



NUMERO **113**

IL GEOLOGO

PERIODICO UFFICIALE



**ORDINE DEI GEOLOGI
DELLA TOSCANA**

Il Punto - Editoriale

Nota a cura del coordinatore di redazione

Il monitoraggio delle acque sotterranee nei procedimenti di autorizzazione ambientale

Petrogenesi dei prodotti dell'attività del periodo 1902-03 del vulcano La Soufrière

Studio geologico-strutturale e geocronologico di due settori della East Variscan Shear Zone: la Linea Posada-Asinara (Sardegna, Italia) e la Cavalaire Fault (Maures Massif, Francia)



Professione Geologo



Sismografo Geode

Il sismografo Geometrics è sempre il riferimento più alto per la sismica professionale. Imbattuto per capacità di affrontare microzonazione, riflessione, rifrazione, downhole...

Foto: Progeo-Forli



Trillium e Centaur

I sensori broadband e gli acquisitori sismici Nanometrics sono i più famosi e performanti al mondo. Solo per chi vuole dati di altissima qualità e affidabilità.



Atom Sismografo wireless

Il nuovo sismografo Geometrics ultra compatto, passivo, wireless, per Vs a profondità di oltre 1 km, senza più cavi sismici.



CODEVINTEC

Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare

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



CTD Logger multiparametrico (conducibilità, temperatura, pressione)

- Precisione / scala di conducibilità del sensore:
 $\pm 1\%$ max. / 0,2...200 mS/cm
- Precisione / sensore Pt1000 per monitorare la temperatura:
 $\pm 0,1$ °C / -10...40 °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



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.

PART OF
HEXAGON

Prospezione Geoelettrica Braccagni (GR)

(Foto di A. Danesi)

SOMMARIO

ANNO XXXI • DICEMBRE 2020 • N. 113



ORDINE DEI GEOLOGI
DELLA TOSCANA

EDITORIALE

Il Punto

Riccardo Martelli

5

DALLA REDAZIONE

Nota a cura del coordinatore di redazione

Alessandro Danesi

7

SCIENZA E RICERCA

Il monitoraggio delle acque sotterranee nei procedimenti di autorizzazione ambientale

Fabrizio Franceschini

Anita Bonfanti

8

SCIENZA E RICERCA

Petrogenesi dei prodotti dell'attività del periodo 1902-03 del vulcano La Soufrière

Giovanna Montesano

22

SCIENZA E RICERCA

Studio geologico-strutturale e geocronologico di due settori della East Variscan Shear Zone: la Linea Posada-Asinara (Sardegna, Italia) e la Cavalaire Fault (Maures Massif, Francia)

Alessandro Petroccia,

Prof. Rodolfo Carosi,

Matteo Simonetti

27

Segui le attività e iniziative dell'Ordine su:

Facebook: @OGTOSCANA

<https://www.facebook.com/OGTOSCANA/>

Twitter: @Geologi_Toscana

https://twitter.com/Geologi_Toscana

Sito: www.geologitoscana.it

Per proporre alla redazione articoli, contenuti testuali e fotografici si prega di inoltrare una mail a:

il_geologo@geologitoscana.it

COMUNICATO STAMPA – III°/2020

LABORATORI GEOTECNICI AUTORIZZATI DELLA TOSCANA

In questo numero del periodico dell'Ordine dei Geologi della Toscana il gruppo di lavoro LAGATOS ha voluto pubblicare un elenco di prove geotecniche con a fianco i tempi tecnici complessivi relativi alla effettuazione e certificazione delle stesse.

La conoscenza della corretta tempistica necessaria all'esecuzione e certificazione di ciascuna prova è di fondamentale importanza per poter predisporre al meglio il cronoprogramma di un progetto.

I laboratori prova autorizzati garantiscono il servizio pubblico loro affidato, con una dotazione standard di attrezzature e personale secondo quanto stabilito dalla circolare 7618/STC. Dotazione che consente di effettuare entro tempi adeguati, le differenti tipologie di prove per cui è prevista la certificazione. Solo la ridondanza delle dotazioni dei laboratori può permettere di effettuare in contemporanea più prove dello stesso tipo, ed in ogni caso, poiché nella geotecnica di laboratorio è sempre la componente umana a giocare un ruolo fondamentale nell'esecuzione di prove e determinazioni, il laboratorio dovrà essere dotato di un numero adeguato di personale per poter gestire correttamente i flussi di prove.

La tabella riportata di seguito associa alla corretta denominazione per ciascuna prova, le norme tecniche di riferimento ed i relativi tempi complessivi per l'esecuzione e certificazione. Questi ultimi derivano dalla somma dei tempi di lavorazione ed elaborazione con tempi tecnici indicati dalle norme per ciascuna prova. Ove compaiono intervalli temporali, questi derivano direttamente da specifiche indicazioni delle norme che vanno a tener conto della natura dei terreni analizzati. I laboratori con autorizzazione ministeriale devono operare con i tempi di prova previsti dalle normative corrispondenti ai tempi indicati nella tabella e non possono quindi soddisfare richieste di tempi più brevi che non sono infrequenti in gare di appalto pubbliche o indagini per conto di privati. Pensiamo che le informazioni fornite possano essere di aiuto ai professionisti per formulare corrette programmazioni dei tempi complessivi in relazione alla tipologia ed ai volumi delle analisi da eseguire.

SIGLA	PROVE DI LABORATORIO	NORMATIVA	Tempo (giorni)
GL01	Apertura campione, descrizione, prove di resistenza speditive (PP e VT)	UNI CEN ISO14688-1, ASTM D2488	2
GL03	Determinazione del contenuto di acqua	UNI EN ISO 17892-1, ASTM D2216	2
GL04	Determinazione della massa volumetrica apparente (peso di volume naturale)	UNI EN ISO 17892-2, ASTM D2937	2
GL05	Determinazione della massa volumetrica dei granuli solidi (peso specifico reale) con picnometro	UNI EN EN 17892-3, ASTM D2937	2
GL07	Analisi granulometrica di una terra mediante crivelli e setacci (numero max 6), per via umida	UNI EN EN 17892-4	4
GL09	Analisi granulometrica per sedimentazione, esclusa la determinazione del peso specifico reale (*)	UNI EN ISO 17892-1, ASTM D422	7
GL10	Determinazione dei limiti di consistenza (o di Atterberg) di una terra - limite liquido e plastico	UNI EN ISO17892-12, ASTM D4318	5
GL11	Determinazione del limite di ritiro	UNI EN ISO17892-12, ASTM D4943	7
GL12	Determinazione del valore di blu di Metilene	UNI EN 933-9	2
GL13	Prova di costipamento AASHTO standard/modificato	CNR B.U. n.69, UNI EN 13286-2	6
GL18	Determinazione della densità relativa di una terra (metodo secco)	ASTM 4253-4	6
GL19	Determinazione del coefficiente di permeabilità diretta a carico costante/variabile in permeametro	UNI EN ISO 17892-11	3-7
GL21	Determinazione del coefficiente di permeabilità in cella triassiale	UNI EN ISO 17892-11, ASTM D 5084	16
GL22	Prova di consolidazione edometrica (n. 8 incrementi definiti di carico con mantenimento di ogni gradino per un tempo di 24 h) esclusa la determinazione del peso specifico reale (*)	UNI EN ISO 17892-5, ASTM D2435	16
GL23	Determinazione della deformazione di rigonfiamento (ISS) in edometro	ASTM D4546-Metodo A	4
GL24	Determinazione della pressione di rigonfiamento a volume costante (ISP) in edometro	ASTM D4546-Metodo C	5
GL26	Prova di taglio diretto con scatola di Casagrande (3 provini)	UNI EN ISO 17892-10, ASTM D3080	3-5
GL27	Prova di taglio diretto con scatola di Casagrande (3 provini) con misura della resistenza residua con scorrimenti alterni (almeno 6)	UNI CEN ISO 17289-10, ASTM D3080	10-18
GL28	Prova di taglio anulare (app. di Bromhead) con misura della resistenza di picco e residua (3 provini)	UNI EN ISO/17892-10, ASTM D6467	18
GL29	Prova di compressione semplice non confinata (ELL), esclusa la determinazione dell'umidità e peso di volume da determinare a parte	UNI EN ISO 17892-7, ASTM D2166	2
GL30	Prova di compressione triassiale non consolidata non drenata UU (3 provini), esclusa la determinazione del peso specifico reale e la saturazione (*)	UNI EN ISO 17892-8, ASTM D2850	2-3
GL31	Prova di compressione triassiale non consolidata non drenata UU con saturazione preliminare mediante back pressure (3 provini); esclusa la determinazione del peso specifico reale (*)	UNI EN ISO 17892-8, ASTM D2850	4-6
GL32	Prova di compressione triassiale consolidata isotropica non drenata CIU (3 provini) con saturazione preliminare mediante back pressure (3 provini); esclusa la determinazione del peso specifico reale (*)	UNI EN ISO 17892-9, ASTM D7181	10-15
GL33	Prova di compressione triassiale consolidata isotropica drenata CID (3 provini) con saturazione preliminare mediante back pressure (3 provini); esclusa la determinazione del peso specifico reale (*)	UNI EN ISO 17892-9, ASTM D7181	15-20
GL34	Det. dell'indice di portanza CBR in laboratorio (senza imbibizione/con imbibizione)	UNI EN 13286-47, ASTM D1883	2-6
GS06	Det. del peso di volume in sito con volumometro a sabbia diam. 165 mm (escl. tempi di trasferta)	CNR B.U. n. 22	2
GS07	Det. del modulo di deformazione mediante prova di carico con piastra circolare (escl. tempi di trasferta)	CNR B.U. n. 146	2
GS09	Det. dell'indice di portanza CBR in sito (escl. tempi di trasferta)	UNI EN 13286-47	2

(*) La determinazione della massa volumetrica dei granuli solidi (peso specifico reale) è necessaria e non può essere omessa per le seguenti prove: Analisi granulometrica per sedimentazione, Prova di consolidazione edometrica, Prove triassiali s.l..

Gruppo di lavoro tra i laboratori autorizzati della Toscana:

La.G.A.Tos.



Ordine dei Geologi della Toscana

Il Punto

EDITORIALE

Ad alcune settimane dall'insediamento ufficiale del nuovo Consiglio del CNG che ha nominato come Presidente il Dott. Arcangelo Francesco Violo, cui auguriamo buon lavoro per i prossimi 5 anni, vale la pena fare una riflessione sull'affluenza al voto in questa tornata elettorale da parte dei nostri iscritti. Le condizioni per una modesta affluenza c'erano tutte: metodo di voto a dir poco complicato, ritardi del sistema postale nella consegna delle schede, seconda ondata dell'emergenza epidemiologica in corso. Tuttavia, queste condizioni si sono manifestate anche in altre regioni dove invece si sono registrate percentuali di affluenza bulgare, se non nord-coreane, e quindi ritorna in ballo il vecchio ritornello della poca cultura dell'esercizio del diritto di voto, che riecheggia da tanto tempo, qua da noi ed in qualche altra regione del nord Italia. In realtà la democrazia ci piace eccome ed i dati dell'affluenza in Toscana sono il risultato combinato di altri fattori.

Mi soffermo su uno di questi, la partecipazione, che in generale è un concetto molto ampio e complicato da definire, ma non per la lucidità di Giorgio Gaber, che la sovrapponeva al principio più bello, quello di libertà.



RICCARDO MARTELLI
PRESIDENTE DELL'ORDINE
DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA

La partecipazione al voto, come pure alle altre attività della nostra comunità, è un gioco a due e se ad azione non corrisponde reazione, il gioco si inceppa rapidamente. Da sempre lo schema prevede che un giocatore gestisca attività ordinarie di un Ente ed animi tutta una serie di eventi formativi e non; dall'altra c'è un giocatore molto particolare, perché in realtà è un caleidoscopio di vite, di interessi e di professioni, che raramente ha interesse ad affacciarsi sulla pubblica piazza. In questo gioco è ovvio che la prima mossa debba essere compiuta dal primo giocatore, che infatti propone attività formative ed informative, promuove convenzioni, organizza eventi di promozione culturale. La mossa

successiva, quella dell'altro giocatore, non è dovuta (libertà, appunto) e gratifica molto quando c'è. Può darsi che la reazione da parte del secondo giocatore non ci sia poiché la prima mossa è sbagliata o può darsi che la reazione non ci sia perché si pensa che il primo giocatore voglia giocare solo con alcuni. Parliamo di quest'ultimo aspetto.

Le assemblee territoriali, alle quali tutti gli iscritti all'Ordine dei Geologi della Toscana sono sempre inviatati, sono frequentate per la maggior parte da professionisti e naturalmente la discussione verte, e talvolta ristagna, su determinati argomenti. Sarebbe interessante per tutti, ad esempio, poter discutere della vita professionale dei colleghi che lavorano negli enti pubblici, nell'industria, colleghi che insegnano, colleghi che ormai hanno abbandonato l'attività lavorativa e si godono una meritata pensione. Ma è necessario che questi temi vengano posti, è necessario che questi colleghi si affaccino o scendano in questa piazza, che riprendano il contatto vivo con il nostro Ordine che, per statuto, cura l'aggiornamento dell'Albo e tutela la figura del Geologo, non è il sindacato dei professionisti o la sommatoria di tanti Geologi, è la comunità di quelli

che hanno messo le Scienze della Terra al centro o accanto ai propri interessi.

Se ad azione corrisponderà reazione, se il gioco a due prenderà vigore, questa comunità si animerà ulteriormente, sarà un arricchimento per tutti noi e ne beneficerà anche la partecipazione al voto. Peraltro, proprio in questi giorni è in corso la stesura da parte del CNG del regolamento per le modalità di voto elettronico per i rappresentanti di Consiglio Nazionale dei Geologi e ordini territoriali, introdotta dal uno dei tanti DPCM che sono stati varati negli ultimi mesi. Sicuramente queste nuove modalità, molto più semplici rispetto a quelle con cui si è votato all'ultima tornata, porteranno una maggiore affluenza al voto, ma la vera differenza la farà solo e soltanto una partecipazione nuova alla nostra comunità da parte di tutti.

E proprio come rappresentante di questa comunità voglio chiudere questo editoriale e questo 2020 stringendomi ai familiari delle colleghe e dei colleghi che sono stati portati via dalla nostra piazza da questa terribile pandemia, alla loro memoria sarà dedicata la prossima Assemblea Annuale degli Iscritti.

TECNA Srl

Via Achille Grandi, 51 - 52100 AREZZO - tel 0575 323501, fax 0575 1979797, cell: 335 1020000, e-mail: tecna@geognostica.it

AUTORIZZAZIONE MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI AD EFFETTUARE E CERTIFICARE PROVE GEOTECNICHE SUI TERRENI N. 4542 DEL 13/04/2012

Perforazioni a carotaggio con distruzione di nucleo

Perforazioni a carotaggio continuo

Carotaggio continuo di tipo ambientale

Prelievo campioni indisturbati

Prove permeabilità Lefranc

Prove permeabilità Lugeon

Pozzi per acqua

Installazione tubi inclinometrici

Installazione tubi per down-hole

ANISIG
Associazione Nazionale
Imprese Specializzate
in Indagini Geognostiche

CQOP SOA
CONTRATTORI QUALIFICATI OPERE PUBBLICHE
OS 21 : I OS 20-B : I
Attestazione : 47737 / 10 / 00



Numero Verde
800 102000

Tiranti a trefoli ed in barre, ancoraggi

Micropali e pali di sottofondazione

Prove scissometriche VBT

Prove Penetrometriche statiche CPT

Prove Penetrometriche statiche CPTE

Prove Penetrometriche statiche CPTU

Prove penetrometriche dinamiche SPT

Prove penetrometriche dinamiche DPSH

Prove con dilatometro piatto Marchetti DMT

NOTA A CURA DEL COORDINATORE DI REDAZIONE



Ordine dei
Geologi della Toscana

ALESSANDRO DANESI
COORDINATORE
DI REDAZIONE

Care colleghe, Cari colleghi,

in questo numero continua la scelta editoriale di pubblicare le tesi vincitrici o menzionate per il premio Giuntini 2020.

Questi articoli scientifici sono, a nostro avviso, di grande interesse e creano un ritorno sia per la nostra rivista sia per i giovani ricercatori che vedono pubblicato il frutto del loro lavoro.

Inoltre, pubblichiamo un interessante articolo che si occupa del monitoraggio delle acque sotterranee nei procedimenti di autorizzazione ambientale, altro tema di sicuro interesse per i Geologi. Questo articolo fa parte di una serie di documenti editi in cooperazione da Arpat che ci auguriamo possano essere spunto di riflessione e approfondimento per i

Geologi che si occupano di acque sotterranee, sia nella libera professione che nello svolgimento della funzione pubblica.

Aspettiamo da parte dei lettori eventuali contenuti editoriali o multimediali che vogliano condividere con tutti i colleghi, consapevoli che per la crescita di questa nostra rivista siano necessari l'aiuto e la spinta di una intera categoria.

Nell'inviarvi i miei più sinceri auguri per queste festività 2020 e auspicando un 2021 di rinascita sia economica che sociale, vi auguro una buona lettura da parte di tutto il comitato elettorale.





FABRIZIO FRANCESCHINI

AGENZIA REGIONALE
PROTEZIONE AMBIENTALE
DELLA TOSCANA (ARPAT),
DIPARTIMENTO DI PISA,
VIA VITTORIO VENETO 27
56127 PISA



ANITA BONFANTI

DIPARTIMENTO INGEGNERIA
DELL'AMBIENTE, DEL TERRITORIO
E DELLE INFRASTRUTTURE,
POLITECNICO DI TORINO,
CORSO DUCA DEGLI ABRUZZI
10129 TORINO

Il monitoraggio delle acque sotterranee nei procedimenti di autorizzazione ambientale

1.0 Premessa

E' indubbio il fatto che suolo, sottosuolo e acque sotterranee sono matrici ambientali per le quali, in sede di autorizzazione di qualsiasi attività produttiva, deve essere effettuata una valutazione dei potenziali impatti ed eventualmente previsti adeguati interventi di mitigazione dei rischi e la messa in opera di efficaci sistemi di controllo e monitoraggio. Come per le altre matrici ambientali oggetto di valutazione nel campo delle autorizzazioni ambientali (acque superficiali, atmosfera, clima acustico etc.), le matrici suolo, sottosuolo e acque sotterranee necessitano di un background di conoscenze di base sito-specifiche senza le quali non è possibile effettuare le opportune valutazioni circa il loro stato di qualità ed identificare le eventuali alterazioni quali-quantitative indotte dalle attività antropiche. In questo campo la normativa europea e nazionale risulta essere molto in ritardo rispetto ad altre matrici ambientali ed è quindi indispensabile, anche in ragione dell'importanza che hanno suolo, sottosuolo e acque sotterranee nel sostentamento degli ecosistemi e nello sviluppo economico sostenibile, l'adozione di misure idonee alla loro protezione e salvaguardia per gli usi legittimi attuali e delle prossime generazioni. Il presente documento, frutto di un'esperienza acquisita in 15 anni di

attività di supporto tecnico nel rilascio delle autorizzazioni ambientali in provincia di Pisa, costituisce una proposta operativa per tutti gli Enti istruttori delle pratiche autorizzative e a quelli adibiti ai controlli sulle attività produttive nell'ambito della matrice acque sotterranee.

2.0 Introduzione

Le acque sotterranee (AS) costituiscono la più ampia riserva mondiale di acque dolci, rappresentando la principale risorsa per l'uso idropotabile, per l'industria e per l'agricoltura, oltre ad avere un importante ruolo nel ciclo idrogeologico e di sussistenza degli ecosistemi terrestri. Infatti, già prima degli anni novanta del secolo scorso, le AS, nell'ambito della Comunità Europea, erano state incorporate nel sistema di gestione delle risorse idriche e con le direttive successive (2000/60/EC e 2006/118/EC) si

evidenzia l'importanza di limitare il loro deterioramento, avendo come obiettivo il mantenimento di un buono stato quantitativo e qualitativo a lungo termine.

Le AS vengono definite dall'art.74 comma 1, lettera l del D.lgs n.152/2006 come "tutte le acque che si trovano al di sotto della superficie del suolo, nella zona di saturazione e in diretto contatto con il suolo e il sottosuolo". Tale definizione comprende sia i corpi acquiferi oggetto di sfruttamento (Corpi Idrici Significativi, CSI) sia tutte le restanti acque facenti parte del complesso delle acque di saturazione del sottosuolo anche non soggette a flusso di massa (acquicludo). Ovviamente solo in presenza di flusso idrico un contaminante può migrare in maniera significativa all'interno della zona satura ed è quindi ai corpi idrici (acquiferi) e agli aquitardi che normalmente si concentrano le attenzioni sullo stato di qualità ambientale.

K (m/s)		Acquiferi				Acquitardi			Acquiclude			
		10 ¹	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
GRANULOMETRIA	omogenea	Ghiaia		Sabbia		Sabbia molto fine		Silt		Argilla		
	varia	Ghiaia grossa e media		Ghiaia e sabbia		Sabbia e argilla						
GRADI DI PERMEABILITA'		ELEVATA				BASSA			NULLA			
TIPI DI FORMAZIONI		PERMEABILI				SEMI-PERM.			IMPERM.			

Di Molfetta & Sethi 2012, Modificato.

In generale, la contaminazione delle acque sotterranee deriva dal trasferimento, diretto o ad opera di acque meteoriche o di infiltrazione, di sostanze inquinanti che sono presenti sul o nel suolo, e trasportate, sotto l'effetto della forza di gravità, nella zona satura. Il trasferimento avviene tramite il fenomeno della percolazione attraverso la zona insatura compresa tra la superficie e il livello piezometrico (livello freatico). Nel suo percorso le sostanze contaminanti interagiscono con il terreno tramite dei processi chimico-fisici che dipendono dalle caratteristiche delle sostanze e dalle caratteristiche della zona insatura e dell'acquifero. A causa delle diverse conformazioni degli acquiferi la veicolazione delle sostanze può risultare non uniforme dipendendo molto dalla scala con la quale si effettuano le osservazioni; una scala microscopica attinente alla struttura del mezzo poroso e una scala macroscopica attinente alle caratteristiche stratigrafiche e giaciture delle formazioni geologiche (Freeze and Cherry, 1979; Civita, 2005). Questa eterogeneità può rendere molto complicato individuare la sorgente di contaminazione in tempi brevi per poter contenere il conseguente danno ambientale dell'immissione di un contaminante in ambiente sotterraneo. Questo è il motivo per cui è importante identificare quanto prima le sorgenti di contaminazioni occulte in modo da evitare lo sviluppo di contaminazioni troppo estese per poter essere trattate.

Il processo di trasporto e propagazione degli inquinanti nelle AS può avvenire tramite diversi fenomeni di tipo biologico, idrologico o chimico (Fetter et. Alii 2017; Francani, 2014). Ad esempio nei terreni a bassa permeabilità (argille e limi) il trasferimento è molto lento e avviene soprattutto per diffusione mentre in presenza di terreni permeabili (ghiaie e sabbie o rocce fratturate) il trasferimento avviene essenzialmente per advezione con la formazione di un pennacchio lungo la direzione di scorrimento delle acque e con velocità di trasferimento dei contaminanti anche molto elevate. I contaminanti, in base alle densità delle sostanze e alle caratteristiche di permeabilità e giacitura dell'acquifero, possono diffondersi a diverse profondità della zona satura.

Nell'ambito degli studi finalizzati alla ricostruzione dei fenomeni di contaminazione delle acque sotterranee è evidente l'importanza di acquisire una conoscenza accurata delle caratteristiche principali del corpo idrico e delle caratteristiche chimico-fisiche delle sostanze inquinanti presenti. Tali conoscenze permettono di definire un modello idrogeologico di propagazione della sostanza che facilita l'identificazione del suo percorso e della sorgente primaria di contaminazione. L'obiettivo di avere un buono stato qualitativo e quantitativo delle AS deve necessariamente essere perseguito tramite la prevenzione di ulteriori diffusioni delle sostanze inquinanti e del loro trasporto nel suolo e nelle acque sotterranee. Ciò è reso possibile da un puntuale e diffuso monitoraggio dei potenziali punti di rilascio di contaminanti così da poter agire rapidamente in caso di anomalie, prevenendo l'instaurarsi di contaminazioni estese. Proprio la mancanza nel passato di un sistematico ed efficace controllo dello stato qualitativo delle acque sotterranee ha impedito interventi rapidi di rimozione delle sorgenti di contaminazione attive trasformando vaste porzioni dei principali acquiferi toscani in zone a inquinamento diffuso dove risulta estremamente complesso qualsiasi intervento di recupero per gli utilizzi più pregiati.

3.0 Le autorizzazioni ambientali

La parte seconda del D.lgs 3 aprile 2006, n. 152, conosciuto anche come Codice dell'ambiente, reca le "Procedure per la Valutazione Ambientale Strategica (VAS), per la Valutazione d'Impatto Ambientale (VIA) e per l'autorizzazione integrata ambientale (IPPC)". Trattasi di procedure di valutazione cui possono essere sottoposti piani, programmi o progetti di opere aventi impatti sull'ambiente, al fine di assicurare che "l'attività antropica sia compatibile con le condizioni per uno sviluppo sostenibile, e quindi nel rispetto della capacità rigenerativa degli ecosistemi e delle risorse, della salvaguardia della biodiversità e di un'equa distribuzione dei vantaggi connessi all'attività economica" (art. 4, D.lgs n.152/2006).

In tale ambito:

- 1) la valutazione ambientale di piani e programmi che possono avere un impatto significativo sull'ambiente ha la finalità di garantire un elevato livello di protezione dell'ambiente e di contribuire all'integrazione di considerazioni ambientali all'atto dell'elaborazione, dell'adozione e dell'approvazione di detti piani e programmi assicurando che siano coerenti e contribuiscano alle condizioni per uno sviluppo sostenibile;
- 2) la valutazione ambientale dei progetti ha inoltre la finalità di proteggere la salute umana, contribuire con un migliore ambiente alla qualità della vita, provvedere al mantenimento delle specie e conservare la capacità di riproduzione dell'ecosistema in quanto risorsa essenziale per la vita. A questo scopo essa individua, descrive e valuta, in modo appropriato, per ciascun caso particolare e secondo le disposizioni del Codice dell'ambiente, gli impatti diretti e indiretti di un progetto sui seguenti fattori:
 - a) l'uomo, la fauna e la flora;
 - b) il suolo, l'acqua, l'aria e il clima;
 - c) i beni materiali ed il patrimonio culturale;
 - d) l'interazione tra i fattori di cui sopra.

In generale per " *impatto ambientale* " s'intende " *l'alterazione qualitativa e/o quantitativa, diretta ed indiretta, a breve e a lungo termine, permanente e temporanea, singola e cumulativa, positiva e negativa dell'ambiente, inteso come sistema di relazioni fra i fattori antropici, naturalistici, chimico-fisici, climatici, paesaggistici, architettonici, culturali, agricoli ed economici, in conseguenza dell'attuazione sul territorio di piani o programmi o di progetti nelle diverse fasi della loro realizzazione, gestione e dismissione, nonché di eventuali malfunzionamenti* " (art.5, comma 1, lett. c), D.lgs 152/2006). Oltre alla normativa nazionale, per una completa comprensione dell'argomento, è da tenere presente la normativa regionale in materia che riveste importanza rilevante per quanto riguarda la regolamentazione del sistema delle autorizzazioni ambientali.

3.1 La Valutazione Ambientale Strategica (VAS)

La Valutazione Ambientale Strategica (VAS) riguarda i piani e i programmi che possono avere impatti significativi sull'ambiente e sul patrimonio culturale (art. 6, comma 1, D.lgs 152/2006). In particolare, la valutazione di tipo strategico si propone di verificare che gli obiettivi individuati nei piani e nei programmi siano coerenti con quelli propri dello sviluppo sostenibile, e che le azioni previste nella struttura degli stessi siano idonee al loro raggiungimento. Deve essere effettuata la valutazione per la realizzazione dei progetti elencati negli Allegati II (*"Progetti di competenza statale"*), III (*"Progetti di competenza delle regioni e delle province autonome di Trento e Bolzano"*) e IV (*"Progetti sottoposti alla Verifica di assoggettabilità di competenza delle regioni e delle province autonome di Trento e Bolzano"*) alla Parte Seconda del Codice dell'ambiente.

Il concetto di *"impatto significativo"* non è quello caratterizzato da connotazioni negative in termini di alterazioni delle valenze ambientali, ma è quello ricavabile dalla citata definizione di impatto ambientale contenuta nella lettera c) del citato art. 5, D.lgs n. 152/2006, per cui la VAS va eseguita in tutti i casi di interazione (anche positiva) tra l'attività pianificatoria e le componenti ambientali. La VAS costituisce pertanto un provvedimento basato sulla rivisitazione critica del rapporto tra pianificazione paesistica e governo del territorio, nonché sul parziale superamento della concezione solo conservativa del paesaggio e sul riconoscimento del paesaggio come risorsa per lo sviluppo.

Per i piani e i programmi che determinano l'uso di piccole aree a livello locale e per le modifiche minori dei suddetti piani e dei programmi, la valutazione ambientale risulta necessaria qualora l'autorità competente valuti che producano impatti significativi sull'ambiente e tenuto conto del diverso livello di sensibilità ambientale dell'area oggetto di intervento.

Il comma 4 dell'art. 6 del Codice dell'ambiente individua i piani e i programmi esclusi dalla disciplina sulla VAS tra cui:

- a) piani e programmi destinati esclusivamente a scopi di difesa nazionale;
- b) piani di protezione civile in caso di pericolo per l'incolumità pubblica;
- c) piani di gestione forestale o strumenti equivalenti.

L'approvazione di piani e programmi sottoposti a VAS in sede statale è di competenza degli organi dello Stato, mentre per la VAS regolamentata dalle disposizioni delle leggi regionali sono competenti le Regioni e le Province autonome o gli enti locali (art. 7).

La normativa in materia di VAS prevede inoltre un procedimento più snello per modifiche minori: (vedi art. 12, D.lgs n. 152/2006, verifica di assoggettabilità a VAS).

3.2 La Valutazione di Impatto Ambientale (VIA)

La Valutazione d'Impatto Ambientale (VIA) è una procedura amministrativa finalizzata ad individuare, descrivere e valutare preventivamente gli impatti sull'ambiente prodotti dall'attuazione di un determinato progetto: la valutazione di tale compatibilità ambientale è svolta dalla pubblica amministrazione, in base alle informazioni fornite dal proponente del progetto, nonché alla consulenza da parte di altre strutture della pubblica amministrazione e avvalendosi della partecipazione dei gruppi sociali.

La procedura di VIA è un insieme di:

- dati tecnico-scientifici sullo stato, la struttura ed il funzionamento dell'ambiente;
- dati sulle caratteristiche economiche e tecnologiche dei progetti;
- previsioni sul comportamento dell'ambiente e sulle interazioni tra progetto e componenti ambientali;
- procedure tecnico-amministrative;
- istanze partecipative e decisionali;
- sintesi e confronto fra il costo del progetto e dei suoi impatti ed i benefici diretti/indiretti del progetto.

Nella VIA sono valutati e computati impatti ambientali diretti o indiretti, a breve o lungo termine, permanenti o temporanei, singoli o cumulativi relativi ad una determinata opera che si intende realizzare.

La VIA viene effettuata considerando i seguenti fattori ambientali (anche in correlazione tra di loro):

- essere umano, fauna e flora;
 - suolo, acqua, aria, fattori climatici e paesaggio;
 - beni materiali e patrimonio culturale,
- e comprende;
- a) lo svolgimento di una verifica di assoggettabilità;
 - b) la definizione dei contenuti dello studio di impatto ambientale;
 - c) la presentazione e la pubblicazione del progetto;
 - d) lo svolgimento di consultazioni;
 - e) la valutazione dello studio ambientale e degli esiti delle consultazioni;
 - f) la decisione;
 - g) l'informazione sulla decisione;
 - h) il monitoraggio ambientale.

La normativa in materia di VIA, per nuovi progetti o modifiche non sostanziali di attività esistenti, prevede un procedimento più snello (art. 19, D.lgs n.152/2006) definito Verifica di assoggettabilità a VIA. In tale procedimento si valuta l'entità degli impatti previsti e se essi sono ben definiti, insieme alle loro opportune misure di mitigazione, il procedimento si conclude positivamente. Le attività che ne sono soggette sono elencate nell'allegato IV Parte seconda del D.Lgs 152/06 - *Progetti sottoposti alla Verifica di assoggettabilità di competenza delle regioni.*

3.3 Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) e Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA)

L'IPPC (*Integrated Pollution Prevention and Control*) è una strategia comune a tutta l'Unione Europea e volta ad aumentare le *"prestazioni ambientali"* dei complessi industriali soggetti ad autorizzazione.

I principi generali alla base dell'IPPC sono i seguenti:

- prevenire l'inquinamento utilizzando le migliori tecniche disponibili;
- evitare fenomeni di inquinamento significativi;
- evitare la produzione di rifiuti o, ove ciò non sia possibile, favorirne il recupero o l'eliminazione;
- favorire un utilizzo efficace dell'energia;
- organizzare il monitoraggio in modo integrato;
- prevenire gli incidenti e limitarne le conseguenze;

- favorire un adeguato ripristino del sito al momento della cessazione definitiva dell'attività.

Le Direttive 1996/61/CE e 2010/75/CE (Industrial Emission Directive) in materia di IPPC sono state recepite nell'ordinamento giuridico italiano rispettivamente con il D.lgs n. 59/2005 e il D.lgs n. 46/2014, aventi per oggetto la prevenzione e la riduzione integrata dell'inquinamento al fine di ottenere un elevato livello di protezione dell'ambiente. Con il D.lgs 29 giugno 2010, n.128 la disciplina relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento è stata assorbita nel D.lgs n.152/2006.

Successivamente il D.lgs n. 46/2014 di recepimento della direttiva IED ha ampiamente modificato il testo originario e pertanto l'attuale riferimento normativo in materia è costituito dal Titolo III-*bis* della Parte Seconda del Codice dell'ambiente. L'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA) è il provvedimento che autorizza l'esercizio di un impianto o di parte di esso a determinate condizioni, che devono garantire la conformità ai requisiti di cui alla Parte Seconda del Codice dell'ambiente, come modificato dal D.lgs n. 128/2010, che costituisce il recepimento della Direttiva 2008/1/CE sulla prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento (IPPC).

L'AIA è rilasciata per le seguenti categorie di attività:

- attività energetiche;
- produzione e trasformazione dei metalli;
- industria dei prodotti minerali;
- industria chimica;
- gestione dei rifiuti;
- altre (cartiere, allevamenti, macelli, industrie alimentari, concerie, ecc.).

L'elenco delle varie tipologie di attività sottoposte a AIA è riportato nell'Allegato VIII alla Parte Seconda del D.lgs n.152/2006 ed è funzione dell'entità della produzione operata dall'impianto.

3.4 Autorizzazione Unica Ambientale (AUA)

Per gli impianti produttivi, piccole e medie imprese, che non rientrano tra quelli soggetti ad AIA, le autorizzazioni ambientali sono ricomprese nell'Autorizzazione unica ambientale (AUA), introdotta nell'ordinamento giuridico italiano dal D.P.R. n.13 marzo 2013, n. 59 e che incorpora in un unico

titolo diverse autorizzazioni e titoli ambientali (non edilizi) previsti dalla normativa di settore (come il D.lgs n.152/2006), in un'ottica di snellimento delle procedure amministrative vigenti.

Il D.P.R. n. 59/2013 individua infatti un nucleo base di sette autorizzazioni che possono essere assorbite dall'AUA:

- autorizzazione agli scarichi (Capo II, Titolo IV, Sezione II, Parte III, D.lgs n. 152/2006);
- comunicazione preventiva (art. 112, D.lgs n. 152/2006) per l'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento, delle acque di vegetazione dei frantoi oleari e delle acque reflue provenienti dalle aziende ivi previste (aziende di cui all'art. 101, comma 7, lettere a), b, c) e piccole aziende agroalimentari);
- autorizzazione alle emissioni in atmosfera in procedura ordinaria (art. 269, D.lgs n. 152/2006);
- autorizzazione alle emissioni in atmosfera in Via Generale – AVG (art. 272, D.lgs n. 152/2006);
- comunicazione o nulla osta in materia di impatto acustico (art. 8, commi 4 e 6, L. 26 ottobre 1995, n. 447);
- autorizzazione all'utilizzo dei fanghi derivanti dal processo di depurazione in agricoltura (art. 9, D.lgs 27 gennaio 1992, n. 99);
- comunicazioni per l'esercizio in procedura semplificata di operazioni di autosmaltimento di rifiuti non pericolosi (art. 215, D.L.vo n. 152/2006) e di recupero di rifiuti, pericolosi e non pericolosi (art. 216, D.L.vo n. 152/2006).

A queste autorizzazioni si aggiungono gli altri titoli e permessi eventualmente individuati da fonti normative di Regioni e Province autonome.

Tale autorizzazione può essere richiesta al SUAP di competenza dalle piccole e medie imprese come definite dal D.M. 18 aprile 2005, nonché per per gli impianti non soggetti alla disciplina dell'AIA e per i progetti non sottoposti a VIA.

La richiesta deve avvenire in occasione della scadenza del primo titolo abilitativo sostituito dall'AUA, e l'autorizzazione, una volta concessa, ha durata di quindici anni. Tuttavia, in caso di attività di scarichi di sostanze pericolose (art. 108, D.lgs n. 152/2006), i gestori degli impianti almeno ogni 4

anni dovranno presentare una dichiarazione di autocontrollo all'Autorità competente.

3.5 Le autorizzazione per gli impianti di gestione dei rifiuti

In riferimento alle autorizzazioni degli impianti di gestione dei rifiuti, per i nuovi impianti di smaltimento o di recupero dei rifiuti, anche pericolosi, con l'art. 208 del D.lgs n.152/2006 viene indicata la procedura per l'autorizzazione unica ambientale, eccetto per quelli che rientrano nell'elenco degli impianti sottoposti ad AIA o soggetti a verifica di assoggettabilità alla Valutazione di Impatto Ambientale (VIA). Secondo il disposto dell'art. 208, Dlgs n.152/2006, i soggetti che intendano realizzare e gestire nuovi impianti di smaltimento o di recupero di rifiuti, anche pericolosi, devono presentare apposita domanda alla Regione competente per territorio allegando:

- il progetto definitivo dell'impianto, nonché;
- la documentazione tecnica prevista per la realizzazione del progetto stesso dalle disposizioni vigenti in materia urbanistica, di tutela ambientale, di salute e sicurezza sul lavoro e di igiene pubblica.

Ove invece l'impianto debba essere sottoposto alla procedura VIA, alla domanda è altresì allegata la comunicazione del progetto all'autorità competente.

Per gli impianti rientranti nel campo di applicazione del D.lgs n.46/2014 sulla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento, restano ferme le relative disposizioni e l'AIA sostituisce l'autorizzazione ex art.208.

Entro trenta giorni dal ricevimento della domanda, la Regione è tenuta ad individuare il responsabile del procedimento e a convocare apposita Conferenza di Servizi, alla quale partecipano i responsabili degli Uffici regionali competenti e i rappresentanti delle autorità d'ambito e degli enti locali sul cui territorio è realizzato l'impianto, unitamente al richiedente l'autorizzazione o un suo rappresentante al fine di acquisire documenti, informazioni e chiarimenti. Entro novanta giorni dalla sua convocazione, la Conferenza di Servizi:

- a) procede alla valutazione dei progetti;

b) acquisisce e valuta tutti gli elementi relativi alla compatibilità del progetto con i criteri che devono ispirare la gestione dei rifiuti (in particolare, gestione senza pericolo per la salute dell'uomo e senza l'utilizzo di procedimenti o metodi che potrebbero recare pregiudizio all'ambiente);

c) acquisisce, ove previsto dalla normativa vigente, la valutazione di compatibilità ambientale;

d) trasmette le proprie conclusioni con i relativi atti alla Regione. Entro 30 giorni dal ricevimento delle conclusioni della Conferenza dei Servizi la Regione, in caso di valutazione positiva del progetto, autorizza la realizzazione e la gestione dell'impianto. È importante notare che l'approvazione sostituisce ad ogni effetto visti, pareri, autorizzazioni e concessioni di organi regionali, provinciali e comunali, ed altresì costituisce, ove occorra, variante allo strumento urbanistico, nonché comporta la dichiarazione di pubblica utilità, urgenza ed indifferibilità dei lavori.

L'autorizzazione regionale sopra citata contiene almeno i seguenti elementi:

- a) i tipi ed i quantitativi di rifiuti che possono essere trattati;
- b) per ciascun tipo di operazione autorizzata, i requisiti tecnici con particolare riferimento alla compatibilità del sito, alle attrezzature utilizzate, ai tipi ed ai quantitativi massimi di rifiuti e alla modalità di verifica, monitoraggio e controllo della conformità dell'impianto al progetto approvato;
- c) le misure precauzionali e di sicurezza da adottare;
- d) la localizzazione dell'impianto autorizzato;
- e) il metodo da utilizzare per ciascun tipo di operazione;
- f) le disposizioni relative alla chiusura e agli interventi ad essa successivi che si rivelino necessarie;
- g) le garanzie finanziarie richieste;
- h) la data di scadenza dell'autorizzazione: a tal proposito si evidenzia che l'autorizzazione è concessa per un periodo di dieci anni ed è rinnovabile. Le prescrizioni dell'autorizzazione possono essere peraltro modificate, prima del termine di scadenza e dopo almeno cinque anni dal rilascio, nel caso di condizioni di criticità ambientale, tenendo conto dell'evoluzione delle

- i) i limiti di emissione in atmosfera per i processi di trattamento termico dei rifiuti, anche accompagnati da recupero energetico.

Con specifico riferimento al caso degli impianti mobili di smaltimento o di recupero, esclusi gli impianti mobili che effettuino la disidratazione dei fanghi generati da impianti di depurazione e reimmettano l'acqua in testa al processo depurativo presso il quale operano, ed esclusi i casi in cui si provveda alla sola riduzione volumetrica e separazione delle frazioni estranee, si segnala che i medesimi sono autorizzati, in via definitiva, dalla Regione ove l'interessato ha la sede legale o la Società straniera proprietaria dell'impianto ha la sede di rappresentanza. Per lo svolgimento delle singole campagne di attività sul territorio nazionale l'interessato, almeno sessanta giorni prima dell'installazione dell'impianto, deve comunicare alla Regione nel cui territorio si trova il sito prescelto le specifiche dettagliate relative alla campagna di attività, allegando l'autorizzazione di cui sopra e l'iscrizione all'Albo nazionale gestori ambientali, nonché l'ulteriore documentazione richiesta. La Regione può adottare prescrizioni integrative oppure può vietare l'attività con provvedimento motivato qualora lo svolgimento della stessa nello specifico sito non sia compatibile con la tutela dell'ambiente o della salute pubblica.

Tale normativa trova invece applicazione in caso di realizzazione di varianti sostanziali in corso d'opera o di esercizio che comportino modifiche a seguito delle quali gli impianti non sono più conformi all'autorizzazione rilasciata *ab origine*.

4.0 La normativa sulle acque sotterranee

4.1 Introduzione

Il quadro normativo per la protezione e conservazione delle acque sotterranee ha come origine e principali riferimenti la direttiva 2000/60/CE (*Direttiva Quadro sulle Acque*) che introduce le linee comuni per gli Stati membri per la predisposizione di un sistema unitario di protezione, salvaguardia e

difesa per tutte le tipologie di acque dell'idrosfera. La direttiva 2000/60/CE è stata recepita dall'Italia nella Parte Terza del D.lgs n.152/2006.

Successivamente è stata promulgata la direttiva 2006/118/CE, specifica per le acque sotterranee, recepita in Italia con il D.lgs n. 30/2009 ed ampiamente inserita nel D.lgs n. 152/2006 che va a modificarsi sostanzialmente riguardo alla caratterizzazione e l'individuazione dei corpi idrici sotterranei. Dal D.lgs n. 30/2009, Art. 4, comma 3. *"I corpi idrici sotterranei sono assoggettati al monitoraggio da effettuare secondo i criteri riportati all'Allegato 4, al fine di acquisire i dati di monitoraggio rappresentativi per una conoscenza corretta e complessiva dello stato chimico delle acque sotterranee."* L'obiettivo comune è quello di raggiungere un buono stato chimico e quantitativo a lungo termine delle acque nel territorio europeo. Con la direttiva 2006/118/CE vengono introdotte nuove misure specifiche finalizzate a prevenire, individuare e limitare le immissioni di contaminanti, tramite la definizione dei limiti di qualità (valori soglia e standard di qualità ambientale) e con l'identificazione del monitoraggio alla base della prevenzione, su cui possono essere effettuati studi e definiti interventi per attuare il miglioramento dello stato chimico delle acque sotterranee.

Il monitoraggio di base viene effettuato dalle Regioni e riguarda i principali corpi idrici sotterranei (CSI) identificati secondo specifici criteri idrogeologici e di valutazione del rischio di contaminazione. Annualmente ogni regione produce *reports* specifici con i risultati del monitoraggio classificando lo stato di qualità dei corpi idrici sotterranei. Per valutare la qualità delle acque sotterranee, la vigente normativa nazionale indica dei limiti assoluti, definiti come Concentrazioni soglia di contaminazione (CSC, tabella 2, all.5 della Parte Quarta, Titolo V del Dlgs n.152/2006), o come limiti di riferimento meglio noti come Valori Soglia (VS, tabella 3, parte A, all.5 Dlgs n.30/09).

4.2 Le acque sotterranee e l'AIA

Il recepimento della direttiva 2010/75/UE, con il Dlgs n.46/2014, porta alla modifica dell'art. 29 sexies del Dlgs n.152/2006 introducendo

l'obbligo per le aziende soggette ad AIA ad effettuare il monitoraggio delle acque sotterranee:

“comma 3-bis. L'autorizzazione integrata ambientale contiene le ulteriori disposizioni che garantiscono la protezione del suolo e delle acque sotterranee, le opportune disposizioni per la gestione dei rifiuti prodotti dall'impianto e per la riduzione dell'impatto acustico, nonché disposizioni adeguate per la manutenzione e la verifica periodiche delle misure adottate per prevenire le emissioni nel suolo e nelle acque sotterranee e disposizioni adeguate relative al controllo periodico del suolo e delle acque sotterranee in relazione alle sostanze pericolose che possono essere presenti nel sito e tenuto conto della possibilità di contaminazione del suolo e delle acque sotterranee presso il sito dell'installazione”.

“comma 6-bis. Fatto salvo quanto specificato nelle conclusioni sulle BAT applicabili, l'autorizzazione integrata ambientale programma specifici controlli almeno una volta ogni cinque anni per le acque sotterranee e almeno una volta ogni dieci anni per il suolo, a meno che sulla base di una valutazione sistematica del rischio di contaminazione non siano state fissate diverse modalità o più ampie frequenze per tali controlli.”

Le reti di monitoraggio installate in ottemperanza a tale previsione normativa integrano le informazioni già disponibili sui corpi idrici sotterranei e provenienti dai monitoraggi regionali permettendo una efficace ricostruzione delle caratteristiche idrogeochimiche di tutte le acque sotterranee fornendo un formidabile strumento di conoscenza di questa matrice ambientale.

Come è noto per le installazioni AIA, in riferimento al monitoraggio del suolo e delle acque sotterranee, sono due i principali riferimenti normativi di cui tenere conto:

- A l'applicazione del nuovo DM 95/2019 (Relazione di Riferimento) che disciplina le modalità con cui deve essere verificata la necessità del monitoraggio, prende in esame le sole sostanze pericolose ai sensi del CLP (art. 29-sexies, comma 3-bis);
- B la previsione contenuta all'art. 29-sexies, comma 6-bis precedentemente citato riguardo al

monitoraggio di suolo e acque sotterranee, con riferimento a tutte le sostanze potenzialmente in grado di contaminare le acque (non solo le pericolose).

Le due previsioni normative non sono state adeguatamente coordinate tra loro ed essendo suscettibili di interpretazioni contrastanti sono oggetto di approfondimento anche da parte del Comitato di Coordinamento Nazionale IPPC (seduta del dicembre 2018), che ancora però non è pervenuto a valutazioni conclusive. In questo contributo preme evidenziare come le due discipline non siano in contrasto tra loro, completandosi a formare un unicum normativo nell'ambito della protezione sullo stato di qualità delle acque sotterranee.

4.3 La Relazione di Riferimento

La Relazione di Riferimento (RdR) è il documento che attesta lo stato qualitativo delle matrici ambientali suolo e acque sotterranee, coinvolte dalle attività produttive oggetto di AIA (*“E' necessario assicurare che l'esercizio di un'installazione non comporti un deterioramento della qualità del suolo e delle acque sotterranee...”*) punto 23 alle premesse della direttiva 2010/75/CE (direttiva IED).

La RdR è introdotta nella normativa relativa al rilascio delle autorizzazioni ambientali in forza dell'art.28 sexies, comma 9 sexies del D.lgs n.152/2006 come modificato dal D.lgs n.46/2015. Dopo una prima versione di regolamento attuativo (D.M. n.272/2014) annullata dal TAR Lazio a seguito della sentenza n.11452 del 20/11/2017 è stata recentemente emanata la versione attualmente in vigore di tale regolamento (D.M. n. 95/2019).

Nel documento RdR devono essere riportate tutte le informazioni acquisite nel tempo e per scopi diversi relative allo stato di qualità di suolo e acque sotterranee: Al punto 24 alle premesse della direttiva 2010/75/CE si legge: *“Al fine di assicurare che l'esercizio di un'installazione non comporti un deterioramento della qualità del suolo e delle acque sotterranee è necessario stabilire lo stato di contaminazione del suolo e delle acque sotterranee attraverso una relazione di riferimento.... La relazione di riferimento dovrebbe pertanto contenere informazioni che si*

avvalgono dei dati esistenti sulle misurazioni effettuate sul suolo e sulle acque sotterranee, nonché dei dati storici relativi agli usi passati del sito.”

Lo stato qualitativo delle matrici ambientali suolo e acque sotterranee deve essere definito in corrispondenza di tutti i *“centri di pericolo”* come definiti all'art.2, comma c) del D.M. n.95/2019.

Nel caso in cui i dati disponibili non siano ritenuti sufficienti alla definizione di tale stato qualitativo è necessario integrare tali dati con ulteriori misurazioni da aggiornare periodicamente.

Obiettivo ultimo del documento RdR è quello di rappresentare lo strumento di valutazione, al momento della chiusura delle attività produttive e dismissione del sito, delle passività ambientali indotte sulle matrici ambientali suolo e acque sotterranee con conseguente quantificazione e realizzazione delle opere di ripristino/compensazione. L'art.22 della direttiva IED dice: *“La relazione di riferimento contiene le informazioni necessarie per determinare lo stato di contaminazione del suolo e delle acque sotterranee al fine di effettuare un raffronto in termini quantitativi con lo stato al momento della cessazione definitiva delle attività ai sensi del paragrafo 3.”* Al paragrafo 3 si legge: *“Al momento della cessazione definitiva delle attività, il gestore valuta lo stato di contaminazione del suolo e delle acque sotterranee da parte di sostanze pericolose pertinenti usate, prodotte o rilasciate dall'installazione. Se l'installazione ha provocato un inquinamento significativo del suolo o delle acque sotterranee con sostanze pericolose pertinenti rispetto allo stato constatato nella relazione di riferimento di cui al paragrafo 2, il gestore adotta le misure necessarie per rimediare a tale inquinamento in modo da riportare il sito a tale stato”.*

L'art.22 precedentemente citato definisce in maniera inequivocabile che le sostanze pericolose pertinenti da prendere in considerazione nella relazione di riferimento sono tutte quelle sostanze che possono determinare *“un inquinamento significativo del suolo o delle acque sotterranee”.* La legislazione italiana definisce significativa una contaminazione di suolo o acque sotterranee quando sono superate le rispettive CSR (Concentrazioni Soglia

di Rischio), determinate a partire dallo stato di potenziale contaminazione definito al superamento delle CSC (Concentrazioni Soglia di Contaminazione alle tab.1 e 2, dell'all.5 alla parte Quarta, Titolo V del Dlgs 152/06 smi). A tal proposito è utile citare anche la circolare del MATTM (DVA n.27569 del 14/11/16) dove al punto 9 si ricorda che in ambito AIA restano comunque fermi gli obblighi tecnici del rispetto dei limiti tabellari di normative vigenti. In tale ottica le sostanze da prendere in considerazione nella RdR, oltre a quelle da valutare ai sensi del D.M. 95/2019, sono tutte le sostanze elencate nelle tabelle 1 e 2 delle citate CSC per le rispettive matrici (terreni e acque sotterranee). Inoltre, tutti i dati pregressi devono essere omogeneizzati e coordinati in modo da rendere facilmente identificabile lo stato qualitativo delle matrici interessate. Nella RdR tutti i dati analitici relativi ad ogni matrice ambientale devono essere organizzati in tabelle omogenee e le stazioni di campionamento, distinte per matrice e tipologia, riportate in una planimetria dedicata. In special modo per attività industriali datate il documento deve riportare una ricostruzione storica della successione di attività che hanno utilizzato sostanze pericolose pertinenti o comunque potenzialmente contaminanti, associata ad una planimetria che illustri l'evoluzione delle modifiche impiantistiche e dell'uso del sito nel tempo. A tale ricostruzione deve essere associata una valutazione relativa alla completezza dei dati di qualità disponibili con eventuale proposta di integrazione. Nel caso che la ricostruzione storica dovesse evidenziare la presenza di passate attività potenzialmente sorgenti di contaminazione, in aree dove non sono mai stati realizzati campionamenti per la definizione di eventuali alterazioni dello stato qualitativo delle matrici ambientali potenzialmente impattabili, si dovrà procedere alla realizzazione di opportune indagini di approfondimento. Tali attività integrative possono essere realizzate compatibilmente con il normale proseguo delle attività produttive attraverso una programmazione di massima che tenga conto dei tempi previsti dai piani industriali in vigore.

Tale programmazione, insieme alla proposta di monitoraggio ai sensi dell'art. 29sexies, commi 3bis e 6bis, dovrà essere riportata nella RdR. L'aggiornamento della RdR potrà essere effettuato con le cadenze previste dal monitoraggio o comunque con tempi che tengano conto delle nuove informazioni ambientali acquisite o di modifiche rilevanti all'attività produttiva.

5.0 Le attività istruttorie nel rilascio delle autorizzazioni ambientali di attività produttive

5.1 Introduzione

In Regione Toscana il controllo delle acque sotterranee per tutti gli impianti di gestione rifiuti era previsto sulla base di disposizioni regionali contenute:

- nel DPGRT nr. 14/R/04 (allegato 1, punto 4);
- al par. 7 del DCRT n. 385/99 - Piano regionale di gestione dei rifiuti - Approvazione secondo stralcio relativo ai rifiuti speciali anche pericolosi;

e prevedeva il monitoraggio delle acque sotterranee mediante l'installazione di pozzi spia o piezometri. Le norme non riportavano ulteriori informazioni lasciando alla buona norma e alla competenza del gestore/controllore tutti gli aspetti relativi a modalità e frequenza dei campionamenti, limiti di riferimento, necessità di elaborazione del modello idrogeochimico, interventi in caso di superamento dei limiti di riferimento etc..

La mancanza di specifiche competenze geologiche nei dipartimenti Arpat coinvolti nelle istruttorie e nei successivi controlli ha progressivamente portato al quasi totale abbandono delle prescrizioni sul monitoraggio delle acque sotterranee tranne là dove la presenza di professionalità specifiche di tipo geologico sono state in grado di interpretare le finalità del legislatore e di proporre prescrizioni adeguate. A tale scopo è utile ricordare come le matrici suolo, sottosuolo e acque sotterranee siano materia di esclusiva competenza geologica.

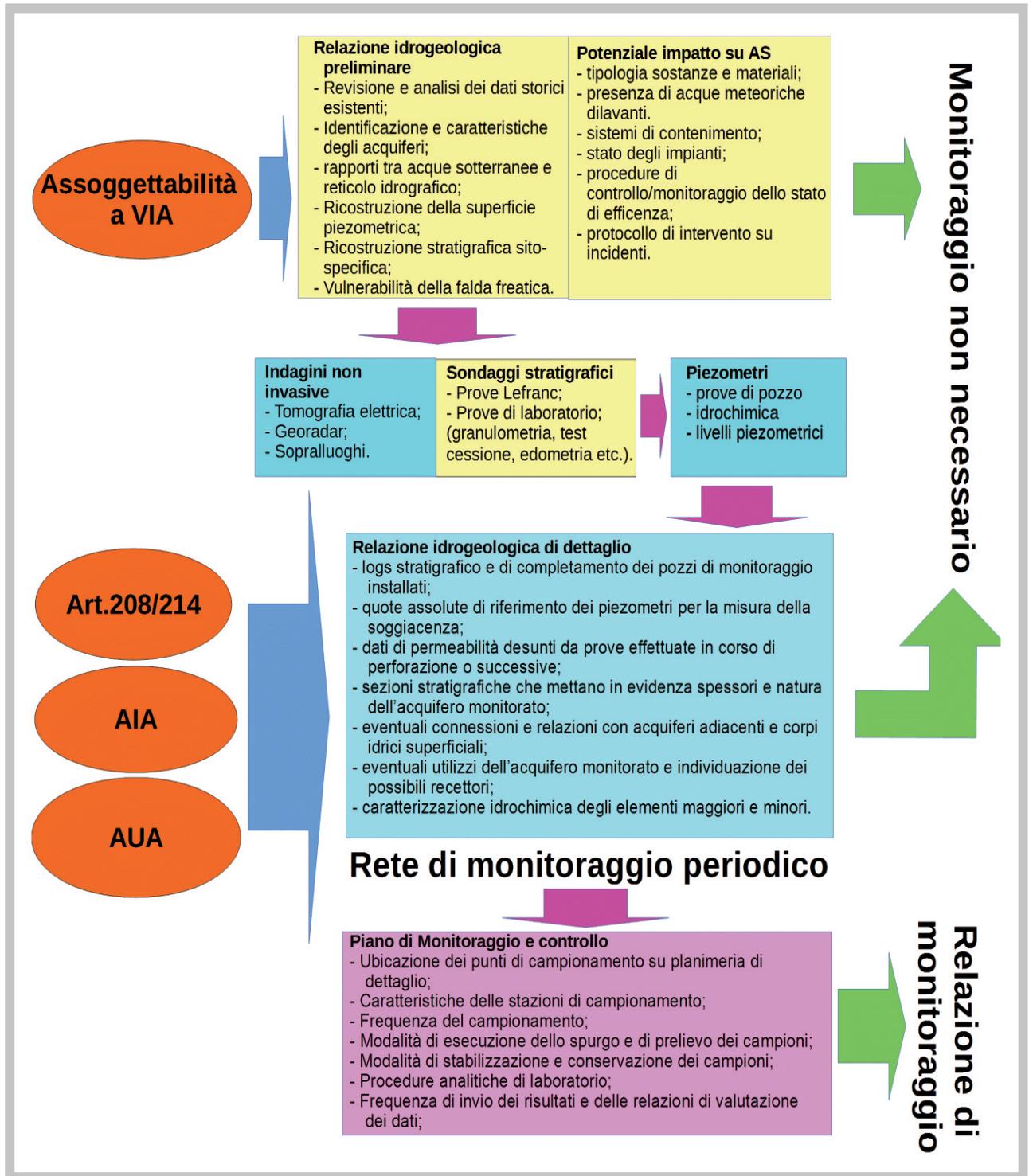
In Provincia di Pisa, a partire dal 2005, grazie anche all'arrivo presso il dipartimento Arpat Pisa di un Geologo con competenze specifiche sui monitoraggi ambientali, le istruttorie autorizzative degli impianti di gestione rifiuti, in forza delle direttive regionali precedentemente citate, hanno cominciato a prevedere prescrizioni specifiche sul controllo delle acque sotterranee. Inizialmente il criterio con cui erano imposte le prescrizioni si basava essenzialmente su una valutazione di tipo geologico effettuata d'ufficio mediante dati sito-specifici presentati dalla ditta in sede di istruttoria o di tipo più generale legati alle norme di pianificazione territoriale (piano strutturale, cartografie geotematiche etc). La presenza di un database georeferenziato contenente i dati geologici di sondaggi geognostici e stratigrafici recuperati in ambito di autorizzazioni del Genio Civile (Provincia di Pisa, 2005) facilitava il compito rendendo superflua l'attivazione di una istruttoria dedicata all'acquisizione di tali informazioni direttamente dal proponente. La valutazione, partendo dall'obbligatorietà nella terebrazione di punti di campionamento imposta dai regolamenti regionali citati, permetteva di valutare le condizioni geologiche al contorno fornendo, già in fase istruttoria, le caratteristiche di massima delle opere da realizzare (profondità, permeabilità attese, direzione di flusso etc.). Le corrette modalità di campionamento e le caratteristiche geochimiche venivano acquisite e valutate dopo il primo campionamento, normalmente effettuato in contraddittorio con il proponente. Con le caratteristiche idrogeologiche di area vasta, integrate dalle informazioni sito-specifiche derivanti dalla perforazione dei piezometri, interpretate sulla base delle caratteristiche geochimiche delle acque sotterranee ottenute dal primo campionamento, veniva definito il modello idrogeochimico sito-specifico ed eventualmente prescritto il monitoraggio periodico che entrava a far parte, a tutti gli effetti, delle prescrizioni autorizzative all'esercizio dell'attività produttiva. Negli anni successivi, con l'entrata a regime della normativa IPPC l'approccio è stato esteso anche alle altre tipologie di autorizzazioni ambientali.

5.2 Schema di flusso delle attività istruttorie

Nello schema seguente viene proposta la procedura utilizzata nell'identificazione delle indagini da effettuare in funzione dei diversi scenari normativi e dello schema decisionale in funzione del quale

dovrebbe venire proposto/prescritto il monitoraggio delle acque sotterranee. Lo schema di flusso riportato costituisce il processo decisionale con cui è stata ed è attualmente gestita presso il dipartimento di Pisa l'attività istruttoria relativa agli atti autorizzativi per tutti gli impianti soggetti a AIA, AUA e VIA. Con il

documento "Linee guida per la predisposizione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee in impianti produttivi" (ARPAT 2018), la procedura di attuazione degli interventi di controllo sulle acque sotterranee è stata uniformata ed è attualmente in implementazione su tutto il territorio regionale.



5.3.1 Relazione idrogeologica preliminare

Il processo di acquisizione delle informazioni necessarie a definire le caratteristiche idrogeologiche e l'attuale stato di qualità delle acque sotterranee inizia nel procedimento di VIA o assoggettabilità a VIA con l'acquisizione e valutazione delle informazioni disponibili di area vasta presenti nei documenti di pianificazione territoriale (comunali, provinciali e regionali), di gestione delle risorse (AIT, Gestore idrico, Genio Civile, Autorità Portuale, Autorità di Bacino etc) o a progetti di ricerca scientifica (Università, CNR etc.). Tutte le informazioni attinenti alle caratteristiche idrogeologiche e idrogeochimiche, eventualmente integrate e validate da indagini sito-specifiche eseguite all'interno dell'impianto in valutazione (es. eventuali indagini geotecniche per la realizzazione di opere edilizie, dati stratigrafici di pozzi industriale etc.) faranno parte della relazione idrogeologica preliminare per distinguerla dalla relazione idrogeologica di dettaglio.

5.3.2 Valutazione del potenziale impatto sulle acque sotterranee

In parallelo alla redazione della relazione idrogeologica preliminare deve essere effettuata una valutazione tecnica sulle sostanze gestite all'interno dell'impianto produttivo e sulle loro capacità di contaminare la falda freatica. In prima istanza tutte le sostanze rientranti nelle tabelle 1 e 2 dell'all. 5, Titolo V, Parte Quarta del D.lgs 152/2006 smi e nelle tabelle 1, 2 e 3 dell'all.3 del D.lgs 30/2009, presenti in forma solubile o comunque contenute in materiali allo stato liquido o semiliquido gestiti all'interno dell'impianto produttivo, concorrono a rendere potenzialmente critico l'impatto sulle acque sotterranee. Per i materiali solidi la valutazione deve tenere conto delle capacità di lisciviazione delle sostanze contaminanti da parte delle acque meteoriche/dilavanti. Il secondo elemento da valutare è la loro capacità a determinare una contaminazione della falda che sarà espletata tramite una descrizione di dettaglio dei presidi di contenimento delle sostanze contaminanti o dei

materiali che le contengono (stoccaggi, impianti di trasferimento esterni ed interrati, impianti di lavorazione etc.), del loro stato di efficacia e di manutenzione, di eventuali controlli/monitoraggi strutturali o di tenuta.

5.3.3 Non necessità di monitoraggio periodico e chiusura del procedimento

Nei casi in cui:

- non siano presenti sostanze contaminanti in forma liquida o contenute in materiali liquidi o semiliquidi;
- le aree di lavoro potenzialmente interessate da ruscellamenti di acque contaminate siano totalmente impermeabilizzate;
- non siano possibili fenomeni di lisciviazione di sostanze contaminanti da materiali solidi;
- siano escluse perdite occulte da stoccaggi e linee di trasferimento;
- siano presenti adeguati protocolli di intervento su fenomeni di sversamento superficiale di sostanze contaminanti o materiali contenenti sostanze contaminanti;
- siano effettuati periodici interventi di controllo/monitoraggio strutturali e di tenuta dei contenitori e delle linee di trasferimento;

si può ritenere esaustiva la documentazione prodotta e, previo sopralluogo per la verifica delle condizioni dichiarate, non sarà necessario procedere ad ulteriori approfondimenti.

5.3.4 Indagini integrative sito-specifiche

Nel caso in cui le informazioni non permettano una ricostruzione del modello concettuale idrogeochimico sufficientemente approfondito e ci siano carenze strutturali od operative sui presidi di contenimento, si renderà necessario procedere alla realizzazione di sondaggi stratigrafici eventualmente da completare a piezometro. L'esecuzione dei sondaggi stratigrafici (carotaggio continuo) può essere preceduta da indagini non invasive per definire le migliori ubicazioni e da sopralluoghi del geologo per valutare le caratteristiche geomorfologiche e idrologiche dell'area. Tali caratteristiche, infatti, forniscono spesso indicazioni preziose

sul sottosuolo e acque sotterranee anche in mancanza di dati stratigrafici. Il completamento a piezometri dei sondaggi è quasi sempre obbligato e consigliabile. Solo in caso di rilevazione di spessori di argille plastiche semiconsolidate su tutto il profilo indagato (profondità minima di indagine di almeno 10 metri), assenza di acqua nel foro e mancanza di chiare evidenze di ricarica idrica, potrà non essere previsto il completamento a piezometro dei sondaggi.

5.3.5 Relazione idrogeologica di dettaglio

Tutte le informazioni acquisite permetteranno di aggiornare la relazione idrogeologica preliminare producendo, attraverso l'esecuzione delle attività riportate nelle finestre del grafico, la Relazione idrogeologica di Dettaglio. Questa relazione risulta indispensabile per una corretta conoscenza delle matrici ambientali da indagare e quindi dovrà essere prodotta come elaborato di progetto in tutte le richieste di autorizzazione ambientale connesse a AIA, AUA ed ex art.208 e ex artt.214/215. Per i contenuti di questa relazione e per la descrizione in dettaglio delle operazioni previste si faccia riferimento al già citato documento "*Linee guida per la predisposizione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee in impianti produttivi*" ARPAT 2018. Da tenere presente che nella caratterizzazione quantitativa delle acque sotterranee è rilevante la stagionalità del prelievo e quindi qualsiasi anomalia riscontrata deve necessariamente essere valutata su almeno due campionamenti stagionali dove per stagionali, al minimo, si intende il periodo di morbida (lungo periodo di precipitazioni meteoriche) e di magra (assenza di precipitazioni significative per almeno tre mesi). Per questo motivo, normalmente, l'istruttoria autorizzativa si conclude con la prescrizione di procedere al monitoraggio periodico per un limitato periodo di tempo che comprenda almeno una sequenza di magra e di morbida, al termine del quale sarà valutata la necessità di attivazione del monitoraggio periodico definitivo. In caso contrario la rete piezometrica dovrà essere comunque mantenuta funzionante per le verifiche di fine attività o eventuali campionamenti in

concomitanza di eventi eccezionali di potenziale contaminazione che dovessero prodursi nel frattempo.

5.3.6 Monitoraggio periodico permanente

Nel caso in cui il modello idrogeologico risultante dall'attività istruttoria fino a qui realizzata e il quadro ambientale evidenzia la necessità di mantenere un controllo periodico sullo stato di qualità delle acque sotterranee, anche al fine di evidenziare eventuali trend e tendenze significative che dovessero ritenersi utili all'identificazione precoce di contaminazioni in atto, l'atto autorizzativo (Piano di Monitoraggio e Controllo) potrà essere integrato con l'attivazione del monitoraggio permanente sulle AS; la prescrizione riporterà i punti di campionamento, la frequenza e i parametri da monitorare.

Come indicato dalla normativa vigente, il monitoraggio delle AS è obbligatorio per le aziende AIA con una frequenza minima di cinque anni (art.29 sexies). La frequenza di campionamento delle AS in un impianto produttivo dipende dal modello idrogeologico e idrogeochimico presente. In casi di modelli complessi o di concomitanza di elevata vulnerabilità della falda in impianti ad alto rischio di contaminazione sarebbe opportuna una frequenza di campionamento stagionale, quadrimestrale o trimestrale, che può comunque essere modificata successivamente in caso di interventi di limitazione del rischio. Nei casi in cui il rischio di contaminazione della falda sia minore la frequenza di campionamento può essere ridotta ad annuale ed in tal caso da effettuarsi preferenzialmente nei periodi di magra. Il documento *"Linee guida per la predisposizione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee in impianti produttivi"* ARPAT 2018, a cui si rimanda, suggerisce il protocollo più adatto per l'attuazione delle operazioni di campionamento. Preme sottolineare che la tipologia delle attività preliminari al campionamento e il campionamento stesso deve necessariamente basarsi sui grafici dei tempi di ricarica dei singoli piezometri ricavate dalle prove di pozzo.

6.0 Esempi di applicazione della procedura descritta

Il materiale istruttorio e analitico prodotto in 15 anni di attività di supporto tecnico e di controllo disponibile può essere utilizzato per definire i criteri generali sui quali basare le valutazioni per l'applicazione delle disposizioni recentemente introdotte a livello nazionale con i recepimenti della direttiva IED (direttiva 75/2010/UE) mediante modifica della parte seconda del Dlgs 152/2006. Tali disposizioni confermano, finalmente, quanto già previsto dalla normativa regionale toscana sulla necessità di un monitoraggio delle matrici suolo e sottosuolo in prossimità delle attività produttive a rischio che permetta l'identificazione precoce di eventuali contaminazioni di tali matrici prevenendo il trasferimento della contaminazione verso recettori ambientali e umani. Le reti di monitoraggio così attivate e gestite in autocontrollo dai singoli proponenti (gestori attività produttive) integrano la rete di monitoraggio regionale dei singoli corpi idrici contribuendo a formare un modello concettuale di estremo dettaglio delle caratteristiche idrochimiche delle acque sotterranee.

A tal fine il presente documento è uno strumento utilizzabile nell'ambito della definizione di linee guida per l'applicazione dell'art.29 sexies comma 6 bis del citato decreto.

Nella tabella seguente sono riassunte tutte le reti di monitoraggio attive o in corso di attivazione in impianti produttivi della provincia di Pisa. Oltre alle reti di monitoraggio proprie delle autorizzazioni ambientali precedentemente trattate, nell'elenco sono presenti anche le reti di monitoraggio legate alla

normativa sulle discariche (D.lgs n.36/2003) dove il monitoraggio delle AS è obbligatorio e altre tipologie di impianti come ad es. le cave nei casi siano state oggetto di smaltimento di rifiuti. Nel computo non sono riportati i siti in bonifica con rete di monitoraggio di piezometri installati con finalità di caratterizzazione ambientale ai sensi del Titolo V, Parte Quarta del D.lgs n.152/2006 a meno che tali siti non siano attività oggetto di autorizzazione ambientale.

E' evidente come le attività di gestione dei rifiuti costituiscano una delle tipologie di impianti produttivi maggiormente soggette al controllo delle acque sotterranee. Il numero complessivo di piezometri installati, pur rientrando nell'ambito del sistema degli auto-controlli, rende conto dell'impegno profuso nelle fasi istruttorie relative alla valutazione della documentazione accessoria e dei successivi controlli e sopralluoghi per la verifica della corretta applicazione dei protocolli e procedure prescritti nell'atto di autorizzazione ambientale.

Uno dei primi e più rilevanti effetti dell'applicazione delle misure in AIA per il monitoraggio delle acque sotterranee è stata l'identificazione di contaminazioni non note ancora in corso di allargamento. I risultati dei primi campionamenti delle acque di falda su piezometri appositamente realizzati a seguito di prescrizione in sede di autorizzazione AIA in uno stabilimento chimico di produzione di farmaci hanno permesso di rilevare una estesa contaminazione da benzene e clorobenzene nel sottosuolo dell'area dello stabilimento. La contaminazione era sviluppata su un pennacchio di contaminazione che aveva origine dal dismesso e dimenticato parco serbatoi interrati dove erano stoccati i solventi utilizzati in passato nell'attività produttiva. Il contaminante presente in maggiori quantità è il clorobenzene che

▼ Tabella 1

Siti con rete di monitoraggio AS e numero di piezometri installati in provincia di Pisa

	Gestione rifiuti	Depuratori acque reflue	Altre attività produttive	Discariche attive/ post-mortem	Discariche dismesse	Attività estrattive	TOTALI
n. siti	40	4	10	9	13	2	78
piezometri	115	17	56	62	88	12	350

immesso in falda, attraverso spillamenti dagli involucri deteriorati dei vecchi serbatoi, solubilizzava degradando in parte a benzene. Il rinvenimento della contaminazione ha permesso l'attivazione delle opportune misure di messa in sicurezza d'emergenza (MISE) con la rimozione dei vecchi serbatoi e dei residui di sostanze contaminanti ancora presenti e la realizzazione di un sistema di barrieramento idraulico, realizzato in forma di MISO, per interrompere la diffusione della contaminazione in falda. Al momento la MISE è completata e l'area del parco serbatoi interamente bonificata e ripristinata mentre la barriera idraulica è funzionante e la diffusione della contaminazione tenuta sotto controllo tramite il monitoraggio periodico, in attesa della progettazione di interventi risolutivi.

Una situazione analoga è stata rinvenuta nella zona industriale di Santa Croce, in uno stabilimento chimico nel quale sono stoccate e in parte recuperate sostanze utilizzate nelle limitrofe concerie. Anche in questo caso un vecchio parco serbatoi interrati, già rimosso da tempo, è all'origine di un pennacchio di contaminazione di tricloroetilene e suoi prodotti di degradazione. Solo grazie alle basse permeabilità dei terreni presenti in zona satura, l'estensione del pennacchio è al momento limitata a poche centinaia di metri. È stata attivata una MISO che prevede l'estrazione delle acque dalla porzione più contaminata dell'acquifero, il loro trattamento su carboni attivi e il riutilizzo nel ciclo produttivo. L'intervento ha permesso di dismettere il vecchio pozzo artesiano ad uso industriale dell'impianto con un notevole risparmio sia in termini di costo diretto della risorsa idrica sia dei costi del necessario trattamento per l'eliminazione di ferro e manganese a cui doveva essere soggetta l'acqua emunta. I casi in cui l'installazione della rete di monitoraggio delle acque sotterranee richiesta in sede di autorizzazione ambientale ha portato all'identificazione di contaminazioni in atto sono numerose e riportate con le sigle A-B nella tabella allegata.

Un aspetto rilevante da mettere in evidenza nel momento in cui si debba valutare lo stato di qualità di

un'acqua sotterranea, già noto nell'ambito dei monitoraggi regionali sui corpi idrici significativi in attuazione della direttiva 2000/60, riguarda la natura dei parametri chimici presenti nelle acque sotterranee. Di per se l'acqua meteorica che è all'origine dell'alimentazione delle falde sotterranee contiene piccolissime quantità di sali disciolti, essendo il prodotto del processo di evaporazione e successiva condensazione del ciclo idrologico che caratterizza l'idrosfera. Solo dopo l'infiltrazione nel terreno e il continuo contatto con la frazione solida dell'acquifero le acque si arricchiscono di sali e, in funzione degli ambienti chimici presenti nel sottosuolo, acquisiscono specifiche caratteristiche geochimiche che ne permettono una classificazione e relativa possibilità di distinzione. A tale scopo nelle fasi preliminari della caratterizzazione, oltre ai parametri previsti da normativa, è necessaria l'analisi degli elementi maggiori contenuti nelle acque sotterranee (anioni come cloruri, solfati, nitrati e carbonati e cationi come sodio, potassio, magnesio, calcio) oltre all'ione ammonio e alla determinazione in campo del potenziale redox. Anioni e cationi maggiori permettono il confronto tra acque mentre l'ione ammonio e potenziale redox definiscono le condizioni chimico-fisiche presenti in zona satura. Specialmente nei casi in cui le acque oggetto della caratterizzazione appartengono a corpi idrici a medio-bassa permeabilità (acquiferi) è fondamentale il confronto dei risultati analitici tra i diversi punti di campionamento al fine di evidenziare la presenza e continuità di un unico corpo idrico. Nei risultati delle caratterizzazioni effettuate nell'ambito delle istruttorie in provincia di Pisa sono molti i casi in cui le differenze geochimiche tra punti della stessa rete di monitoraggio indicano corpi idrici distinti. In tali casi solo l'associazione tra dati chimici, fisici di campo e idrogeologici (livelli piezometrici, conducibilità idraulica e trasmissività) permette una valutazione corretta dello stato di qualità della matrice indagata. Il deterioramento di tale stato di qualità legato ad attività antropiche è infatti ovvio e facile da individuare

quando le sostanze contaminanti sono di natura antropica (antropogeniche) mentre la valutazione è molto più difficile nei casi in cui entrino in gioco nel ciclo produttivo sostanze presenti anche naturalmente (geogeniche) come ad es. metalli, ammoniaca e anioni maggiori.

Casi emblematici sono quelli dei monitoraggi delle discariche e dei depuratori dove, tra le sostanze che possono determinare il degrado dello stato di qualità delle acque sotterranee, sono da annoverare cloruri e metalli, caratteristici dei percolati da rifiuti urbani e industriali e dei reflui trattati. In questi casi sarà solo dopo l'iniziale attività di caratterizzazione idrochimica e un primo consistente set di analisi periodiche che si potrà valutare, attraverso l'analisi di trend e variazioni significative, l'eventuale impatto sulle acque sotterranee.

Da citare, infine, il caso in cui il processo di valutazione della necessità di attivazione del monitoraggio periodico si sia completato con la realizzazione dei piezometri che risultano essere a ricarica nulla. In questa situazione, verificata in due soli casi dell'elenco, il monitoraggio periodico avviene mediante verifica dell'assenza di battente idrico nei tubi piezometrici. Ovviamente dopo aver accertato mediante l'analisi del modello concettuale derivato dalla caratterizzazione idrogeologica che i piezometri siano attestati all'interno della zona satura del sottosuolo.

7.0 Conclusioni e raccomandazioni

Nel quadro normativo europeo e nazionale la protezione delle acque sotterranee e la loro tutela per gli usi legittimi attuali e futuri hanno assunto un ruolo decisivo grazie agli strumenti del monitoraggio qualitativo previsto dalle direttive 2000/60/CE e 2006/118/CE. A questi strumenti si sono recentemente aggiunti interventi normativi nell'ambito della prevenzione incentrati sui controlli delle attività produttive (IPPC e autorizzazioni ambientali).

L'attività antropica, infatti, riserva un ruolo rilevante nella protezione delle

acque sotterranee dato che molto spesso durante i processi produttivi sono utilizzate o comunque gestite sostanze nocive per l'ambiente potenzialmente in grado di generare significative contaminazioni delle acque sotterranee. Per questo motivo è fondamentale regolamentare e implementare il controllo del loro potenziale impatto sui corpi idrici sotterranei, potenzialmente utilizzabili per tutti gli usi legittimi ma soprattutto idropotabili, attraverso la realizzazione di adeguate reti di monitoraggio in corrispondenza delle potenziali sorgenti di contaminazione. Il processo avviene tramite una sequenza di azioni che, partendo dall'iter istruttorio di prima

fase (valutazione dell'impatto ambientale e definizione delle misure di contenimento degli impatti), passa attraverso l'acquisizione delle informazioni idrogeologiche e idrochimiche sito-specifiche che devono necessariamente essere incluse nella documentazione valutata in sede di rilascio delle autorizzazioni ambientali. L'integrazione del quadro ambientale così definito, con le caratteristiche delle sostanze potenzialmente contaminanti e le loro modalità di gestione all'interno dell'impianto produttivo (stoccaggi, procedure di trasferimento e smaltimento, stato di manutenzione degli impianti etc.), permetterà di valutare il rischio di contaminazione

delle AS e se necessario attivare una rete di monitoraggio periodico utile per intervenire prontamente in caso di dispersione accidentale di sostanze contaminanti che potrà precocemente essere contenuta evitando il loro trasferimento e diffusione negli acquiferi utilizzati o utilizzabili come risorsa idrica. Il presente documento, frutto di un'esperienza acquisita in 15 anni di attività di supporto tecnico nel rilascio delle autorizzazioni ambientali in provincia di Pisa, costituisce una proposta operativa per gli Enti istruttori delle pratiche autorizzative e per gli Enti adibiti ai controlli sulle attività produttive nell'ambito della matrice acque sotterranee.

Bibliografia

- ARPAT (2018) - Linee guida per la predisposizione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee in impianti produttivi. ARPAT, www.arpat.toscana.it/documentazione
- Celico P. (1986) - Prospezioni idrogeologiche. Liguori ed., Napoli.
- Civita M. (2005) - Idrogeologia applicata e ambientale. Casa Editrice Ambrosiana.
- Di Molfetta A., Sethi R. (2012) - Ingegneria degli acquiferi. Springer-Verlag Italia.
- Freeze A., Cherry J.A. (1979) Groundwater. Prentice-Hall, 1979
- Fetter C.W. (2018) - Applied hydrogeology. Fourth Edition, C.W. Fetter.
- Fetter C.W., Boving T., Kremer D. (2017) Contaminant Hydrogeology. Waveland Press, Inc.
- Franconi V. (2014) Idrogeologia ambientale. Casa Editrice Ambrosiana, Zanichelli 2014.



**Geognostica e
consolidamento terreni**

www.mappogeognostica.it

Mappo Geognostica srl

Loc. Biagioni 60 • 55010 Spianate LU • Tel. 0583 20799 • Fax 0572 930069

email: mappogeognostica@virgilio.it



GIOVANNA MONTESANO

GIOVANNA MONTESANO

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



Estratto della Tesi

Vincitore
del Premio
Giuntini 2020
nella sezione
Laurea Triennale

Petrogenesi dei prodotti dell'attività del periodo 1902-03 del vulcano La Soufrière

MATERIALI E METODI ANALITICI

In questo lavoro di tesi è stato effettuato uno studio petrologico di una selezione rappresentativa di prodotti iuvenili messi in posto durante il ciclo eruttivo del periodo 1902-03 del vulcano La Soufrière, l'unico vulcano attivo dell'isola di St. Vincent (Piccole Antille), al fine di ottenere informazioni sulle condizioni che hanno caratterizzato il sistema magmatico dell'isola durante tale fase eruttiva.

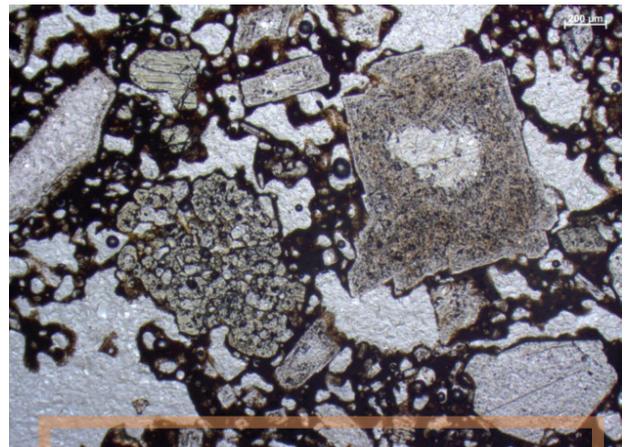
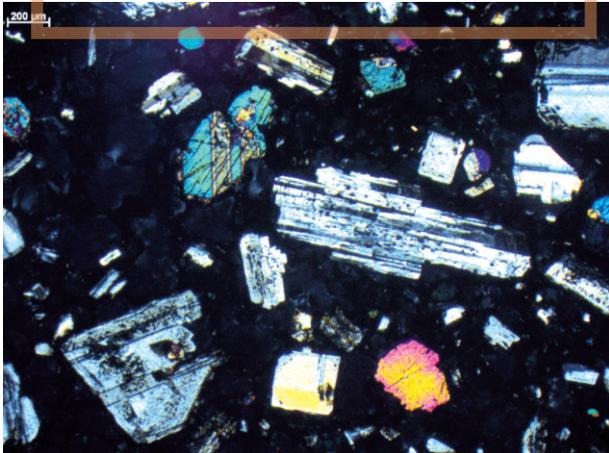
Caratteristiche petrografiche

I campioni selezionati (SVG14, 24, 28, 42 e 72) sono rappresentati da scorie di colore scuro con struttura relativamente compatta ed elevato grado di porfiricità. Alla luce delle analisi petrografiche effettuate, sono state individuate due tipologie di litotipi: i campioni SVG42 (Fig. 1) ed SVG72 (Fig. 2) risultano ascrivibili ad un un

litotipo relativamente poco evoluto, con una paragenesi caratterizzata da plagioclasio, clinopirosseno ed olivina, mentre i campioni SVG14 (Fig. 3), SVG24 (Fig. 4) ed SVG28 (Fig. 5) sono rappresentativi, invece, di un litotipo relativamente più evoluto, con una paragenesi caratterizzata da plagioclasio, clinopirosseno, ortopirosseno ed opachi.

▼ Figura 1

Fotografia al microscopio polarizzatore (polarizzatori incrociati) del campione SVG42 che mostra la struttura fortemente porfirica e la pasta di fondo vetrosa. In evidenza fenocristalli e microfenocristalli di plagioclasio, un microfenocristallo di clinopirosseno ed un cristallo di olivina zonata.

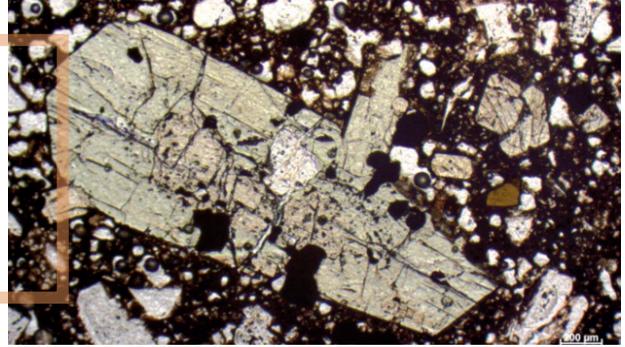


▲ Figura 2

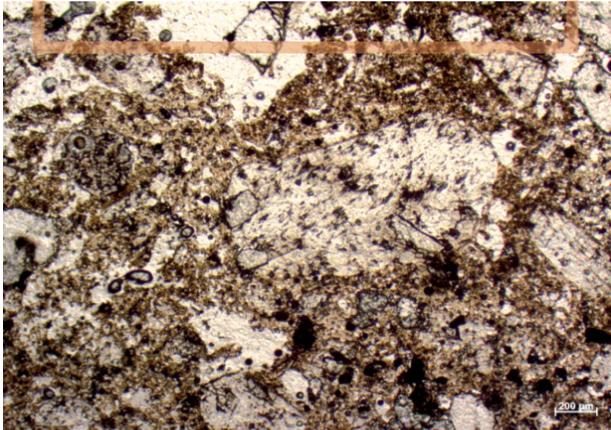
Fotografia al microscopio polarizzatore (solo polarizzatore) del campione SVG72 che mostra la struttura fortemente porfirica moderatamente vacuolare. In evidenza un enclave olocristallino a grana fine (a sinistra) formato da clinopirosseno (verdino) e olivina (incoloro) ed un fenocristallo di plagioclasio con abbondanti inclusioni vetrose lungo il bordo esterno (in alto a destra rispetto al centro della foto).

► **Figura 3**

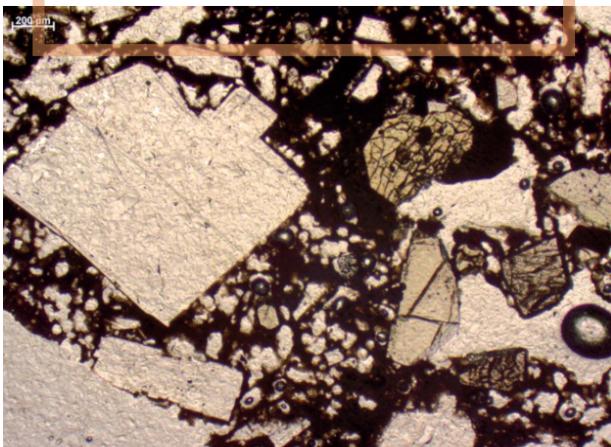
Fotografia al microscopio polarizzatore (solo polarizzatore) del campione SVG14 che mostra la tessitura fortemente porfirica e debolmente vacuolare. In evidenza un fenocristallo di colore verde chiaro di clinopirosseno ricco in inclusioni (vetro bruno, cristalli giallini di ortopirosseno, plagioclasio incolore e minerali opachi neri).

▼ **Figura 4**

Fotografia al microscopio polarizzatore (solo polarizzatore) del campione SVG24 che mostra la struttura moderatamente porfirica e moderatamente vacuolare. In evidenza un fenocristallo di plagioclasio del diametro di circa 1 mm con inclusioni vetrose (incolore, centro della foto).

▼ **Figura 5**

Fotografia al microscopio polarizzatore (solo polarizzatore) del campione SVG28 che mostra la struttura fortemente porfirica marcatamente vacuolare. In evidenza un fenocristallo di plagioclasio (incolore, a sinistra) ed alcuni microfenocristalli di clinopirosseno.



CARATTERISTICHE PETROCHIMICHE

Le analisi chimiche relative ai campioni analizzati (Tabella 1), raggruppati in base ai litotipi individuati con le analisi petrografiche, sono state utilizzate per costruire diversi diagrammi al fine di definire le caratteristiche petrochimiche dei prodotti analizzati. I campioni selezionati sono stati analizzati presso i laboratori ActLabs, in Ontario (Canada).

▼ **Tabella 1**

Concentrazione degli elementi maggiori (in wt.%) e degli elementi in tracce (in ppm) e valori della LOI (in wt.%) per i campioni del vulcano La Soufrière oggetto di questo studio.

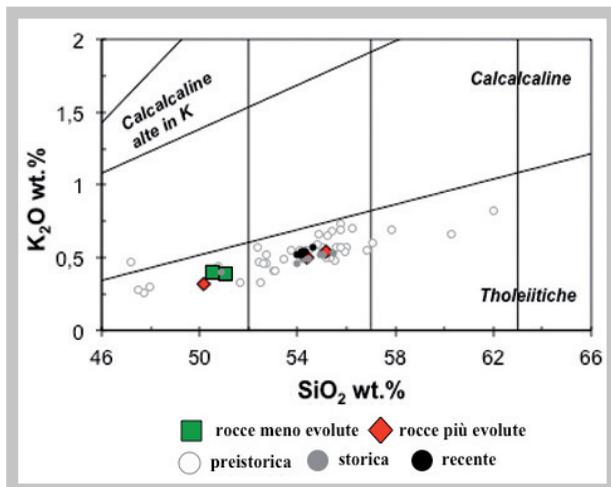
campione	SVG42	SVG72	SVG14	SVG24	SVG28
	meno evoluto		più evoluto		
SiO ₂	50,70	50,72	50,12	54,54	55,53
TiO ₂	0,90	0,94	0,80	0,91	0,93
Al ₂ O ₃	17,09	17,71	20,21	18,65	18,48
Fe ₂ O ₃ tot	9,06	9,09	8,81	8,66	8,63
MnO	0,17	0,17	0,16	0,18	0,18
MgO	7,86	7,81	5,46	4,12	3,76
CaO	10,36	10,69	11,47	9,25	8,94
Na ₂ O	2,67	2,71	2,43	3,30	3,55
K ₂ O	0,39	0,40	0,32	0,50	0,54
P ₂ O ₅	0,11	0,11	0,07	0,13	0,13
LOI	0,49	-0,01	-0,09	-0,08	0,03
Total	99,31	100,34	99,85	100,24	100,68
Mg#	0,66	0,66	0,59	0,52	0,50
Sc	38	40	31	31	31
V	263	266	270	241	231
Ba	91	93	76	113	122
Sr	215	222	232	223	225
Y	19	19	16	23	25
Zr	65	65	51	78	82
Cr	290	300	60	40	40
Co	33	33	26	21	18
Ni	110	110	40	30	20
Cu	120	130	80	90	130
Zn	80	100	80	100	100
Rb	9	10	8	12	13
Nb	2	2	1	2	2
Ga	17	18	18	20	19
La	4,9	5,5	3,8	5,3	5,8
Ce	12,20	12,80	9,40	13,30	14,80
Pr	1,75	1,76	1,40	1,98	2,16
Nd	8,50	8,60	6,70	9,80	10,60
Sm	2,60	2,60	2,20	3,20	3,20
Eu	0,95	0,91	0,84	1,09	1,14
Gd	3,20	3,10	2,80	3,70	4,00
Tb	0,60	0,60	0,50	0,70	0,70
Dy	3,70	3,70	3,10	4,50	4,70
Ho	0,70	0,70	0,70	0,90	1,00
Er	2,10	2,10	1,90	2,70	2,90
Tm	0,32	0,35	0,29	0,40	0,44
Yb	2,10	2,30	1,90	2,70	3,10
Lu	0,33	0,34	0,30	0,45	0,47
Hf	1,80	1,90	1,50	2,30	2,30
Ta	0,20	0,20	0,10	0,20	0,20
Th	1,00	1,10	0,70	1,00	1,20
U	0,50	0,60	0,40	0,60	0,60

Classificazione ed affinità seriale

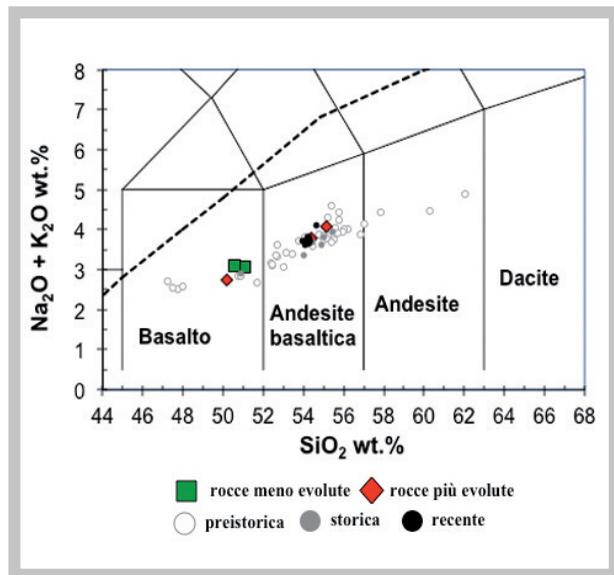
Nel diagramma Total Alkali vs. Silica (Fig. 6) i campioni del gruppo di rocce relativamente meno evolute ricadono nel campo dei basalti, mentre i campioni relativamente più evoluti ricadono nel campo delle andesiti basaltiche. Nel diagramma binario SiO_2 vs. K_2O (Peccerillo and Taylor, 1976), le rocce oggetto di questo studio risultano appartenere ad una serie subalcalina con affinità tholeiitica, ricadendo in prossimità del limite con le serie di rocce calcalcaline (Fig. 7). Nel diagramma AFM (Fig. 8) si evince come i campioni di St. Vincent mostrino il *trend* tipico delle serie di rocce con affinità tholeiitica. Tale andamento è generalmente interpretato come dipendente dalla cristallizzazione di ossidi di Fe e Ti (principalmente magnetite), inibita negli stadi iniziali della differenziazione dei magmi di serie tholeiitica. Le rocce di serie calcalcalina, viceversa, sono caratterizzati da una costante diminuzione dei contenuti in FeO legata alla precoce cristallizzazione della magnetite.

Geochemica degli elementi maggiori ed in tracce

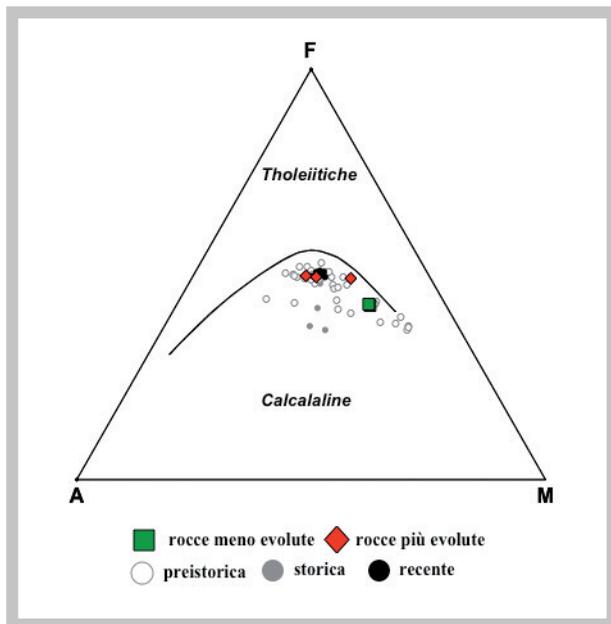
Diagrammi binari di tipo Harker (contenuto in SiO_2 vs. concentrazioni degli elementi analizzati) sono stati costruiti per valutare la variazione della composizione dei



▲ Figura 7
 Diagramma K_2O vs. SiO_2 (Peccerillo e Taylor, 1976) per i campioni del vulcano La Soufrière oggetto di questo studio suddivisi in litotipi a diverso grado di evoluzione su base petrografica. Sono inoltre riportati per confronto i campioni di letteratura [da Graham e Thirlwall (1981) e Heath et al. (1998)] appartenenti alle fasi di attività preistorica (Pre-Somma, Yellow Tuff, Crater Lavas, Pyroclastic Formation), storica (1718, 1812, 1902) e recente (1971-79) di St. Vincent.



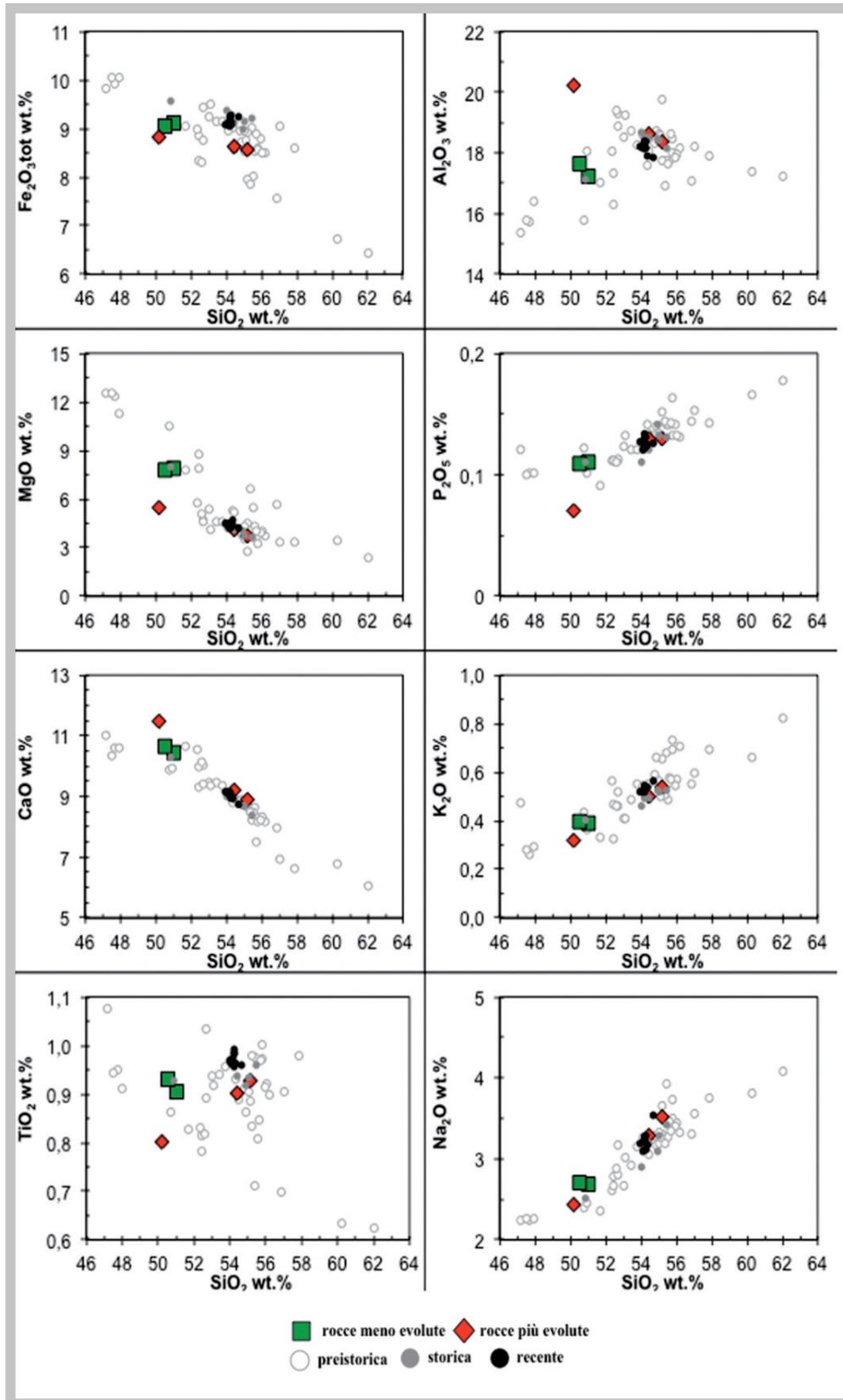
▲ Figura 6
 Diagramma Total Alkali vs. SiO_2 (Le Maitre, 2002) per la classificazione chimica e la nomenclatura dei campioni del vulcano La Soufrière oggetto di questo studio suddivisi in litotipi a diverso grado di evoluzione su base petrografica. Sono inoltre riportati per confronto i campioni di letteratura [da Graham e Thirlwall (1981) e Heath et al. (1998)] appartenenti alle fasi di attività preistorica (Pre-Somma, Yellow Tuff, Crater Lavas, Pyroclastic Formation), storica (1718, 1812, 1902) e recente (1971-79) di St. Vincent. La linea tratteggiata che separa il campo delle serie di rocce subalcaline (sotto) da quelle alcaline (sopra) è tratta da Irvine e Baragar (1971).



▲ Figura 8
 Diagramma AFM (A = $Na_2O + K_2O$; F = $FeO + Fe_2O_3$; M = MgO) per i campioni del vulcano La Soufrière oggetto di questo studio. Sono inoltre riportati per confronto i campioni di letteratura [da Graham e Thirlwall (1981) e Heath et al. (1998)] appartenenti alle fasi di attività preistorica (Pre-Somma, Yellow Tuff, Crater Lavas, Pyroclastic Formation), storica (1718, 1812, 1902) e recente (1971-79) di St. Vincent. La linea di separazione tra i campi relativi alle rocce di serie tholeiitiche e calcalcaline è tratta da Irvine e Baragar (1971).

campioni oggetto di questo studio al variare del grado di differenziazione. Per quanto riguarda gli elementi maggiori (Fig. 9), i campioni oggetto di questo studio sono

caratterizzati da una diminuzione dei contenuti di Fe_2O_3 , Mg e CaO e da un aumento dei contenuti di Al_2O_3 , P_2O_5 , K_2O e Na_2O .



◀ Figura 9
 Diagrammi di variazione di tipo Harker per gli le concentrazioni degli elementi maggiori dei campioni del vulcano La Soufrière oggetto di questo studio suddivisi in litotipi a diverso grado di evoluzione su base petrografica. Sono inoltre riportati per confronto i campioni di letteratura [da Graham e Thirlwall (1981) e Heath et al. (1998)] appartenenti alle fasi di attività preistorica (Pre-Somma, Yellow Tuff, Crater Lavas, Pyroclastic Formation), storica (1718, 1812, 1902) e recente (1971-79) di St. Vincent.

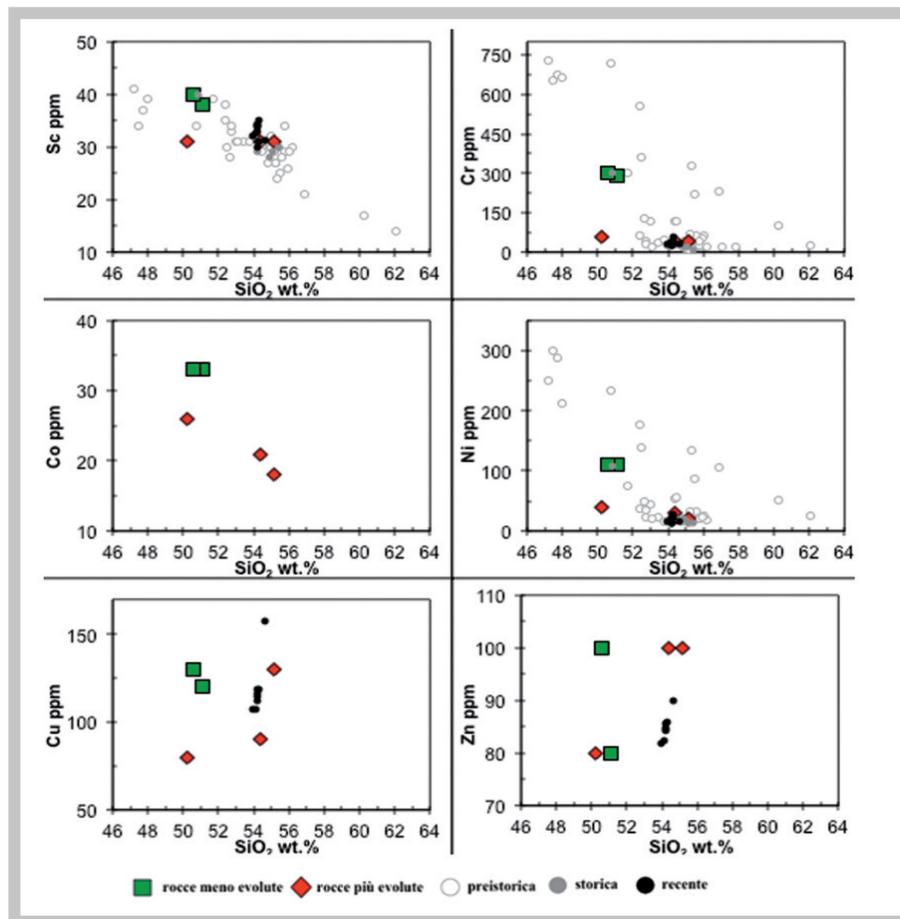
Ulteriori diagrammi di variazione sono stati costruiti anche per alcuni dei più significativi elementi in tracce

Per quanto riguarda i metalli di transizione (Fig. 10), si osserva una diminuzione grossomodo costante col procedere della differenziazione per i contenuti di Sc, Cr, Co e Ni. Decisamente più irregolari sono invece le variazioni dei contenuti in Zn e Cu, per i quali i due gruppi

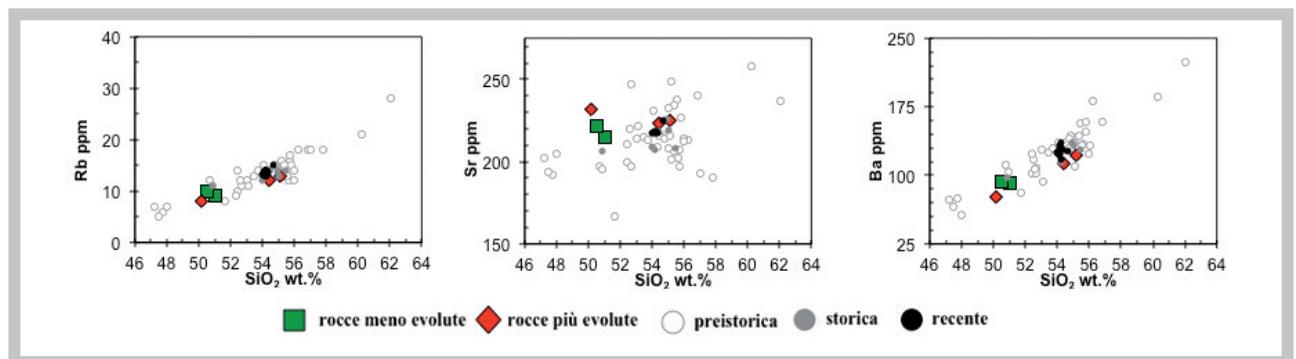
di rocce oggetto di questo studio mostrano nel complesso intervalli di variazione sovrapponibili.

Due gruppi ulteriori gruppi di elementi in tracce, dal comportamento generalmente incompatibile e con una particolare rilevanza nell'ambito dello studio dei processi petrogenetici sono quelli denominati LILE (*Large Ion Lithophile Elements*) ed HFSE (*High Field Strength Elements*).

I diagrammi di variazione relativi agli elementi del gruppo LILE (Fig. 11) mostrano nel complesso un aumento del



◀ Figura 10
Diagrammi di variazione di tipo Harker per le concentrazioni dei metalli di transizione dei campioni del vulcano La Soufrière oggetto di questo studio. Sono inoltre riportati per confronto i campioni di letteratura [da Graham e Thirlwall (1981) e Heath et al. (1998)] appartenenti alle fasi di attività preistorica, storica e recente di St. Vincent.



▲ Figura 11
Diagrammi di variazione di tipo Harker per le concentrazioni degli elementi del gruppo LILE dei campioni del vulcano La Soufrière oggetto di questo studio suddivisi in litotipi a diverso grado di evoluzione su base petrografica. Sono inoltre riportati per confronto i campioni di letteratura [da Graham e Thirlwall (1981) e Heath et al. (1998)] appartenenti alle fasi di attività preistorica (Pre-Somma, Yellow Tuff, Crater Lavas, Pyroclastic Formation), storica (1718, 1812, 1902) e recente (1971-79) di St. Vincent.

contenuto di Rb, Ba e, meno marcatamente, Sr, con l'aumentare del grado di differenziazione. Per quanto riguarda infine gli elementi del gruppo HFSE (Fig. 12), questi mostrano nel complesso un comportamento crescente all'aumentare del grado di differenziazione.

Diagrammi normalizzati

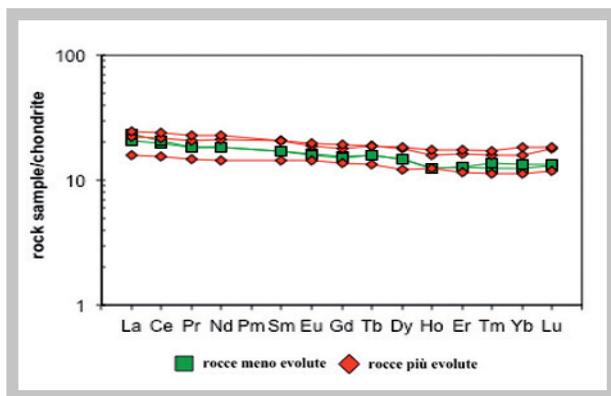
I diagrammi normalizzati consentono di risalire alle caratteristiche delle sorgenti dei magmi poco differenziati. Come si evince dalla Fig. 12, i campioni appartenenti al gruppo di rocce più evolute mostrano degli andamenti subparalleli rispetto a quelli del gruppo di rocce meno evolute e concentrazioni leggermente più elevate. I *pattern* risultano complessivamente piatti o debolmente arricchiti nelle LREE rispetto alle MREE.

Un altro importante tipo di diagrammi normalizzati prevede invece la normalizzazione alle abbondanze del mantello primordiale di un numero più ampio di elementi incompatibili (che comprende anche gli elementi maggiori K, P e Ti) rispetto ai diagrammi normalizzati ai valori condritici. Come mostrato in Fig. 13, il *pattern* definito dai campioni in esame risulta particolarmente articolato, caratterizzato da evidenti flessi in corrispondenza degli elementi Ta, Nb, Th e Ti e concentrazioni più alte degli elementi LILE quali Cs, Rb e Ba. I campioni più evoluti mostrano andamenti subparalleli rispetto a quelli meno evoluti e concentrazioni normalizzate generalmente più elevate.

DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

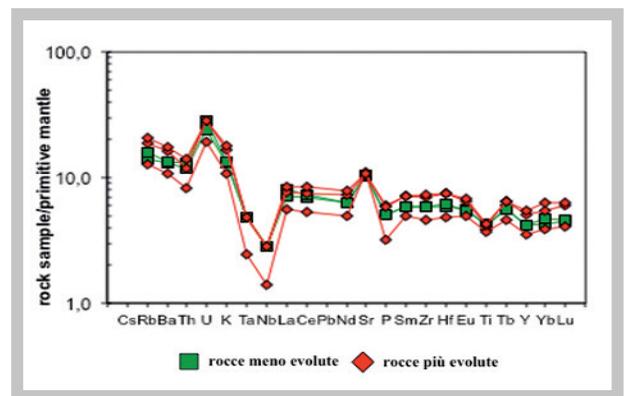
Complessivamente, è stato possibile osservare una sostanziale coerenza della composizione chimica dei campioni analizzati con i campioni del gruppo meno evoluto caratterizzati da contenuti maggiori in elementi quali Fe_2O_3 tot, MgO, CaO, Sc, Cr e Ni e minori in SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , Rb, Ba e Zr ed in generale in tutti gli elementi incompatibili rispetto a quelli del gruppo meno evoluto, ad eccezione del solo campione SVG14. Per semplicità di trattazione, nella discussione che segue tale campione sarà preso in considerazione solo in un secondo momento. Gli andamenti lineari dei *trend* differenziativi sopra riportati

possono essere interpretati come indicativi del carattere cogenetico dei campioni in oggetto, in accordo anche con gli andamenti subparalleli osservati nei diagrammi normalizzati. E' dunque possibile ipotizzare che i campioni in esame sono legati tra loro da processi di cristallizzazione frazionata che hanno interessato le fasi minerali osservate all'analisi petrografica. Per quanto riguarda il campione SVG14, la sostanziale discrepanza tra la composizione chimica (più affine a quella dei campioni del gruppo meno evoluto) e le caratteristiche petrografiche (coerenti con quelle mostrate dai campioni del gruppo più evoluto) suggeriscono una genesi differente. Una delle peculiarità più caratteristiche di tale campione è senza dubbio rappresentata dagli elevati contenuti in CaO (11,5 wt.%) ed Al_2O_3 (20,2 wt.%), significativamente superiori a quelli degli altri campioni in esame ed alla stragrande maggioranza dei campioni di St. Vincent presenti in letteratura. Un modello particolarmente adatto a spiegare la presenza di rocce basiche particolarmente ricche in Al_2O_3 , relativamente a prodotti messi in posto durante una fase di attività estremamente limitata nel tempo, potrebbe prevedere l'intervento di fenomeni di cumulo di fasi, che avrebbero pertanto determinato una deviazione della composizione del campione da quella del magma originario. Per tale scopo, sono stati costruiti dei diagrammi binari, riportati nelle Fig.14 e Fig. 15, in cui è possibile valutare gli effetti dell'accumulo delle principali fasi mineralogiche osservate in sezione sottile sulle rocce del gruppo più evoluto. Dalle figure risulta evidente come la peculiare composizione chimica del campione SVG14 sia compatibile con processi di cumulo dominati dal plagioclasio, accompagnato da minori quantitativi di anfibolo (e possibilmente anche da ridotti quantitativi di olivina). Tale modello sarebbe supportato dalle osservazioni petrografiche, che hanno evidenziato la presenza di grossi cristalli anedrali di plagioclasio e meno abbondante anfibolo, entrambi verosimilmente di origine xenocristallina. Per quanto riguarda infine le caratteristiche delle sorgenti da cui si sono originati i magmi che hanno alimentato l'attività di St. Vincent del periodo 1902-03, i diagrammi normalizzati al mantello primordiale mostrano per i campioni in esame i tipici andamenti arricchiti in elementi del gruppo LILE ed impoveriti in elementi del



▲ Figura 12

Diagramma delle concentrazioni degli elementi del gruppo delle REE normalizzate alla condrite (valori di normalizzazione da Sun e McDonough (1989)) per i campioni del vulcano La Soufrière oggetto di questo studio suddivisi in litotipi a diverso grado di evoluzione su base petrografica.

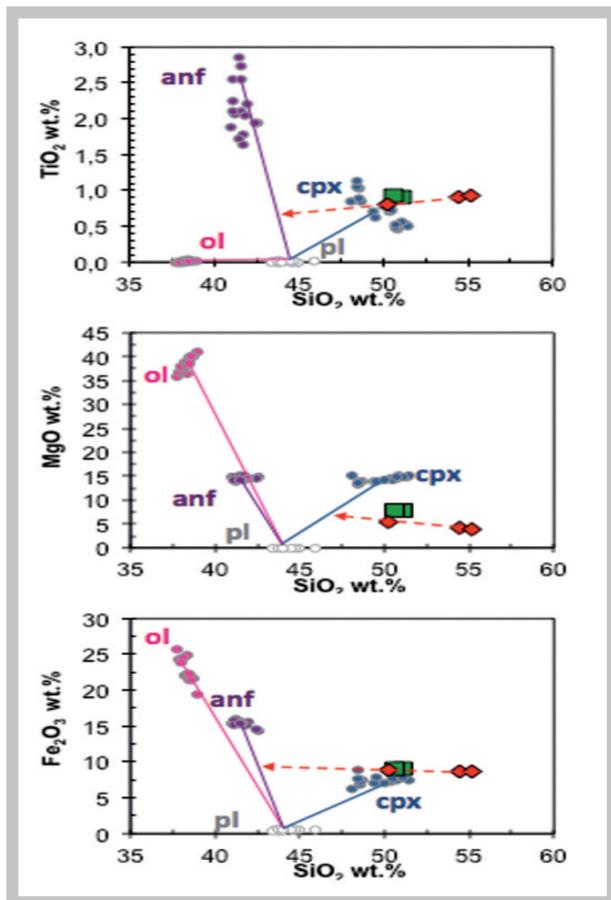


▲ Figura 13

Diagramma delle concentrazioni degli elementi del gruppo delle REE normalizzate al mantello primordiale (valori di normalizzazione da Sun e McDonough (1989)) per i campioni del vulcano La Soufrière oggetto di questo studio (attività del periodo 1902-03), suddivisi in litotipi a diverso grado di evoluzione su base petrografica.

▼ Figura 14

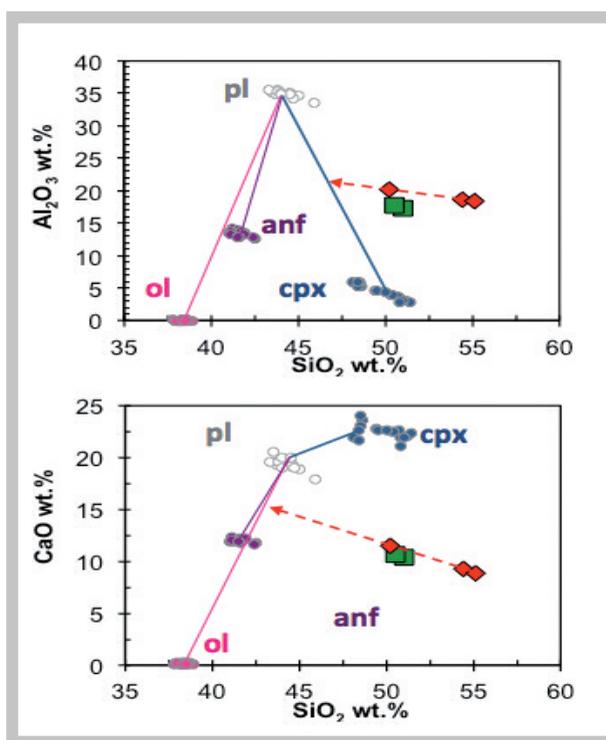
Diagrammi TiO_2 vs. SiO_2 , MgO vs. SiO_2 e Fe_2O_3 wt.% vs. SiO_2 , che mostrano gli effetti di processi di cumulo di cristalli di plagioclasio (pl), anfibolo (anf), clinopirosseno (cpx) ed olivina (ol) sui campioni del gruppo di rocce meno evolute dei campioni del vulcano La Soufrière oggetto di questo studio (attività del periodo 1902-03). Le analisi dei minerali sono prese da Tollan et al. (2012). Si rimanda al testo per ulteriori dettagli.



gruppo HFSE che caratterizzano i magmi messi in posto in ambiente orogenico. In tali contesti, infatti, magmi si formano per effetto dell'abbassamento della temperatura di fusione causato dal rilascio di volatili da parte della placca litosferica subducente. Tali volatili sarebbero infatti

▼ Figura 15

Diagrammi Al_2O_3 vs. SiO_2 e CaO wt. % vs. SiO_2 che mostrano gli effetti di processi di cumulo di cristalli di plagioclasio (pl), anfibolo (anf), clinopirosseno (cpx) ed olivina (ol) sui campioni del gruppo di rocce meno evolute dei campioni del vulcano La Soufrière oggetto di questo studio (attività del periodo 1902-03). Le analisi dei minerali sono prese da Tollan et al. (2012). Si rimanda al testo per ulteriori dettagli.



responsabili del metasomatismo del cuneo di mantello litosferico della placca sovrascorrente che, oltre a consentire la fusione della sorgente peridotitica, la arricchisce in tutti quegli elementi affini alle fasi volatili, quali gli elementi del gruppo LILE, impoverendola indirettamente negli elementi "immobili" quali quelli del gruppo HFSE. La genesi dei magmi primitivi da cui si sono successivamente evoluti i magmi e da cui si sono originati i campioni in esame dovrebbe aver avuto luogo nella facies a spinello del mantello peridotitico metasomatizzato, come indicato dagli andamenti dei diagrammi normalizzati.

Bibliografia

- Graham, A.M., Thirlwall, M.F., 1981. Petrology of the 1979 eruption of Soufriere Volcano, St. Vincent, Lesser Antilles. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 76, 336-342.
- Heat, E., Macdonald, R., Belkin, H., Hawkesworth, C., Sigurdsson, H., 1998. Magmagenesis at Soufrière Volcano, St. Vincent, Lesser Antilles Arc. *Journal of Petrology*, 39, 1721-1764.
- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.
- Le Maitre, R.W., 2002. *Igneous Rocks: a Classification and Glossary of Terms: Recommendations of International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge University Press.

- Peccerillo, A., Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 56, 221-246.
- Sun, S.S., Mc Donough, W.F., Saunders, A.D., Norry, M.J., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society, London, Special Publication, 42, 313-345.
- Tollan, P.M.E., Bindeman, I., Blundy, J.D., 2012. Cumulate xenoliths from St. Vincent, Lesser Antilles Island Arc: a window into upper crustal differentiation of mantle-derived basalts. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 163, 189-208.



CANDIDATO:
ALESSANDRO PETROCCIA¹



RELATORE:
PROF. RODOLFO CAROSI¹



CORRELATORE:
DOTT. MATTEO SIMONETTI¹

¹ UNIVERSITÀ DI TORINO, DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA, VIA VALPERGA CALUSO 35, 10125, TORINO

**Estratto
della Tesi**
Vincitore
del Premio
Giuntini 2020
nella sezione
Laurea Triennale

Studio geologico-strutturale e geocronologico di due settori della East Variscan Shear Zone:

la Linea Posada-Asinara (Sardegna, Italia) e la Cavalaire Fault (Maures Massif, Francia)

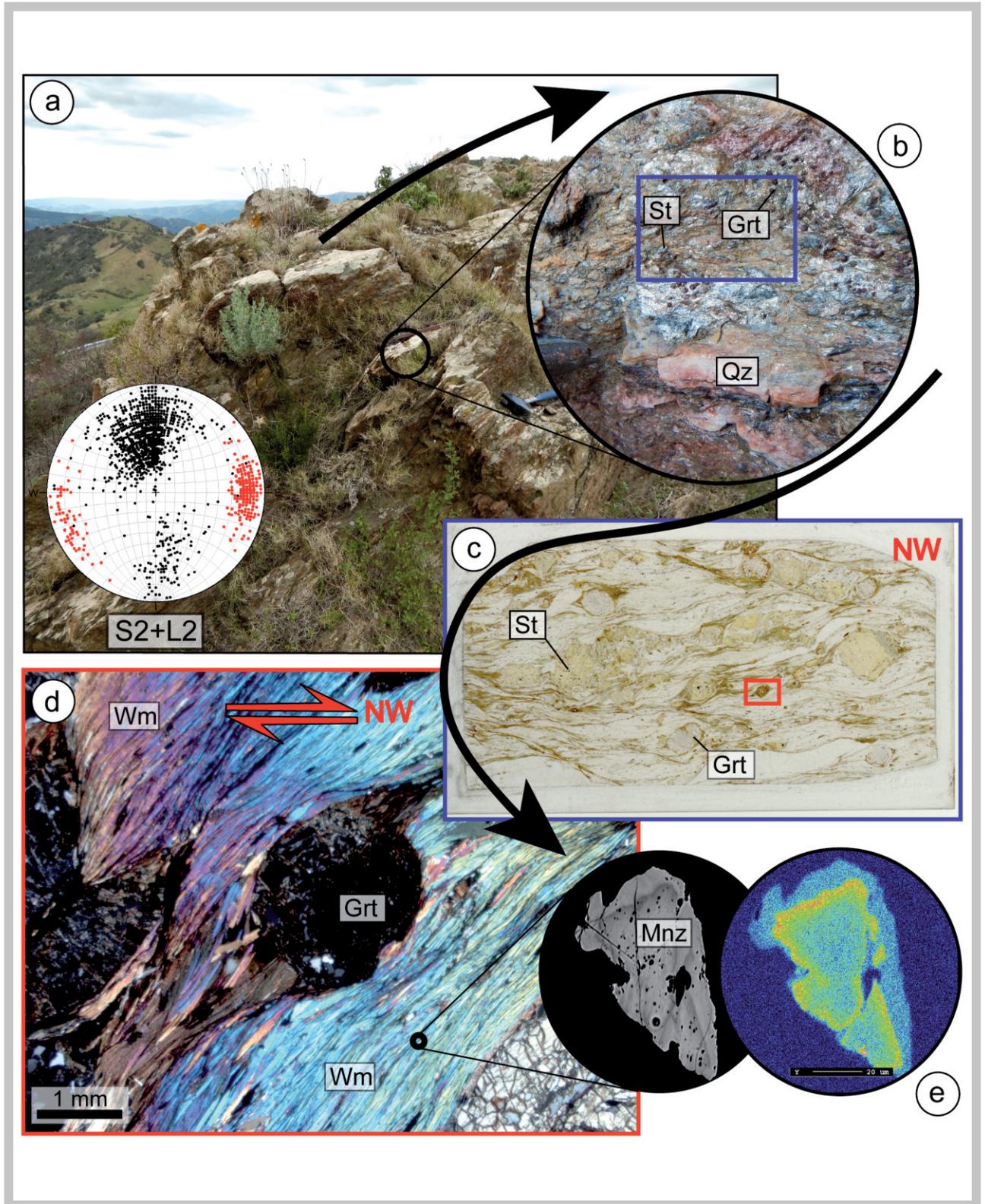
Introduzione

La Catena Varisca rappresenta il risultato della convergenza e successiva collisione continentale tra le placche Laurentia-Baltica e Gondwana (MATTE, 2001). Il settore europeo della catena è diviso in due porzioni: una più occidentale, denominata arco Ibero-Armoricano, e una meno studiata che corrisponde all'arco orientale, delimitato verso Est da una zona di taglio regionale, conosciuta come *East Variscan Shear Zone* (EVSZ; CAROSI *et al.*, 2012; SIMONETTI *et al.*, 2020a,b). In seguito all'Orogenesi Alpina, il basamento Varisico è stato parzialmente frammentato e deformato nuovamente, rendendo le correlazioni tra le varie porzioni affioranti nell'area mediterranea piuttosto complesse. Lo scopo di questa tesi è stato quello di raccogliere nuovi dati che aiutassero a rafforzare la correlazione tra il basamento Varisico sardo ed il Massiccio del Maures-Tanneron attraverso uno studio multidisciplinare delle due zone di taglio regionali presenti in questi settori: la Posada-Asinara shear zone (PASZ) in Sardegna e la Cavalaire Fault (CF) in Francia meridionale.

Metodi

In entrambe le aree di studio è stato utilizzato un approccio multidisciplinare e multiscala (lavoro di terreno, analisi meso-strutturali e analisi micro-strutturali; Fig. 1). In **Sardegna** è stato eseguito un rilevamento geologico-strutturale (Fig. 1a) che ha permesso di realizzare una carta geologica di un areale di circa 200 km², alla scala 1:25.000 (ottenuta dalla sintesi di un rilevamento svolto alla scala 1:10.000). Durante il rilevamento è stato effettuato anche un accurato campionamento (Fig. 1b). Il lavoro di terreno è inoltre stato implementato da:

- analisi petrografica in sezione sottile tramite microscopio ottico (Fig. 1c);
- analisi microstrutturale e caratterizzazione degli indicatori cinematici (Fig. 1d), dei meccanismi deformativi, di ricristallizzazione e dei rapporti blastesi-deformazione;
- ricostruzione della zoneografia tettono-metamorfica;
- analisi della vorticità cinematica (metodo dei *C' shear bands* e dei porfiroclasti stabili) su campioni o sezioni sottili e dello *strain* finito (metodo centro a centro; FRY, 1979);



▲ Figura 1

a) Affioramento di micascisti a staurolite del basamento Varisco sardo con la proiezione dei principali elementi strutturali (foliazione e lineazione); b) dettaglio dell'affioramento dove si osservano cristalli pluri-millimetrici di granato e staurolite e ribbon quartz; c) sezione sottile ottenuta da un campione prelevato dall'affioramento precedente; d) dettaglio della sezione dove si osserva un porfiroclasto di granato con un senso di trasporto top-to NW; e) dettaglio delle monaziti analizzate lungo la foliazione sia al SEM che la mappa composizionale dell'Y ottenuta all'EMPA.

- individuazione di monaziti (Fig. 1e) mediante osservazioni al microscopio ottico e al microscopio elettronico (SEM). Sui cristalli individuati sono state realizzate mappe composizionali alla microsonda elettronica (EMPA) e datazioni radiometriche tramite LA-ICP-MS.

In Francia è stato studiato un transetto orientato circa E-W attraverso il massiccio del Maures, dal basso all'alto grado metamorfico e perpendicolare all'andamento delle principali strutture. Sono stati osservati gli affioramenti chiave e misurati i principali elementi meso-strutturali di ogni unità all'interno del massiccio. Il lavoro di terreno è stato poi integrato, ad esclusione dello studio geocronologico, utilizzando le stesse metodologie precedentemente citate per il lavoro svolto in Sardegna.

Risultati e discussioni

Sardegna – Posada Asinara shear zone

Sono state riconosciute quattro fasi deformative. La S_1 si osserva solamente all'interno delle cerniere sradicate di livelli più competenti o come foliazione interna nei porfiroclasti di granato, staurolite, cianite, albite ed oligoclasio. In alcuni casi, il *rim* del cristallo presenta una foliazione interna in continuità con quella esterna S_2 ad indicare una crescita da inter- a sin-cinematica. La foliazione principale S_2 è definita da mica bianca e biotite e anche dalla sillimanite nei paragneiss migmatitici. Il quarzo presenta spesso un evidente *Grain Boundary Migration* (GBM; PASSCHIER & TROUW, 2005), ad indicare temperature comprese tra 500°-700°C. Spesso il GBM è obliterato da *Subgrain rotation recrystallization* (SRR), che indica un range di temperatura minore tra i 400°-500°C, ad indicare una progressiva diminuzione della temperatura. La fase deformativa D_2 è associata a pieghe sia cilindriche, sia non cilindriche. Esse sviluppano una foliazione di piano assiale S_2 , generalmente milonitica. La fase D_2 è associata anche ad indicatori cinematici con un senso di trasporto *top-to-the* W-NW. La fase D_3 sviluppa pieghe coassiali con le pieghe F_2 , ma presentano alti angoli tra i piani assiali, formando figure di interferenza di tipo 3 di RAMSAY (1967). La fase deformativa D_4 coinvolge tutte le strutture precedenti mediante pieghe aperte con assi e piani assiali sub-orizzontali ed è responsabile della variazione di immersione della foliazione S_2 da S verso N. L'analisi della vorticità cinematica ha evidenziato una deformazione transpressiva dominata da taglio puro, con alcuni campioni che ricadono nel campo della transpressione dominata da taglio semplice. Si osserva un progressivo aumento della componente di taglio semplice avvicinandosi verso il nucleo della PASZ. Dalle analisi della deformazione finita si osserva come tutti i campioni ricadano nel campo degli ellissoidi oblati o vicino alle condizioni *strain* piano. I dati geocronologici sono stati interpretati combinando osservazioni microstrutturali e chimiche delle monaziti su tre campioni prelevati all'interno dei micascisti a staurolite e granato. Le età più vecchie comprese tra ~ 350-340 Ma, sono state osservate nelle monaziti all'interno della staurolite o nei microlitoni e possono essere associate alla fase collisionale D_1 . Il dominio con maggiore

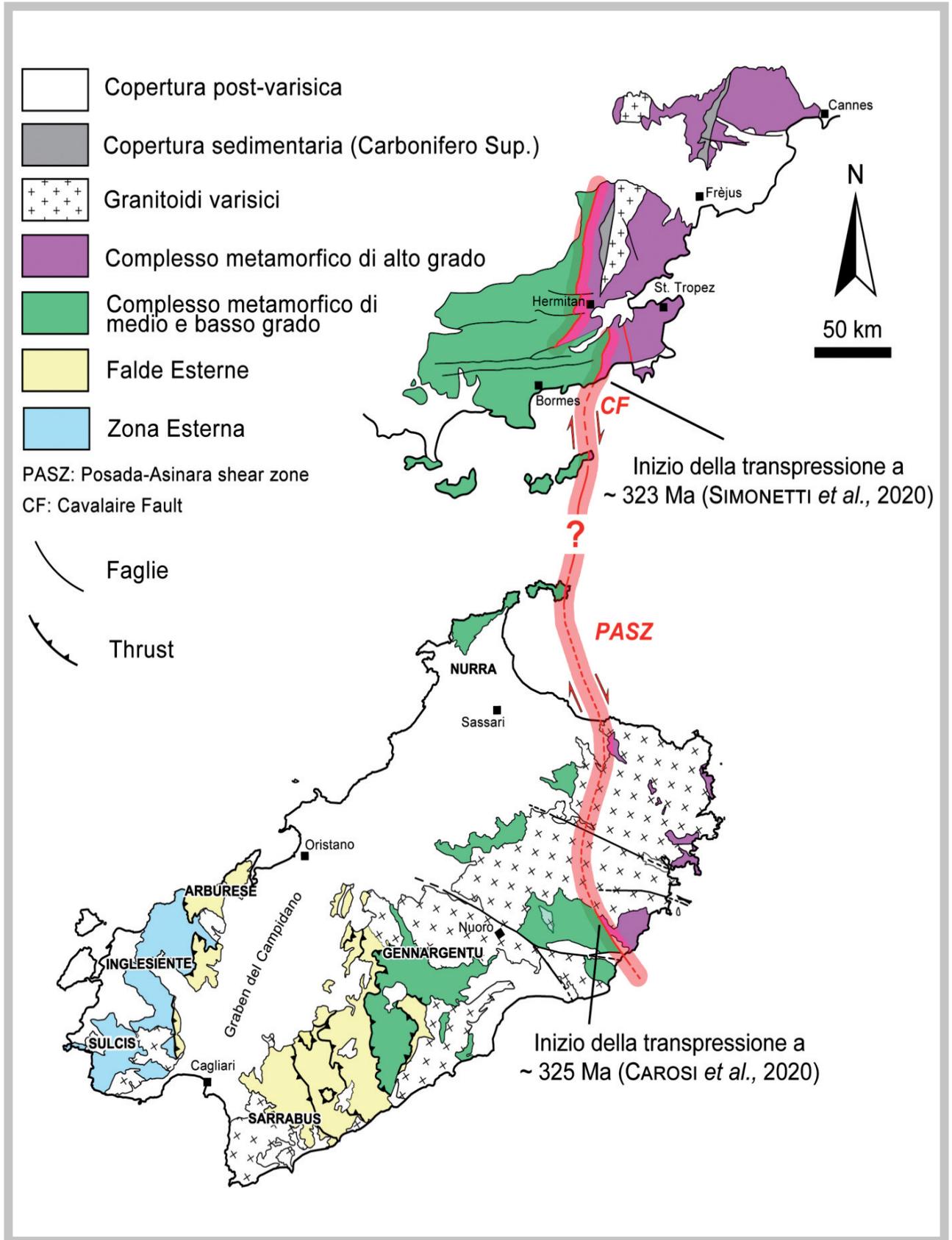
frequenza è intorno a 325 Ma ed è associato all'inizio dell'attività della PASZ. Le età più giovani indicano una età di ~ 300 Ma.

Francia – Cavalaire Fault

I dati ottenuti evidenziano una deformazione complessa del MTM durante l'orogenesi varisca. Nelle zone più esterne si osserva una stratificazione S_0 che progressivamente nelle zone più interne viene trasposta da pieghe F_1 . In sezione sottile, all'interno dei porfiroclasti di cianite, staurolite e granato presenti negli ortogneiss di Bormes e nei micascisti a cianite, si osserva una foliazione interna S_1 , definita da quarzo e mica bianca, discordante rispetto a quella esterna S_2 , che invece è prevalentemente definita da mica bianca e biotite. In alcuni casi è presente una foliazione nei *rim* di alcuni dei minerali barroviani concordante con quella esterna. Questo indica quindi una crescita da inter- a sin-tettonica di questi minerali. Durante la fase D_2 , oltre allo sviluppo di pieghe F_2 , si osserva anche lo sviluppo di una foliazione S_2 che nei settori in corrispondenza della CF è generalmente milonitica. Questa foliazione S_2 viene associata alla fase transpressiva, a cui è associato lo sviluppo della CF stessa. Gli indicatori cinematici osservati indicano un senso di taglio *top-to-the* W-NW. L'analisi della vorticità cinematica permette, per la prima volta, di caratterizzare il regime deformativo responsabile della formazione della CF, che risulta essere caratterizzata da una deformazione transpressiva dominata da taglio puro. I due campioni analizzati per lo *strain* finito ricadono nel campo degli ellissoidi oblati, tipici delle zone di taglio a carattere transpressivo, con parametri K molto vicini al campo dello *strain* piano.

Conclusioni

Il Massiccio del Maures-Tanneron ed il basamento Varisco sardo mostrano numerose analogie (CAROSI & PALMERI, 2002; SCHNEIDER *et al.*, 2014; SIMONETTI *et al.*, 2020b). Entrambi i settori mostrano un complesso di medio-basso grado ed un complesso migmatitico, con intrusioni granitiche varisiche, separati da una zona di taglio a scala regionale (la PASZ nel nord della Sardegna e la Cavalaire Fault nel MTM; Fig. 2). La PASZ e la CF sono inoltre due zone di taglio duttili attive in condizioni di facies anfibolitica, caratterizzate dalla stessa cinematica, che si sono sviluppate in un regime deformativo transpressivo con una percentuale di taglio puro maggiore rispetto a quella di taglio semplice. I dati geocronologici ottenuti dallo studio in Sardegna sono comparabili con quelli già presenti in letteratura. Le evidenze della fase collisionale all'interno dei siti microstrutturali analizzati, ha permesso di datarla a ~ 350-340 Ma, mentre l'inizio della transpressione a ~ 325 Ma (CAROSI *et al.*, 2020). Gli ultimi dati pubblicati da SIMONETTI *et al.*, (2020b) fissano l'attività della CF a ~ 323 Ma. I nuovi dati strutturali ottenuti nel lavoro di tesi, rafforzano il modello proposto da ADVOKAAT *et al.*, (2014) del blocco Sardo-Corso in continuità con il massiccio del Maures nel sud della Francia e rinforzano questa correlazione con nuovi dati riguardo le caratteristiche deformative e cronologiche delle due zone di taglio transpressive a scala regionale che interessano questi settori.



▲ Figura 2
 a) Schema semplificato che illustra la possibile posizione dei due settori studiati durante il tardo Carbonifero (modificata da SIMONETTI et al., 2020b).

Bibliografia essenziale

- ADVOKAAT E.L., VAN HINSBERGEN D.J.J., MAFFIONE M., LANGEREIS C.G., VISSERS R.L.M., CHERCHI A. & SCHROEDER R., MADANI H. (2014) - Eocene rotation of Sardinia, and the paleogeography of the western Mediterranean region. *Earth Planet Sc. Lett.*, 401, 183 – 195
- CAROSI R., MONTOMOLI C., TIEPOLO M. & FRASSI C. (2012) - Geochronological constraints on post-collisional shear zones in the Variscides of Sardinia (Italy). *Terra Nova*, 24, 42 – 51
- CAROSI R. & PALMERI R. (2002) - Orogen-parallel tectonics transport in the Variscan belt of northeastern Sardinia (Italy): implications for the exhumation of medium-pressure metamorphic rocks. *Geol. Mag.*, 139, 497 – 511
- CAROSI R., PETROCCIA A., IACCARINO S., SIMONETTI M., LANGONE A. & MONTOMOLI C. (2020): Kinematics and timing constraints in a transpressive tectonic regime: the example of the Posada-Asinara shear zone (NE Sardinia, Italy). *Geosci.*, 10, 288, DOI: 10.3390/geosciences10080288
- FRY N. (1979) - Random point distribution and strain measurement in rocks. *Tectonophysics*, 60, 89 – 105
- MATTE P. (2001) - The Variscan collage and orogeny (480–290 Ma) and the tectonic definition of the Armorica microplate: a review. *Terra Nova*, 13, 117 – 121
- PASSCHIER C.W. & TROUW R.A.J. (2005) - *Microtectonics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 101
- RAMSAY J.G. (1967) - *Folding and fracturing of rocks*. McGraw Hill, New York
- SCHNEIDER J., CORSINI M., PEILA A. & LARDEAUX J. (2014) - Thermal and mechanical evolution of an orogenic wedge during Variscan collision: an example in the Maures-Tanneron Massif (SE France). *J. Geol. Soc. (Lond.)*, 405, 30 – 37
- SIMONETTI M., CAROSI R., MONTOMOLI C., COTTLE J.M. & LAW R.D. (2020a): Transpressive deformation in the Southern European Variscan Belt: new insights from the Aiguilles Rouges Massif (Western Alps). *Tectonics*, DOI:10.1029/2020tc006153
- SIMONETTI M., CAROSI R., MONTOMOLI C., CORSINI M., PETROCCIA A., COTTLE J.M. & IACCARINO S. (2020b): Timing and kinematics of flow in a transpressive dextral shear zone, Maures Massif (Southern France). *Int. J. Earth Sci.*, 109, 2261-2285, DOI: 10.1007/s00531-020-01898-6

 **AGICOM**[®]
S.r.l.

CONCESSIONARIA DI PUBBLICITÀ PER QUESTA RIVISTA

POWERING YOUR COMPANY

WWW.AGICOM.IT

 100%  09:00



Ordine dei
Geologi della Toscana



ANNO XXXI
n. 113
DICEMBRE 2020

Periodico d'informazione
dell'Ordine dei Geologi della Toscana

Direttore Responsabile

Riccardo Martelli

Coordinamento editoriale

Alessandro Danesi

Consiglio dell'Ordine

Barsanti Pietro, Brugioni Marcello, Ceccarelli Francesco,
Danesi Alessandro, Frosini Simone, Livi Elisa, Mannori Gaddo,
Martelli Riccardo, Parenti Iacopo, Romani Stefano,
Salvatori Monica

Commissione scientifica

Massimo Baglione, Gianluca Cornamusini, Lorella Francalanci,
Roberto Giannecchini, Brunella Raco, Simone Sartini,
Enrico Tavarnelli

Comitato di redazione

Giancarlo Lari, Guido Lavorini, Andrea Martini,
Donato Merola, Maria Chiara Piccardi, Massimo Della Schiava,
Luciano Sergiampietri,

Editore

Ordine dei Geologi della Toscana, Via Vittorio Fossombroni, 11
50136 Firenze

Direzione e redazione centrale

Via Vittorio Fossombroni, 11 - 50136 Firenze
Tel. 055 2340878 - fax 055 2269589
email: il_geologo@geologitoscana.it
www.geologitoscana.it

Pubblicità

Agicom srl
Viale Caduti in Guerra, 28 - 00060 Castelnuovo di Porto (RM)
Tel. 069078285 - fax 069079256
agicom@agicom.it
www.agicom.it

Creatività e Grafica

Agicom srl

Stampa

Spadamedia Srl

Poste italiane Spa - Spedizione in Abbonamento Postale 70% - DCB FI
Autorizzazione Tribunale di Lucca N. 531 del 17/09/90

Fatti salvo gli obblighi di legge, la redazione declina ogni responsabilità riguardo ai contenuti degli spazi pubblicitari, che non possono in alcun modo essere considerati rappresentativi, prossimi o indicativi della politica dell'ordine di cui la rivista è organo. Tutte le inserzioni pubblicitarie sono gestite dalla Agicom srl.

È espressamente vietata la riproduzione di testi e foto ai sensi e per gli oggetti dell'art. 65 della legge n. 633-22.4.1941.



LAGO MORENICO

Lago nero (PT)

Foto di A. Danesi

113

IL GEOLOGO

NUOVA JEEP® RENEGADE **4xe** PLUG-IN HYBRID

ISPIRATA DALLA NATURA



PRENDIAMOCI CURA
DEL NOSTRO FUTURO

Jeep®

Gamma Renegade 4xe: emissioni di CO₂ (ponderate, combinate) (g/km): 46 - 44. Consumo di carburante (ponderato, combinato) (l/100km): 2.0 - 1.9. Valori omologati in base al metodo di misurazione/correlazione riferito al ciclo NEDC di cui al Regolamento (UE) 2019/1840 aggiornati al 30/09/20. I valori sono indicati a fini comparativi.

Jeep® è un marchio registrato di FCA US LLC.