

# GEOLOGIA

## TECNICA & AMBIENTALE

### In questo numero

Proposta di un modello  
semplificato per la formazione  
delle strutture tettoniche

Carta di base del potenziale  
pericolo radon geogenico  
della Sardegna

Inquinamento da mercurio (Hg):  
il caso della laguna di  
Grado e Marano

Associazione Medica Geologica  
per l'Ambiente e il Territorio  
della Calabria. "La necessità di  
maggiore sinergia tra la geologia  
ambientale e le scienze mediche"



CONSIGLIO NAZIONALE  
DEI GEOLOGI



# TRACK PILE<sup>®</sup>

La rivoluzione nel mondo dei micropali

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

BREVETTO EUROPEO DEPOSITATO

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

#### PRINCIPALI CAMPI DI APPLICAZIONE

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

SOPRALLUOGHI  
E PREVENTIVI  
GRATUITI  
IN TUTTA ITALIA

Numero Verde  
**800-222273**

**novatek.it**



## UN APPROCCIO COMPLETO AL VOSTRO SERVIZIO

### PREMESSA

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

### LE VARIABILI

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

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

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

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

### IL SERVICE OFFERTO

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

**INTERPELLATECI SENZA IMPEGNO PER UN APPROFONDIMENTO**



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

# Sottocontrollo.

L'interferometro Metasensing monitora deformazioni, vibrazioni e cedimenti.

Con una precisione di 0,01 mm.  
In tempo reale.



## **Ingegneria civile**

Interferometri, georadar 3D, inclinometri ...

## **Monitoraggio sismico**

Sismometri, Strong Motion, reti Early Warning ...

## **Studio del sottosuolo**

Georadar, sismica, geoelettrica ...

## **Rilievi costieri e fondali marini**

Multibeam, SSS, SBP, magnetometri, laserscanner ...

## **Monitoraggio ambientale**

Magnetometri, sismografi, elettro-magnetometri ...



# **CODEVINTEC**

Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare

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

# X-PAD

U L T I M A T E



## X-PAD Ultimate

### Tutto in un unico software

X-PAD Ultimate è un software modulare, facile da usare per lavori topografici e del cantiere, come rilievi, tracciamenti, catasto, controlli BIM, strade, mappe, batimetria e GIS.

Il software è disponibile sulla piattaforma Android e porta le migliori tecnologie direttamente in campo nella tua mano: una completa visualizzazione 3D ed un sistema CAD per visualizzare e modificare i disegni,

integrazione dei tuoi dati con tutte le tipologie di mappe, supporti per la realtà aumentata e molto altro. XPad Ultimate ti assicura la produttività e ti permette di avere una perfetta integrazione con tutti gli strumenti.

Disponibile in due versioni, una dedicata a chi lavora nel campo della topografia ed una dedicata alle imprese di costruzioni, offrendo ad entrambi delle caratteristiche dedicate.



**geomax-positioning.it**

©2018 Hexagon AB and/or its subsidiaries and affiliates. All rights reserved.



# GEO SURVEYS®

geofisica e geotecnica - servizi di indagine, ricerca e sviluppo



## INDAGINI GEOFISICHE E GEOTECNICHE IN SITO

### INDAGINI SISMICHE ATTIVE

Rifrazione - Riflessione - Down Hole e Cross Hole - Masw

### INDAGINI SISMICHE PASSIVE

Re.Mi. - Spac - Esac - HVSr

### INDAGINI GEOELETTRICHE

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

### INDAGINI GEORADAR

### CONTROLLI NON DISTRUTTIVI

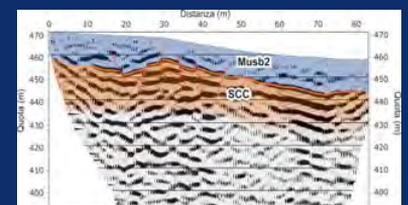
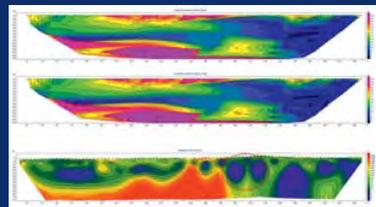
Misure di resistività termica

### INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO

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

Campionatore ambientale

Campionatore Shelby



# GEOLOGIA

## TECNICA & AMBIENTALE

Quadrimestrale dell'Ordine Nazionale dei Geologi  
N. 3/2018

### DIRETTORE RESPONSABILE

Alessandro Reina

### COMITATO DI REDAZIONE

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

### COMITATO SCIENTIFICO

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

### SEGRETERIA DI REDAZIONE

Maristella Becattini  
maristella.becattini@cngeologi.it

### DIREZIONE, REDAZIONE, AMMINISTRAZIONE

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

### SITO INTERNET

www.cngeologi.it

### UFFICIO STAMPA

Ilenia Ingui  
addettostampa@cngeologi.it

### PUBBLICITÀ

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

### GRAFICA E IMPAGINAZIONE

Agicom srl  
Immagini: @shutterstock.com

### STAMPA

Spadamedia S.r.l.

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

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

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

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

Versamenti sul c/c n. 347005 intestato a:

Consiglio Nazionale dei Geologi  
Via Vittoria Colonna, 40 - 00193 Roma, specificando la causale.  
*I manoscritti, anche se non pubblicati, non si restituiscono.*  
*L'Autore dell'articolo è responsabile di quanto in esso contenuto,  
delle autorizzazioni alla pubblicazione di figure, tabelle, ecc.,  
dei riferimenti e strumentazioni.*

Associato all'USPI, Unione Stampa Periodica Italiana.

### GARANZIA DI RISERVATEZZA

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

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

### PER GLI AUTORI:

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

### IN COPERTINA:

Eruzione dell'Etna

Foto di: Carlo Cassaniti

## Sommario

### L'Editoriale]

A. Reina **9**

### Il Punto del Presidente]

F. Peduto **11**

### Università e ricerca]

R. Di Francesco, P. Farabollini **15**

Proposta di un modello semplificato per la  
formazione delle strutture tettoniche

### Professione e società]

G. Ledda **31**

Carta di base del potenziale pericolo radon  
geogenico della Sardegna

### Bonifiche siti inquinati e discariche]

G. Menchini **47**

Inquinamento da mercurio (Hg):  
il caso della laguna di Grado e Marano,  
già Sito Inquinato di interesse Nazionale (SIN).

### Recensioni]

E. D'Angelis **55**

Storia di terremoti e terremotati.  
Vittime e danni. Colpe e colpevoli.  
Come possiamo difenderci?

### Professione e società]

A. Moretti, F.A. Violo, D. Guida, A. Tallarico, F. Romano **57**

Associazione Medica Geologica  
per l'Ambiente e il Territorio della Calabria.  
"La necessità di maggiore sinergia  
tra la geologia ambientale e le scienze mediche"



### CTD Logger multiparametrico (conduttività, temperatura, pressione)

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



## Competenza nella idrologia

### Unità di trasmissione dati a distanza GSM

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

### Logger di pressione e temperatura

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





**Alessandro Reina**

Direttore Responsabile

**Q**uando l'attuale Consiglio Nazionale ha proposto la nuova versione della rivista Geologia Tecnica e Ambientale non vi era solo la volontà di rigenerare la grafica, ma si è prefissato il raggiungimento di un fondamentale obiettivo: la proposizione di articoli che risultassero forieri di esperienze, tecniche e risultati utili per l'attività professionale dei geologi. L'impegno profuso in questi tre anni consente di osservare come con più di 50 articoli (firme tutte prestigiose) e con il contributo puntuale e preciso del Presidente Peduto sulla definizione dello stato dell'arte della Geologia in Italia, l'obiettivo sia stato decisamente molto ricercato e speriamo raggiunto.

Dobbiamo ora affiancare, alla necessità di potenziare e conservare la qualità dei contenuti degli articoli, un'azione rivolta alla sensibilizzazione dell'opinione pubblica verso il vero ruolo dei geologi. Una rivoluzione culturale della figura del geologo non facile da ottenere: esiste la necessità di veicolare all'esterno del mondo della geologia il ruolo sociale stesso del geologo. Certo bisogna essere prima fortemente consapevoli delle nostre capacità e qualità, ma credo che questa condizione sia oggi alla nostra portata.

Manca ancora un deciso *upgrade* alla divulgazione della figura del geologo. Libri, riviste e pubblicazioni, così come i convegni e tutte le attività divulgative condotte in questi anni, devono essere compulsate e partecipate anche da coloro i quali possono essere considerati i beneficiari privilegiati, direttamente e indirettamente, del ruolo sociale del geologo: tutti i cittadini italiani. La capacità di conoscere la potenziale pericolosità geologica (sismica, idrogeologica, vulcanica) dei nostri territori è un punto fondamentale circa la valutazione della dimensione di vulnerabilità della vita quotidiana e delle attività di tutti i cittadini.

È fin troppo evidente che una rivoluzione culturale ha bisogno di essere condotta con la solidarietà e il contributo di altre fondamentali parti sociali come i politici e i mass media. Ecco chi dobbiamo coinvolgere.

In questo numero ci sono contributi di grande attualità.

**Si espone una interessante descrizione di un nuovo modello di DI FRANCESCO e FARABOLLINI sui meccanismi di formazione delle strutture tettoniche.** Dal modello emerge che l'insieme dettato dallo spessore e dalle caratteristiche elastiche della roccia, influenza la rigidità conducendo a risposte differenziate in funzione degli stress tettonici.

**Con il lavoro di MENCHINI si descrivono le attualissime tematiche di inquinamento ambientale legate alle sostanze chimiche della Laguna di Grado.**

Il Convegno Nazionale "RADON Rischio Geologico - dalla terra un pericolo invisibile per la salute: quanti lo conoscono?", organizzato a Roma il 26 ottobre 2018 dal Consiglio Nazionale dei Geologi ha visto protagonista **il lavoro di LEDDA sulla distribuzione nel suolo della Sardegna.** Per rimanere in tema **L'ASSOCIAZIONE MEDICA GEOLOGICA per L'AMBIENTE e il TERRITORIO della Calabria facendo un report sulla situazione regionale** auspica la collaborazione interdisciplinare tra geologia e medicina.

*Buona lettura*



Le indagini del suolo rivestono un ruolo fondamentale nella progettazione e realizzazione di un'opera, poiché permettono di conoscere le interazioni con la struttura: infatti le nuove Norme Tecniche 2018, al capitolo 6, sottolineano la necessità dalle indagini, dalle caratterizzazioni e dalle modellazioni geotecniche poiché forniscono le caratteristiche fisiche, meccaniche e stratigrafiche che consentono al Professionista di svolgere calcoli strutturali precisi e di dimensionare l'opera ai fini di una sicura, corretta e duratura esecuzione.



Il Centro Controllo Materiali Edili Srl è un Laboratorio ufficiale di prove e certificazioni sulle terre, autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ai sensi dell'Art. 59 del DPR 06/06/2001 n°380 ed è in grado di fornire una vasta gamma di verifiche, sempre in aggiornamento, comprendente sia prove di cantiere che di laboratorio, e di fornire gli strumenti necessari ed indispensabili allo svolgimento dell'attività professionale.



Il Laboratorio ed i suoi tecnici, grazie all'esperienza maturata in oltre 30 anni di attività, offrono un supporto mirato a professionisti del settore edile e non, facendo del problem solving la propria missione e la sicurezza delle strutture il proprio credo.

Invitiamo chiunque abbia delle questioni di natura tecnica da chiarire, a rivolgersi ai nostri uffici ed esporre le proprie problematiche.

**CENTRO CONTROLLO MATERIALI EDILI srl**

**Via del Lavoro 33**

**33080 ROVEREDO IN PIANO (PN)**

Tel. 0434-921973 - 0434-592371

Fax 0434-590879

e-mail : [info@ccme.it](mailto:info@ccme.it) web: [www.ccme.it](http://www.ccme.it)



**Francesco Peduto**

**A**ggiornamenti sulle NTC: il 13 settembre dello scorso anno c'è stata la prima udienza relativa ad una eventuale sospensiva, che non è stata accordata, ma in proposito non avevamo alcuna aspettativa, anche per la tipologia del ricorso, che impugna non le norme ma punti specifici delle stesse. Andando oltre le più rosee previsioni, tuttavia, il giudice ha ordinato al MIT di depositare entro 60 giorni dettagliati chiarimenti scritti sui motivi delle modifiche alle NTC da noi impugnate e al CSLLPP i verbali con il voto dell'Assemblea generale e altri documenti, fissando il merito al 19 giugno 2019.

Nel frattempo, qualche settimana fa, è stata apposta la firma del Ministro Toninelli alla Circolare esplicativa e, quando questo numero di GTA sarà in diffusione, la Circolare quasi sicuramente sarà già stata pubblicata.

Nelle prossime settimane decideremo il da farsi.

Intanto, con il quadro di norma e circolare ormai chiaro, quello che ci restava da fare era formare ed informare i colleghi geologi, su cosa è cambiato, su come leggere ed interpretare alcuni passaggi delle

norme, magari con qualche dritta per superare vecchie e nuove criticità.

Per questo da novembre 2018 a gennaio 2019 abbiamo programmato e portato a termine, in genere di concerto con gli OO.RR., un calendario di incontri di approfondimento tecnico, che ha toccato gran parte delle regioni italiane. Memori del successo delle lezioni da lui tenute 10 anni fa, ci siamo affidati al prof. Aiello del Centro di Geotecnologie dell'Università di Siena, centro con il quale abbiamo firmato una apposita intesa; la scelta è stata premiata, visto i generali apprezzamenti per gli incontri tenutisi finora e la richiesta di ulteriori date che cercheremo di soddisfare.

Facendo seguito a quanto riportato nel programma elettorale, l'anno scorso avevamo proposto agli OO.RR. di aderire alla quota unica nazionale e, per il 2018, avevano già aderito diversi OO.RR. Era una cosa positiva, con la quota unica si realizzava una semplificazione delle procedure e avevamo previsto delle facilitazioni per gli iscritti, quali diverse tipologie di pagamento e fino a 10 rate, in considerazione del non facile momento che sta attraversando la professione.

In più avevamo previsto anche la possibilità che gli OO.RR. potessero richiedere al CNG un anticipo fino al 20% delle quote da incassare, in modo da superare le criticità nella gestione della cassa, che possono presentarsi a inizio anno. Ebbene è saltato tutto, con le nuove norme e le nuove procedure, che prevedono il pagamento della quota solo con PAGO\_PA, non possiamo più incassare le quote anche per gli OO.RR., per cui da quest'anno si dovranno pagare separatamente le quote per il CNG e per gli OO.RR. anche nelle regioni i cui ordini avevano aderito alla riscossione congiunta.

Evito ogni commento su questa ulteriore assurdit  burocratica ed incombenza sugli iscritti e sulle segreterie degli OR e del CNG. Ribadisco che le nuove procedure sono dovute esclusivamente all'entrata in vigore della nuova normativa e per cercare di ridurre i possibili disagi per gli iscritti abbiamo incaricato il "partner tecnologico" per la gestione delle entrate Italariscossioni srl di predisporre un call center da mettere a disposizione di tutti gli iscritti per ogni esigenza, attivo tutti i giorni feriali.

A giugno andr  in scadenza il servizio di copertura assicurativa gratuita di base dei rischi per i danni derivanti dall'esercizio dell'attivit  professionale a favore dei professionisti geologi iscritti all'Albo, automaticamente attiva dal 1° gennaio dello scorso anno. Questa   una delle azioni che il Consiglio Nazionale dei Geologi ha voluto portare avanti per fornire servizi a supporto e sostegno alla professione. In questo modo i colleghi hanno potuto disporre di una polizza assicurativa di base, all risk e con retroattivit  illimitata, che ottemperi gli obblighi di legge, con un importante risparmio di spesa.

È intenzione del CNG riproporre la polizza fino a dicembre 2020, facendo coincidere la sua scadenza con quella del nostro mandato elettorale.

È bene sottolineare ancora una volta che questa polizza va vista come un'opportunit , non un obbligo, che   incrementabile nei massimali cos  come   possibile abbassare la franchigia, con condizioni economiche sempre molto favorevoli rispetto ad una polizza stipulata direttamente da ogni singolo professionista.

Ne abbiamo monitorato l'andamento in questo anno e mezzo in cui   stata attiva, raccogliendo plausi, consensi, ma anche qualche segnalazione e criticit , di cui terremo conto e, alla sua scadenza, se possibile proveremo anche a migliorarla.

La Fondazione Centro Studi CNG ha reso disponibile una piattaforma informatica per consentire l'erogazione a

distanza di corsi di formazione professionale (cd. FAD). In tal modo saranno compresi i costi legati alla partecipazione degli iscritti agli eventi formativi tradizionali, garantendo al contempo la pi  ampia diffusione dei corsi di formazione e la pi  estesa fruibilit  da parte degli iscritti, che potranno cos  seguire i corsi in tempi e luoghi diversi dalle sedi di svolgimento dei corsi cd. "frontali".

Questa possibilit  amplier , inoltre, l'offerta formativa a disposizione degli iscritti per assolvere all'obbligo formativo previsto dall'aggiornamento professionale continuo (APC). I corsi fruibili sulla citata piattaforma, realizzati sotto il coordinamento della Fondazione Centro Studi CNG, saranno man mano implementati nel tempo allargando sempre di pi  l'offerta formativa e saranno disponibili per gli iscritti che ne faranno richiesta e si registreranno sul portale dedicato.

Il mio apprezzamento va al Presidente e al CdA della Fondazione Centro Studi CNG che, in tal modo, hanno consentito di realizzare un altro punto previsto dal programma elettorale.

GRUNDFOS 

**HCC**  
Soil & Water group



# Specialisti del Sottosuolo

## I migliori prodotti per le bonifiche ambientali



ACQUAGEO 

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

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

 **ELETTRICA MILLY**

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

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

SMARTGEO 

Toscana, Umbria, Marche

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

 **MBT**

Sardegna

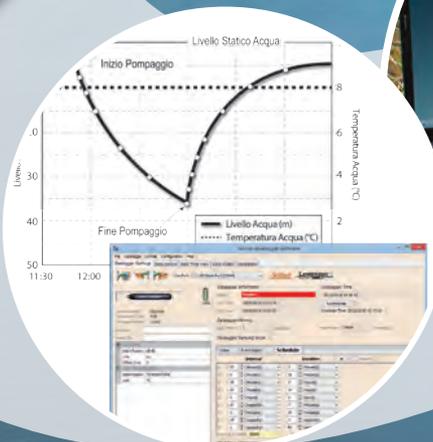
General Manager: Mario Armeni  
Mobile. +39 366 3280026  
marioarmenimbt@gmail.com

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

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

DATALOGGER E  
TELEMETRIA

# SEMPLIFICA I TEST DI POMPAGGIO CON I DATALOGGER SOLINST®



## ESEGUIRE TEST SUGLI ACQUIFERI NON È MAI STATO COSÌ SEMPLICE:

i Datalogger Solinst automatizzano tutta la fase di raccolta dati, possono registrare intervalli da 1/8 di secondo a 99 ore con una precisione di  $\pm 0,3\text{cm}$ ! È possibile schedare intervalli differenziati per tutte le fasi dei test. Sono disponibili trasduttori di pressione assoluta o relativa, con o senza compensazione barometrica. Fino a 200m di sommersibilità!

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



MISURE DI LIVELLO



CAMPIONAMENTO  
LOW-FLOW



PROFILAZIONE  
MULTILIVELLO



BONIFICA  
IDROCARBURI

## Solinst®

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

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

 **EGEO** +lab

WWW.EGEO.LAB.IT

# Proposta di un modello semplificato per la formazione delle strutture tettoniche

**Romolo Di Francesco**, Libero professionista ([www.romolodifrancesco.it](http://www.romolodifrancesco.it))

**Piero Farabollini**, Università degli Studi di Camerino

## Termini chiave:

Comportamento fragile,  
comportamento duttile,  
risposta meccanica

## Keywords:

*Brittle behavior,  
ductile behavior,  
mechanical response*

## Riassunto

La formazione delle faglie e delle pieghe è sempre stata spiegata invocando modelli separati che assumono un comportamento elasto-fragile nel primo caso e duttile (tempo-dipendente) nel secondo; in realtà il problema non può essere semplificato nel modo descritto, in quanto sia le faglie che le pieghe possono formarsi all'interno della stessa roccia in funzione delle medesime sollecitazioni tettoniche.

Dopo una breve dissertazione sulle applicazioni della meccanica classica nella formazione delle faglie e delle pieghe, viene proposto un semplice modello di analisi (puramente teorico) basato sullo studio della deformazione plastica in funzione di un assegnato cedimento; in tal modo lo spessore della roccia influenza in maniera determinante il comportamento della stessa conducendo all'individuazione di un valore critico che, individuando una rottura elasto-fragile, separa la risposta elastica da quella duttile.

Dal modello emerge che l'insieme dettato dallo spessore e dalle caratteristiche elastiche

della roccia, influenza la rigidità conducendo a risposte differenziate in funzione degli stress tettonici.

## Abstract

*The formation of faults and folds has always been explained by invoking separate models that assume an elastic-brittle behavior in the first case and ductile (time-dependent) in the second; in fact the problem can not be simplified in the manner described, since both the faults that the folds may be formed within the same rock in function of the same tectonic stresses.*

*After a brief dissertation on the applications of classical mechanics in the formation of faults and folds, it is proposed a simple analysis model (purely theoretical) based on the study of plastic deformation as a function of an assigned failure; thus the thickness of the rock influence in a determining way the behavior of the same leading to the identification of a critical value, identifying a break elasto-brittle, separates the elastic response from that ductile.*

Dissesti  
e alluvioni

Rischio  
sismico

Risorsa  
acqua

Attività  
estrattive

Geoscambio  
ed energie

Università  
e ricerca

Pianificazione

Bonifiche siti  
inquinati e  
discariche

Protezione  
civile

Professione  
& Società

Il Geologo  
progettista

Geositi,  
Geoparchi  
& Geoturismo

From the model it shows that the set dictated by the thickness and the elastic characteristics of the rock, influence the stiffness leading to different responses as a function of the tectonic stresses.

## Introduzione

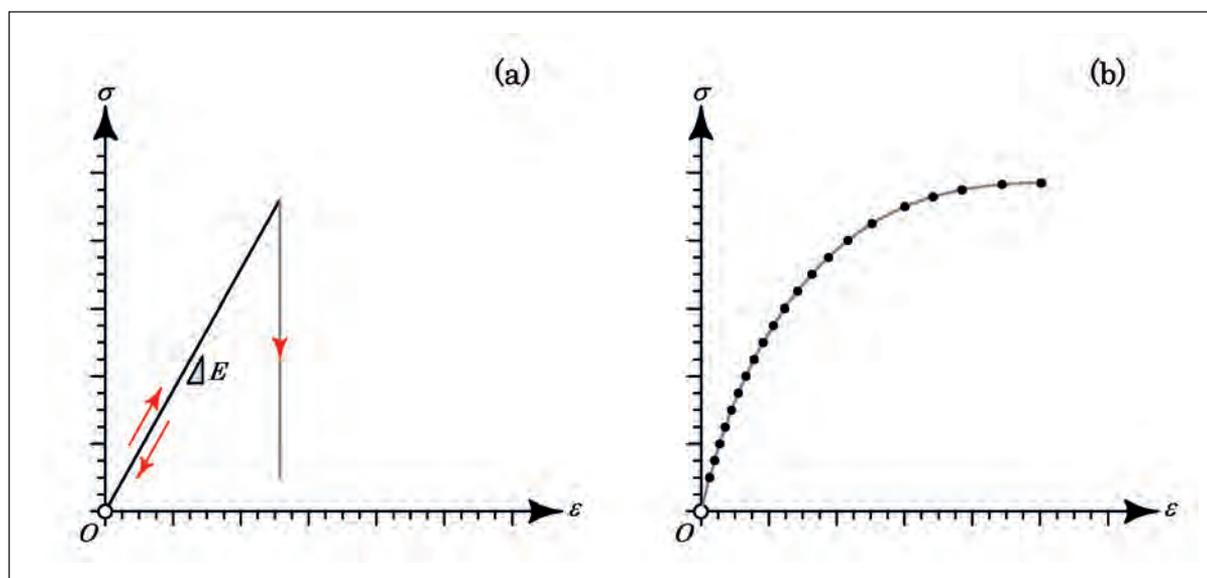
È comunemente accettato, sia in ambito geologico e sia meccanico, che le rocce possano avere un comportamento tenso-deformativo di tipo dualistico che, sostanzialmente, viene fatto dipendere dalla finestra temporale di osservazione dei fenomeni che le modificano (GRIFFITH, 1924; SHOLZ, 1968; JAEGER, 1969; SIBSON, 1975; DAVIS & REYNOLD, 1984 CUM BIB.; MERCIER & VERGELY, 1995).

Alla base di tale particolare comportamento vi è l'assunzione che la risposta meccanica alle sollecitazioni possa essere di tipo:

- elasto-fragile per fenomeni la cui durata è comparabile con la scala della vita umana e che implica una brusca rottura della roccia (**Fig. 1a**);
- duttile per fenomeni di durata comparabile con la scala dei fenomeni geologici che invece conduce al piegamento delle rocce (**Fig. 1b**).

Tuttavia è anche vero, però, che nell'ambito degli stessi processi geologici si assiste sia al piegamento che alla fagliazione delle rocce dimostrando che il comportamento tenso-deformativo dei geomateriali competenti non può essere banalizzato nel modo delineato ma deve essere inquadrato in una teoria organica unificata. Una roccia, infatti, viene considerata fragile quando il processo di deformazione arriva fino alla rottura attraverso lo sviluppo, per esempio, di faglie e fratture; viene invece considerata duttile quando è capace di accumulare grandi deformazioni permanenti senza rompersi, cioè senza che si producano discontinuità fisiche al suo interno. Analogamente la deformazione delle rocce, infatti, si sviluppa in campo *fragile* quando i valori di P e T sono quelli caratteristici delle condizioni pre-metamorfiche che si ritrovano generalmente nella crosta superiore e in campo *duttile* quando le condizioni chimico-fisiche in cui si realizza l'evento deformativo sono definite da valori di P e T caratteristici di ambienti metamorfici (RAMSAY, 1967; HOBBS ET ALII, 1976; CELLO, 2004).

In natura pertanto una stessa roccia può



**Fig. 1** - Definizione canonica del comportamento meccanico delle rocce: a) con rottura elasto-fragile, responsabile della genesi delle faglie e delle fratture; b) con deformazione duttile, relativa alla formazione delle pieghe.

deformarsi in entrambi i modi in dipendenza da una serie di fattori che controllano le condizioni deformative locali: si possono produrre così faglie piccole che rappresentano un comportamento fragile localizzato all'interno del piegamento così come anche faglie a carattere regionale che si realizzano per effetto di deformazioni più ampie (ad esempio quelle per il moto delle placche litosferiche conseguente alla dissipazione del calore interno della Terra).

### Meccanica classica delle rocce

Un generico campione di roccia presente all'interno della litosfera, supposto di dimensioni infinitesime affinché siano applicabili le equazioni integro-differenziali della meccanica dei mezzi porosi, è sottoposto a sollecitazioni complesse rappresentate da un tensore doppio a 9 componenti:

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

Occorre però considerare, come emerge dalla struttura stessa della matrice (1), che esistono simmetrie matematiche che consentono di scalare le componenti del tensore a 6 indipendenti, rispetto alla diagonale principale lungo la quale sono presenti gli sforzi assiali di compressione o trazione (DI FRANCESCO, 2012):

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ & \sigma_y & \tau_{yz} \\ & & \sigma_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

D'altra parte, sia sufficiente riflettere sul fatto che, se l'equilibrio alla traslazione del generico campione presente all'interno delle rocce è sempre garantito dallo stato di confinamento, l'equilibrio

alla rotazione richiede che i momenti di I ordine siano sempre equilibrati attraverso le seguenti eguaglianze:

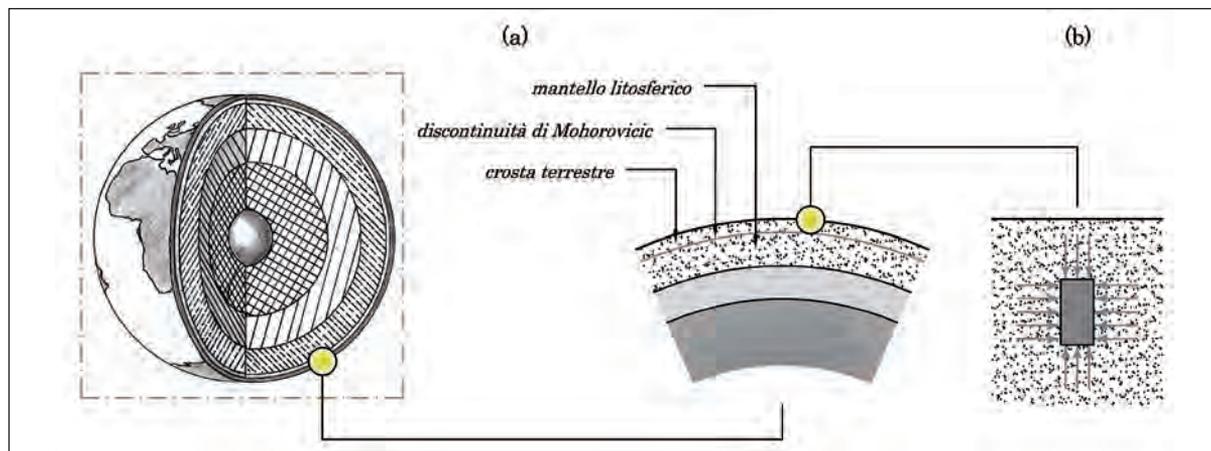
$$\begin{aligned} \tau_{xy} &= \tau_{yx} \\ \tau_{xz} &= \tau_{zx} \\ \tau_{yz} &= \tau_{zy} \end{aligned} \quad (3)$$

Nella meccanica classica è inoltre introdotta un'ulteriore limitazione dettata dall'assimilazione delle rocce ad un problema elastico di deformazione piana valido, però, nel solo caso della simmetria geometrica di **fig. 2**; in questo caso si dimostra essere assenti le sollecitazioni tangenziali, mentre quelle normali assumono il loro valore massimo ( $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 = 0$ ) e sono relazionate tra loro attraverso una costante di proporzionalità di tipo  $K_0$ :

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_v & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_v & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_v \cdot K_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Occorre poi considerare che le rocce della litosfera sono soggette anche a condizioni di pressione e temperatura crescenti con la profondità, potendo rimanere allo stato solido e in campo elastico anche per elevati stati di sollecitazione litostatica + tettonica (HOBBS ET ALII, 1976). Una volta superata la soglia elastica il comportamento è convenzionalmente essere assunto di due tipi:

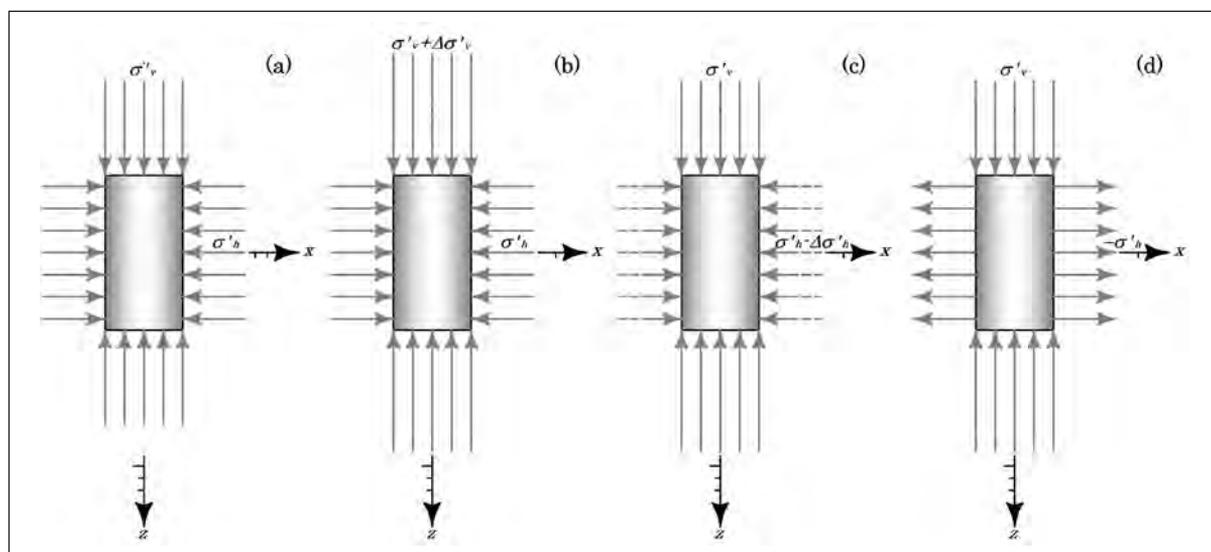
- 1) elastofragile, valido soprattutto per rocce prossime alla superficie terrestre per le quali la curva sforzi-deformazioni è approssimativamente lineare conducendo ad una brusca rottura con conseguente caduta della tensione (**Fig. 1a e Fig. 3a**);
- 2) duttile, per rocce confinate ad alte profondità, con incremento non lineare delle deformazioni all'aumentare degli sforzi senza che necessariamente sia raggiunta la condizione ultima di rottura (**Fig. 1b e Fig. 3b**).



**Fig. 2** – a) Lo stato di sforzo all'interno della litosfera è afferente la simmetria radiale; b) a sua volta, quest'ultima è riconducibile, senza errori apprezzabili, ad un problema elastico di deformazione piana limitatamente a porzioni di dimensioni ridotte (dell'ordine di qualche chilometro).



**Fig. 3** – a) rottura fragile delle rocce con formazione di faglie; b) comportamento duttile con formazione di pieghe; c) pieghe-faglie.



**Fig. 4** – a) stato tensionale di riferimento per l'analisi della formazione delle faglie dirette; b) compressione per carico per incremento del solo sforzo verticale; c) compressione per scarico per diminuzione dello sforzo orizzontale; d) trazione orizzontale.

Esistono anche casi in cui rocce intensamente piegate possono subire il superamento locale della resistenza ultima con le pieghe che evolvono verso le faglie (Fig. 3c); allo stesso modo possono esistere anche pieghe formatesi in profondità che evolvono nella rottura fragile per emersione in prossimità della superficie terrestre (WOJTAL & MITRA, 1986; PRICE & COSGROVE, 1990; CALAMITA ET ALII, 1994; MERCIER & VERGELY, 1995).

### La rottura fragile nella meccanica delle faglie dirette

Per faglia s'intende una frattura della litosfera lungo la quale si verificano scorrimenti tangenziali sotto l'azione di un assegnato campo tensionale, quest'ultimo dato dalla pressione litostatica (che varia con un gradiente medio di circa 30 MPa/km) e dagli sforzi tettonici orientati; inoltre, è usualmente accettata l'idea che le faglie dirette siano originate in campo distensivo e quelle inverse in campo compressivo (MEANS, 1976; BARLA, 1974; BOCCALETTI & TORTORICI, 1987; BOSCHI & DRAGONI, 2000).

Quale punto di partenza dell'analisi è stata considerata la condizione di prima rottura della roccia (roccia indeformata) e l'assenza della fase fluida, in maniera tale da poter eliminare nel modello il problema dello scorrimento tangenziale lungo il piano di faglia ed utilizzare un unico mezzo continuo corrispondente al solo scheletro solido; quindi, l'ipotetico provino di fig. 4 è come se fosse sottoposto a sollecitazioni litostatiche, rispondenti alle leggi del tensore (4), espresse in funzione del principio delle tensioni efficaci pur in assenza della fase fluida.

Trascurando per semplicità il problema della rottura per trazione di fig. 4d, occorre rilevare che la formazione di una faglia può avvenire per ulteriori due meccanismi:

- per incremento del solo sforzo verticale (fig. 4b);
- per decremento del solo sforzo orizzontale (fig. 4c).

Focalizzando l'attenzione sul secondo modello, dal momento che il primo in geologia può essere considerato puramente teorico, occorre riferirsi – ad esempio – ai meccanismi di apertura del

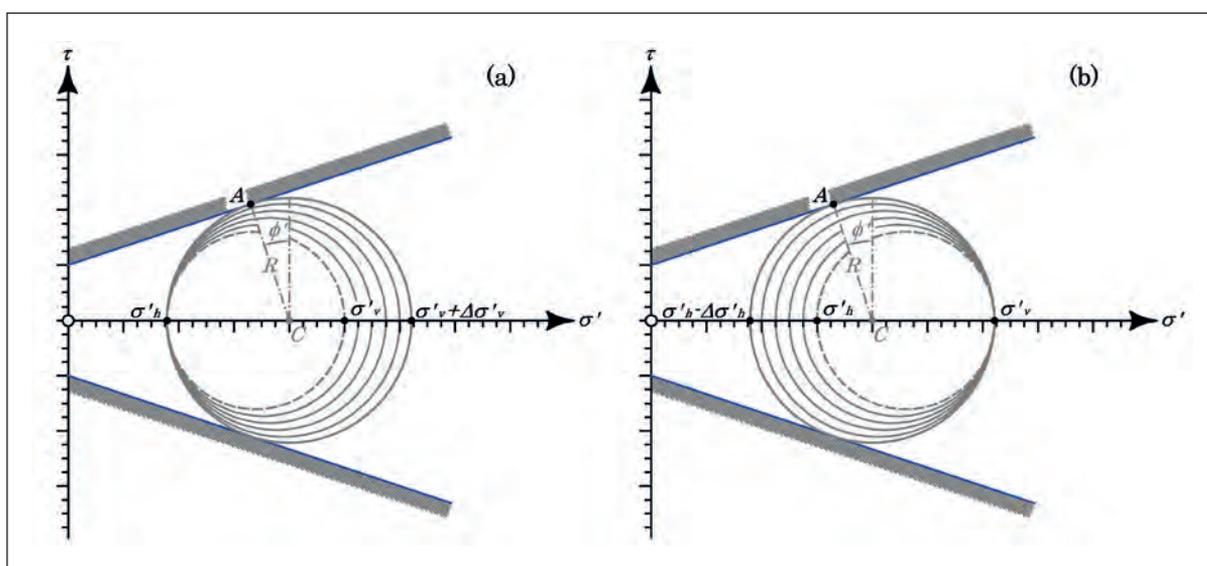


Fig. 5 – a) l'incremento dello solo sforzo verticale di Fig. 4b produce una serie di cerchi di Mohr fin quando non è intercettata la superficie di snervamento; b) il medesimo risultato si osserva anche nel caso della diminuzione del solo sforzo orizzontale di Fig. 4c.

Tirreno causati da una rotazione antioraria della penisola italiana a partire dal Miocene medio; tali meccanismi rotazionali hanno provocato stiramenti e assottigliamento della crosta terrestre fino alla sua lacerazione, con la conseguenza che la stessa aumenta di spessore allontanandosi dal centro del Tirreno e spostandosi verso la catena appenninica (Mercier & Vergely, 1995; Schettino & Turco, 2011; Schettino, 2014).

Quale diretta conseguenza dei citati movimenti tettonici, le piattaforme carbonatiche che costituiscono l'ossatura degli Appennini si trovano - verso il margine tirrenico - ribassate da una serie di faglie (BOCCALETTI & TORTORICI, 1987; SCANDONE, 1991) dimostrando che il meccanismo di genesi delle faglie dirette di Fig. 4c è presumibilmente il più probabile rispetto alla trazione pura di Fig. 4d. Proseguendo con l'analisi degli stati tensionali di Fig. 4b-c occorre poi riferirsi al piano dei cerchi di Mohr di Fig. 5, nella quale sono analizzati gli effetti dell'incremento dello sforzo verticale (Fig. 5a) e

del decremento dello sforzo orizzontale (Fig. 5b) a partire dallo stato iniziale dettato dalle sollecitazioni di Fig. 4a (cerchio in tratteggio); in entrambi i casi lo stato tensionale evolve per infiniti cerchi di Mohr, fin quando non raggiunge la condizione di criticità dettata dalla coppia  $\sigma'_v + \Delta\sigma'_v + \sigma'_h$  o  $\sigma'_v + \sigma'_h - \Delta\sigma'_h$  che intercetta la superficie di snervamento relativa al criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

Infine, ricordando le proprietà geometriche del piano dei cerchi di Mohr (Fig. 6) ed in particolare la posizione del polo, si giunge all'individuazione dell'inclinazione del piano di faglia rispetto al piano orizzontale:

$$\theta = 45^\circ + \frac{\phi}{2} \quad (5)$$

il quale risulta essere unico per entrambi i meccanismi analizzati.

In definitiva, la genesi delle faglie dirette rispetta un meccanismo di "rottura attiva" ed un

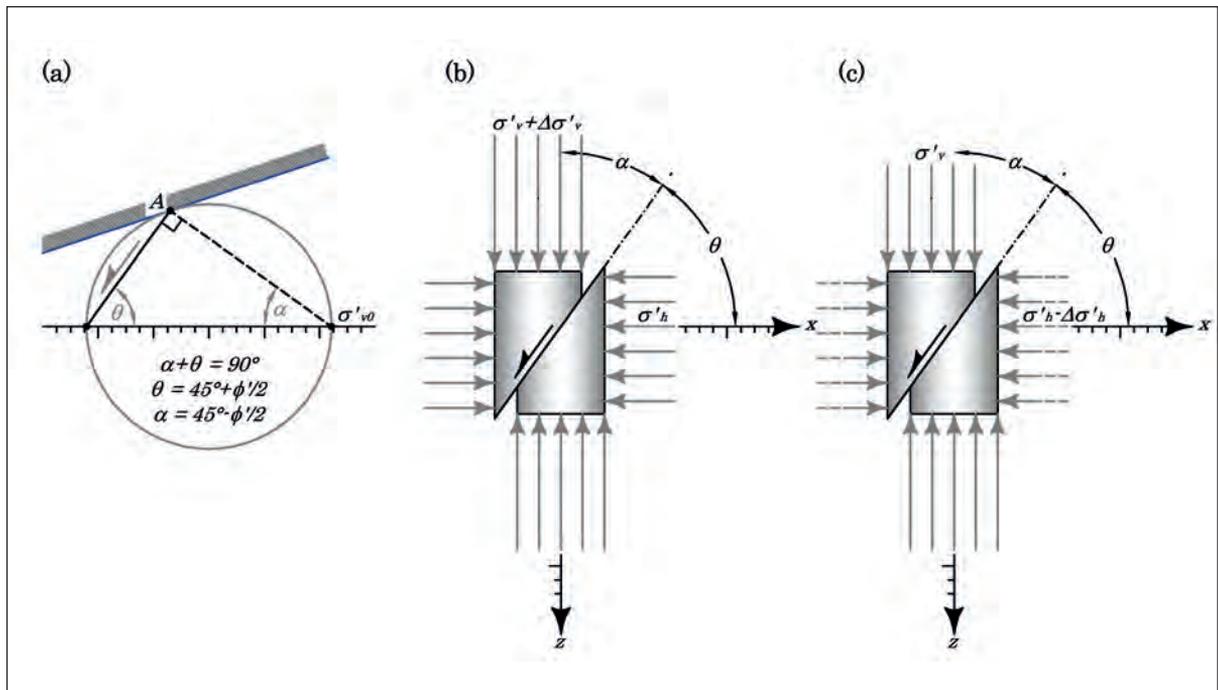


Fig. 6 - a) le proprietà geometriche dei cerchi di Mohr consentono di individuare il piano di rottura comune agli schemi di Fig. 5; b-c) proiezione del piano di rottura nei provini di Fig. 4b-c.

comportamento elastofragile che può essere agevolmente analizzato con le equazioni proprie della deformazione piana a loro volta differenziate in funzione delle sollecitazioni di Fig. 4b o Fig. 4c:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_v \\ \varepsilon_h \end{Bmatrix} = \frac{(1+\nu)}{E} \begin{bmatrix} (1-\nu) & \nu \\ \nu & (1-\nu) \end{bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sigma'_v + \Delta\sigma'_v \\ \sigma'_h \end{Bmatrix} \quad (6a)$$

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_v \\ \varepsilon_h \end{Bmatrix} = \frac{(1+\nu)}{E} \begin{bmatrix} (1-\nu) & \nu \\ \nu & (1-\nu) \end{bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sigma'_v \\ \sigma'_h - \Delta\sigma'_h \end{Bmatrix} \quad (6b)$$

In pratica, una volta stabilita sperimentalmente la legge di snervamento della roccia, le equazioni (6) e la figura 1a dettano la progressione della deformazione fino al raggiungimento del punto di rottura con formazione di una faglia diretta definibile, secondo l'equazione (5), ad alto angolo.

### La rottura fragile nella meccanica delle faglie inverse

La procedura descritta precedentemente può essere estesa anche all'analisi della formazione delle faglie inverse il cui punto di partenza è dato dalle sollecitazioni di Fig. 7a, dettate dall'incremento della tensione orizzontale (per sforzo tettonico orientato) in presenza della componente verticale costante.

Procedendo con la medesima metodologia vista con le faglie inverse, la fig. 7b illustra il cerchio di Mohr che attinge la superficie di snervamento e, unitamente alla fig. 7c, la geometria assumibile dalla superficie di faglia (in funzione della posizione del polo invertita rispetto a fig. 6) che assume la seguente inclinazione:

$$\theta = 45^\circ - \frac{\phi'}{2} \quad (7)$$

Evidentemente, nel caso delle faglie inverse si verifica un meccanismo di "rottura passiva" capace di produrre piani di faglia a basso angolo, mentre le equazioni che governano la rottura sono:

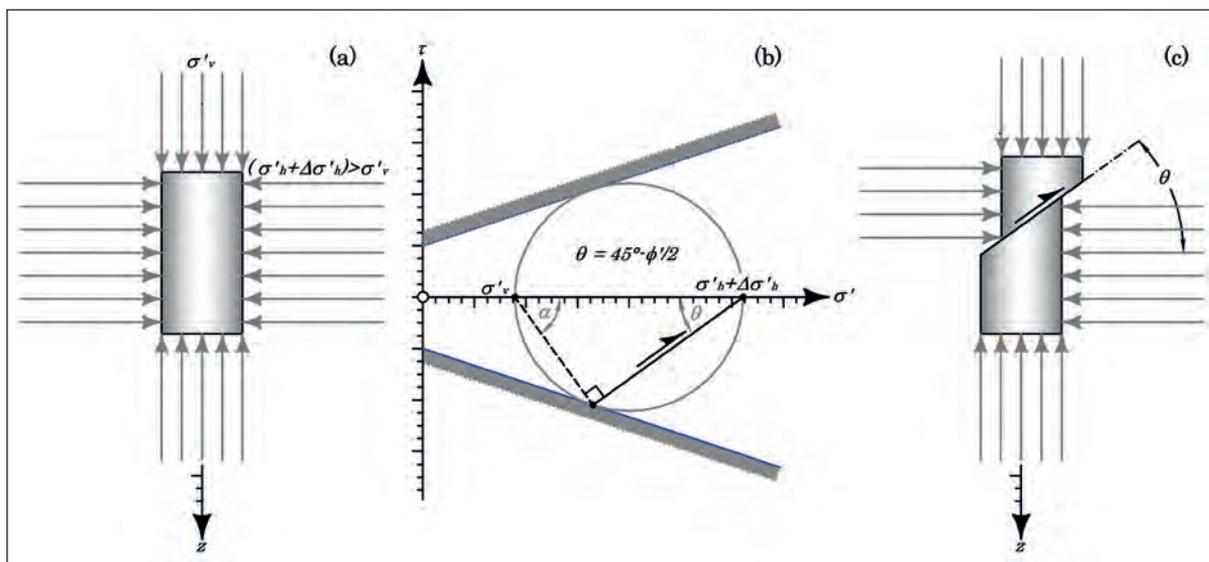
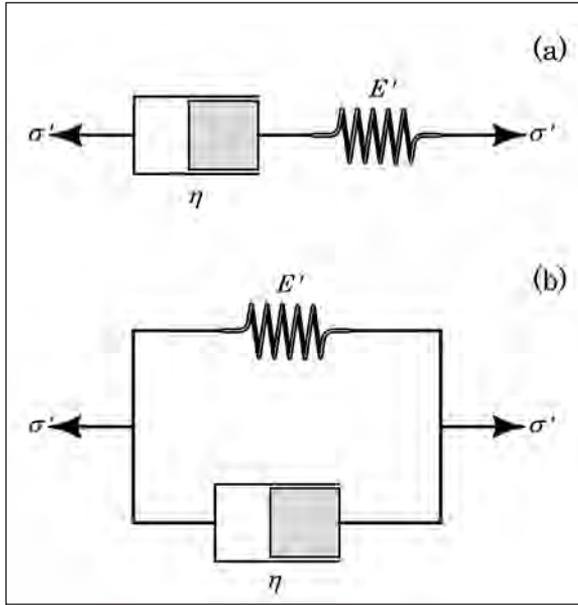


Fig. 7 – a) campo di sforzi capace di produrre la genesi di una faglia inversa; b) rappresentazione del cerchio critico nel piano di Mohr; c) identificazione dei rapporti geometrici relativi al piano di faglia.

**Fig. 8** – I modelli viscoelastici possono essere espressi mediante un sistema molla+smorzatore connessi: **a)** in serie nella legge di Maxwell; **b)** in parallelo nella legge di Kelvin-Voigt.



$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_v \\ \varepsilon_h \end{Bmatrix} = \frac{(1+\nu)}{E'} \begin{bmatrix} (1-\nu) & \nu \\ \nu & (1-\nu) \end{bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sigma_v \\ \sigma_h + \Delta\sigma_h \end{Bmatrix} \quad (8)$$

In conclusione, le faglie inverse sono sempre meno inclinate di quelle dirette, sviluppano superfici maggiori e lo scorrimento che ne deriva richiede sforzi superiori rispetto alle prime.

**La deformazione duttile nella meccanica delle pieghe**

Il comportamento duttile delle rocce può essere spiegato introducendo nei modelli il fattore tempo, che a sua volta conduce all'introduzione dei mezzi viscoelastici i quali subiscono una lenta modifica del proprio assetto strutturale interno anche in presenza di sollecitazioni costanti.

La formulazione degli strumenti fisico-matematici, necessari per lo studio di una legge costitutiva

tempo-dipendente, può essere attuata attraverso una strategia semplificata che fa leva su due modelli di riferimento: il solido elastico di Hooke e il liquido viscoso di Newton (DI FRANCESCO, 2012). Il primo raggiunge, sotto l'azione delle sollecitazioni tettoniche, una condizione di equilibrio differente da quella iniziale, grazie all'immagazzinamento dell'energia di deformazione a sua volta proporzionale all'energia spesa dal lavoro esterno prodotto dagli sforzi applicati; inoltre, alla rimozione delle sollecitazioni recupera la forma originaria.

Al contrario, i fluidi viscosi manifestano le sole deformazioni irreversibili, dal momento che l'energia di deformazione è continuamente dissipata sotto forma di calore, tanto da dare luogo a processi termodinamicamente non invertibili.

Limitando l'attenzione ai modelli più semplici occorre innanzitutto riferirsi alla Fig. 8a, nella quale è illustrato il modello di Maxwell secondo il quale uno sforzo produce una deformazione data da un'aliquota elastica ( $\varepsilon_e$ ) e da un'aliquota viscosa ( $\varepsilon_v$ ) in funzione della viscosità del mezzo ( $\eta$ ):

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \varepsilon_e + \varepsilon_v = \frac{d\sigma}{E'} + \frac{\sigma}{\eta} \quad (9)$$

Allo stesso modo, il modello di Kelvin-Voigt di Fig. 8b conduce alla seguente formulazione:

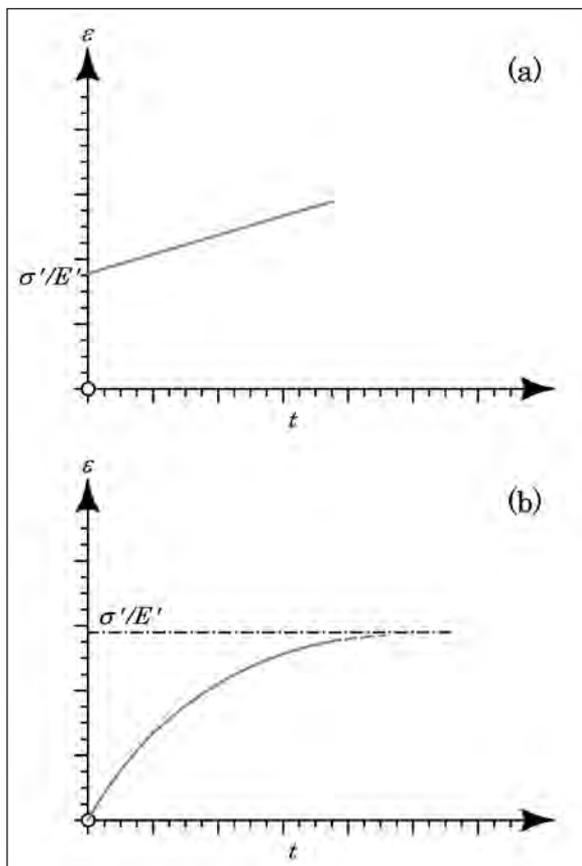
$$\frac{\sigma}{E'} = \varepsilon_e + \frac{\eta}{E'} \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (10)$$

L'applicazione alla genesi delle pieghe delle equazioni (9) e (10) richiede la simulazione di prove di creep, nelle quali lo sforzo è mantenuto costante, che conducono con poche manipolazioni matematiche rispettivamente a:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E'} + \frac{\sigma}{\eta} t \quad (11a)$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E'} \left( 1 - e^{-\frac{E'}{\eta} t} \right) \quad (11b)$$

Fig. 9 – Prove di creep simulate con: a) il modello di Maxwell; b) il modello di Kelvin-Voigt.



La fig. 9 illustra infine i risultati offerti dai due modelli secondo i quali:

- a) nel modello di Maxwell, la deformazione è data dalla somma di un'aliquota elastica istantanea e di un'aliquota dovuta allo scorrimento viscoso che varia con legge lineare;
- b) nel modello di Kelvin-Voigt, la deformazione (non lineare) raggiunge un comportamento puramente elastico solo per  $t \rightarrow \infty$ .

Tuttavia occorre comunque dare una spiegazione al perché le faglie prendono origine dalle medesime sollecitazioni che producono le pieghe, ovvero, a partire da una roccia indeformata, quando gli sforzi tettonici producono faglie e quando invece producono pieghe. Evidentemente il problema non può dipendere soltanto dal fattore tempo, dovendo esistere ulteriori meccanismi che influenzano il comportamento delle rocce.

### Un semplice modello di meccanica delle rocce

Si consideri l'ipotetico dispositivo sperimentale di fig. 10, nel quale una generica roccia di spessore  $H$  è sottoposta ad una sollecitazione orientata nel piano orizzontale tale da riprodurre gli sforzi tettonici.

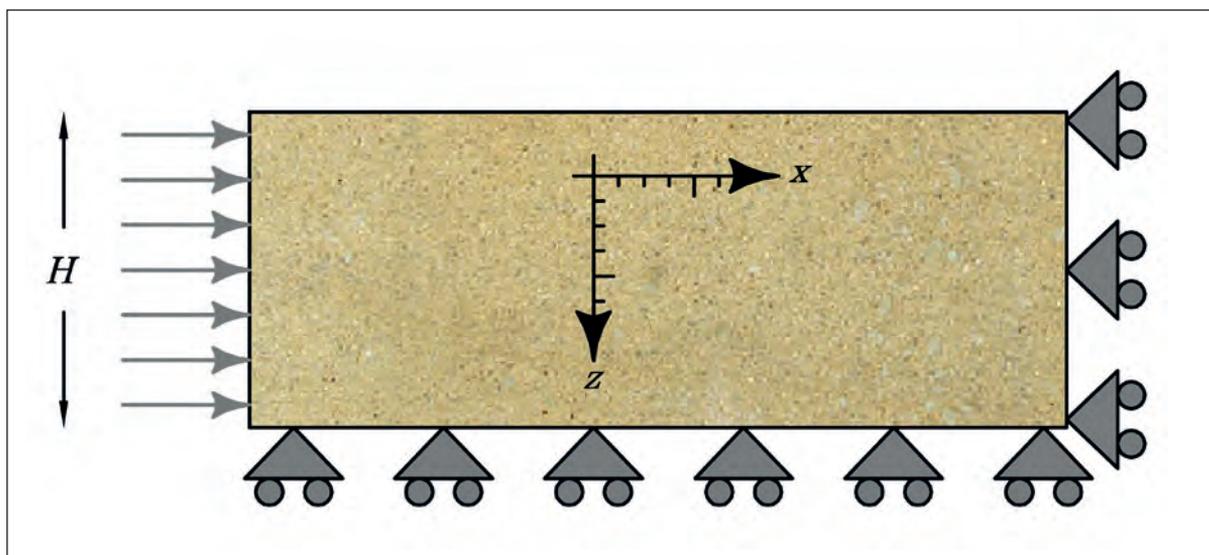


Fig. 10 – Ipotetico dispositivo sperimentale per lo studio del comportamento delle rocce.

In tale contesto la variazione complessiva di spessore della roccia sarà:

$$\Delta H^{ep} = \Delta H^e + \Delta H^p \quad (12)$$

Le singoli componenti saranno invece:

$$\Delta H^e = H \cdot \varepsilon^e \quad (13a)$$

$$\Delta H^p = H \cdot \varepsilon^p \quad (13b)$$

Le equazioni (13) possono essere inserite nell'equazione (12) per ricavare, con poche manipolazioni matematiche, la deformazione plastica:

$$\varepsilon^p = \frac{\Delta H}{H} - \varepsilon^e \quad (14)$$

In pratica, l'equazione (14) afferma che la deformazione plastica è data dalla deformazione totale al netto della componente elastica.

Poiché la formazione di una piega o di una faglia comporta sia una deformazione orizzontale che verticale, si vuole conoscere l'andamento di quest'ultima a partire dalle equazioni in campo elastico (6) oppure (8) trascurando la variazione delle tensioni (in pratica, si ipotizza che lo sforzo sia afferente le sollecitazioni applicate in Fig. 10 ignorando le sollecitazioni litostatiche che comunque agiscono sempre):

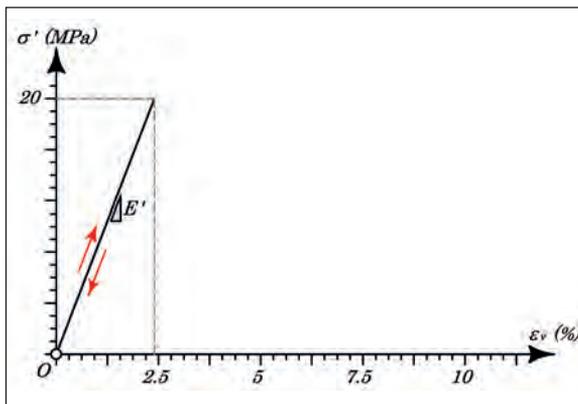


Fig. 11 – Retta sforzi-deformazioni di una generica roccia fino al limite di snervamento.

$$\varepsilon_v^e = \frac{\nu(1+\nu)\sigma_h'}{E'} \quad (15)$$

Quest'ultima può infine essere inserita nell'equazione (14) per ottenere la relazione cercata:

$$\varepsilon^p = \frac{\Delta H}{H} - \frac{\nu(1+\nu)\sigma_h'}{E'} \quad (16)$$

### 2.1. Un esempio di calcolo

Si supponga che una generica roccia sia stata sottoposta a prove di compressione cilindrica dalle quali sono stati ricavati:

- $\sigma'_{sn} = 20$  MPa (tensione di snervamento)
- $E' = 200$  MPa
- $\nu = 0,2$ .

Inserendo tali dati nell'equazione (15) si ottiene il valore della deformazione elastica verticale -  $\varepsilon_v^e = 2,4\%$  - con il quale può essere costruito il grafico di **fig. 11** relativo al campo di esistenza del comportamento elastico della roccia in analisi.

Si supponga, ora, che la variazione di spessore della roccia in campo plastico sia sempre di 1 metro, a causa dello stato di confinamento esercitato dalla pressione litostatica sovrastante:

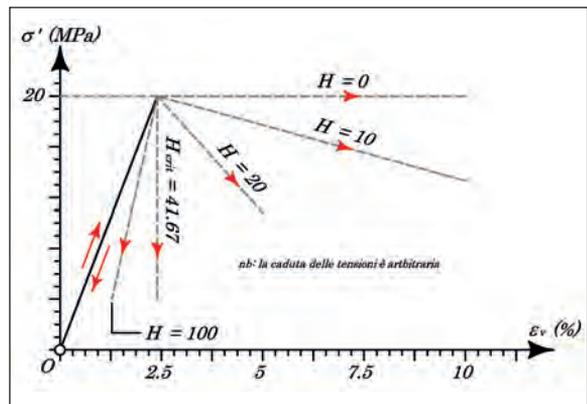


Fig. 12 – Variazione del campo plastico in funzione dello spessore della roccia.

$\Delta H^p = 1$  metro.

Si vuole conoscere l'influenza dello spessore dello strato nei confronti del comportamento in campo plastico della roccia, facendo variare  $H$  nell'equazione (16) ed ottenendo i risultati di tabella 1.

H (metri)	$\epsilon^p$ (%)
0	$\infty$
10	7,6
20	2,6
41,67	0
50	-0,4
100	-1,4
200	-1,9
500	-2,2
1000	-2,3

I dati possono infine essere utilizzati per completare il grafico di fig. 11 ed ottenere quello illustrato in **fig. 12** nel quale la deformazione finale è sempre data dalla somma delle componenti elastiche e plastiche.

Dalla lettura dei risultati si scopre che, a partire dalla classica bilatera di Prandtl (1921) relativa ad un corpo elastico perfettamente plastico, la roccia assume un comportamento dapprima contraente e poi progressivamente sempre più rammollente fino alla condizione critica corrispondente a  $H_{crit} =$

41,67 metri per la quale diventa elasto-fragile con genesi di una faglia; evidentemente, per spessori superiori a quello critico la risposta meccanica della roccia tende sempre più al comportamento puramente elastico mentre per valori inferiori al campo duttile con formazione delle pieghe.

Per quanto riguarda lo spessore critico, che assume un ruolo discriminante, occorre annullare la deformazione plastica dell'equazione (16) per ottenere:

$$\epsilon^p = \frac{\Delta H}{H} - \frac{\nu(1+\nu)\sigma_h}{E'} = 0 \tag{17a}$$

$$H_{crit} = \Delta H \frac{E'}{\nu(1+\nu)\sigma_h} \tag{17b}$$

L'equazione (17b) applicata al caso in questione fornisce proprio  $H_{crit} = 41,67$  metri.

### Applicazione alle rocce stratificate

Nel caso delle rocce stratificate si verifica la co-presenza di geomateriali aventi differenti spessori e differenti parametri elastici, che devono necessariamente influire sulla risposta reologica dell'intero ammasso roccioso rispetto alle medesime sollecitazioni tettoniche (**fig. 13**).

La soluzione del problema implica che all'interno delle equazioni (15) e (16) i singoli parametri

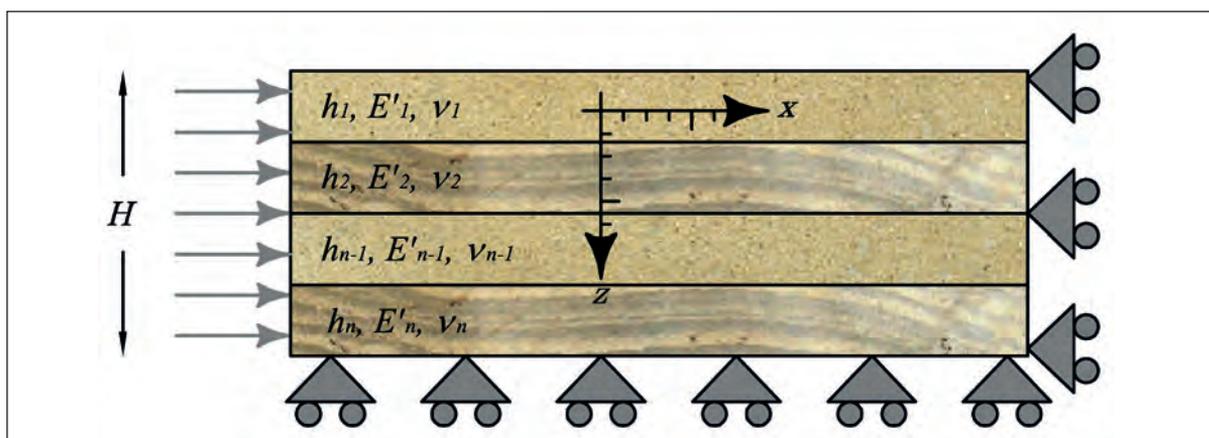
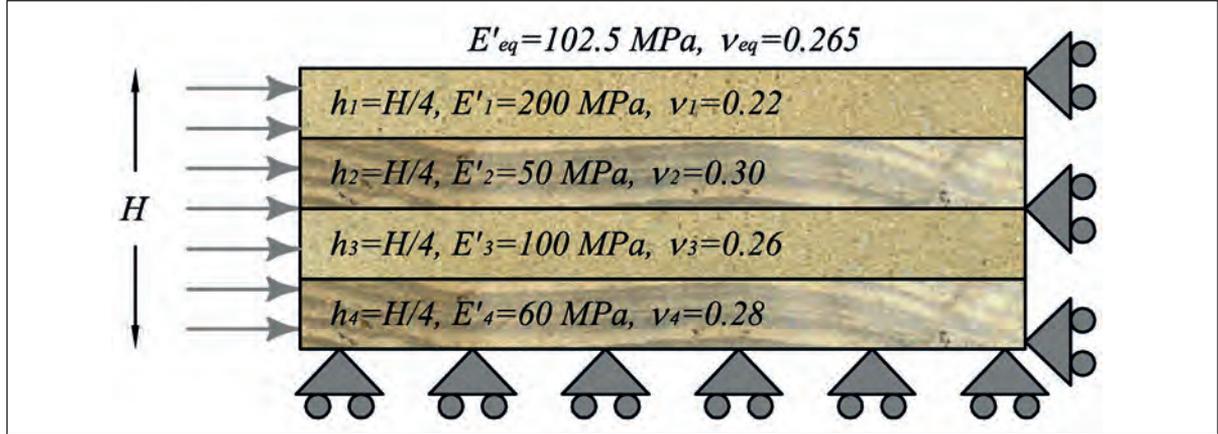


Fig. 13 – Nelle rocce stratificate variano gli spessori e i parametri elastici di ogni singolo geomateriale.

Fig. 14 – Esempio di calcolo in caso di rocce stratificate.



elastici siano espressi attraverso la media aritmetica ponderata, ottenendo:

$$\varepsilon_v^e = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n \nu_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^n \nu_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right) \sigma_h'}{\frac{\sum_{i=1}^n E'_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}} \quad (18)$$

$$\varepsilon^p = \frac{\Delta H}{H} - \frac{\frac{\sum_{i=1}^n \nu_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^n \nu_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right) \sigma_h'}{\frac{\sum_{i=1}^n E'_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}} \quad (19)$$

Si consideri allora il dispositivo teorico-sperimentale di figura 14, nel quale è presente un campione di roccia stratificata; quindi, per una tensione orientata di 20 MPa, dall'equazione (18) si ottiene la deformazione elastica verticale:  $\varepsilon_v^e = 6,5\%$  (fig. 15a).

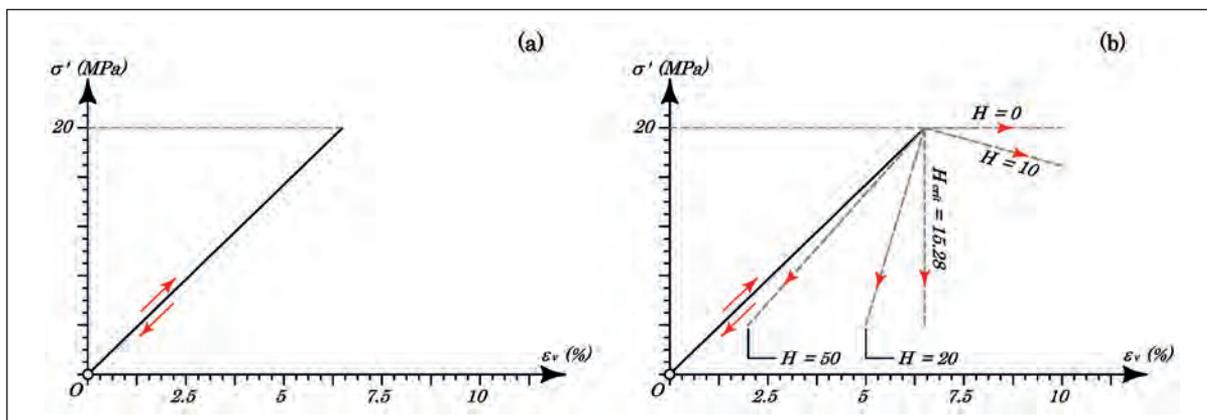
Continuando con le medesime condizioni del paragrafo precedente, con  $\Delta H^p = 1$  metro, l'equazione (19) conduce ai risultati di tabella 2 ed al grafico di figura 15b.

H (metri)	$\varepsilon^p$ (%)
0	$\infty$
10	3,5
15,28	0
20	-1,5
50	-4,5
100	-5,5
200	-6,0
500	-6,3
1000	-6,4

L'ultimo passaggio consiste nel calcolo dell'altezza critica per sistemi stratificati:

$$H_{crit} = \Delta H \frac{\frac{\sum_{i=1}^n E'_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}}{\frac{\sum_{i=1}^n \nu_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^n \nu_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right) \sigma_h'} \quad (20)$$

Fig. 15 – Risultati del sistema stratificato di figura 14: a) retta sforzi-deformazione in campo elastico; b) variazione del campo plastico in funzione dello spessore complessivo della sistema.



L'equazione (20) applicata ai dati di figura 14, per l'assegnato  $\Delta H^p = 1$  metro e per  $\sigma'_{sn} = 20$  MPa, fornisce:  $H_{crit} = 15,28$  metri.

In definitiva, dal confronto tra le figure 12 e 15b, così come tra le tabelle 1 e 2, emerge che nei sistemi stratificati cambia lo scenario di riferimento, in quanto la presenza di intercalazioni a minor rigidità (come nel caso delle marne intercalate alle arenarie delle sequenze torbiditiche e/o flisciodi) diminuisce l'ampiezza del campo plastico favorendo la formazione delle faglie piuttosto che delle pieghe; difatti, nel caso in esame l'altezza critica è passata dai 41,67 metri di una roccia monolitica ai 15,28 metri del sistema stratificato di figura 14. Tale fenomeno può essere spiegato da due punti di vista: 1) globalmente, in quanto diminuisce il valore dei parametri elastici del sistema stratificato con conseguenze incremento dell'ampiezza del campo elastico, come emerge dal confronto tra le figure 11 e 15a; 2) localmente, in quanto le intercalazioni più deboli favoriscono l'innesco della rottura dei singoli strati a maggior competenza, con conseguente propagazione favorita dallo spessore totale.

## Conclusioni

Lo studio delle strutture tettoniche e del comportamento reologico delle rocce ha come obiettivo

principale quello di vincolare le caratteristiche di risposta dei materiali della litosfera (ad esempio nel corso dei processi orogenetici) e di prevederne le modalità deformative in funzione delle condizioni termobariche in cui sviluppa la deformazione. A tale scopo, le informazioni acquisite esaminando le differenti tipologie di risposta delle rocce nonché quelle derivate dai modelli sperimentali, risultano particolarmente importanti perché forniscono indicazioni sulla reologia delle rocce costituenti la litosfera e sulle zone di transizione tra comportamenti deformativi dominanti alle varie profondità della Terra.

Il comportamento reologico delle rocce non è una caratteristica tipica delle stesse ma varia in funzione della situazione deformativa. Lo stesso vale anche per la resistenza delle rocce, la quale non rappresenta un parametro caratteristico (intrinseco) delle stesse ma definisce semplicemente quale è il valore dello stress che la roccia è in grado di sostenere nelle condizioni deformative date. In particolare emerge che sia la duttilità che la resistenza al taglio delle rocce dipendono dalla pressione di confinamento.

## Riferimenti bibliografici

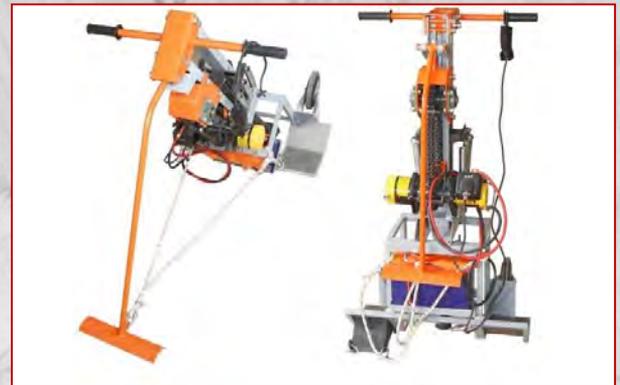
BARLA G. (1974) – *Meccanica delle rocce. Teoria e applicazioni*. Coop. Libreria Universitaria Torinese, 440pp.

- BARTON N. (1976) – *The shear strength of rock and rock joints*. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci., 13, 255-276.
- BOCCALETTI M. & TORTORICI L. (1987) – *Appunti di geologia strutturale*. Pàtron Editore, Bologna.
- BOSCHI E. & DRAGONI M. (2000) – *Sismologia*. UTET, Torino.
- CALAMITA F., CELLO G., DEIANA G. & PALTRINIERI W. (1994) – *Structural styles, chronology rates of deformation and time-space relationships in the Umbria-Marche thrust system (central Apennines, Italy)*. Tectonics, 13(4), 873-881.
- CELLO G. (2004) – *Fondamenti di geologia strutturale*. Edimond, Città di Castello, 144pp.
- CELLO G. & DEIANA G. (1995) – *Role and effects of pore fluid pressure in thrusting: the case history of the Umbria-Marche Apennines, central Italy*. Tectonics, 14(4), 848-854.
- DAVIS G.H. & REYNOLDS S.J. (1984) – *Structural geology of rocks and regions*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 776pp.
- DI FRANCESCO R. (2012) – *Introduzione alla Meccanica del Continuo*. Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- GRIFFITH A.A. (1924) – *Theory of rupture*. Prooc. First Int. Congress on Applied Mechanism, Delft, the Netherlands, 55-63.
- HOBBS B.E., MEANS W.D. & WILLIAMS P.F. (1976) – *An Outline of Structural Geology*. John Wiley and Sons, 278pp.
- JAEGER J.C. (1969) – *Elasticity, fracture and flow with engineering and geological application*. Methuen & Co., London, 268pp.
- MEANS W.D. (1976) – *Stress and strain*. Springer Verlag, Berlino, 339pp.
- MERCIER J. & VERGELY P. (1995) – *Tettonica*. Pitagora editrice, 176pp.
- PRANDTL L. (1921) – *Über die Eindringungsfestigkeit (Härte) plastischer Baustoffe und die Festigkeit von Schneiden*. Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik, 1, 425-431.
- PRICE N.J. & COSGROVE J.W. (1990) – *Analysis of geological structures*. Cambridge Univ. Press, 502pp.
- RAMSAY J.G. (1967) – *Folding and fracturing of rocks*. Blackburn Press, 588pp.
- SCANDONE R. (1991) – *Le caldera vulcaniche italiane*. Le Scienze n. 269, edizione italiana di American Scientific.
- SHOLZ C.H. (1968) – *Experimental study of the fracturing process in brittle rock*. Journ. Geoph. Res., 73, 1447-1454.
- SHOLZ C.H. (2002) – *The mechanism of earthquakes and faulting*. Cambridge Univ. Press, 471pp.
- SIBSON R.H. (1975) – *Fault rocks and fault mechanisms*. Journ. Geol. Soc. Of London, 133, 191-213.
- WOJTAL S. & MITRA G. (1986) – *Strain hardening and strain softening in fault zones from foreland thrusts*. Geol. Soc. Am. Bull., 97, 674-687.

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



STRUMENTAZIONE PER CROSS-HOLE



MARTELLI PER INDAGINI SISMICHE P&S



ARRAY IDROFONICI



ALL-IN ONE  
CONTACT & ULTRASONIC CH & PIT

# GEOSTRU Infinite soluzioni.

Software Desktop

GeoAPP

Geostru  
365

Geostru  
VisionTime

GeoFormazione

Gestionale e  
E-Fatturazione

## GEOSTRU TI OFFRE INFINITE E INNOVATIVE SOLUZIONI E STRUMENTI DI LAVORO

Dal software desktop al software in cloud per geologia, gestione ufficio e contabilità, soluzioni e strumenti di lavoro in mobilità, servizi di formazione e consulenza e tanto altro ancora. Tutto questo è l'universo GeoStru, infinite soluzioni e combinazioni per professionisti.



### SOFTWARE Desktop

Ingegneria - Geologia e Geotecnica  
Meccanica delle rocce - Prove in situ - Idrologia  
e Idraulica Topografia - Energia - Geofisica  
scopri di più su: <https://www.geostru.eu/it/>

**Software aggiornati alle NTC 2018  
e BIM compatibili secondo lo standard  
AGS**



### Gestionale e Fatturazione elettronica

Accedi ai nostri servizi di contabilità e fatturazione elettronica su [www.smartbill.it](http://www.smartbill.it)



### GeoStru VisionTime

Gestione e Archiviazione Documenti Studio Tecnico  
Archiviare in cloud la documentazione dello studio tecnico, unendo informazioni geografiche all'archiviazione di qualsiasi tipo di documento in formato elettronico.  
scopri di più su: <https://visiontime.geostru.com/>



### GeoStru 365

Utilizza i nostri software online ovunque  
Nessuna limitazione rispetto ai software commerciali, è possibile: importare, elaborare, stampare ed esportare.  
Nessuna installazione o configurazione. Accedi online e inizia!  
scopri di più su: [www.geostru365.com](http://www.geostru365.com)



### GeoFormazione

Formazione professionale certificata con crediti formativi  
Dai più valore alla tua Professione scegli i nostri corsi accreditati.  
scopri di più su: [www.geoformazione.eu](http://www.geoformazione.eu)



### GeoAPP

Oltre 50 applicazioni in cloud pensate per la tua professione  
scopri di più su: <https://geoapp.geostru.eu/>

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



Leggi il QR code per il tuo codice sconto



# Carta di base del potenziale pericolo radon geogenico della Sardegna

**Giuseppe Ledda**, Geologo libero professionista, Via Sant'Antonio 133, Quartu Sant'Elena (CA) – giuledd@gmail.com  
in collaborazione con Radon Free® - Radiation Monitoring dell'Ing. Andrea Alessandro Muntoni

## Premessa

In questo lavoro è stata elaborata una prima mappa del potenziale pericolo radon geogenico della Sardegna seguendo una metodologia completamente geologica.

La mappatura, infatti, è basata sulla distribuzione e sui caratteri geologici delle principali unità litostigrafiche presenti sul territorio sardo e sul loro potenziale radioattivo comune in relazione al radon. Nel 2016 la Regione Sardegna, tramite la propria agenzia per l'ambiente ARPAS, ha avviato un piano di monitoraggio del gas radon nelle abitazioni e nelle scuole sarde finalizzato alla "Classificazione del Territorio Regionale con individuazione delle Aree a rischio radon". I dati definitivi non sono ancora disponibili. La metodologia scelta per la mappatura, tuttavia, non è puramente geologica ma fondata su misure indoor e con una base cartografica a maglie (la maglia definita dalla C.T.R alla scala 1:10.000) e amministrativa (le divisioni comunali).

In tale contesto regionale di ricerca e definizione delle aree a pericolo radon e nell'interesse specifico di poter contribuire in maniera fattiva all'esame di tale rischio per la Sardegna, anche col patrocinio dell'Ordine Regionale dei Geologi della Sardegna, si è deciso di pubblicare i risultati di questo

specifico studio pluriennale e multidisciplinare sull'argomento che, appunto, ha portato alla redazione della Carta di base del potenziale pericolo radon geogenico della Sardegna – scala di stampa 1:200.000 (con dettaglio cartografico alla scala 1:25.000), già presentata al Convegno Nazionale "RADON Rischio Geologico – dalla terra un pericolo invisibile per la salute: quanti lo conoscono?", organizzato a Roma il 26 ottobre 2018 dal Consiglio Nazionale dei Geologi.

## Abstract

*In this research, a map on the potential hazard posed by geogenic radon in Sardinia was developed for the first time by applying a strictly geological approach to this issue. This approach is based on the distribution and features of the main lithostratigraphic units existing in the territory of Sardinia and on their radioactive potential.*

*By analyzing and processing the bibliographical data on the radioactive potential of the different lithologies existing in the territory of Sardinia and after an estimate on their capacity of permeability to gases, different levels of hazard were attributed to each of the numerous geological formations existing in this territory, and then a corresponding map was developed.*

Dissesti  
e alluvioni

Rischio  
sismico

Risorsa  
acqua

Attività  
estrattive

Geoscambio  
ed energie

Università  
e ricerca

Pianificazione

Bonifiche siti  
inquinati e  
discariche

Protezione  
civile

Professione  
& Società

Il Geologo  
progettista

Geositi,  
Geoparchi  
& Geoturismo

The methodology used is strictly qualitative, and its assessment on the hazard from radon for each geolithical formation was obtained attributing a different importance, and thus a different class, to the following hazard factors:

- 1) U238 radioactive potential or progeny
- 2) permeability to gases

By cross-referencing the common radiation and permeability values, assigned to each geolithical unit, the corresponding potential geogenic Rn hazard levels were assigned according to a specific matrix.

The printed map is on a 1:200,000 scale but it was drafted on the basis of the cartographic specifications of "Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000" published on-line by Regione Autonoma della Sardegna (<http://www.sardegnameoportale.it>).

The mapping of the potential geogenic radon hazard in Sardinia indicates that in this territory there is a significant diffusion of lithologies with potential radon hazard: 75% of the soil reveals a high to medium hazard, while only 25% shows a low to medium-low hazard.

It is reassuring, however, to notice that the areas with the highest concentration of inhabitants, such as the lowland of Campidano and some areas along the coast, show a low to medium or low level of hazard. In most part of the Gallura area, by contrast, in the Nuoro area, and also in vast parts of Baronia, Oliastro, Logudoro, Planargia, Barigadu, Goceano and Arbus areas the hazard is potentially high even in urbanized areas.

The map developed in this research provides the first step towards a complete definition of the hazard from radon in Sardinia; an essential step, in our view, considering the fact that the methodology applied is strictly geological.

Though from this map we cannot determine the radon concentration in individual buildings.

The concentration of indoor radon, as a matter of fact, is not only dependant on potential geogenic radon existing in the soil but also on the structural features of the buildings, on the building materials used and on the lifestyle of people using such

buildings, all of which are essential in determining the relation between the existing radon in the soil and its indoor concentration.

## Introduzione

Tale mappa, elaborata integralmente dallo scrivente in collaborazione con Radon Free® - *Radiation Monitoring* dell'Ingegnere Andrea Alessandro Muntoni, è stata realizzata sulla base della cartografia geologica 1:25.000 della Regione Sardegna ([www.sardegnameoportale.it](http://www.sardegnameoportale.it)) con l'utilizzo di dati bibliografici regionali, nazionali e internazionali. In Italia e in Europa si sono seguiti diversi approcci per mappatura del rischio radon. Alcuni studi hanno sviluppato carte basate essenzialmente sulle misure del Rn indoor, altri sulle misure del radon nei terreni (*soil radon*), altri ancora basate sulla cartografia geologica in relazione al potenziale radioattivo di ciascuna unità litostratigrafica. Infine, esistono altri studi che seguono una sorta di approccio misto tra potenziale geologico e misure Rn nei terreni e indoor.

Al netto di tutte le considerazioni possibili in merito alla scelta di un metodo rispetto ad un altro, **il radon è comunque un pericolo geologico** perché geologica è la sua origine e geologici sono i processi e le dinamiche che lo portano a diffondersi e concentrarsi nei terreni fino a raggiungere l'atmosfera, generando pericolo per l'uomo.

In questo senso, quindi, pare chiaro che più è alto il livello radon o di precursori del radon nei terreni di una determinata area e maggiore sarà la probabilità che negli edifici della stessa zona, a parità di condizioni, si ritrovino alti livelli di radon.

D'altra parte, se è pur riconosciuto che non vi sia una relazione fissa tra presenza di radon o di un certo potenziale di uranio o di radio nei terreni e la presenza di radon negli ambienti chiusi (radon indoor), perché molteplici sono i fattori che influenzano la presenza del gas in ambienti chiusi quali le modalità costruttive e gli stili di vita delle persone che utilizzano tali spazi, almeno per gli stessi identici motivi, altrettanto labile e, forse, più discutibile, pare il rapporto tra radon indoor e la

definizione delle aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di attività di radon.

Da questo punto di vista, affrontare la gestione del rischio radon senza partire dalle condizioni geologiche che lo generano, sembra certamente poco comprensibile e metodologicamente poco corretto.

Partendo da queste valutazioni fondamentali, considerata anche la fase di iniziale approccio al problema radon in Sardegna, la scelta fatta di utilizzare un percorso integralmente geologico per elaborare una prima mappatura di base del potenziale pericolo radon geogenico in Sardegna ci è parsa la più logica e coerente.

## Metodologia

Analizzati l'origine del gas radon e le dinamiche complesse che caratterizzano la sua migrazione nel sottosuolo, per la definizione del potenziale radon geogenico di una data area ci è parso convincente l'approccio al problema proposto da alcuni lavori europei e nazionali (riferimenti bibliografici 2 e 3) nei quali il potenziale radon viene valutato incrociando i dati relativi a due soli fattori geologici:

1. la potenziale concentrazione di Rn nel terreno;
2. la permeabilità ai gas del terreno stesso.

Partendo dalla dettagliata cartografia geologica di base alla scala 1:25.000, resa disponibile dalle Regione Sardegna (riferimento bibliografico 1), che individua ben 820 unità litostratigrafiche, e in mancanza sia di misure sui terreni sia di *soil radon* che di permeabilità ai gas sui terreni sardi, per ogni singola unità litostratigrafica definita in carta sono stati stimati i seguenti due fattori di pericolo sulla base di dati bibliografici regionali, nazionali e internazionali:

1. **Potenziale radioattivo comune (U)**, che rappresenta una stima della quantità di Rn potenzialmente generabile da quel dato terreno;
2. **Permeabilità al gas (P)**, che rappresenta una stima di quanto Rn generato può raggiungere l'atmosfera.

In particolare, ad ogni singola unità litostratigrafica distinta nella cartografia di riferimento è stato attribuito, un peso di pericolo variabile da 1 a 3 a ciascun fattore di pericolo U e P (Basso 1; Medio 2 e Alto 3). Incrociando poi i valori di potenziale radioattivo comune (U) e di permeabilità (P) attribuiti, a ciascuna unità litostratigrafica è stata assegnata la relativa classe di Pericolo Rn potenziale R (Alto - Medio - Basso), secondo la seguente matrice:

Fig. 1 – Matrice di attribuzione pericolo Rn.

	UB	UM	UA		U1	U2	U3
PB	RB	RB	RM	P1	2	3	4
PM	RB	RM	RA	P2	3	4	5
PA	RM	RA	RA	P3	4	5	6

## Attribuzione fattore potenziale radioattivo comune

Lo studio ha raggruppato le unità litostratigrafiche sarde in tre classi a crescente radioattività potenziale (bassa - media - alta) per la probabile presenza di elementi radioattivi precursori del radon, in relazione alla **radioattività comune** che tali litologie registrano in Sardegna, in Europa e nel mondo.

Per **radioattività comune** si intende esclusivamente il valore di attività radioattiva del Rn222 o di concentrazione/attività di elementi radioattivi precursori del Rn222 (U238 e Ra226).

Nel particolare, per l'attribuzione del parametro **potenziale radioattivo comune**, sono stati presi in considerazione 11 studi sulla radioattività delle rocce (quattro dei quali riguardano la Sardegna) e definite 24 classi litologiche rappresentative della realtà sarda. Per ogni singolo studio, ad ogni classe litologica è stato attribuito peso relativo di potenziale radioattivo variabile da 3 a 0 in relazione al punteggio massimo di 3 attribuito alla classe litologica indicata nello studio stesso come quella con maggiore attività o concentrazione di elementi radioattivi (**Fig. 3**).

Dalla media dei pesi relativi degli 11 lavori

Fig. 2 – Esempio di attribuzione fattori di pericolo U e P e relativa classe di pericolo Rn alle unità litostatigrafiche.

n°	Nome unità litostatigrafica	U	P	R - Rn	Pericolo Rn
394	FORMAZIONE DI S. CATERINA DI PITTINURI. Calcarei organogeni_ calcari detritici più o meno arenacei e	1	3	4	RM
	FORMAZIONE DI SERRA IS OLLASTUS. Depositi conglomeratici continentali poligenici ed eterometrici_ a				
395	prevalenti clasti di rocce carbonatiche mesozoiche e scarsi clasti di andesiti e di rocce paleozoiche (Santadi)_ in	2	1	3	RB
396	FORMAZIONE DI SORTEDDATTA. Calcarei pulverulenti fossiliferi (chalk)_ alla base_ calcareniti con noduli fosfatici	1	3	4	RM
	FORMAZIONE DI TADASUNI. Conglomerato basale_ a componente arenacea variabile_ con faune a molluschi				
397	(Ostrea e.m._ Cardium_ Pecten) ed echinodermi_ passante verso l_ alto ad arenarie. Alternanze marnoso-	1	2	3	RB
	FORMAZIONE DI TUVI/OIS. Metarenarie micacee a grana fine_ metasiltiti e metacalcari silicizzati. ORDOVICIANO				
398	SUP. (ASHGILL)	3	1	4	RM
399	FORMAZIONE DI USSANA. Conglomerati e brecce_ grossolani_ eterometrici_ prevalentemente a spese di	2	2	4	RM
400	GNEISS MIGMATITICI DI SANTA MARIA. Gneiss milonitici a nastri di quarzo_ con diffusi leucosomi a	2	1	3	RB
401	GNEISS OCCHIADINI DI S. ANNA. Ortogneiss leucogranitici grigio-giallastri_ a grana media_ tessitura scistoso-	2	1	3	RB
402	IGNIMBRITE DI MONTE IBERA. Deposito di flusso piroclastico in facies ignimbrítica_ di colore grigio_ in banchi	3	2	5	RA
403	KEUPER AUCT. Dolomie e dolomie calcaree_ brecce dolomitiche_ ben stratificate_ da grigio chiare a scure con	1	3	4	RM
404	KEUPER AUCT. Marni grigio-giallognole con subordinati calcari marnosi_ argille varicolori gessifere. TRIAS SUP.	2	1	3	RB
405	Laghi			0	RB
406	LAVE E PIROCLASTITI DI BRUNCU SU SENSU	3	2	5	RA
407	LEUCOGRANITI DI PUNTA ISCIA LONGA. Leucograniti foliati a muscovite di Punta Ischia Longa. _PALEOZOICO	3	2	5	RA
408	LEUCOGRANITI SCISTOSI DI MONTE PRESA. Leucograniti a due miche_ a grana fine_ scistosi. (322 ± 8 Ma).	3	2	5	RA
409	LIGNITIFERO AUCT. Calcarei di colore biancastro con resti di bivalvi e oogoni di carofite_ brecce cementate e rari	1	2	3	RB
410	Litofacies dei BASALTI DELLE GIARE. Brecce scoriacee prossimali ai centri eruttivi e rari dicchi (Cuccuru de	1	2	3	RB
411	Litofacies negli ARGILLOSCISTI DI RIO CANONI. Intercalazioni di metacalcari fossiliferi talora silicizzati.	1	3	4	RM
412	Litofacies negli ARGILLOSCISTI DI RIO CANONI. Metabasiti. Derivati metamorfici di basalti alcalini e	1	1	2	RB
413	Litofacies negli ORTOGNEISS DI LODÈ-MAMONE. Differenziati leucocratici. Meta-aplopegmatiti quarzoso-	2	1	3	RB
414	Litofacies negli SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. _Scisti a Tentaculiti_ Auct_ Alternanza centimetrica regolare di	3	1	4	RM
415	Litofacies negli SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. Alternanza centimetrica regolare di metasiltiti e metacalcari grigi.	3	1	4	RM
416	Litofacies negli SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. Livelli di metacalcari grigi. SILURIANO - DEVONIANO MEDIO	1	3	4	RM
417	Litofacies negli SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. Metacalcari scuri e metacalcari nodulari fossiliferi con abbondanti	1	3	4	RM
418	Litofacies negli SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. Metacalcari scuri e metacalcari nodulari fossiliferi_ con abbondanti	1	3	4	RM
419	Litofacies negli SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. Metacalcari. Metacalcari scuri e metacalcari nodulari fossiliferi.	1	3	4	RM
420	Litofacies nei BASALTI ANDESITICI DI SERRA NUARXIS. Andesiti basaltiche in potenti colate massive_ porfiriche	1	2	3	RB

considerati è stato ottenuto, per ognuna delle 24 classi litologiche rappresentative, un peso di pericolo potenziale radioattivo comune U (Basso 1; Medio 2 e Alto 3) secondo il seguente schema: 0-1 UB; 1-2 UM; 2-3 UA (Fig. 4).

Per l'attribuzione del potenziale radioattivo alle diverse litologie, considerate le finalità del presente studio, si è ritenuto corretto operare con un **approccio puramente qualitativo** al problema. L'approccio quantitativo alla classificazione, fondato su soli dati bibliografici, che prevedrebbe l'attribuzione di una gamma attendibile di valori di concentrazione di elementi radioattivi (ppm) o di attività radioattiva (Bq/m<sup>3</sup>, Bq/Kg) a ogni singola unità litologica, in relazione a misure realizzate su litologie simili ma in campagne di misure e rilevazioni molto differenti è, a nostro avviso, un'operazione poco corretta e non perseguibile. Allo stato attuale, infatti, si ritiene possa esservi una sostanziale variabilità e incertezza di valore

riconducibile al tipo di campionamento realizzato, alla geometria e al protocollo di preparazione dei campioni, alle metodologie e alle tecnologie utilizzate per le rilevazioni. In altri termini, si ritiene che le variabili suddette potrebbero aver condizionato in modo significativo le misure stesse, rendendo difficili e quindi poco utili, le comparazioni quantitative e le conseguenti possibili classificazioni. Gli studi di riferimento per l'attribuzione del fattore potenziale radioattivo comune in bibliografia sono i seguenti: 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13.

#### **Attribuzione fattore permeabilità ai gas**

Esistono diversi studi che stimano le capacità dei principali complessi litologici sardi a farsi permeare dall'acqua, ma non ne è conosciuto alcuno che definisca la stessa capacità nei confronti dei gas. Per la stima della permeabilità dei terreni ai gas sono comunque applicabili delle relazioni dirette

Fig. 3 – Esempi di attribuzione del peso relativo di potenziale radioattivo 0 - 3.

	nome commerciale	litologia	attività Ra226 Bq/kg	Classi litologiche	attività Ra226 Media - Bq/kg	p.Relativo
1	Marmo di Orosei	Marmo di orosei (calcar	2,18	intrusive acide	38,50	2,81
2	Basalto normale Sindia	Basalto	6,55	intrusive intermedie		
3	Basalto Fordongianus	Basalto	8,83	intrusive basiche		
4	Basalto compatto - Abbasanta	Basalto	9,46	intrusive ultrabasiche		
5	Basalto normale "Sanna" Paulilatino	Basalto	9,48	vulcaniche acide	31,30	2,29
6	Marmo Nero Tamara Nuxis	Marmo nero Tamara Nu	12,44	vulcaniche intermedie	30,90	2,26
7	Basalto Sedilo	Basalto	13,43	vulcaniche basiche	10,29	0,75
8	Basalto Lula-Orosei	Basalto	13,97	vulcaniche ultrabasiche		
9	Granito Cala Francese	Granito	21,7			
10	Granito Rosa Beta acceso	Granito	22,87	scisti e filladi	41,05	3,00
11	Granodiorite Grigio Malaga	Granodiorite	22,96	metavulcaniti		
12	Riolite viola Ittiri	Riolite	26,08	gneiss (da sialiche-O/Flds)		
13	Trachite chiara Ittiri	Piroclastiti riocacitiche e	26,72	ortogneiss (da gran.-riol.)		
14	Scisto Lula	Scisto Lula	26,88	paragneiss (da sed.)		
15	Granito Rosa Beta	Granito	27,62	migmatiti (ibride)		
16	Trachite Fordongianus	Trachite	27,64			
17	Granito Bianco Gallura	Granito	28,87	r. carbonatiche	7,31	0,53
18	Trachite Pedra e Ferru - Sedilo	Trachite	30,6	marne		
19	Granito Rosa Isola	Granito	30,63			
20	Granito Grigio Perla	Granito	33,79	argilliti		
21	Trachite scura Ittiri	Piroclastiti riocacitiche e	34,22	siltiti		
22	Trachite rossa Banari	Trachite	34,45	areniti		
23	Dacite nera Ittiri	Dacite	38,17	conglomerati		
24	Granito Ghiandone	Granito	38,72			
25	Granito Giallo San Giacomo	Granito	39,25	argille		
26	Granito Rosa Nule	Granito	40,24	limi		
27	Fillade Siniscola	Fillade Sinicola	55,22	sabbie		
28	Granito Rosa Sardo	Granito	75,65	ghiaie		
29	Granito Rosa Ferula	Granito	79,67			

Sardegna ricerche - Materiali lapidei della Sardegna, 2011

Table 1. Radioelement content of Australian rocks

Rock type	K %	Rock U ppm
<b>Intrusives</b>		
granitoids	0.3-4.5 (2.4)	0.4-7.8 (3.3)
gneissic rock	2.4-3.8 (2.4)	2.1-3.6 (2.5)
pegmatite	2.6-5.5 (3.7)	0.3-1 (0.7)
aplitics	0.6-4 (2.4)	1-8 (3.3)
quartz-feldspar porphyry	1-5 (2.9)	1.3-2.9 (1.7)
intermediate intrusives	0.7-5.6 (2.7)	0.1-1.2 (0.8)
mafic intrusives	0.1-0.8 (0.4)	0.0-1.1 (0.3)
<b>Extrusives</b>		
felsic volcanics	2.0-4.4 (3.7)	1.4-13 (2.4)
intermediate volcanics	1.8-4.1 (2.7)	0.9-5.6 (2.3)
low-K andesites	0.7-0.9 (0.8)	1.0-2.5 (1.6)
mafic volcanics	0.3-1.3 (0.9)	0.3-1.3 (0.7)
ultramafic volcanics	0.2-0.9 (0.4)	0.3-0.9 (0.6)
<b>Sedimentary rocks</b>		
Archaean shales	0.4-1.6 (0.9)	0.3-1.3 (0.9)
other shales	0.1-4.0 (2.6)	1.6-3.8 (2.6)
arenites	0.0-5.5 (1.8)	0.7-5.1 (2.3)
carbonates	0.0-0.5 (0.2)	0.4-2.9 (1.6)

Classi litologiche	U ppm media	p.Relativo
intrusive acide	3,3	3,0
intrusive intermedie	0,8	0,7
intrusive basiche	0,3	0,3
intrusive ultrabasiche		
vulcaniche acide	2,4	2,2
vulcaniche intermedie	1,95	1,8
vulcaniche basiche	0,7	0,6
vulcaniche ultrabasiche	0,6	0,5
scisti e filladi	2,6	2,4
metavulcaniti		
gneiss (da sialiche-O/Flds)	2,5	2,3
ortogneiss (da gran.-riol.)		
paragneiss (da sed.)		
migmatiti (ibride)		
r. carbonatiche	1,6	1,5
marne		
argilliti		
siltiti		
areniti	2,3	2,1
conglomerati		
argille		
limi		
sabbie		
ghiaie		

Dickson e K.M. Scott - Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors - Australia, 1977

contenuto potenziale radioattivo comune U delle diverse classi litologiche Peso pericolo 3-0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	MEDIA U pol le	Peso pericolo U	
	UNSCEAR pCi/g da attività Mondo	Dickson U-ppm da attività Australia	Ielsch... U-ppm Francia	Kemski... Rn-soil da attività Germania	Miksova... Rn-soil da attività Cechia	Bellotti... U-ppm Toscana	Sard. Ric Ra226 da attività Sardegna	Schon... U-ppm Mondo	De Vivo... U-ppm Sardegna	ArpaS U/Ra da attività Sardegna	CARG U-ppm Sardegna			
<b>intrusive acide</b>	3	3,00	3,00	3,00	2,96	3,00		2,81	2,40	3,00	2,44	3,00	2,86	3
<b>intrusive intermedie</b>	2	1,16	0,73				2,11		1,40		3,00	1,14	1,59	2
<b>intrusive basiche</b>	1	0,58	0,27	0,83								0,91	0,65	1
<b>intrusive ultrabasiche</b>	1					0,84							0,84	1
<b>vulcaniche acide</b>	3	3,00	2,18	2,70	3,00		3,00	2,27	3,00	1,70	0,71		2,40	3
<b>vulcaniche intermedie</b>	2	1,16	1,77					2,26	1,60	0,70			1,50	2
<b>vulcaniche basiche</b>	1	0,58	0,64	0,49	1,38			0,75	0,60			0,76	0,74	1
<b>vulcaniche ultrabasiche</b>	1		0,55				0,08						0,31	1
<b>scisti e filladi</b>	3	2,25	2,36		1,77	1,94		3,00	2,80	1,30	1,88		2,16	3
<b>metavulcaniti</b>	3				1,77	1,84					2,47	2,14	2,05	3
<b>gneiss (da sialiche-Q/Flds)</b>	3		2,27						2,8				2,54	3
<b>ortogneiss (da gran.-riol.)</b>	2			1,13	1,77	1,59							1,49	2
<b>paragneiss (da sed.)</b>	2			1,53		1,39							1,46	2
<b>migmatiti (ibride)</b>	2			1,43		1,59							1,51	2
<b>r. carbonatiche</b>	1	1,35	1,45	1,04	1,08		0,29	0,53	1,30	1,10	0,94		0,89	1
<b>marne</b>	2			1,04	1,15		0,59		2,10	1,10			1,20	2
<b>argilliti</b>	2					1,67	0,40		1,90				1,32	2
<b>siltiti</b>	1	1,41		1,24		0,87	0,39						0,98	1
<b>areniti</b>	2	0,94	2,09	1,04	1,35	1,10	0,77		0,40				1,10	2
<b>conglomerati</b>	2				1,62	1,67	0,67						1,32	2
<b>argille</b>	1			0,83	0,52	1,00	0,68		1,50				0,91	1
<b>limi</b>	2				1,19	1,26							1,22	2
<b>sabbie</b>	1				0,37	1,13							0,75	1
<b>ghiaie</b>	2				1,08	1,26							1,17	2

Fig. 4 – Attribuzione del peso di potenziale radioattivo U alle 24 classi litologiche rappresentative.

tra la conducibilità idraulica, comunemente definita negli studi idrogeologici (capacità di un complesso litologico a farsi attraversare dall'acqua - K in cm/sec), che è legata sia alle caratteristiche del terreno che a quelle dell'acqua e la permeabilità intrinseca che, invece, è legata alle sole caratteristiche del terreno (capacità di un complesso litologico a farsi permeare - Ki in cm<sup>2</sup>).

Se confrontiamo le tabelle di classificazione di conducibilità idraulica più utilizzate in geologia applicata con le tabelle della permeabilità ai gas proposte in Europa per la mappatura del radon geogenico potenziale, osserviamo che la permeabilità ai gas risulta molto superiore rispetto alla conducibilità idraulica, con valori limite tra le diverse classi di permeabilità alta - media - bassa, inferiori anche di un ordine di grandezza.

Le diverse formazioni geolitologiche sarde sono state quindi qualitativamente riclassificate in rapporto ai seguenti aspetti fondamentali:

1. la permeabilità di un terreno nei confronti del gas radon, non potrà che essere superiore a quella riferita all'acqua;
2. la permeabilità utile ai fini della definizione del pericolo radon è essenzialmente quella

riferibile ai primi metri di sottosuolo (anche in questo caso, fatta qualche rara eccezione, la permeabilità della compagine più superficiale, sia per le formazioni rocciose che per quelle terrose, non potrà che essere superiore a quella media dell'intera unità geolitologica).

Le unità e i complessi litostratigrafici classificati negli studi di riferimento con permeabilità intermedia medio-alta e medio-bassa, sono state pertanto inserite nelle rispettive categorie a permeabilità superiore, ottenendo una classificazione di base della permeabilità al radon secondo la seguente tabella:

Conducibilità idraulica		Permeabilità al radon	
Alta, Medio-alta		Alta	PA 3
Media, Medio-bassa		Media	PM 2
Bassa		Bassa	PB 1

Fig. 5 – Tabella di attribuzione fattore permeabilità ai gas.

L'attribuzione del fattore permeabilità ai gas nei diversi complessi litostratigrafici della Sardegna è, quindi, la seguente (Fig. 6):

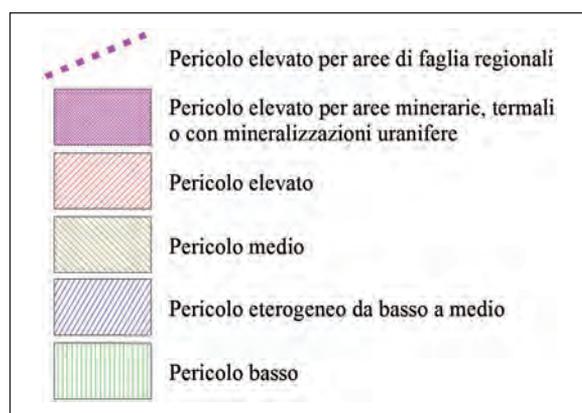
	Complessi litostratigrafici	Classe di permeabilità al radon	Peso pericolo
1	Complesso carbonatico del Cambriano	Alta (PA)	3
2	Complesso carbonatico del Mesozoico	Alta (PA)	3
3	Calcari, calcareniti, arenarie, conglomerati e sabbie di ambiente marino del Miocene	Alta (PA)	3
4	Trachiti e Fonoliti del Ciclo Plio-Pleistocenico del M.ti Ferru	Alta (PA)	3
5	Sedimenti quaternari e plio-quaternari di origine alluvionale poco addensati e/o a scarsa componente argillosa	Alta (PA)	3
6	Depositi detritico-carbonatici quaternari: sabbie di spiaggia e dunari, arenarie eoliche, detriti di falda, calcari e travertini	Alta (PA)	3
<b>Classe Media (PM)</b>			
1	Rocce acide, intermedie e basiche del Complesso magmatico ercinico (porosità della coltre d'alterazione e fratturazione)	Media (PM)	2
2	Complesso vulcanico del Carbonifero sup.- Permiano/ Trias?	Media (PM)	2
3	Complesso detritico di ambiente continentale del Permo-Carbonifero e Triassico	Media (PM)	2
4	Complesso carbonatico-detritico di ambiente marino dell'Eocene;	Media (PM)	2
<b>Classe Bassa (PB)</b>			
5	Complesso vulcanico del ciclo oligo-miocenico	Media (PM)	2
6	Arenarie, siltiti, argilliti e conglomerati di ambiente continentale del Cenozoico (formazioni di Ussana, Cixerri e Samassi)	Media (PM)	2
7	Complesso vulcanico del ciclo Plio-quaternario	Media (PM)	2
8	Sedimenti quaternari e plio-quaternari di origine alluvionale addensati e/o con significativa componente argillosa	Media (PM)	2
<b>Classe Bassa (PB)</b>			
1	Migmatiti del Precambriano?	Bassa (PB)	1
2	Metasedimenti scistosi e metavulcaniti del basamento paleozoico	Bassa (PB)	1
3	Ortogneiss granodioritici del Complesso magmatico ordoviciano	Bassa (PB)	1
4	Paragneiss del Complesso metamorfico ercinico	Bassa (PB)	1
5	Ortogneiss del Complesso magmatico ercinico	Bassa (PB)	1
6	Ortogneiss del Complesso migmatite ercinico	Bassa (PB)	1
7	Marne, calcari marnosi e argille di ambiente marino del Cenozoico	Bassa (PB)	1
8	Depositi detritico-vulcanici di ambiente continentale del Cenozoico	Bassa (PB)	1
9	Argille e limi di ambiente continentale del Quaternario	Bassa (PB)	1

Fig. 6 – Tabella di attribuzione delle classi di permeabilità ai gas ai complessi litostratigrafici.

Gli studi di riferimento per l'attribuzione del fattore permeabilità ai gas in bibliografia sono i seguenti: 2, 3, 14, 15, 16 e 17.

### Mappatura e legenda

L'attribuzione dei fattori potenziali di pericolo **radioattività comune U** e **permeabilità ai gas P**, ha permesso di elaborare la seguente mappatura del pericolo radon geogenico potenziale per la Sardegna secondo la seguente legenda.



**Fig. 7** – Carta di base del pericolo radon geogenico potenziale della Sardegna. Legenda.

**Fig. 8** (pag. 39) – Carta di base del pericolo radon geogenico potenziale della Sardegna.

### Classi di pericolo non contemplate dalla matrice U/P

Come rappresentato nella legenda di **Fig. 8** nella mappa è stato necessario distinguere ulteriori tre classi di pericolo non contemplate nella matrice U/P di **Fig. 1**:

1. Pericolo elevato per aree di faglia regionali;
2. Pericolo elevato per aree minerarie, termali o con mineralizzazioni uranifere;
3. Pericolo eterogeneo da basso a medio.

Ciò ha permesso una mappatura del territorio più puntuale in riferimento del pericolo radon geogenico potenziale.

### Pericolo elevato per aree di faglia regionali e aree termali

Alcune aree di faglia costituiscono dei circuiti di circolazione profonda legati a discontinuità regionali nelle quali si possono osservare risorgenze termali e di gas.

In tali condizioni il pericolo radon si fa elevato perché tale gas potrebbe risalire verso la superficie con velocità e quantità cospicue, anche perché potenzialmente convogliabile da altri vettori quali H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> (convezione e gas *carrier*).

Per questi motivi le principali aree di faglia regionali e le relative aree termali sono state considerate ad elevato potenziale pericolo radon.

Per le sorgenti termali è stata stabilita un'area di rispetto ad elevato pericolo di 500m di diametro. Per le aree di faglia regionale una fascia di 300m di larghezza (**Fig. 9**).

### Pericolo elevato per aree minerarie e mineralizzazioni uranifere

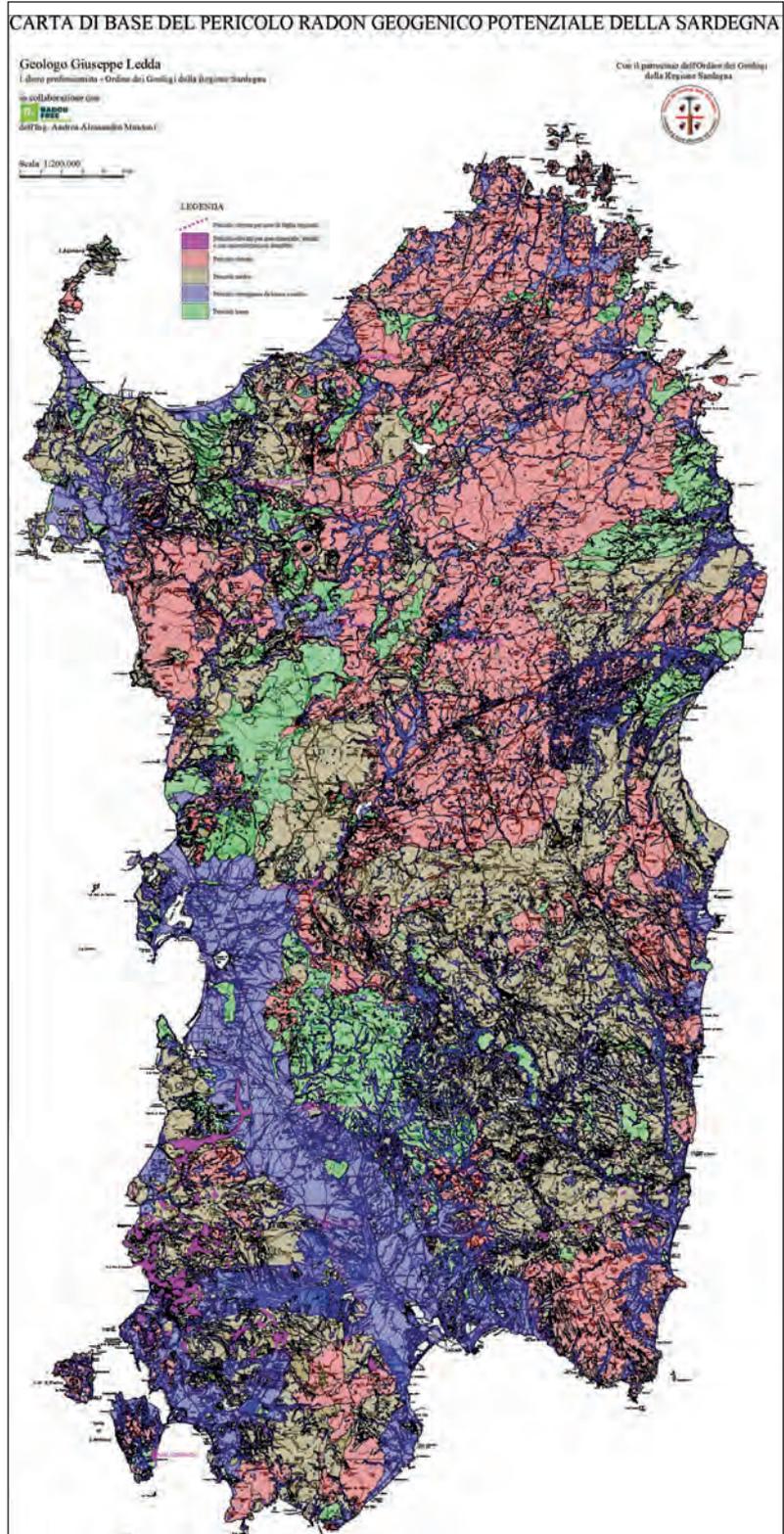
Le aree minerarie presentano una serie aggiuntiva di condizioni di pericolo in relazione al radon: possibile presenza potenziale di anomale concentrazioni di uranio (molti giacimenti sardi sono di tipo idrotermale), elevata permeabilità delle discariche minerarie, esistenza di una rete di scavi, gallerie e pozzi sotterranei di potenziale accumulo e diffusione del gas. A tutte le aree minerarie censite è stata quindi attribuita "a prescindere" una pericolosità elevata.

Le aree con mineralizzazioni uranifere conosciute sono due, entrambe nel sud Sardegna: Arcu Su Linnarbu e Monte Arcosu. Per queste aree è stata stabilita una zona ad elevato pericolo di 500m di diametro.

### Pericolo eterogeneo da basso a medio

In tale classe sono stati inseriti tutti i depositi detritici quaternari da prevalentemente sabbiosi a grossolani.

La variabilità composizionale, stratigrafica e idrogeologica che distingue i depositi detritici continentali, creano a scala regionale un quadro di difficile analisi e definizione che rende complessa un'attribuzione attendibile di potenziale





radioattivo comune.

Numerosi sarebbero infatti gli elementi da prendere in considerazione, come ad esempio:

- quali sono le rocce madri?
- in che modo l'aumento anche enorme della superficie utile di emanazione incide sulla produzione di radon libero?
- in che modo la circolazione idrica in ambiente ossidante incide sulla possibile lisciviazione dell'uranio e della sua progenie?

In genere le rocce detritiche recenti non mostrano valori elevati di radioattività comune per cui si è deciso di attribuire a tali depositi un carattere di eterogeneità e dei valori di potenziale pericolo da basso a medio.

Gli studi di riferimento per l'individuazione delle aree termali, minerarie e con mineralizzazioni uranifere in bibliografia sono i seguenti: 1, 14, 15 e 18.

## Conclusioni

La mappatura del potenziale pericolo radon geogenico della Sardegna indica per l'isola una notevole diffusione di litologie potenzialmente pericolose in relazione al pericolo radon. Il 75% della dell'isola evidenzia un pericolo da elevato a medio, mentre solo il 25% mostra una pericolosità bassa e medio-bassa.

Confortante, invece, è osservare che le aree che concentrano la gran parte della popolazione sarda, come la pianura del Campidano e alcune piane costiere, si caratterizzano per un pericolo medio-basso o basso.

In gran parte della Gallura, invece, come nel nuorese, ma anche in vaste superfici delle Baronie, dell'Ogliastra, del Logudoro, della Planargia, del Barigadu, del Goceano e dell'Arburese, la pericolosità si presenta potenzialmente elevata anche in aree urbanizzate.

La **Carta del potenziale pericolo radon geogenico della Sardegna** elaborata nel presente studio,

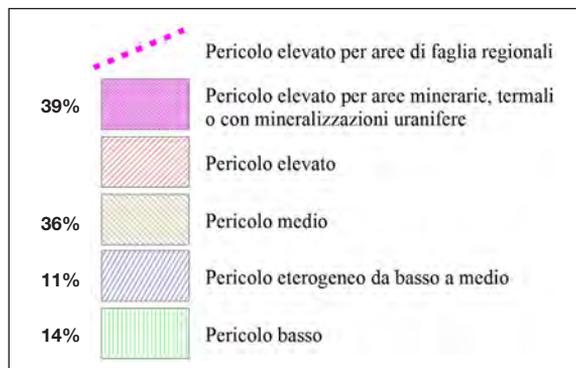


Fig. 11 – Carta di base del pericolo radon geogenico potenziale della Sardegna. Legenda.

rappresenta il primo passo, a nostro avviso indispensabile in considerazione della metodologia completamente geologica utilizzata, verso una completa definizione del rischio radon in Sardegna.

Da tale mappa, tuttavia, non è possibile definire la concentrazione di radon nei singoli edifici.

Come già ribadito, infatti, se da una parte è del tutto logico associare ad elevati livelli di radon o di precursori del radon nei terreni di una determinata area, una probabilità maggiore di ritrovare alti livelli di radon negli edifici della stessa zona, tale rapporto non è certo, in quanto le caratteristiche strutturali dell'edificio, i materiali utilizzati e gli stili di vita delle persone che utilizzano tali spazi, costituiscono elementi determinanti nel definire il rapporto tra la presenza di radon nel terreno e la sua concentrazione nei luoghi chiusi.

## Bibliografia di riferimento

- 1) “Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000” e banche dati geologiche disponibili nel geoportale della Regione Sardegna (<http://www.sardegnegeoportale.it>).
- 2) J. KEMSKI+, A. SIEHL\*, R. STEGEMANN\*, M. VALDIVIA-MANCHEGO\* - *Mapping the geogenic radon potential in Germany* - (\* Institute of Geology, University of Bonn, Nussallee 8, D-53115 Bonn, Germany + Kemschi, Klingel & Veerhoff,

- von-Weichs-Str. 9a, D-53121 Bonn, Germany) - *Science of The Total Environment*, Volume 272, Issues 1-3, 14 May 2001, Pages 217-230.
- 3) CASTELLUCCIO M., GIANNELLA G., LUCCHETTI C., MORONI M., TUCCIMEI P. (2011) - *Il rischio radon in edilizia. Proposta di codifica di un protocollo per la classificazione del rischio* - Professione Geologo, Notiziario dell'Ordine dei Geologi del Lazio, n° 27- aprile 2011, pp. 8- 13.
  - 4) UNSCEAR. (1977). *Sources and effects of ionization radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 1977 Report to General Assembly, with annexes*, New York.
  - 5) B.L. DICKSON E K.M. SCOTT - *Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors 1977* - AGSO Journal of Geology & Geophysics, 17(2), 187-200.
  - 6) G. IELSCH A,\* , M.E. CUSHING A, PH. COMBES B, M. CUNEY C. - *Mapping of the geogenic radon potential in France to improve radon risk management: methodology and first application to region Bourgogne* - Journal of Environmental Radioactivity - 2010.
  - 7) JITKA MIKSOVA - *Radon data processing and outputs for the needs of the State Office for Nuclear Safety (according to the Czech Radon Programme)* - Czech Geological Survey - CECHIA 2005.
  - 8) BELLOTTI - *Radioattività potenziale della Toscana-2011*- Reg. Toscana - INFN - UNISI;
  - 9) Sardegna Ricerche - *I materiali lapidei della Sardegna* - Appendice I La radioattività - 2011.
  - 10) *Physical Properties of Rocks* - J.H. SCHON - 2011.
  - 11) APAT - *Memorie descrittive Carta Geologica d'Italia* - "Cartografia geochimica ambientale e carte d'intervento per l'uso del territorio del Foglio Cagliari", Sardegna meridionale -, DE VIVO B., BONI M., MARCELLO A., PRETTI S., COSTABILE S., GASPARINI M., IACHETTA A, TARZIA M. - 2006.
  - 12) ARPAS - Progetto "Classificazione del territorio regionale con individuazione delle aree a rischio radon" - dicembre 2016.
  - 13) ISPRA - Progetto CARG - Note illustrative della carta Geologica d'Italia alla scala 50.000 - Fogli 411, 428, 547, 548, 565.
  - 14) Autori vari - *Ricerche geotermiche in Sardegna con particolare riferimento al Graben del Campidano*. CNR-PFE-RF 10: 87-103, Pisa 1982.
  - 15) PIETRACAPRINA A. ET ALII 1980 - *Atlante Idrogeologico della Sardegna* in scala 1:100.000; Ist. Min. Geol. Univ. SS - CASMEZ P.S. 25.
  - 16) Agenzia regionale del Distretto Idrografico - *Caratterizzazione, obiettivi e monitoraggio dei corpi idrici sotterranei della Sardegna*, 2010.
  - 17) SOBOLIEWSKI M. 2005. "Various methods of the measurement of the permeability coefficient in soils - possibilities and application", EJPAU 8(2).
  - 18) MARCELLO, PRETTI E SALVADORI - "Carta metallogenica della Sardegna", 1978.

### Stralci cartografia

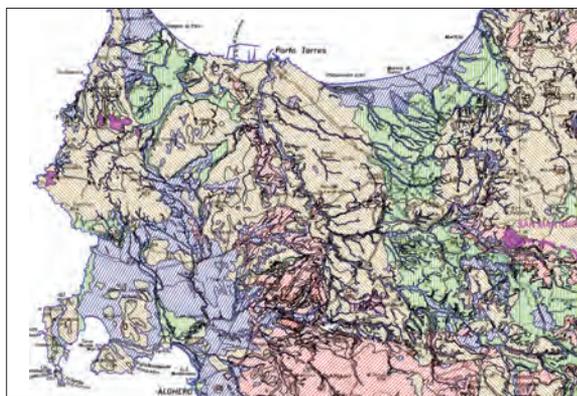


Fig. 12 - Carta di base del pericolo radon geogenico potenziale della Sardegna.





**ELIOSOFT**  
geophysical software and services

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

Tutto per la sismica e le analisi vibrazionali.

Investi un pò del tuo tempo per visitare il nostro sito e i nostri *social media*, scaricare il materiale informativo e didattico e iscriverti alla nostra *newsletter*.

Verifica le nostre competenze e quanto ti possiamo quindi garantire.

elaborazione dati   corsi e *training*   sistemi di acquisizione

**Reflexw<sup>®</sup>**

**winMASW<sup>®</sup>**

**HoliSurface<sup>®</sup>**

**elio-VSP**

**New**

**Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica (NTC) e geotecnica**

**Giancarlo Dal Moro**

**Dario Flaccovio Editore (in omaggio con *HoliSurface<sup>®</sup>*)**

**Quality is never an accident; it is always the result of intelligent effort.**

**John Ruskin**

ResearchGate



YouTube

**qualità senza compromessi**



SOLUZIONI E TECNOLOGIE PER LA GEOFISICA



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

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





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

**Società accreditata per corsi APC**

Distributore per l'Italia



ABEM MALA



geotomographie



W&R  
instruments s.r.o.



Geophex, Ltd.



## ABEM WalkTEM IL TEM AVANZATO RESO SEMPLICE

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

Consente di effettuare indagini profonde in tempi brevi.

# Inquinamento da mercurio (Hg):

*il caso della laguna di Grado e Marano,  
già Sito Inquinato di interesse Nazionale (SIN).*

**Gianni Menchini**, Ordine dei Geologi del Friuli Venezia Giulia, già Commissario delegato dal Presidente del Consiglio dei Ministri (2009-2012) per l'emergenza socio- economico ambientale determinatasi nella laguna di Grado e Marano.

## Introduzione

L'inquinamento da mercurio (Hg) della laguna di Grado e Marano, in Friuli Venezia Giulia, rappresenta un caso di inquinamento da attività antropiche, quali un'attività mineraria e un'attività industriale, esercitate sino agli anni novanta del secolo scorso, fonti puntuali e chiaramente individuate, localizzate ben all'esterno dell'area lagunare.

Il "case history" mantiene la sua attualità anche a distanza di oltre 65 anni dalla prima segnalazione, sia perchè ancora oggetto recente di interesse giudiziario, sia, soprattutto, considerata la nuova disciplina sui reati ambientali rappresentata dalla L. 68/2015 "Disposizioni in materia di delitti contro l'ambiente", punto di arrivo dell' iter legislativo a partire dalla direttiva 2008/99/CE sulla tutela penale.

In merito è utile richiamare il punto 5 del preambolo di tale Direttiva "Un'efficace tutela dell'ambiente esige, in particolare, sanzioni maggiormente dissuasive per le attività che danneggiano l'ambiente .....della qualità.....del suolo, dell'acqua, della fauna e della flora, compresa la conservazione delle specie."

Inoltre il recente rapporto "*Chemicals in European*

*Waters*" a cura dell'European Environment Agency (Eea 2018) ricorda come nell'affrontare l'inquinamento dei corpi idrici (e il pericolo di inquinamento), restino ancora da superare sfide importanti per trattare efficacemente il mercurio e altre sostanze chimiche dannose che, però, non sono inserite nell'elenco di quelle prioritarie.

A differenza del passato in cui l'ambiente era tutelato solo in quanto strumentale alla salute pubblica, oggi l'ambiente è diventato meritevole di una tutela autonoma.

Nell'esercizio della professione di geologo tale novità normativa, e la giurisprudenza conseguente, (Corte Suprema di Cassazione, 2016, 2017 e 2018), sono di notevole rilevanza per le attività di competenza condotte da questa figura tecnica, all'interno della Pubblica Amministrazione come della libera professione, in considerazione dei contenuti di interesse che ne discendono, estremamente significativi sia per la produzione di elaborati come per il loro esame istruttorio. Si tratta infatti di attività che configurano responsabilità inerenti atti (di progetto, di direzione lavori, di perizia) che, in merito a fenomeni di inquinamento ambientale, possono riguardare la compromissione e/o deterioramento ambientale, sino al disastro

Dissesti  
e alluvioni

Rischio  
sismico

Risorsa  
acqua

Attività  
estrattive

Geoscambio  
ed energie

Università  
e ricerca

Pianificazione

Bonifiche siti  
inquinati e  
discariche

Protezione  
civile

Professione  
& Società

Il Geologo  
progettista

Geositi,  
Geoparchi  
& Geoturismo

ambientale, delle acque, del suolo e sottosuolo, di un ecosistema, per i quali si sia, quindi, in presenza di una alterazione significativa e misurabile, che abbia caratterizzato una condizione di squilibrio funzionale o di squilibrio strutturale.

La norma citata stabilisce che il fatto è aggravato quando l'inquinamento prodotto si colloca all'interno di un'area naturale protetta o sottoposta a vincolo paesaggistico e ambientale.

Nel caso della laguna di Grado e Marano l'inquinamento da mercurio ha riguardato porzioni estese dell'ecosistema lagunare con particolare riguardo alla matrice sedimenti.

Con la presentazione, in sintesi, di questo "case history" si intende sottolineare, in particolare, la complessità metodologica, di contenuti interdisciplinari di analisi e di conseguenti progettualità da dispiegare, per ottenere una visione esaustiva dei fenomeni di inquinamento, anche valutati sia l'ampio coinvolgimento sull'argomento di numerose Amministrazioni locali e nazionali, sia l'ampiezza delle interconnessioni tra procedimenti amministrativi e tecnici, ambientali e sanitari e sinanco giudiziari che in merito possono stratificarsi nel tempo.

È da evidenziare come un eventuale stato di inquinamento dei sedimenti resti condizione prioritaria con cui rapportarsi nelle attività ordinarie di gestione degli stessi, e nell'individuazione delle relative possibili opzioni, anche ai sensi del d.lgs. 173/2016 "Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo dei fondali marini".

## **Atti**

Esistono atti ufficiali che documentano l'inquinamento da mercurio della laguna di Grado e Marano prodotto, nel secolo scorso, da due attività antropiche: la miniera di Idrija (Slovenia) e l'impianto industriale Caffaro di Torviscosa (Friuli Venezia Giulia).

L'inquinamento riguarda in particolare i sedimenti (inquinati da entrambe le sorgenti puntuali) che, nel loro trasporto da parte dei corsi d'acqua del bacino fluviale di appartenenza, fiume Isonzo e

canale Banduzzi rispettivamente, hanno raggiunto la laguna di Grado e Marano, rendendola a sua volta inquinata.

Trattasi di numerosi documenti (oltre cinquanta) di natura amministrativa come giurisprudenziale, di carattere ambientale come sanitario, in cui è affrontato tale fenomeno di inquinamento. Di seguito se ne richiamano alcuni tra tutti, (numerati), perché provengono dalle più alte "istituzioni regionali" e confermano la puntuale conoscenza del fenomeno di inquinamento.

### **1) REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA, Assessorato all'Ambiente:**

- il "Piano delle Bonifiche dei siti inquinati del FVG" – volume 8 (come approvato con delibera di Giunta Regionale del FVG n. 1976/**1995**) e, in particolare, la sua successiva variante del 5 agosto **2011** (come approvata con delibera di Giunta Regionale del FVG n. 1535/**2011**, riguardante nello specifico la laguna di Marano e Grado).

### **2) UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE:**

- la pubblicazione scientifica "Metalli pesanti nelle lagune di Marano e Grado", A. Brambati, **1996**.

### **3) REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA, Assessorato alla Salute:**

- la delibera della Giunta Regionale del FVG n. 2454/**2004** di approvazione del protocollo operativo per la sicurezza alimentare dei prodotti ittici delle specie predatrici, allevate per il consumo umano nelle valli da pesca della laguna di Grado (del 24.09.2004).
- il parere redatto dalla Direzione Centrale Salute per il Rapporto Preliminare della Valutazione Ambientale Strategica del "Piano di gestione della ZSC/ZPS Laguna di Grado e Marano", approvato con delibera di Giunta Regionale del FVG n.1235/**2015**.

### **4) PROCURA DELLA REPUBBLICA DI UDINE e TRIBUNALI DI UDINE E TRIESTE:**

- le considerazioni finali e conclusive della perizia

Procedimenti civili e penali riguardanti l'inquinamento della laguna di Grado e Marano		Determinazione assunta		Determinazione assunta	
Periodo					
1965-2000	N° 210/65 e N°363/68: civile ...per risarcimento danni alla Cooperativa Pescatori S.Vito per immissione di acque di rifiuto superanti la normale tollerabilità...	---->	1965: I° grado Condanna a danno SAICI (poi Caffaro)  1968: Il grado Condanna a danno SAICI (poi Caffaro)	---->	1972: Cassazione Sezioni Riunite ricorso inammissibile 1976: documento non reperibile
2001 - 2013	N° 11362/2001: penale reati...per inquinamento del suolo, delle falde acquifere e dei sedimenti dei canali lagunari...  N° 2831/2005 e N° 526/2007: penale reati per ordinanza sindacale... una compromissione dell'equilibrio ecologico dell'ambiente lagunare con ...contaminazione chimica (in particolare mercurio) in conseguenza del massivo inquinamento da sostanze industriali dei sedimenti marinolagunari...  N° 6824/2010: penale reati per falso e truffa ai danni dello Stato ...e gestione illecita di rifiuti	--->  --->  --->	2008: richiesta rinvio a giudizio del gruppo dirigente Caffaro di Torviscosa (UD)  2010: I grado Condanna a danno del Sindaco di Marano Lagunare  2013: Provvedimento di archiviazione dei Commissari Delegati da parte del GIP di Udine. Estratto: "...La conclusione è l'inconfigurabilità anche delle accuse di truffa contestate ai soggetti in questione per ragioni di fatto e di diritto."	---->	2009: Patteggiamento alla citata richiesta con condanna alla rifusione delle spese a favore del Ministero dell'Ambiente, dei comuni di Torviscosa, Grado e Marano Lagunare e del WWF.

Tab. 1 - Procura della Repubblica di Udine e Tribunali di Udine e Trieste: con riferimento agli atti dei procedimenti giudiziari

- dei consulenti tecnici per la Procura della Repubblica presso il Tribunale di Udine per il procedimento penale 11362/01 (del 10 aprile 2009).
- gli atti dei procedimenti giudiziari richiamati nella **Tabella 1**.

##### 5) AGENZIA REGIONALE PER L'AMBIENTE (ARPA) DEL FRIULI VENEZIA GIULIA:

- “Determinazione dei valori di fondo nei suoli agricoli prospicienti il Sito di Interesse Nazionale laguna di Grado e Marano” (2007). Dalle analisi si è evidenziato < che il mercurio è risultato in concentrazione al di sotto del minimo rilevabile >.....< Le concentrazioni determinate possono essere considerate come valori caratteristici di questa area agricola e per le evidenti analogie possono costituire valido riferimento anche per tutta quella interna al SIN >.

- Laguna di Grado e Marano, la “Caratterizzazione ambientale”, All 3, pagg. 77-79, del settembre 2012 (approvata con delibera di Giunta Regionale del FVG n. 1737/2012).

##### 6) UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE:

- gli studi epidemiologici per valutare il neurosviluppo di una coorte di bambini residenti nella laguna di Marano e Grado” (2004 e 2013).

Dai documenti sopra riportati è risultato che i sedimenti della laguna di Grado e Marano sono stati inquinati da mercurio e suoi composti al punto che:

- si è previsto di bonificare i sedimenti per conseguire un miglioramento ambientale (doc. 1, pag.22),
- si è concluso che le indagini per la ricerca di

- metalli tossici nei sedimenti lagunari hanno confermato che, eccezion fatta per il mercurio, non esistono situazioni allarmanti (doc. 2, pag. 43),
- si è affermato che le indagini sui soggetti con dieta a base di pesce locale hanno evidenziato in più casi l'elevata concentrazione di mercurio da mettersi in relazione con l'età dei consumatori (doc. 2, pag. 74),
  - si è indicato che il risanamento dei fondali contaminati (delle valli da pesca) è percorribile con il decorticamento (doc. 2, pag. 75),
  - è stato attivato un protocollo per controllare le concentrazioni di mercurio nella specie orata e branzino, per verificare il rispetto del limite di legge previsto per la commercializzazione (doc. 3),
  - è stata documentata, la presenza di Hg nei campioni di sedimenti della laguna di Grado e Marano nei primi 25 cm (doc. 5, pag. 59),
  - è stata rilevata in madri e bambini residenti nell'area lagunare di Grado e Marano, la presenza di concentrazioni di mercurio direttamente associate al consumo di pesce locale (doc. 6, pagg. 91-93),
  - la magistratura inquirente e giudicante è intervenuta, in più occasioni, in merito all'inquinamento della laguna di Grado e Marano. (Tab. 1)

## Normativa

Nel tempo sono state definite, con sempre maggior precisione, le normative riguardanti gli aspetti di valenza ambientale come sanitaria. In particolare va rilevato quanto indicato dalla DIRETTIVA COMUNITARIA 2000/60/CE, che riguarda *il quadro per l'azione comunitaria in materia di acque* e dalla successiva DECISIONE n.2455/2001/CE inerente *l'istituzione di un elenco di sostanze prioritarie in materia di acque*.

Per quanto di interesse si riportano **alcune definizioni fornite dalla DIRETTIVA:**

- **sostanze pericolose** (art. 2/29): << le sostanze o gruppi di sostanze tossiche, persistenti e bioaccumulabili o altre sostanze o gruppi di sostanze che danno adito a preoccupazioni analoghe.>>
  - **inquinamento** (art. 2/33): << l'introduzione diretta o indiretta, a seguito di attività umana, di sostanze o di calore nell'aria, nell'acqua o nel terreno, che possano nuocere alla salute umana o alla qualità degli ecosistemi acquatici o degli ecosistemi terrestri che dipendono direttamente da ecosistemi acquatici, perturbando, deturpando o deteriorando i valori ricreativi o altri usi legittimi dell'ambiente.>>
  - **standard di qualità ambientale** (art. 2/35): << la concentrazione di un particolare inquinante o gruppo di inquinanti nelle acque, nei sedimenti e nel biota che non deve essere superata per tutelare la salute umana e l'ambiente.>>
  - **sostanze prioritarie** (art. 15): << .....sostanze scelte tra quelle che presentano un rischio significativo per o attraverso l'ambiente acquatico...>>
- Per una migliore comprensione della tabella e dei testi sottoriportati è opportuno fare alcune brevi specificazioni riguardo il mercurio:
- ▶ il **mercurio** è un elemento chimico, più precisamente un metallo, con simbolo **Hg**, semiliquido a temperatura ambiente che, legandosi con altri elementi, forma numerosi composti tra i quali, di specifico interesse in questo contesto, il solfuro di mercurio, noto correntemente come cinabro, e il metilmercurio; tra le due forme esiste una reazione di reversibilità dipendente dalla temperatura e dalla salinità (pH) dell'acqua che, in ambiente lagunare-marino ha andamento stagionale. Il metilmercurio è il composto più pericoloso per l'uomo (al di fuori delle esposizioni professionali) in quanto è la forma assimilabile dai batteri e, quindi, attraverso la catena trofica (alghe, pesci bentonici, pesci carnivori) raggiunge l'organismo.
  - ▶ il **mercurio** ha la caratteristica di distribuirsi nel corpo umano in maniera ubiquitaria, raggiungendo tutti gli organi e i tessuti con particolare tropismo per tessuto nervoso e placenta

(può essere misurato sia su sangue che urine e nei capelli che rappresentano il campione di elezione per le misure di bioaccumulo).

- ▶ il **“mercurio e composti”** non risulta essere **misurabile** nell’**acqua** in maniera attendibile, neppure con le tecniche più all’avanguardia, a causa della sua idrofobicità; pertanto si misura nei **sedimenti** e nel **biota** (termine con cui si indica l’insieme della vita vegetale e animale che caratterizza una certa regione o area) ed è espresso quantitativamente in rapporto al peso secco (s.s.) del campione in esame nei sedimenti e in rapporto al peso umido (p.u.) del campione in esame nel biota.
- ▶ *nell’articolo 1 e nel relativo elenco in Allegato X (DECISIONE):*
  - è riportata la **sostanza prioritaria** in materia di acque: **“mercurio e composti”**;
  - la sostanza **“mercurio e composti”** è anche indicata come **“sostanza pericolosa prioritaria”**;
  - a livello normativo il mercurio e i suoi composti sono indicati **nella loro totalità** come **“mercurio e composti”**, considerati quindi come entità unica e **registrati con una unica identificazione: “N°CAS<sup>1)</sup> 7439-97-6” per la società chimica americana e “N° 231-106-7” per l’area UE.**

Con il D.M. 367/03 in ITALIA è stato approvato il “Regolamento concernente la fissazione di standard di qualità ambientale per sostanze pericolose”; in TAB. 2 è stato anche fissato il valore di riferimento per i sedimenti di acque marino costiere, lagune e stagni riguardo il parametro **“mercurio”** (identificato come sopra): il valore è pari a 0,3 mg/kg s.s. (tale valore è stato in seguito confermato dal d.lgs. 260/2010).

Con il D.M. 56/2009 sono stati approvati i “criteri tecnici per il monitoraggio dei corpi idrici” che hanno previsto in All.1 punto A.2.6 (tab. 3/A) i valori dello standard di qualità del biota per tre sostanze,

tra cui **“mercurio e composti”**: il valore è pari a 0,020 mg/kg (20 µg/kg) di p. u..

La Direttiva Comunitaria 2013/39/CE, in particolare, ha sostanzialmente in premessa e poi nell’allegato all’articolato che:

- (17) <<Alcune sostanze estremamente idrofobe si accumulano nel biota e difficilmente sono rilevabili nell’acqua, anche utilizzando le tecniche analitiche più all’avanguardia. Per tali sostanze è necessario fissare un valore di SQA (standard di qualità ambientale) per il biota>>.
- ALLEGATO. ALLEGATO X. Solo per alcune sostanze è stato fissato lo SQA per il biota tra cui il **“mercurio e composti”**.

Come valore di SQA del biota è stato confermato 0,020 mg/kg (20 µg/kg) di peso umido.

La Direttiva Comunitaria 2013/39/CE è stata così recepita in Italia con il d.lgs. 172/2015.

### Elementi ambientali

Con riguardo ai sedimenti di seguito si riporta la “mappa dei risultati delle isoconcentrazioni di **Hg** dei campioni prelevati, a 0-0,25 m” di profondità della laguna di Grado e Marano (**Fig. 1**), del citato documento di caratterizzazione ambientale ARPA FVG, All.3.1, del settembre 2012, del n. 1737 della Giunta Regionale FVG.

Dalle analisi prodotte per verificare la presenza di mercurio sui campioni prelevati, si evidenzia come la gran parte dei sedimenti lagunari presenti valori superiori a quello dello standard di qualità ambientale (SQA) previsto per il **“mercurio”** (di cui sopra); in particolare si registrano ampie zone a concentrazione di mercurio di valore 5,5-10,0 mg/kg s.s. e di valore 10,1-21,5 mg/kg s.s.. L’estensione areale a maggiore concentrazione di mercurio è localizzata in laguna di Grado, con valori in diminuzione in direzione della laguna di Marano.

### Elementi sanitari

Per il biota si riportano i valori ufficiali di concentrazione di mercurio a disposizione al riguardo:

<sup>1</sup> Numero identificativo assegnato a ogni sostanza chimica descritta in letteratura dal Chemical Abstract Service.

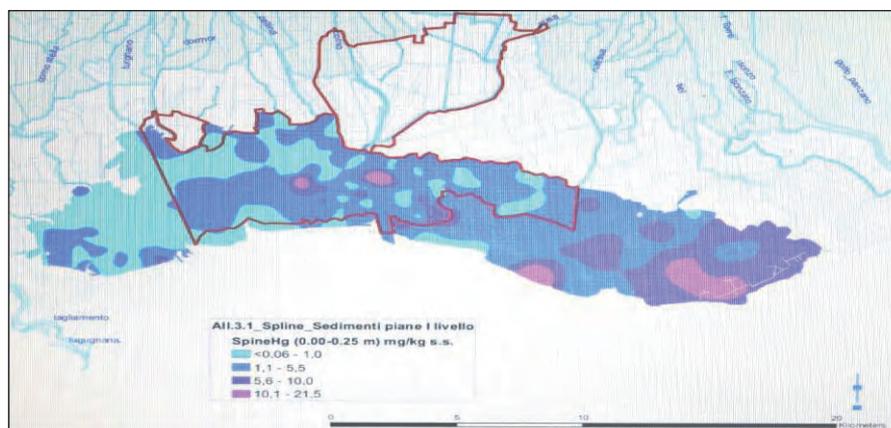


Fig. 1 - Mappa dei risultati delle isoconcentrazioni di Hg dei campioni prelevati, a 0-0,25 m di profondità della laguna di Grado e Marano.

1 - dal citato documento di **caratterizzazione ambientale ARPA FVG**, paragrafo “*Concentrazione media di mercurio nelle principali specie alieutiche della laguna di Marano e Grado*” da analisi condotte in via ispettiva, sono stati ottenuti i risultati visibili di seguito in **Tabella 2**.

I risultati evidenziano valori di concentrazione media di mercurio:

- \* superiori al valore di 0,02 mg/kg peso umido (Standard di Qualità Ambientale) al massimo nella orata;
- \* anche superiori al citato limite di commercializzazione (valore normato = 0,5 mg/kg) per l’orata con valori da 0,67 mg/kg a 0,94 mg/kg (0,67 mg/kg + 0,27 mg/kg della deviazione standard).

Tale valore risulta pari a oltre 33 volte il valore dello Standard di Qualità Ambientale.

Per quanto riguarda il latterino, pesce di piccolissima taglia, minima tra quelli analizzati, il limite di commercializzazione viene superato dalla somma del valore rilevato con quello della deviazione standard (0,63 mg/kg = 0,41 mg/kg + 0,22 mg/kg).

2 - dai controlli sistematici per la ricerca del mercurio sui campioni di orata e branzino, condotti ai sensi di quanto previsto dalla DGR FVG 2454/2004, nel periodo 2004-2013, è emersa la presenza di mercurio nei campioni esaminati di orate (*Sparus aurata*) e branzini (*Dicentrarchus labrax*), specie alieutiche della laguna di Grado.

Tab. 2 - Valori ufficiali di concentrazione di mercurio per il biota.

Specie	Anno	Numero campioni	Lunghezza media (in cm.)	Dev. St.	Hg medio mg/Kg p.u.	Dev. St.
Latterino	2010	8	7,9	0,3	0,41	0,22
Passera di mare	2011	2	12,5	0	0,08	0
Gamberetti di laguna	2010	4	/	/	0,16	0,08
Ghiozzo gò	2010	20	9,5	1,4	0,27	0,09
Orata	2011	15	15,0	5,2	0,67	0,27

Il valore limite di “mercurio” per la commercializzazione è pari a 0,5 mg/Kg p.u. (Reg. CE 1881/2006).

Per quanto riguarda la trasmissione all'uomo dell'inquinamento da mercurio nell'ecosistema della laguna di Grado e Marano merita ricordare (Atti 3 e 6 citati) i risultati di uno studio epidemiologico condotto su 242 coppie madri-figli "con lo scopo di valutare il neurosviluppo di una coorte di bambini residenti nell'area della laguna di Grado e Marano", dove, in particolare, si afferma che: <...Le concentrazioni di mercurio misurate nei campioni (di capelli e latte) delle mamme sono risultate direttamente associate al consumo di pesce locale e..... Le concentrazioni di mercurio misurate nei campioni di capelli dei bambini a 7 anni di età.....sono risultate fortemente correlate con il consumo complessivo di pesce e frutti di mare da parte dei bambini.>

### **Elementi giudiziari**

Dai procedimenti giudiziari citati in tabella, si rilevano in particolare alcuni significativi passaggi:

**1- Sentenza N° 363 del 1968 della Corte di Appello di Trieste pag.50:** <...nessuno può mettere in dubbio che l'attività di scarico dei rifiuti industriali delle lavorazioni chimiche della SAICI in laguna sia stata per la sua natura pericolosa atteso l'effetto micidiale che detti scarichi hanno prodotto sulla vita della fauna ittica...>

**2- Richiesta di rinvio a giudizio nel procedimento giudiziario N° 11362 del 2008 della Procura della Repubblica presso il Tribunale di Udine fogli 5 e 6:** < ...e in tal modo cagionato, ovvero non impedito l'accadere di una situazione massiva di contaminazione del suolo, del sottosuolo, delle acque sotterranee e superficiali a mezzo accumulo, sversamento, immissione ed emissione nell'ambiente di rifiuti, liquidi e solidi, prodotti dall'attività industriale esercitata, contenenti sostanze pericolose e tossiche, tale da causare un evento di danno e di pericolo per la pubblica incolumità e la salute pubblica, anche a seguito di una alterazione ecosistemica con un rischio congruo

per la salute attraverso processi di rilascio e bioaccumulo in animali destinati alla alimentazione umana, straordinariamente grave, con compromissione di elevata portata distruttiva dell'ambiente, totalmente alterato nella sua biocenosi e biodiversità in conseguenza dell'inquinamento del suolo, del sottosuolo e di avvelenamento delle acque della falda acquifera in prossimità del sito dello stabilimento e siti esterni allo stesso, di un inquinamento dei sedimenti del canale "Banduzzi", del c.d. canale "Banduzzino", di alcuni canali della laguna di Grado e di Marano.....>

**3 - Sentenza N° 14 del 2010 del Tribunale di Udine pagg. 3-4:** <L'impatto sull'ecosistema lagunare del tipo di pesca (con il "rampone") risulta deleterio dal momento che l'attrezzo intacca gravemente il fondo sabbioso della laguna, ....dando altresì origine a messa in sospensione degli inquinanti di origine industriale, in particolare, del mercurio per lo più nella forma del metilmercurio....presenti da tempo nei sedimenti lagunari.

....il suddetto meccanismo di sospensione ha determinato nei siti più inquinati della laguna di Marano il superamento del valore limite del mercurio pari a 0,5 mg/Kg previsto dal D.M. 9.12.1993 vigente all'epoca e la conseguente biodisponibilità dell'inquinante, il quale in tal modo è entrato nella catena biologica venendo assimilato dalle alghe e piante acquatiche, dagli organismi animali e per tramite dell'alimentazione anche dall'uomo, secondo un processo noto da tempo nella letteratura scientifica e caratterizzato dal fatto di accentuarsi anche dopo la cessazione degli apporti inquinanti...>

### **Conclusioni**

- Il "mercurio e composti" è sempre identificato, anche a livello normativo, come entità unica e inscindibile; è pertanto registrato con un solo numero: "N°CAS 7439-97-6", per la società chimica americana, e "N° 231-106-7" per l'area UE. Ne consegue che anche in ITALIA non esiste

indicazione della normativa ambientale di interesse riguardante il mercurio che regoli/regolamenti le sue speciazioni chimiche: di conseguenza non esiste alcun valore numerico di riferimento per le diverse specie chimiche del mercurio.

Ne consegue che, coerentemente a ciò, ARPA FVG ha operato per la caratterizzazione ambientale da Hg totale della laguna di Grado e Marano, sia nella mappa di rappresentazione delle isoconcentrazioni nei sedimenti, che per la concentrazione nelle principali specie aliutiche.

- I sedimenti della laguna di Grado e Marano (nella totalità per la laguna di Grado e nella gran parte per la laguna di Marano) sono stati inquinati per l'introduzione di "mercurio e composti" definiti sostanza pericolosa e prioritaria, in quanto tossica, persistente e bioaccumulabile, presente in misura di molto superiore al relativo standard di qualità ambientale (SQA).

In gran parte dei sedimenti della laguna di Grado e Marano sono stati riscontrati valori superiori ai limiti indicati dal d. lgs. 152/2006 e s.m.i., come previsti per le aree a destinazione d'uso residenziale, come anche di uso industriale; è peraltro documentato che tali valori di concentrazione non corrispondono a valori del fondo naturale. Inoltre va evidenziato in merito che:

- l'inquinamento di sedimenti della Laguna di Grado e Marano è stato formalizzato a livello urbanistico nella variante al Piano dei siti inquinati del FVG ad agosto 2011, con del. 1122. Nel rapporto preliminare di VAS al paragrafo sulla valutazione dei possibili impatti dovuti all'attuazione dell'aggiornamento del Piano si evidenzia che gli impatti positivi in tale ambito "sono legati alla bonifica dei terreni, delle acque, dei sedimenti che risultano contaminati: tale azione fa conseguire un miglioramento delle condizioni delle matrici ambientali interessate."
- per quanto riguarda la gestione dei sedimenti

con sentenza 29652-18 (inerente la gestione dei sedimenti del porto di Grado) la Corte di Cassazione ha statuito che: "*secondo il nuovo art. 184 quater, di cui alla L. 116 dell'11 agosto 2014, i materiali dragati, sottoposti a operazioni di recupero (in casse di colmata o in altri impianti autorizzati), cessano di essere rifiuti qualora all'esito di operazioni di recupero (.....) soddisfino una serie di requisiti e siano utilizzati in conformità a determinate condizioni, diversi a seconda che i materiali di dragaggio siano utilizzati in un sito o all'interno di un ciclo produttivo. Infatti secondo il disposto dei commi 1 e 2, se utilizzati, come nel caso in esame, in un sito, occorrerà che i materiali di dragaggio: 1) non superino i valori di concentrazione soglia di contaminazione (Csc) di cui alle colonne A e B della Tabella 1 dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV, d.lgs. n. 152/2006, con specifico riferimento alla destinazione urbanistica del sito di utilizzo; 2) vengano utilizzati direttamente, presso un sito di destinazione certo, anche a fini di riuso o di rimodellamento ambientale, senza rischi per le matrici ambientali interessate e in particolare senza determinare contaminazione delle acque superficiali e sotterranee;...*"

- Alcune specie del biota della laguna di Grado e Marano sono risultate inquinate per l'introduzione di "mercurio e composti" (come sopra definito), presente in misura di molto superiore al relativo standard di qualità ambientale (SQA).
- **Con riferimento alla legge 68 del 2015, a seguito di atti tecnici come giudiziari, è quindi documentato che l'area naturale della laguna di Grado e Marano, protetta in particolare ai sensi della Convenzione di Ramsar e delle Direttive Comunitarie Habitat e Uccelli, ha subito un significativo e misurabile fenomeno di inquinamento ambientale dell'ecosistema.**



**Autore:** Erasmo D'Angelis

**Editore:** Giunti

**Pagine:** 480

**Anno:** 2018

**Prezzo:** 13,60 euro

# Ripariamo l'Italia

## Storia di terremoti e terremotati. Vittime e danni. Colpe e colpevoli. Come possiamo difenderci?

a cura di **Erasmo D'Angelis**

Non c'è italiano che non abbia una qualche crudele familiarità con il terremoto.

Eppure, fingiamo di vivere in un Paese virtuale e abbiamo rimosso la sismicità che ogni anno fa registrare all'INGV tra 1.700 e 2.500 scosse superiori a magnitudo 2.5, con la drammatica ciclicità di vittime e danni ogni 4,5 anni.

Ma lo Stato ha sempre inseguito solo le emergenze e ha risarcito e riparato i danni con cifre colossali, abilmente oscurate nei bilanci per circa 4 miliardi di euro in media all'anno, ogni anno, dal dopoguerra ad oggi, senza mai avviare efficaci piani di prevenzione.

Questo libro tratta di terremoti, mostrando i perché del rischio sismico ampiamente ignorato o sottovalutato, e l'urgenza di avviare la prevenzione e l'autoprotezione che, a differenza di altre nazioni a forte sismicità, in Italia ancora non si imparano a scuola o nei luoghi di lavoro. L'autore pone l'accento sull'illogicità di essere uno dei Paesi più industrializzati e membro del G8, ma l'unico dove ancora scosse di media potenza possono annientare intere comunità, come è accaduto a L'Aquila o ad Amatrice. Vengono ripercorse tutte le tappe della storia sismica d'Italia attraverso i terremoti che l'hanno colpita duramente e ripetutamente, dal primo disastro conosciuto in Campania del 3750 a.C., all'ultimo sisma di Ischia del 2017. E più si intrecciano storie di disastri, più si arriva alla conclusione che battere il terremoto è tuttavia possibile, spendendo cento volte meno che sopperire alle emergenze più spietate. Serve un salto culturale, recuperando lo sguardo lungo della prevenzione e lasciando al passato omissioni ed errori.

# AMBRGEO

Strumenti per Geofisica

• SISMOGRAFI

• HVSR

• TOMOGRAFIA ELETTRICA

• GEORESISTIVIMETRI

• ENERGIZZATORI SISMICI

• IDROFONI



Seismograph  
ECHO 48/2014 Seismic Unit - 24bit



Seismograph  
ECHO 24/2010 Seismic Unit - 24bit



ECHO Tromo HVSR3 - 24bit



Mangusta MC 24-120E  
Geoelectrical Tomography Equipment



Resistivity Meter Datas-10



3D/5D - 3D Twin Borehole Geophone



P/S Wave Borehole Energy Source    Borehole Deviation Probe



MANGUSTA SYSTEM  
MC 96/E

AMBRGEO

PIACENZA - ITALY  
www.ambrogeo.eu

# Associazione Medica Geologica per l'Ambiente e il Territorio della Calabria. "La necessità di maggiore sinergia tra la geologia ambientale e le scienze mediche"

*Geological Medical Association for the Environment and the Territory of Calabria . "The need for greater synergy between environmental geology and the medical sciences"*

**Anna Moretti**, Geologo - Presidente Associazione Medica Geologica per l'Ambiente e il territorio della Calabria

**Franco Arcangelo Violo**, Geologo - Segretario del Consiglio Nazionale dei Geologi

**Domenico Guida**, Geologo - Docente Associato di Geomorfologia e Geologia Ambientale,

Dipartimento di Ingegneria Civile - Università degli Studi di Salerno

**Adalisa Tallarico**, Geologo - libero professionista

**Francesco Romano**, Pneumologo - Direttore dell'U.O. di Pneumologia Az.Osp. di Cosenza

## Termini chiave:

Scienze ambientali,  
Scienze della Terra,  
Scienze mediche,  
Radon.

## Keywords:

*Environmental Sciences,  
Earth Science,  
Medical Sciences,  
Radon.*

## Riassunto

L'11 Aprile 2017 a Rende presso l'Università della Calabria-Sala University Club, si è tenuto il convegno Nazionale dal titolo "Il Rischio Ambientale invisibile: metodologie di rilevazione, patologie connesse normative di riferimento" organizzato dall' A.ME.GE.A.T. Calabria (Associazione Medica Geologica per l'Ambiente e il Territorio della Calabria) in collaborazione con il Consiglio Nazionale dei Geologi e l'Ordine dei Geologi della Calabria.

Il convegno moderato dalla giornalista Rai Gabriella D'Atri, è stato presentato e introdotto dal Segretario Nazionale Arcangelo Francesco Violo, dal presidente dell'Ordine dei Geologi della Calabria Francesco Fragale, e dal presidente dell'A.ME.GE.A.T. Calabria Anna Moretti. Dopo i saluti da parte del Magnifico Rettore Gino Mirocle Crisci e di alcuni rappresentanti regionali, i relatori hanno illustrato e commentato i rischi del radon.

L'obiettivo dell'evento è stato quello di illustrare le caratteristiche del Radon, le metodologie di rilevazione e i rischi connessi all'esposizione a concentrazione

elevate di tale gas radioattivo naturale, attraverso un confronto multidisciplinare di esperti geologi, medici, fisici, proveniente sia dal mondo accademico sia da quello professionale.

## Abstract

*On April 11th 2017 at Rende at the University of Calabria-Sala University Club, the National conference was held entitled "The invisible environmental risk: methodologies of detection, pathologies connected to relevant legislation" organized by A.ME.GE.A.T. Calabria (Geological Medical Association for the Environment and the Territory of Calabria) in collaboration with the National Council of Geologists and the Order of Geologists of Calabria. The conference moderated by Rai journalist Gabriella D'Atri, was presented and introduced by the National Secretary Arcangelo Francesco Violo, the president of the Order of Geologists of Calabria Francesco Fragale, and the president of the A.ME.GE.A.T. Calabria Anna Moretti. After the greetings from the Rector Gino Mirocle Crisci and some regional representatives, the speakers presented*

Dissesti  
e alluvioni

Rischio  
sismico

Risorsa  
acqua

Attività  
estrattive

Geoscambio  
ed energie

Università  
e ricerca

Pianificazione

Bonifiche siti  
inquinati e  
discariche

Protezione  
civile

Professione  
& Società

Il Geologo  
progettista

Geositi,  
Geoparchi  
& Geoturismo

*and commented on the risks of radon. The objective of the event was to illustrate the characteristics of the Radon, the detection methodologies and the risks connected to the high concentration exposure of this natural radioactive gas, through a multidisciplinary comparison of expert geologists, physicians, physicists, coming from both academic world is from the professional one.*

## Introduzione

Tra i rischi naturali presenti nel nostro territorio, rischio idrogeologico, rischio sismico, alluvioni, erosione costiere, vi è un altro rischio molto presente e poco conosciuto il Radon.

In Italia questo gas provoca in modo silente ben 1.500, 1.600 vittime all'anno.

Dal suolo e dai materiali da costruzione il radon si diffonde nell'atmosfera e si trasforma spontaneamente in altre sostanze radioattive dette "figli". Ed è esattamente questo gas che nuoce gravemente alla salute; e proprio in relazione a ciò che questa iniziativa ha voluto riunire allo stesso tavolo importanti professionisti, geologi, fisici, medici, di nota esperienza in materia. Tra i relatori erano presenti: professori dell'Università di Cosenza, dell'Università di Salerno, fisici dell'Arpacal, ricercatori del CNR; per quanto riguarda il settore medico hanno relazionato primari in pneumologia, oncologia, cardiologia e genetica; hanno partecipato autorità politiche regionali, presidente di commissione consiliare regionale della Sanità e presidente della commissione - Ambiente. Nel corso del convegno da più fronti è stata evidenziata la necessità di non sottovalutare in alcun modo il rischio radon, sottolineando che sia la Geologia locale, l'interazione tra edificio e sito e l'uso di particolari materiali da costruzione, sono gli elementi più rilevanti ai fini della valutazione dell'influenza del Radon, così come la permeabilità dei suoli, la presenza di faglie e fratture locali o regionali che possono convogliare grandi quantità di gas da profondità notevoli.

Sono stati anche esposti alcuni risultati ottenuti in Calabria per quanto riguarda l'analisi e l'interpretazione delle misure della concentrazione di radon nei gas del suolo.

Per quanto riguarda l'aspetto sanitario i medici hanno marcato che l'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità) attraverso l'AIRC (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro) ha inserito il gas radon nella lista degli agenti cancerogeni più pericolosi attualmente conosciuti (Gruppo 1), inoltre hanno ribadito l'importanza

di conoscere gli agenti di rischio ambientale per prevenire l'insorgenza di patologie legate all'esposizione a fattori inquinanti e applicare le dovute tecniche di risanamento se necessarie. Tutto ciò costituisce un elemento importante per la tutela della salute e delle nuove generazioni.

I relatori hanno trattato questo importante tema scientifico di grande attualità in maniera approfondita ed esaustiva e in questo numero riportiamo i lavori svolti da alcuni relatori.

## Radon

Il radon è un gas radioattivo che deriva dal decadimento dell'uranio, un elemento ampiamente diffuso nel suolo. Il radon è l'unico gas radioattivo esistente in natura, è il più pesante dei gas nobili ed è inodore ed insapore. Esso presenta tre isotopi,  $^{219}\text{Rn}$  (actinon),  $^{220}\text{Rn}$  (thoron) e  $^{222}\text{Rn}$  (radon) prodotti dalle emissioni "alfa" del radio ( $^{\text{Ra}}$ ) nelle serie di decadimento dell'uranio ( $^{\text{U}}$ ) e del torio ( $^{\text{Th}}$ ). Il viene generato dal decadimento del  $^{222}\text{Ra}$  (Megumi and Mamuro, 1974-19). Il radon che emana dalla terra si accumula soprattutto nelle abitazioni, viene inalato e giunge ai polmoni dove i suoi prodotti di decadimento emettono radiazioni alfa.

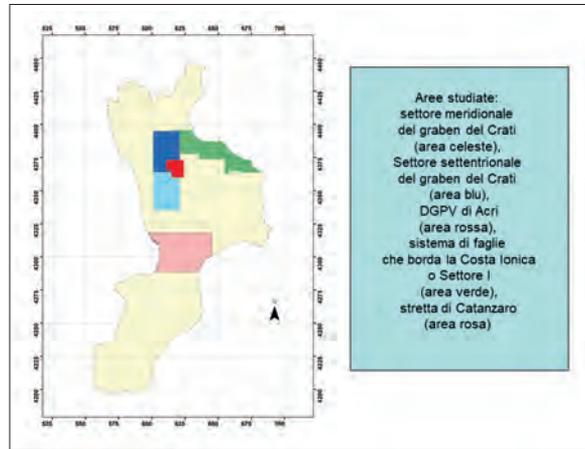
In occasione del Convegno Nazionale sul Gas Radon, come sopra citato, è stato presentato il seguente contributo: "Misure della Concentrazione di Radon in Calabria, con esempi di mappatura ed analisi delle anomalie". In particolare, nel lavoro di studio e di ricerca presentato sono stati esposti i risultati finora ottenuti in Calabria per quanto riguarda l'analisi e l'interpretazione delle misure della concentrazione di radon nei gas del suolo. Lo studio delle concentrazioni di radon nei gas del suolo ha assunto un ruolo importante nelle indagini ambientali in quanto, il radon costituisce la seconda causa di morte per tumore ai polmoni, dopo il fumo di sigarette. Il radon è un elemento radioattivo naturale classificato cancerogeno dall'OMS, la cui esposizione nei luoghi chiusi aumenta il rischio di contrarre un tumore polmonare. Le concentrazioni di radon presenti in superficie non sono casuali, ma controllate dalla geologia locale e dall'esistenza di importanti e profonde discontinuità tettoniche. Queste ultime originano zone di elevata permeabilità (relativa) e costituiscono pertanto vie preferenziali per la risalita dei gas profondi. Le campagne di misura effettuate esclusivamente negli ambienti indoor, infatti, non possono essere ritenute rappresentative delle condizioni di rischio locali poiché

fortemente condizionate dalle tipologie edilizie degli edifici, dagli stili di vita degli abitanti e da altri numerosi fattori. Risulta pertanto necessario, per la redazione di mappe di rischio, procedere a valutazioni che siano prive di tali fuorvianti contributi. La misurazione della quantità di radon nell'aria del suolo è considerata una tecnica che fornisce ottime indicazioni sul livello di rischio locale (Moroni,2001-20).

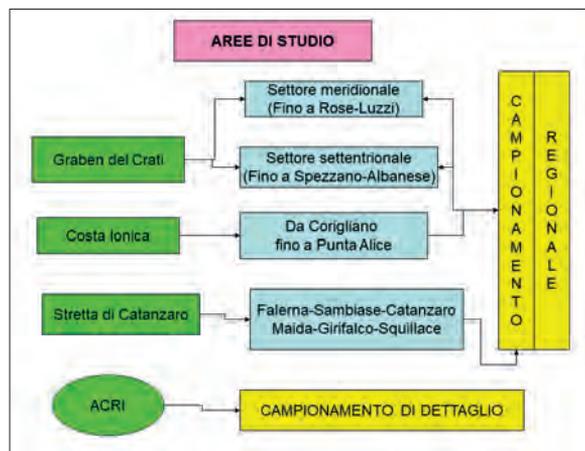
In particolare, in questo lavoro di ricerca, sono state effettuate una serie di campagne di misura nelle seguenti zone: valle del Crati, costa ionica (all'incirca dall'abitato di Corigliano fino a Punta Alice), stretta di Catanzaro, ed Acri (Figg. 1-2).

Il primo campionamento è stato effettuato nella porzione meridionale del graben del fiume Crati, in particolare nella zona che va da Rogliano a Luzzi. Si tratta di un campionamento regionale (4 campioni km<sup>2</sup>), nel quale sono stati prelevati circa 2000 campioni di gas del suolo in un'area di 500 km<sup>2</sup> (Tansi et al., 2005- 23). Il secondo campionamento è stato effettuato nel settore settentrionale del graben del Crati, sono stati prelevati 2448 campioni di gas del suolo in un'area di 612 km<sup>2</sup>. Il terzo campionamento è stato effettuato lungo il sistema di faglie che borda la Costa Ionica o Settore I. Il campionamento è stato effettuato in un'area di circa 800 km<sup>2</sup>, con una densità di campionamento di 4 campioni km<sup>2</sup>. Sono stati prelevati 3280 campioni di gas del suolo. L'ultimo campionamento regionale è stato effettuato nel graben di Catanzaro, su una superficie di circa 1100 km<sup>2</sup> ed i campioni prelevati sono stati 4400. (King, 1978-18; Reimer, 1990-22; Ciotoli et al, 1999-15)

Nel seguente lavoro di ricerca ci siamo occupati di misurazioni di Radon nei gas del suolo per cui è stato utilizzato l'apparato AB-5 con le celle di Lucas (Pylon, 1993-21). I punti nei quali sono state effettuate le misure sono stati localizzati utilizzando un GPS, dunque per ogni punto di campionamento sono noti latitudine e longitudine (UTM) e valore della concentrazione di radon nel sito. I campioni sono stati prelevati ad una profondità di 0,50 metri utilizzando una sonda, in modo tale che le misure non siano influenzate dalle variazioni atmosferiche di concentrazione. Si è utilizzato l'apparato Pylon AB-5 costituito da una unità principale corredata da una stampante portatile PPT-1, da una serie di celle di Lucas collegate tramite l'adattatore ABA. Il gas viene prelevato in modo attivo aspirando il campione ad una velocità nota 3 l/min per un tempo t noto al fine



**Fig.1** - zone di misura della concentrazione di Rn. Nel graben del Crati sono state effettuate due campagne di misura: la prima nella bassa valle del Crati (all'incirca fino ai centri abitati di Rose-Luzzi) e la seconda nell'alta valle del Crati (fino al centro abitato di Spezzano Albanese). Le prospezioni effettuate nel graben del Crati, lungo il sistema di faglie che borda la costa ionica e nel graben di Catanzaro, hanno carattere regionale (4 campioni km<sup>2</sup>), mentre nei pressi della deformazione gravitativa profonda di Acri è stato effettuato un campionamento di dettaglio (25 campioni km<sup>2</sup>).



**Fig. 2** - campionamento regionale e di dettaglio.

di ottenere volumi costanti di gas e misure direttamente confrontabili (Fig. 3).

Una serie di parametri (umidità del suolo, temperatura dell'aria e del suolo, pressione atmosferica ecc.) influenzano, infatti, le concentrazioni di radon nei gas del suolo e rendono complessa l'analisi della sua variazione spaziale (Hinkle, 1994-16). Per minimizzare tali effetti il campionamento è stato, inoltre, effettuato in intervalli di tempo molto brevi ed in condizioni meteorologiche stabili, ovvero nella stagione estiva caratterizzata dalla

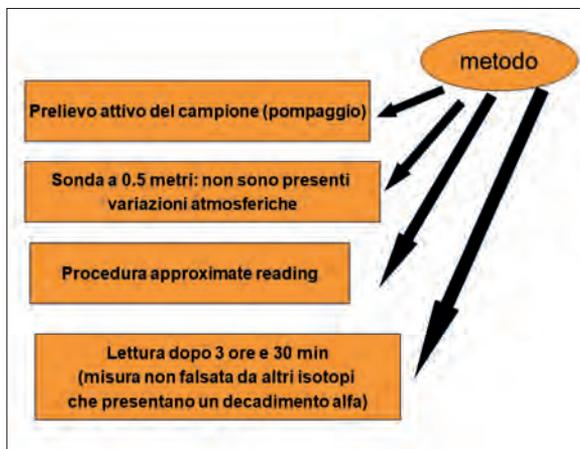


Fig. 3 - metodo di campionamento.

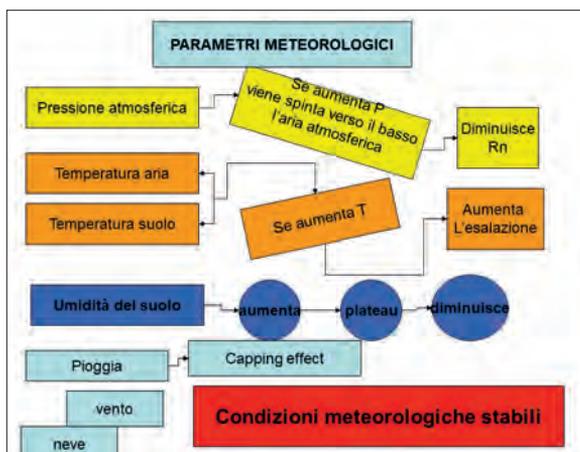


Fig. 4 - Parametri meteorologici.

stabilità di temperatura ed umidità (Hinkle, 1994-16) (Fig. 4).

Sono state, dunque, individuate faglie e segmenti di faglia sepolti dalle coltri sedimentarie che caratterizzano l'area di indagine, soprattutto nella stretta di Catanzaro, e sono state messe in relazione le anomalie di concentrazione di gas radon con le deformazioni gravitative profonde presenti nelle zone studiate.

L'interpretazione dell'andamento spaziale della concentrazione di radon ha richiesto la sovrapposizione in ambiente GIS delle mappe di isoconcentrazione di gas radon con gli altri layer geologici: litotipi presenti nell'area di indagine, discontinuità tettoniche (in particolare master faults e faglie differenziate secondo il loro grado di attività), frane e deformazioni gravitative

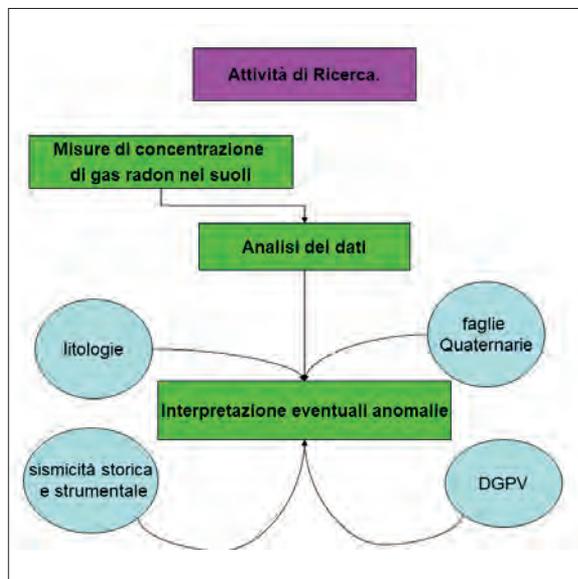


Fig. 5 - Correlazioni effettuate.

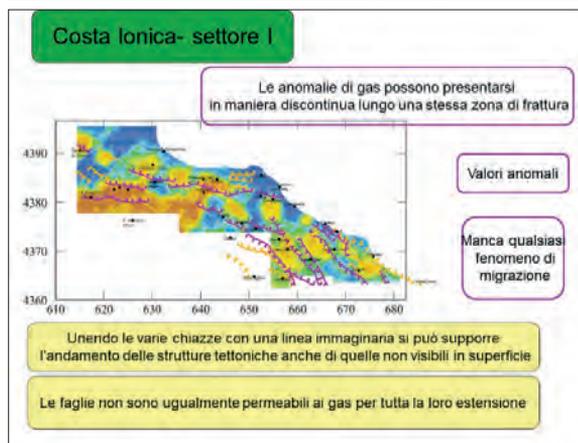
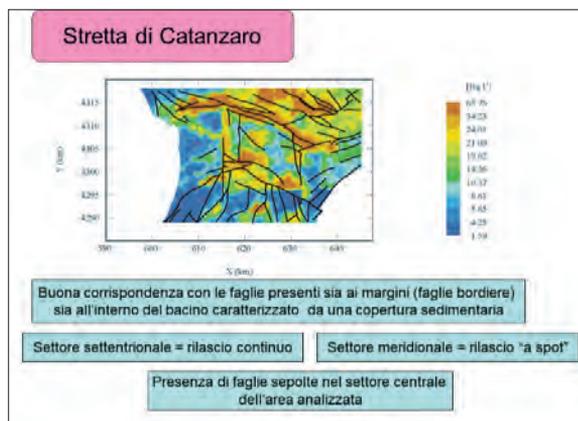


Fig. 6 - Risultati ottenuti- stretta di Catanzaro e Costa Ionica.

profonde. Si è perseguito l'obiettivo di definire le relazioni esistenti tra i processi di risalita di gas e l'assetto geologico-strutturale generale, ovvero litologia e caratteri geometrici delle formazioni geologiche, e loro stato di tettonizzazione. Un risultato originale del seguente lavoro di ricerca è aver notato una relazione fra il grado di attività della faglia e le concentrazioni di gas misurate. Ed inoltre aver notato l'importanza dei fenomeni gravitativi profondi nel ridurre l'emissione di gas verso la superficie (Tansi et al., 2005-23; Iovine et al., 2017-17) (Figg. 5-6)).

### I rischi per la salute connessi al radon

Le radiazioni ionizzanti possono trasferire una quantità di energia sufficiente a ionizzare le molecole e questo può determinare cambiamenti chimici, inclusi danni al DNA cellulare con aumento del rischio di cancerogenesi. Una chiara evidenza al riguardo deriva da studi di follow-up sui sopravvissuti alle bombe atomiche in Giappone, da studi epidemiologici in gruppi di soggetti esposti a radiazioni derivanti da fonti occupazionali o ambientali, e da studi su animali da esperimento. Nell'uomo la dose media di radiazioni di  $^{32}\text{Si}$  stimata per anno deriva per circa il 42% dal gas radon (1). Per questo, nella 4a edizione del Codice Europeo contro il Cancro si raccomanda di "evitare l'esposizione alle radiazioni ionizzanti derivanti da alti livelli di gas radon nell'abitazione e di prendere provvedimenti per ridurli" (2). Il radon è un agente cancerogeno che causa soprattutto un aumento del rischio di contrarre il tumore polmonare. L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), attraverso l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC), ha classificato fin dal 1988 il radon nel gruppo in cui sono elencate le 95 sostanze dichiarate cancerogene per l'uomo (3), attribuendo al radon un carico epidemiologico di circa 30.000 morti all'anno e sottolineando come una riduzione nell'esposizione media di 400 Bq/m<sup>3</sup> possa ridurre di circa il 50% il rischio di sviluppare un cancro del polmone. Come già sottolineato in precedenza, il Radon-222, che deriva dal decadimento dell'Uranio-238 presente in piccole quantità nel suolo e nelle rocce, possiede un certo numero di prodotti di decadimento radioattivi con una emivita molto breve inclusi gli isotopi del polonio (218 e 214) che emettono particelle alfa, beta e gamma. I radioisotopi all'interno del corpo, quando ingeriti o respirati, sono tutti potenzialmente dannosi. La gravità dipende dalla loro distribuzione nel corpo, dall'energia

della radiazione, dal tempo durante il quale sono trattenuti nel corpo e dal tipo di radiazione: le particelle alfa rilasciano in un piccolo volume la maggior parte della loro energia e sono pertanto le più dannose; le particelle beta e gamma rilasciano poca energia per unità di volume e sono quindi meno dannose. La radiazione alfa presenta un basso potere di penetrazione, quindi viene facilmente fermata dallo strato superficiale della pelle. Dunque non è pericolosa per l'uomo nei casi di irradiazione esterna. Diventa invece pericolosa nelle situazioni in cui la sorgente radioattiva viene inalata o ingerita perché in questo caso lede i tessuti interni come nel caso del radon in cui l'isotopo radioattivo viene inspirato e decade nei polmoni. Le particelle alfa sono in grado di causare un severo danno del DNA, ma l'evidenza suggerisce anche che l'insulto al DNA può essere mediato dalle specie reattive dell'ossigeno (ROS) che sono prodotte nel citoplasma e successivamente raggiungono il nucleo della cellula (4). Le particelle alfa sono, per questo, una riconosciuta causa di cancro del polmone, e l'esposizione al gas radon è la seconda causa di morte per tumore polmonare dopo il fumo di sigaretta (5) (Tabella 1) e la prima nei non fumatori.

Tobacco smokers	78% (in women) and 92% (in men) (RR, 40)
Radon	3-15% (RR, 2-10)
Environmental tobacco smoke	2-3% (RR, 1.7)
Asbestos	1-2% (RR, 1.96)
Vitamin-poor diet	1-2% (RR, 1.3)
Air pollution	1-2% (RR, 1.3-2.3)
Silicosis	0.5-1% (RR, 1.45)
Genetic	1-3% (RR, 1.3-4.0)

RR=relative risk.

**Tabella 1.** Cause di cancro del polmone.

Oltre alle evidenze scientifiche, c'è una forte evidenza epidemiologica a supporto dell'associazione causale tra radon e cancro del polmone. L'evidenza iniziale è emersa dall'osservazione che molti minatori morivano di cancro del polmone. Questo riscontro, ha condotto allo studio dettagliato di varie coorti di minatori in molti paesi, quali Cecoslovacchia, Francia, Australia, USA, Canada, Svezia e Cina (6-9). In queste coorti è stato dimostrato un aumentato rischio di cancro del polmone da esposizione al radon. Il rischio relativo era

tempo-dipendente e quanto maggiore era il tempo trascorso dall'ultima esposizione, tanto più il rischio era ridotto. L'esposizione a lungo termine ha comportato un rischio maggiore rispetto all'esposizione a breve termine, indipendentemente dal tasso di esposizione. I dati di questi studi sui minatori hanno portato a un interesse sui rischi associati all'esposizione al radon indoor e hanno innescato una serie di studi caso-controllo che ha valutato l'esposizione al radon nelle abitazioni. Questi studi hanno arruolato persone della popolazione generale che erano state esposte al radon indoor e hanno confrontato i pazienti con cancro del polmone a controlli senza cancro del polmone. La Tabella 2 mostra i livelli di esposizione al radon nelle miniere e all'interno delle abitazioni, e dimostra il rischio di cancro ai polmoni attribuibile al radon nei fumatori rispetto ai non fumatori (10).

Radon Exposure	Yearly (WLM)*	Lifetime (WLM)	Relative Risk	Smokers	Non-smokers
Mines		155 <sup>†</sup>	1.49 (100 WLM)		
Indoor <sup>‡</sup>	0.2	10-20	1.3 (100 Bq/m <sup>3</sup> )		
AR for Radon Exposure				28-31%	9-11%
Lifetime Risk (4 pCi/L)				6.2%	0.7%

\*Working level is defined as the level of short-lived radon progeny per liter of air that results in the release of  $1.3 \times 10^5$  MeV of potential alpha particle energy. Working level month refers to the exposure to this concentration for 170 hours.  
<sup>†</sup>Average cumulative exposure from 11 cohorts of underground miners.  
<sup>‡</sup>Based on an exposure level of 1 pCi/L.  
 AR-attributable risk; WLM-working level month.

**Tabella 2.** Esposizione al radon e rischio di cancro del polmone.

Uno studio di Saccomanno G. e Coll. (11) condotto su 383 casi di cancro ai polmoni in minatori di uranio, ha mostrato per la prima volta il rapporto tra gas radon e fumo di sigaretta. Si è evidenziato che le radiazioni alfa del gas radon a livelli di esposizione superiori a 465 mesi di lavoro (WLM) rappresentano un forte contributo allo sviluppo del cancro del polmone. Il fumo di sigaretta svolge il ruolo più significativo nel causare tumore polmonare; questo si nota anche nei non minatori che

fumano sigarette. Per questo è stato fortemente suggerito un effetto sinergico o additivo di questi due agenti cancerogeni. I dati indicano che i tumori a piccole cellule si sviluppano in giovani non fumatori esposti a livelli di radon superiori a 465 WLM (Tabella 3).

I tumori polmonari si sviluppano nei minatori fumatori a livelli più bassi di esposizione al radon rispetto ai minatori non fumatori. Sulla base di un'esperienza mineraria media di 15 anni, vi sono prove sostanziali del fatto che l'attuale limite massimo consentito di 4 mesi di lavoro (WLM) all'anno è sicuro, rappresentando un margine di sicurezza di circa 10:1. Inoltre, un confronto di questi dati con i livelli di radon in alcune case, con una media intorno a 0,025 WLM, indica che i rischi per la salute a questi livelli sono trascurabili. Si suggerisce che 20 picocuries/litro, che equivale a 0,10 WLM, siano il livello massimo consentito nelle case (Tabella 4).

Gli studi caso-controllo hanno fornito prove epidemiologiche della relazione causale tra esposizione al radon indoor e cancro del polmone. In una metanalisi di ventiquattro studi caso-controllo estratti dal Database PubMed è stato osservato che sette studi hanno dimostrato un'associazione statisticamente significativa tra il radon indoor e il cancro del polmone (12) (Tabella 5).

Darby S. e Coll. (13) hanno eseguito un'analisi di 13 studi caso-controllo sul rapporto tra radon indoor e cancro del polmone condotti in 9 paesi europei su un totale di 7.148 casi di cancro del polmone e 14.208 controlli. La concentrazione media misurata di radon nelle case delle persone nel gruppo di controllo era 97 Bq/m<sup>3</sup>, mentre nei casi di cancro del polmone la concentrazione media era 104 Bq/m<sup>3</sup>. Il rischio di cancro del polmone è risultato aumentato dell'8,4% per un aumento di 100 Bq/m<sup>3</sup> misurato (P = 0,0007). La relazione dose-risposta è apparsa lineare senza soglia (P = 0.04) in analisi limitate agli individui delle case con radon <200 Bq/m<sup>3</sup>. In assenza di altre cause di morte, il rischio assoluto per carcinoma polmonare all'età di 75 anni con concentrazioni di radon usuali di 0, 100, e 400 Bq/m<sup>3</sup> sarebbe circa lo 0,4%, lo 0,5% e lo 0,7%, rispettivamente, per non fumatori, e circa 25 volte maggiore (10%, 12% e 16%) per i fumatori di sigarette. Questi studi mostrano un apprezzabile rischio derivante dal radon indoor per i fumatori e i recenti ex-fumatori, e indicano che il radon è responsabile di circa il 2% di tutti i decessi per cancro in Europa (Tabelle 6,7 e 8).

Da quanto emerge dalla letteratura dunque, risulta chiaro l'effetto sinergico tra radon e fumo. Con l'esposizione

**Tabella 3.** Tipi istologici di cancro del polmone nei minatori di uranio.

Cell type	Total patients (383)	Smokers (356)	Nonsmokers (25)	Unknown smoking history (2)
Squamous cell	139 (36.29*)	128 (35.96)	10 (40)	1 (50)
Small cell	121 (31.59)	115 (32.30)	6 (24)	—
Adenocarcinoma	50 (13.05)	47 (13.20)	3 (12)	—
Large cell	48 (12.53)	42 (11.80)	5 (20)	1 (50)
Adenosquamous	19 (4.96)	18 (5.06)	1 (4)	—
Small cell & squamous cell	2 (0.52)	2 (0.56)	—	—
Adeno & small cell	2 (0.52)	2 (0.56)	—	—
Small cell & large cell	1 (0.26)	1 (0.28)	—	—
Squamous cell & large cell	1 (0.26)	1 (0.28)	—	—

**Tabella 4.** Esposizione al radon nei minatori di uranio con cancro del polmone.

	Radiation exposure (WLM)				
	1-120	121-300	301-1000	1001+	Unknown
Total patients (383)	11 (2.87*)	24 (6.27)	99 (25.85)	182 (47.52)	67 (17.49)
Smokers (356)	11 (3.09)	24 (6.74)	92 (25.84)	165 (46.35)	64 (17.98)
Nonsmokers (25)	—	—	5 (20)	17 (68)	3 (12)
Unknown smoking history (2)	—	—	2 (100)	—	—

**Tabella 5.** Studi caso-controllo su radon e cancro del polmone in non-fumatori di uranio con cancro del polmone.

Author/year	Nation	Gender	Case (n)	Control (n)	Odds ratio <sup>a</sup> (95 % CI)	Median/mean of indoor radon level (Bq/m <sup>3</sup> )		Number of alpha track detector used	Places of detector	Duration of radon measurements (months)	Interview type
						Case	Control				
Alavanja et al. 1994	United States	Female	538	1183	1.2 (0.9-1.7)	67	67	2	bedroom, kitchen	12	study subjects, proxy
Lagarde et al. 2001	Sweden	Both	258	487	1.55 (0.88-2.73)	87	80	2	bedroom, living room	3	study subjects, proxy
Kreuzer et al. 2002	German	Female	234	535	NA <sup>b</sup>	45	44	2	bedroom, living room	12	study subjects
Torres-Durán et al. 2014	Spain	Both	192	329	2.42 (1.45-4.06)	NA	—	1	bedroom	3	study subjects

**Tabella 6.** Rischio relativo di cancro del polmone per concentrazione di radon indoor (Bq/m<sup>3</sup>).

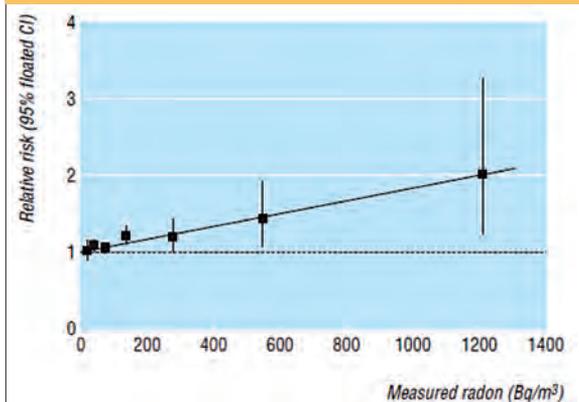
Range of measured values	Mean (Bq/m <sup>3</sup> )		No of lung cancer cases/controls	Relative risk (95% floated CI)
	Measured values	Estimated usual values		
<25	17	21	566/1474	1.00 (0.87 to 1.15)
25-49	39	42	1999/3905	1.06 (0.98 to 1.15)
50-99	71	69	2618/5033	1.03 (0.96 to 1.10)
100-199	136	119	1296/2247	1.20 (1.08 to 1.32)
200-399	273	236	434/936	1.18 (0.99 to 1.42)
400-799	542	433	169/498	1.43 (1.06 to 1.92)
≥800	1204	678	66/115	2.02 (1.24 to 3.31)
Total	104/97*	90/86*	7148/14 208	—

a 4 pCi/L (148 Bq/m<sup>3</sup>) di radon nell'arco della vita, 62/1.000 fumatori sviluppano un cancro polmonare contro 7/1.000 non fumatori.

Per spiegare meglio questa correlazione bisogna considerare che: la dose di radon richiesta per indurre un danno è certamente modificata dai cambiamenti morfologici e dei parametri fisiologici nei fumatori; il

particolato del fumo di tabacco può aumentare la quantità di progenie del radon aderente alla mucosa respiratoria, incrementando la dose di radioattività verso le cellule; i carcinogeni del fumo di tabacco e le particelle radioattive alfa possono agire a differenti stadi della cancerogenesi; infine, è ormai documentata la presenza di polonio nel fumo di tabacco, il che accrescerebbe il

**Tabella 7.** Rischio relativo di cancro del polmone in relazione alla concentrazione di radon indoor.



rischio di sviluppo di un cancro del polmone. Dunque, sicuramente molte morti correlate al radon potrebbero essere prevenute smettendo di fumare.

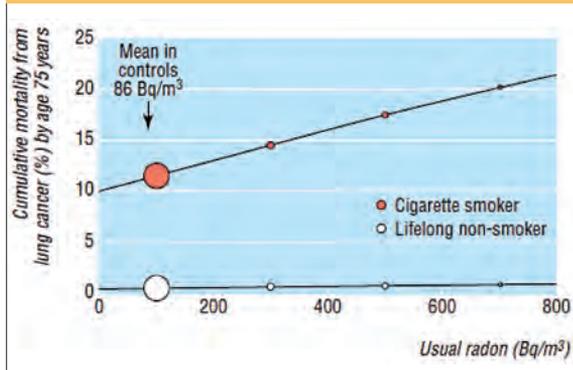
Nella Tabella 9 è riportato il rischio di tumore polmonare attribuibile all'esposizione al radon nelle abitazioni delle regioni italiane secondo i dati dell'Istituto Superiore di Sanità (2010).

**Tabella 9.**

Regione	Casi osservati	Numero di casi stimati		Percentuale dei casi osservati	
		Stima puntuale	Intervallo di confidenza (95%)	Stima puntuale	Intervallo di confidenza (95%)
Abruzzo	568	48	16-88	8%	3%-16%
Basilicata	219	10	3-19	5%	1%-9%
Calabria	665	26	8-45	4%	1%-7%
Campania	2.822	372	128-642	13%	5%-25%
Emilia - Romagna	2.896	190	62-346	7%	2%-12%
Friuli - Venezia Giulia	775	106	37-182	14%	5%-23%
Lazio	3.121	499	175-841	16%	6%-27%
Liguria	1.212	69	23-126	6%	2%-11%
Lombardia	5.718	862	301-1.464	15%	5%-26%
Marche	764	34	11-63	4%	1%-8%
Molise	108	7	2-13	6%	2%-12%
Piemonte	2.816	280	94-496	10%	3%-18%
Puglia	1.706	131	43-237	8%	3%-14%
Sardegna	746	69	23-124	9%	3%-17%
Sicilia	2.064	108	35-201	5%	2%-10%
Toscana	2.231	158	52-269	7%	2%-13%
Trentino - Alto Adige	491	35	12-62	7%	3%-15%
Umbria	455	38	13-69	8%	3%-16%
Valle d'Aosta	69	5	1-8	7%	2%-12%
Veneto	2.808	238	79-426	8%	3%-15%
<b>Italia</b>	<b>32.134</b>	<b>3.237</b>	<b>1.087-6.720</b>	<b>10%</b>	<b>3%-18%</b>

*F Romano et al. (14)* Infine, alcuni anni addietro è stata eseguita una ricerca sul territorio della provincia di Cosenza condotta dall'Azienda Ospedaliera di Cosenza e dall'Università della Calabria allo scopo di esaminare l'incidenza di cancro del polmone in relazione alla presenza di radon. E' stata condotta una indagine retrospettiva interna sui ricoveri per cancro polmonare primitivo nel periodo 1996-2002, considerando solo i pazienti residenti nella provincia di Cosenza da almeno 10 anni prima dell'inizio della sintomatologia, fumatori di almeno 10 sigarette al giorno da almeno 20

**Tabella 8.** Rischio cumulativo assoluto di morte per cancro del polmone all'età di 75 anni rispetto alla concentrazione usale di radon indoor per i fumatori di sigarette e per tutta la vita e per i non-fumatori.



anni. I tassi di morbosità (tdm) per Comune sono stati ricavati rapportando le frequenze di ricovero al n° degli abitanti (censimento 2001). Lo studio geofisico è stato eseguito tramite la misura (celle di Lucas) della concentrazione di radon (pCi/l) nelle acque sorgive di aree con specifiche caratteristiche tettoniche o litologiche. I casi clinici evidenziati sono stati 753, 685 maschi (91%) e 68 femmine (9%) con età media di anni  $64.8 \pm 10.5$  e range 38-88 e il Comune col maggior tdm è risultato Pedivigliano (0,61%). Dal punto di vista geofisico, sono state riscontrate 4 zone ad elevata emissione di radon, caratterizzate dalla presenza di granito (Pedivigliano - 817.54), di acque termali (Cassano Jonio - 514.0) o di faglie (Rossano - 422.77 e S. Giorgio Albanese - 247.32). Lo studio statistico, considerata l'alta dispersione dei dati (SD), non è risultato significativo, ma il test di regressione lineare ha evidenziato una notevole tendenza alla correlazione tra tdm per cancro del polmone e inquinamento da radon.

In conclusione, è ormai sufficientemente chiaro che il radon è un carcinogeno naturale associato al cancro del polmone. Originariamente si pensava che il radon fosse un fattore di rischio solo per i minatori, ma adesso è ben conosciuto il rischio per la popolazione generale dovuto al radon indoor. Le misure preventive del rischio a bassi livelli di esposizione, come quelli associati al radon indoor, sono ancora basate su una presunta relazione dose/risposta. Tuttavia ci sono evidenze scientifiche ed epidemiologiche che supportano una relazione lineare esposizione/risposta non di soglia, ma essa deve essere ancora sufficientemente provata. Un approccio sistematico verso la riduzione del radon con l'uso degli

interventi esistenti può essere rafforzato con la continua ricerca di misure più costo/efficaci in grado di assicurare una più universale applicazione. Il cancro del polmone, comunque, continua ad essere la principale causa di mortalità cancro-correlata, e gli sforzi per la riduzione del radon dovrebbero essere attuati con l'implementazione delle strategie per la cessazione del fumo.

## Bibliografia

- 1) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008 Report: *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. Report to the General Assembly with scientific annexes. New York: United Nations, 2010.
- 2) N. McCOLL ET AL. *Cancer Epidemiology* 39S; 2015: S93-S100.
- 3) International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Man-Made Mineral Fibres and Radon. Vol. 43. Lyon, France: IARC Press; 1988: 33-171.
- 4) Narayanan PK, Goodwin EH, Lehnert BE. *Alpha particles initiate biological production of superoxide anions and hydrogen peroxide in human cells*. *Cancer Res.* 1997; 57:3963-3971.
- 5) PASS HI, CARBONE DP, JOHNSON DH, ET AL. *Principles & Practice of Lung cancer: the Official Reference Text of the IASLC*. 4th ed. Philadelphia, PA: Wolters Kluwer, Lipincott Williams & Wilkins; 2010.
- 6) T.K. SEHTI ET AL. *Radon and Lung Cancer. Clinical Advances in Hematology & Oncology* Volume 10, Issue 3 March 2012 :157-164.
- 7) LUBIN JH, BOICE JD JR, EDLING C, ET AL. *Lung cancer in radon-exposed estimation of risk from indoor miners and exposure*. *J Natl Cancer Inst.* 1995;87:817-827.
- 8) LUBIN JH, BOICE JD JR, EDLING C, ET AL. *Lung Cancer and Radon: a Joint Analysis of 11 Underground Miner Studies*. Bethesda, MD: National Cancer Institute; 1994. DHS Publ No. (NIH)94-3644.
- 9) HORNUNG R. *Health effects in underground uranium miners*. *Occup Med.* 2001;16:331-344.
- 10) LUBIN JH, BOICE JD JR, EDLING C, ET AL. *Lung cancer in radon-exposed miners and estimation of risk from indoor exposure*. *J Natl Cancer Inst.* 1995;87:817-827.
- 11) G. SACCOMANNO ET AL. *Relationship of Radioactive Radon Daughters and Cigarette Smoking in the Genesis of Lung Cancer in Uranium Miners* *Cancer* 62:1402-1408, 1988.
- 12) SHEEN S ET AL. *An updated review of case-control studies of lung cancer and indoor radon-Is indoor radon the risk factor for lung cancer?* *Annals of Occupational and Environmental Medicine* (2016) 28:9.
- 13) S. DARBY ET AL. *Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies*. *BMJ*, doi:10.1136/bmj.38308.477650.63 (published 21 December 2004).
- 14) F. ROMANO ET AL. *Aumentata incidenza di neoplasie polmonari in aree ad elevata emissione di gas radon*. *Rassegna di Patologia dell'Apparato Respiratorio*, 18/S, 6: 42, 2003.
- 15) CIOTOLI G., ETIOPE G., GUERRA M., LOMBARDI S., 1999. *The detection of concealed faults in the Ofanto Basin using the correlation between soil-gas fracture surveys*. *Tectonophysics* 301, 321-332.
- 16) HINKLE, M., 1994. *Environmental conditions affecting concentrations of He, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> in soil gases*. *Appl. Geochem.* 9, 53-63.
- 17) IOVINE G., GUAGLIARDI I., BRUNO C., GRECO R., TALLARICO A., FALCONE G., LUCÀ F., BUTTAFUOCO G., 2017. *Soil-gas radon anomalies in three study areas of Central-Northern Calabria (Southern Italy)*. *Natural Hazards*. DOI 10.1007/s11069-017-2839-x.
- 18) KING, C.Y., 1978. *Radon Emanation on San Andreas fault*. *Nature* 271, 516-519.
- 19) MEGUMI K., MAMURO T., 1974. *Emanation and exhalation of radon and thoron gases from soil particles*. *J. Geoph. Res.*, 79, N.23, pp. 3357-3360.
- 20) MORONI M., 2001. *Il radon nella pianificazione territoriale*. *Informatica e Pianificazione Urbana e Territoriale, Democrazie e Tecnologia*. pp. 1-16.
- 21) PYLON, 1993. *Pylon model AB-5 portable radiation monitor instruction manual*.
- 22) REIMER, G.M., 1990. *Reconnaissance techniques for determining soil-gas radon concentrations. An example from Prince George Country, Maryland*. *Geophys. Res. Lett.* 17 (6), 809-812.
- 23) TANSI C., TALLARICO A., IOVINE G., FOLINO-GALLO M., FALCONE G. 2005. *Interpretation of radon anomalies in seismotectonic and tectono-gravitational analyses: the SE portion of the Crati graben (Northern Calabria, Italy)*. *Tectonophysics*, 396: 181-193.

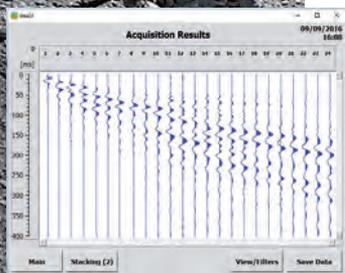
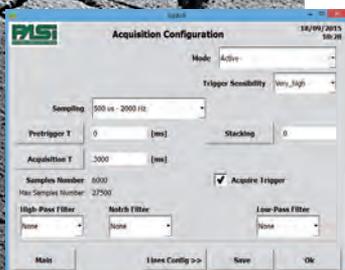
**“IL MEZZO GIUSTO  
PER RAGGIUNGERE  
L’OBIETTIVO”**



### Sismografo GEA24: affidabile · semplice · economico

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

CHROMA Torino



**3DLG**



**RIFRAZIONE  
RIFLESSIONE SUPERFICIALE  
ONDE DI SUPERFICIE**

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

**HVSR / VIBRAZIONI**

abbinato al geofono 3D da superficie  
Mod.3DLG

**DOWNHOLE**

abbinato al geofono 3D da foro  
Mod.GFA

**CROSSHOLE**

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



**RADIOTRIGGER**

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

#### CARATTERISTICHE PRINCIPALI:

**24 canali + trigger (AUX)**

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

**24 bit reali**, convertitore **AD Sigma-Delta**  
**Intuitivo e facile da usare**

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

**Alimentazione da USB**

non necessita di batteria esterna!

Connettori per cavi sismici standard **NK2721C**

**Compatibile con tutti i geofoni analogici**

**Aggiornamenti gratuiti** software di gestione

**Compatto e leggerissimo**

(24x19.5x11cm – 2 kg)

PER LA TUA AZIENDA, HAI BISOGNO  
DI UNA RISORSA INTRAPRENDENTE?

**CHOOSE** YOUR **BEST**

- ✓ VERSATILE
- ✓ SICURA
- ✓ ESPERTA



**JEEP® CON 7.000€  
COMPASS DI BUONI MOTIVI**

**TORNA BONUS IMPRESA, LO SCONTO PER AZIENDE E LIBERI PROFESSIONISTI  
CON PARTITA IVA. SCARICA IL VOUCHER SU [WWW.BONUSIMPRESA.IT](http://WWW.BONUSIMPRESA.IT)  
E SCOPRI IN SHOWROOM IL LEASING BONUS IMPRESA DI  **FCA BANK.****

**P.S. SE SEI UN'AZIENDA IL VALORE DEL TUO SCONTO AUMENTA!**

Fino al 31 Ottobre, su Jeep, Compass 7.000€ di sconto sul prezzo di listino (con il contributo dei concessionari).

Jeep, is a registered trademark of FCA US LLC. Gamma Compass: Consumo di carburante ciclo misto (l/100 km): 6,9-4,4; emissioni CO2 (g/km): 160-117 con valori omologati determinati in base al ciclo NEDC di cui al Regolamento (UE) 692/2008. I valori sono indicati a fini comparativi e potrebbero non riflettere i valori effettivi.

**FCA** | **Jeep**  
THERE'S ONLY ONE