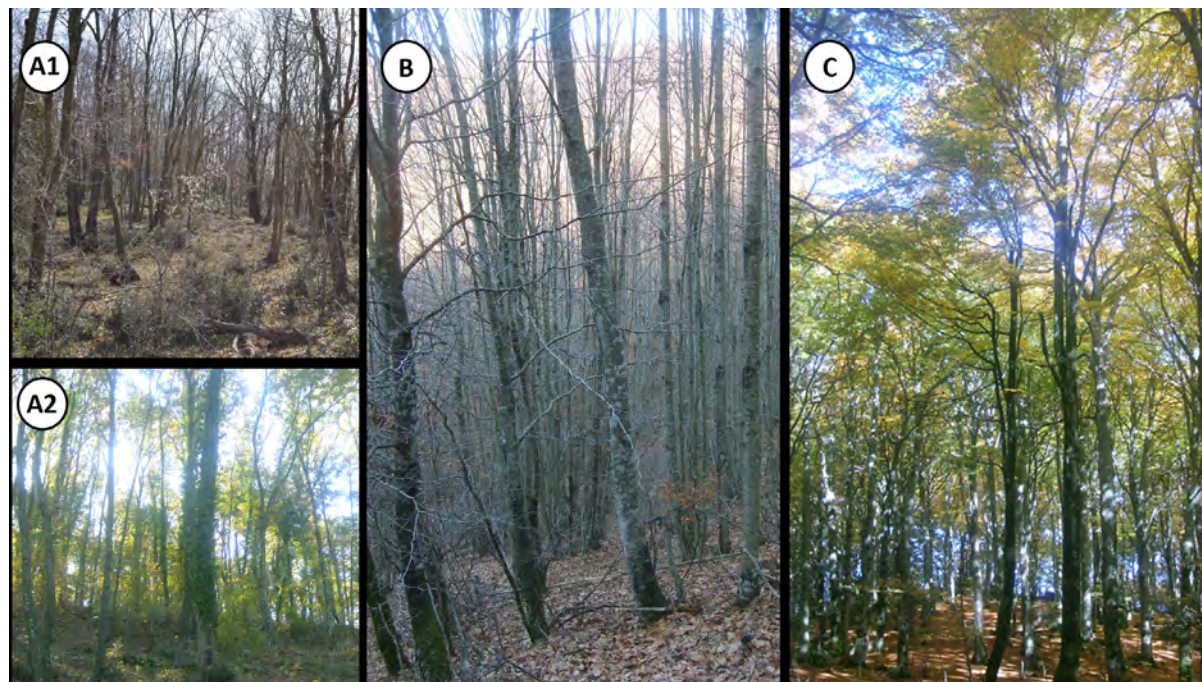


Figura 16. I querceti erano utilizzati per la produzione di legna da ardere e carbone (A1) o per il pascolo animale (A2), a seconda della densità e delle dimensioni degli alberi. Il castagno forniva legname per pali e travi (B). Il faggio era apprezzato per la falegnameria e il carbone (C). Le foto A1 e A2 sono state scattate nell'area dei Monti della Tolfa (Macchia del Quartaccio e Monte Piantangeli), mentre le foto B e C si riferiscono ai domi vulcanici dei Monti Cimini in provincia di Viterbo, dove le condizioni climatiche e pedologiche sono molto simili a quelle dei Monti della Tolfa.

centinaia di alberi, soprattutto querce, castagni e faggi per le varie esigenze strutturali ed energetiche del cantiere. Oggi il bosco è tornato a crescere sopra diversi tratti del tracciato dell'acquedotto contribuendo a nascondere parzialmente alla vista degli abitanti e dei visitatori dei Monti della Tolfa un'opera idraulica che ha fornito acqua a Civitavecchia fino alla fine degli anni Cinquanta e dovrebbe essere ricordata ed oggetto di appropriata manutenzione lungo tutto il suo tracciato, al pari di molte altre opere di ingegneria civile e idraulica, come ulteriore testimonianza dell'ingegno e della tecnica costruttiva del popolo romano.

Ringraziamenti

La ricerca è stata supportata dall'Associazione Nazionale per gli Interessi del Mezzogiorno d'Italia (ANIMI). Gli Autori sono grati ad Alida Ceccarelli per la disponibilità della documentazione di suo marito Ennio Brunori; a Francesco Madonna e Giovanni Savarese per la informatizzazione delle figure.

ORCID

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

Contributo degli Autori

Ugo Chiocchini ha progettato e supervisionato la ricerca, ha eseguito il rilevamento geologico e idrogeologico dei Monti della Tolfa, ha controllato, insieme ad Angelo Regnani, il tratto del tracciato dell'acquedotto compreso tra le opere di presa terminali delle sorgenti Cinque Bottini e Trinità e il Ponte museo. Luigi Portoghesi ha svolto l'indagine sulla copertura boschiva dell'Unità di Allumiere e sul legname utilizzato dai tecnici romani per le casseforme necessarie alla produzione della malta. Franco Portoghesi ha fornito il supporto per quanto riguarda la progettazione del canale dell'acquedotto. Tutti gli autori hanno collaborato alla revisione del manoscritto.

Riferimenti bibliografici

- Abbate E., Sagri M. (1970) The eugeosynclinal sequences. *Sedimentary Geology*, 4, 251 – 340.
- Adam J.P. (2011) *L'arte di costruire presso i romani - Materiali e tecniche*. X edizione. Longanesi, pp. 369.

- Agnoletti M. (2018) Storia del bosco. Il paesaggio forestale italiano. Editori Laterza, Bari, 368 p.
- Alberti A., Bertini M., Del Bono G., Nappi G., Salvati L. (1970) Note illustrative della Carta Geologica d'Italia. alla scala 1: 100.000. Foglio 136 Toscana. Foglio 142 Civitavecchia. Servizio Geologico d'Italia. Poligrafico & Cartevalori, Ercolano (Napoli), 141 p.
- Bertini M., D'Amico C., Deriu M., Tagliavini S., Vernia A. (1971) Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 100.000. Foglio 143 Bracciano. Servizio Geologico d'Italia. Nuova Tecnica Grafica, 77 p.
- Baldi P., Decandia F.A., Lazzarotto A., Calamai A. (1974) Studio geologico del substrato della copertura vulcanica nella zona dei laghi di Bolsena, Vico e Bracciano. Mem. Soc. Geol. It., 13, 575 – 606.
- Boccaletti M., Decandia F.A., Gasperi G., Gelmini R., Lazzarotto A., Zanzucchi G. (1987) Carta strutturale dell'Appennino Settentrionale. Pubbl. 429, Note illustrative. CNR Progetto Finalizzato Geodinamica, Tipografia Senese.
- Boni C., Bono P., Capelli G. (1986) Schema idrogeologico dell'Italia centrale. Mem. Soc. Geol. It., 35, 991 – 1012.
- Celico P. (1988) Prospezioni idrogeologiche. Vol. II. Liguori Editore, Napoli.
- Chiocchini U., Cipriani N., Gisotti G., Macioce A., Manna F., Bolasco A., Lucarini C., Patrizi G.M. (1996) Aree costiere a rischio ambientale: l'esempio di Santa Marinella, provincia di Roma. Geologia Tecnica & Ambientale, 1, 35 – 50.
- Chiocchini U., Manna F., Portoghesi L. (2023) L'acquedotto dell'imperatore Traiano per il porto di Centumcellae, oggi Civitavecchia, nel contesto ambientale dei Monti della Tolfa, Italia centrale. Geologia Tecnica & Ambientale, 1, 41 – 72.
- Cifarelli F. M., Marcelli M. a cura di (2022) Aqua Traiana. Le indagini fra Vicarello e Trevignano Romano. Gangemi Editore, 256 p.
- Civita M. (2005) Idrogeologia applicata e ambientale. Casa Editrice Ambrosiana, 794 p.
- Civitelli G., Corda L. (1993) The Allochthonous Succession. Sabatini Volcanic Complex. Edited by M. Di Filippo. Quaderni de La Ricerca Scientifica, 114, Progetto Finalizzato Geodinamica – Monografie Finali, Vol. II, 19 – 28.
- Conedera M., Krebs P., Tinner W., Pradella M., Torriani D. (2004) The cultivation of Castanea sativa (Mill.) in Europe, from its origin to its diffusion on a continental scale. Veget. Hist. Archaeobot., 13, 161 – 179.
- Cortéz Pérez J., de Sanjosé Blasco J.J., Atkinson D.J., del Río Pérez L.M. (2018) Assessment of the Structural Integrity of the Roman Bridge of Alcantara (Spain) using the TLS and GPR. Remote Sensing, 10, 387. doi: 10.3390/rs 10030387.
- D'Ascenzo A. (2013) Sorgenti e acquedotti elementi tangibili nella ricostruzione dell'organizzazione del territorio. Il caso di Civitavecchia. Atti 17° Conferenza Nazionale ASITA – Riva del Garda 5-7 novembre 2013, 521 – 528.
- De Rita D., Bertagnini A., Carboni M.G., Ciccacci S., Di Filippo M., Faccenna C., Fredi P., Funicello R., Sciacca P., Vannucci N., Zarlunga F. (1994) Geological-petrographical evolution of the Ceriti Mountains area (Latium, Central Italy). Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 49, 291 – 322.
- De Rita D., Bertagnini A., Faccenna C., Landi P., Rosa C., Zarlunga F., Di Filippo M., Carboni M.G. (1997) Evoluzione geopetrografica-strutturale dell'area tolfetana. Boll. Soc. Geol. It., 116, 143 – 175.
- Devoto G., Lombardi G. (1977) Le formazioni sedimentarie ed eruttive del settore Tolfetano-Cerite (Lazio nord-occidentale). Quad. Acc. Naz. Lincei, 227 (2), 1 – 35.
- Di Pietro R., Azzella M., Facioni L. (2010) The forest vegetation of the Tolfa-Ceriti mountains (Northern Latium – Central Italy). Hacquetia, 9 (1), 91 – 150.
- Ferrini V., Lombardi G., Morbidelli L., Negretti G.C. (1970) Studio geopetrografico del complesso vulcanico tolfetano-cerite (Lazio).
- VI. Le manifestazioni ipoabissali. Istituto di Petrografia. Università di Roma.
- Harper K. (2019) Il destino di Roma. Clima, epidemie e la fine di un impero. Einaudi, Torino, 520 p.
- Karkanas P. (2007) Identification of lime plaster in prehistory using petrographic methods: A review and reconsideration of the data on the basis of experimental and case studies. Geoarchaeology, 22, 775 – 796. <https://doi.org/10.1002/gea.20186>.
- ISPRA - Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia (2016) Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000. Foglio 355 Ronciglione. D.R.E. Am Italia.
- ISPRA - Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia. Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000. Foglio 344 Toscana, Foglio 345 Viterbo, Foglio 353 Montalto di Castro, Foglio 354 Tarquinia. In attesa di stampa.
- Lauro C., Negretti G.C., Morbidelli L., Lombardi G. (1965) I. Studio geopetrografico del complesso vulcanico tolfetano-cerite. Lineamenti geotutturali della Tuscia Romana centro-occidentale, con particolare riguardo alle regioni tolfetana, cerite e manziate, e notizie bibliografiche. Istituto di Petrografia Università di Roma, 53 p.
- Lauro C., Negretti G.C. (1969) Il vulcanismo della tuscia romana: le manifestazioni vulcaniche acide del settore centro-occidentale. Istituto di Petrografia Università di Roma.
- Lombardi G., Morbidelli L., Negretti G.C. (1965 a) Lineamenti geopetrografici e strutturali degli affioramenti vulcanici del settore tolfetano (Lazio). Rend. Soc. Min. Ital., 21, 151 – 156.
- Lombardi G., Morbidelli L., Negretti G.C. (1965 b) Gli affioramenti eruttivi della Tolfaccia (Monti della Tolfa). Rend. Soc. Min. Ital., 21, 157 – 164.
- Lombardi G., Morbidelli L., Negretti G.C. (1974) Età delle vulcaniti acide dei complessi Tolfetano, Cerite e Manziate (Lazio Nord-occidentale). Per. di Min., 43, 181 – 204.
- Lugli G. (1957) La Tecnica Edilizia Romana Con Particolare Riguardo a Roma e Lazio. Volume I, 743 p., Volume II Tavole. Giovanni Bardi Editore, Roma.
- Negretti G.C., Lombardi G., Morbidelli L. (1966) Studio geopetrografico del complesso Tolfetano-Cerite. IV. Le manifestazioni vulcaniche acide del settore Cerite. Istituto di Petrografia Università di Roma.
- Negretti G.C., Morbidelli L. (1963) Studio geopetrografico del complesso Tolfetano-Cerite. III. Le manifestazioni vulcaniche acide del settore civitavecchiese-tolfetano. Istituto di Petrografia Università di Roma.
- Palozza F. (2019) Studio mineralogico/petrografico di due campioni di lava dell'apparato tolfetano. Tesi di Laurea. Corso di Laurea Triennale in Scienze Geologiche. Università degli Studi Roma Tre, 42 p.
- Peccerillo A., Donati C. (2003) The Tuscan Magmatic Province. Per. Mineral., 72, Special Issue, 27 – 39.
- Peccerillo A. (2005) Plio-Quaternary volcanism in Italy. Petrology, Geochemistry, Geodynamics (Vol. 365). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Pinarelli L. (1991) Geochemical and isotopic (Sr, Pb) evidence of crust-mantle interaction in acid melts – Tolfa – Cerveteri – Manziana volcanic complex (central Italy): a case story. Chemical Geology, 92, 177 – 195.
- Serri G., Innocenzi F., Manetti P., Tonarini S., Ferrara G. (1992) Il magmatismo neogenico-quaternario dell'area toscano-laziale-umbra: implicazioni sui modelli di evoluzione geodinamica dell'Appennino settentrionale. Studi Geologici Camerti, volume speciale, 1991/1, 429 – 463.
- Servizio Geologico d'Italia (1969) Carta Geologica d'Italia scala 1: 100.000. Foglio 142 Civitavecchia. Poligrafica & Cartevalori – Ercolano (Napoli).

- Servizio Geologico d'Italia (1971) Carta Geologica d'Italia scala 1: 100.000. Foglio 143 Bracciano. Reparto Riproduzione e Stampa E.I.R.A. Firenze.
- Seymour L. M., Maragh J., Sabatini P., Di Tommaso M., Weaver J. C. (2023) Hot mixing: mechanistic insights into the durability of ancient Roman concrete. *Sciences Advances*, 9, 1 - 13. <http://www.science.org/doi/10.1126/siadv.add602>.
- Stracci G. (2019) Etruria meridionale. Gli Etruschi della facies tolfetana. *Bollettino Società storica civitavecchiese*, 29, isbn 9788898293230.
- Taylor H.P., Turi B. (1976) High ^{18}O igneous rocks from the Tuscan magmatic province, Italy. *Contr. Miner. Petr.*, 55, 33-54.
- Van Bergen M.J. (1984) Magmas and inclusions of Monte Amiata, Tuscany, Italy. *Geologica Ultraiectina*, 37, 175 p.
- Vollmer R. (1977) Isotopic evidence for genetic relations between acid and alkaline rocks in Italy. *Geoch. Cosm. Acta*, 40, 283 - 29.

**PRATI
ARMATI®**
contro la desertificazione
e l'erosione dei suoli

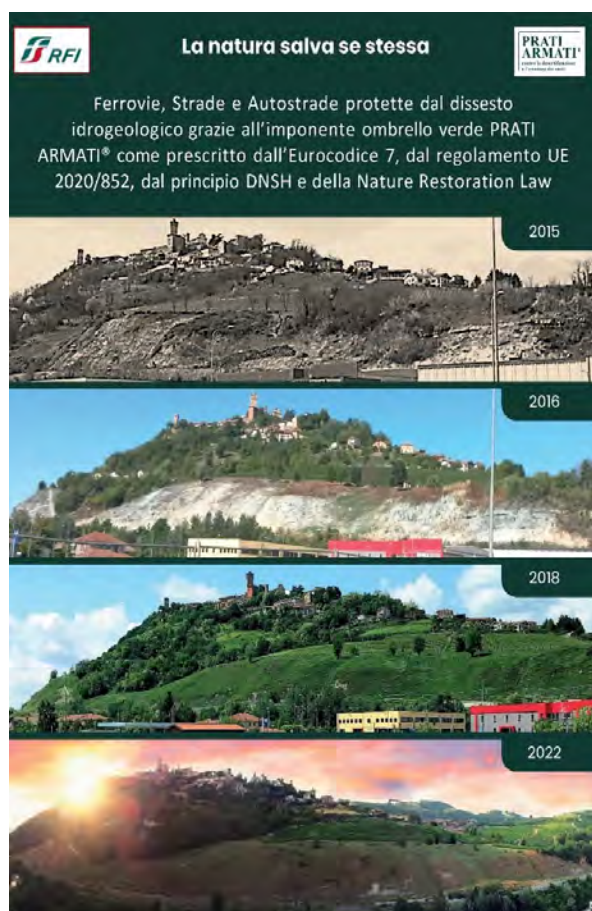


Le caratteristiche geotecniche, idrauliche, botaniche, agronomiche, energetiche ed ambientali dei PRATI ARMATI® che hanno consentito a RFI l'apertura della linea ferroviaria Alba-Bra (Piemonte), in armonia con tutti i regolamenti tecnici e ambientali italiani ed europei.

www.pratiarmati.it



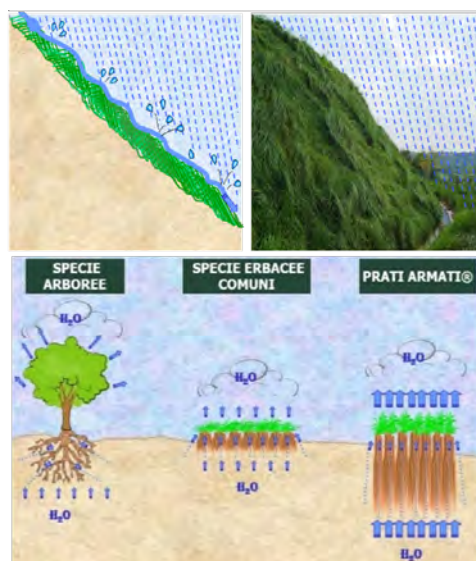
Molteplici sono le proprietà geotecniche, idrauliche, energetiche, ambientali, botaniche ed agronomiche delle piante erbacee a radicazione profonda, sottile e resistente che rendono questa tecnologia olistica e risolutiva per tutti i problemi erosivi e ambientali.



Blocco dell'erosione: la fitta parte epigea, saldamente ancorata al terreno consente di realizzare un potente filtro antierosivo senza necessità di terreno vegetale o altri materiali e manufatti quali geocelle, geostuoie, biostuoie, etc.

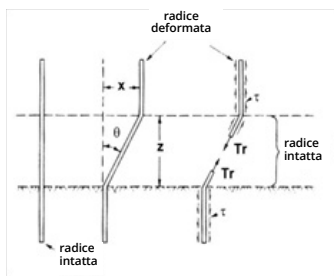
Incremento della resistenza al taglio dei terreni: le radici, in grado di resistere a trazione di oltre 200 MPa, migliorano le caratteristiche superficiali di resistenza al taglio del terreno.

Protezione dal crepacciamento: la fitta coltre epigea, grazie anche all'aria intrappolata, consente di limitare le variazioni di umidità e temperatura. La diminuzione del crepacciamento superficiale evita l'ingresso massivo di acqua e conseguenti destabilizzazioni non solo superficiali, diminuendo anche la risalita piezometrica della falda sottostante.



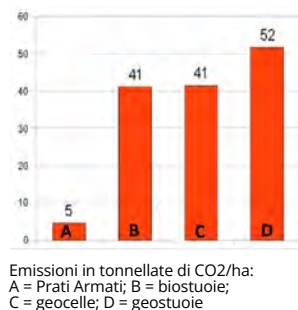
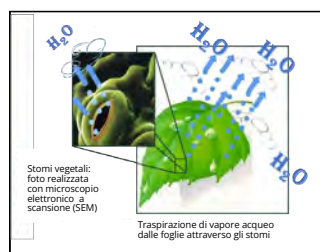
Creazione di un buffer idrico: l'humus creato dal ciclo vegetativo di crescita, morienza e ricambio di radici e foglie trattiene acqua fino a 20 volte il proprio peso secco rilasciandola gradualmente.

Impermeabilizzazione del versante: la folta coltre epigea, in grado di allettarsi quanto più è elevata la pendenza e intense le piogge, realizza l'auspicato grande ombrello previsto e suggerito all'interno dell'Eurocodice 7: "...i pendii andrebbero piantumati e sigillati...".



Opere di captazione e regimazione delle acque superficiali e meteoriche direttamente sul tal quale: eliminazione delle tradizionali opere civili di captazione e regimazione delle acque meteoriche e superficiali lavorando direttamente sul terreno tal quale con forti vantaggi tecnici, risparmi economici, di tempo con manutenzione azzerata.

Traspirazione e riduzione della pressione interstiziale: tramite il fitto, sottile e profondo apparato radicale, l'acqua in eccesso presente negli strati del terreno viene trasferita all'atmosfera diminuendo la pressione interstiziale a tutto vantaggio dell'incremento della stabilità del pendio vengono in tal modo anche ridotte le disuniformità idriche nei primi strati del terreno.



Aspetti energetici e di inquinamento: in fase di installazione è stato dimostrato dal Politecnico di Milano che la quantità di energia e di inquinamento emessa (CO₂, CO, NO_x, SO_x, particolato) per realizzare un ettaro di impianto antierosivo, se si utilizza la tecnica dei PRATI ARMATI®, è da 10 a 100 volte inferiore a quella di tecniche antierosive tradizionali.

La sottrazione di CO₂ arriva fino al 400% in più rispetto a specie tradizionali, quindi fino a 40 t/ha/anno.

Sensori bidimensionali di umidità dei versanti: Con la tecnologia adottata sul cantiere RFI è ora anche possibile rilevare visivamente lo stato idrico superficiale dell'intero versante svolgendo contemporaneamente una funzione attiva di omogeneizzazione del contenuto

d'acqua dello stesso. Tali specie appaiono più verdeggianti in zone con elevata presenza di acqua, più ingiallite in zone con pre-senza inferiore di acqua.

Aderenza al PNRR ed a tutti Regolamenti italiani ed europei: L'opera è diventata così perfettamente aderente al Eurocodice 7, al Reg UE 2020/852 riportato nel box e al



principio DNSH oltre che alla Nature Restoration Law (che prevede la ricostruzione e riqualificazione degli ecosistemi) recentemente approvata dalla UE.

Permanenza e rischi di cantiere ridotti: possono essere realizzati alcuni ettari al giorno, con solo prodotti naturali: sementi e acqua.

Eliminazione di ogni manutenzione: questi interventi non richiedono alcuna manutenzione se non quelle già imposte dai regolamenti stradali e ferroviari.

Reinserimento paesaggistico nel contesto locale: l'autoctonismo delle specie utilizzate, con l'aggiunta di specie fiorifere locali, rende l'impianto perfettamente integrato nel paesaggio circostante.

Rientro degli insetti impollinatori: grazie all'utilizzo di particolari specie fiorifere e mellifere, rientrano gli insetti impollinatori quali api e farfalle. L'ecosistema viene completamente ripristinato e infrastrutture e ambiente possono convivere sinergicamente.

Reg. (UE) 2020/852

PRATI ARMATI® è l'unica tecnologia antierosiva al mondo in grado di rispettare e superare tutte le prescrizioni del Reg. (UE) 2020/852: gli obiettivi ambientali cui deve contribuire un'attività economica per essere considerata ecosostenibile, devono infatti contribuire in modo sostanziale alla mitigazione dei cambiamenti climatici e non arrecare alcun danno a nessun altro obiettivo ambientale (rispetto del principio DNSH) e più precisamente devono consentire:

- 01** la mitigazione dei cambiamenti climatici
- 02** l'adattamento ai cambiamenti climatici

- 03** l'uso sostenibile e la protezione delle acque e delle risorse marine
- 04** la transizione verso un'economia circolare

- 05** la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento
- 06** la protezione e il ripristino della biodiversità



Il Congresso raccontato per immagini

TERRA!

Sfide, innovazione,
prospettive.



CLICCA
scopri gli Highlights del
Congresso dei Geologi di Palermo

Il viaggio delle acque
contaminate termina
sulla nostra tavola.

**Noi lavoriamo
per renderle
sane e sicure.**

Festeggiamo 10 anni di impegno costante nella progettazione di interventi di bonifica che siano economicamente e ambientalmente sostenibili, con l'impiego delle migliori tecnologie offerte dal mercato: **il futuro dei nostri figli è il nostro presente, il nostro impegno è renderlo migliore.**





 **KELLER**

KELLER UNPLUGGED!

LEVEL & GROUNDWATER MONITORING

 **KOLIBRI**
DESKTOP



KELLER ADT1-TUBE

- Remote data transmission unit with logger function
- Measured values: barometer, temperature and moisture sensor, real-time clock (RTC), battery capacity / voltage
- For installation in 2" tubes
- Robust stainless steel metal housing
- Long-life battery enables autonomous operation for up to 5 years
- Software KOLIBRI DESKTOP included
- ADT1-Box available for wall installation