



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DOTTORATO DI RICERCA IN
SCIENZE DELLA TERRA

CICLO XXIX

COORDINATORE Prof. LORENZO ROOK

*Investigazioni geochimiche ed isotopiche per la valutazione delle risorse geotermiche
in Sicilia*

Settore Scientifico Disciplinare GEO/08

Dottorando
Dott.ssa Donato Assunta

Assunta Donato

Tutore
Prof. Vasefi Orlandi

Co-Tutori
Prof. Tassi Franco

Dott.ssa Pecoraino Giovannella

Dott.ssa Manzella Adele

Coordinatore
Prof. Lorenzo Rook

Anni 2013/2016

A mio marito

Ringraziamenti

Desidero ringraziare tutte le persone che mi hanno sostenuta e supportata in questi tre anni e senza le quali probabilmente questo lavoro non sarebbe giunto a conclusione.

In primis ringrazio il Prof. Orlando Vaselli e il Prof. Franco Tassi per la fiducia accordatami accettando di farmi da tutori e per avermi seguita nella realizzazione di questo lavoro di dottorato.

Un ringraziamento speciale va alle co-tutrici di questo studio: Adele Manzella, colei che per prima ha creduto in me e che ha permesso lo svolgimento di questo dottorato e Giovannella Pecoraino (Guenda) che mi ha supportata in tutto il mio percorso con i suoi preziosi consigli e suggerimenti e che mi ha aperto gioiosamente le porte di casa sua.

Ringrazio di cuore tutto il gruppo INGV che Guenda ha coinvolto in questa “avventura”, in particolare Claudio Scaletta, Ester Gagliano e Leonardo La Pica, sempre presenti e disponibili ad accompagnarmi in campagna, grazie ai quali ho scoperto angoli e borghi della Sicilia dei quali, prima di questa esperienza, ne ignoravo l'esistenza.

Ringrazio il Prof. Dario Tedesco e il Prof. Francesco Frondini per l'attenta revisione dell'elaborato e per l'interesse e l'entusiasmo manifestato verso i risultati di questo lavoro.

Vorrei inoltre esprimere la mia gratitudine a assegnisti/borsisti/dottorandi del Dipartimento di Scienze della Terra di Firenze con i quali ho trascorso a stretto contatto gli ultimi mesi di dottorato, in particolare Stefania Venturi e Jacopo Cabassi con cui ho condiviso preoccupazioni e frustrazioni e che non hanno mai smesso di supportarmi o meglio “soportarmi” e di credere nelle mie capacità e nella riuscita di questa impresa titanica.

Un ringraziamento particolare va alla mia collega Serena Botteghi per l'affetto dimostratomi.

Un grazie sincero va ai miei genitori i quali, nonostante le distanze fisiche mi hanno sostenuta con il loro amore incondizionato, spronandomi a non mollare e ad andare avanti per la mia strada.

Dulcis in fundo, un ringraziamento particolare va a mio marito, che è sempre stato al mio fianco, dal primo all'ultimo giorno, che ha condiviso con me i momenti difficili che si sono avvicinati nel corso di questo dottorato, offrendomi tutto il suo aiuto, il suo conforto e il suo amore.

Abstract

Sicily (southern Italy) counts many thermal manifestations that include thermal waters, gas discharges and mud volcanoes. The chemical and isotopic variability of these emissions is intimately related to the complex geological structure of the region. Sicily is a sector of the south-verging Apennine-Maghrebian orogenic belt, stacked since Late Oligocene and located along the African-European plate boundary in the Mediterranean area. The belt results from the deformation of nappes belonging to different paleogeographic domain.

In this PhD work, a sector of the “collisional” complex of Sicily was investigated performing geochemical and isotopic measurements of waters and natural gases along a NE-SW transect running from Peloritani Mts. to Sciacca Plain in order to: i) increase the knowledge on the origin of these fluids (thermal waters, gas vents and mud volcanoes); ii) define the origin and evolution of the emerging fluids based on major, minor and trace elements, dissolved and free gas contents, $\delta^{13}\text{C}\text{-CO}_2$ and $^3\text{He}/^4\text{He}$ isotopic signatures; iii) understand the relationship between fluids and geological-tectonic setting of the study area and iv) propose conceptual models targeting the circulation paths and the main water-gas-rock interaction processes. The geochemical data were acquired during seven geochemical surveys, performed between 2015 to 2016, and integrated with previous measurement: a) performed by Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV-Palermo); b) included in the Geothermal Atlas project and c) reported in relevant scientific articles, in order to cover as best as possible the study area. A wide compositional range was evidenced in the waters and dissolved gases discharged from this sector of the Sicilian chain. The oxygen and hydrogen isotopic composition was consistent with a meteoric origin, although some waters were isotopically modified due to: (1) water-rock interaction at relatively high temperatures; (2) mixing with seawater; (3) evaporative processes; (4) exchange processes between water and gas. $\text{CO}_2\text{-N}_2$ -rich dissolved gases were mostly distributed in Western and North-central Sicily on the outcrops of Mesozoic carbonate rocks hosting the regional geothermal reservoir. Moving

to the east, over the accretionary wedge that developed in front of the Apennine–Maghrebian fold-and-thrust belt, in the thick sequences of evaporitic, clastic and pelagic deposits related of Miocene to Pleistocene deposits, fluids emissions were CH₄-dominated. CO₂-rich waters were present in the northeastern region along both the Tyrrhenian and Ionian coast, where crystalline rocks (Peloritani units) diffusely outcrops. The isotopic signature of CO₂ suggested that thermo-metamorphic decarbonation and a mantle component, with some contribution by shallower sources (i.e. biogenic), affected the studied samples. This is also supported by the helium isotopic composition, since the R/Ra values indicated that He was mainly deriving from a crustal source with a significant (up to 40%) mantle-derived helium in the southern-western area.

Difficulties were encountered when liquid geothermometry was applied to the thermo-minerals waters due to the different geochemical processes that affected these fluids and, consequently, reliable equilibrium temperatures of the thermal reservoirs were not obtained. Nevertheless, by considering the original and literature data along with heat flow measurements, the southern-western part of Sicily, between Sciacca and Agrigento, can be regarded as a potentially suitable area for further studies in order to evaluate the possibility to exploit the geothermal resource.

Indice

1. Introduzione	3
2. Inquadramento geologico-strutturale	7
2.1. Inquadramento regionale della Sicilia.....	7
2.2. Caratteristiche stratigrafiche, strutturali e litologiche dell'area di studio.....	9
2.2.1 Il settore Orientale: I monti Peloritani.....	10
2.2.2 Il settore Settentrionale: I monti Nebrodi e Madonie	14
2.2.3 Il settore Centrale: Il Bacino di Caltanissetta	16
2.2.4 Il settore occidentale: I Monti Sicani e il Bacino di Sciacca	17
2.3. Il vulcanismo siciliano	18
2.4 I regimi tettonici.....	21
2.5. Il flusso di calore	23
2.6 Il serbatoio carbonatico.....	24
2.7 Il basamento magnetico.....	29
3. Metodi di campionamento e procedure analitiche per acque e gas	30
3.1. Campionamento e analisi delle acque.....	30
3.2 Campionamento e analisi dei gas	34
4. Studi precedenti	39
5. Il dataset geochimico: dati nuovi, inediti e di letteratura	46
5.1. Il contributo di INGV.....	48
6. Presentazione dei dati.....	50
6.1. Acque	50
6.1.1. Elementi in traccia	57
6.1.2. Composizione isotopica: $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$, $\delta^2\text{H-H}_2\text{O}$	59
6.2. Gas disciolti e liberi.....	60
6.2.1 Composizione isotopica dei gas: $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ e $^3\text{He}/^4\text{He}$	62
6.3. Indici di saturazione e pCO_2	64
7. Discussione dei dati	67
7.1 Processi chimico-fisici che regolano il chimismo delle acque	67

7.2 Geotermometria in fase liquida	96
7.3 Geochimica delle specie gassose disciolte	100
7.4 Relazione tra fluidi circolanti e tettonica	114
8. Modello geochimico concettuale dell'area di studio	120
9. Conclusioni.....	131
10. Bibliografia	135
Appendice.....	151
Tabella a1 - Composizione chimica ed isotopica delle acque.....	152
Tabella a2 - Concentrazione delle specie in traccia delle acque.....	165
Tabella a3 - Composizione chimica e isotopica dei gas disciolti e liberi.....	177
Tabella a4 - Valori di pressione parziale di CO ₂ e indici di saturazione delle acque...	180
Figura a1 – Distribuzione areale dei campioni.....	193

1. Introduzione

La Sicilia rappresenta un settore della catena appenninica che unisce l'Appennino meridionale alla catena Maghrebide attraverso l'arco Calabro-Peloritano. Quest'area del Mediterraneo centrale è da inquadrare in un contesto di regime collisionale collocato al limite fra le placche africana ed eurasiatica che ha dato origine all'Orogene Appenninico – Maghrebide. Il *Fold and Thrust Belt* (FTB) siciliano si è originato dalla sovrapposizione di corpi tettonici, avvenuta a partire dal Miocene, derivanti dalla deformazione dei domini paleogeografici sviluppati durante il Mesozoico nel margine africano (Roure et al., 1990; Bello et al., 2000; Catalano et al., 2013; Trumpy et al., 2015).

Da questo complesso assetto geologico-strutturale, di seguito descritto più in dettaglio, ne deriva una diversità geologica che condiziona in maniera determinante la geochimica delle manifestazioni superficiali, che includono acque termali, degassamento al suolo e vulcani di fango.

L'arco calabro-peloritano, che costituisce il settore più nord-orientale della catena Appenninico-Maghrebide, è caratterizzato dalla presenza di alcune anomalie geotermiche localizzate vicino agli abitati di Terme Vigliatore e Rodì Milici, lungo la costa tirrenica, probabilmente connesse alla principale struttura tettonica rappresentata dalla "Aeolian–Tindari–Letojanni fault" (Giammanco et al., 2008). Altre anomalie ed emissioni di gas sono presenti lungo il settore ionico, come ad esempio Ali Terme. Queste ultime si collocano all'intersezione della già citata "Aeolian–Tindari–Letojanni fault" e della "Messina-Capo Vaticano fault". Tali aree sono caratterizzate dalla risalita di acque termali, notevolmente salate, il cui gas prevalente in soluzione è l'anidride carbonica (Carapezza, 1977; Alaimo et al., 1978; Grassa et al., 2006). Spostandoci verso OSO, nella parte centrale della Sicilia, all'interno del cuneo di accrezione Neogenico-Quaternario, si rinvengono principalmente dei vulcani di fango di modeste dimensioni, originati dalla presenza di gas naturali nel sottosuolo sotto pressione, che sfuggono attraverso zone di debolezza crostale e discontinuità trascinando in

superficie acqua, gas, fango e litici. A seconda della densità dei materiali emessi, si possono formare edifici conici con pendii più o meno inclinati o depressioni sub-circolari con morfologie poco stabili e variabili nel tempo. Tali manifestazioni naturali, talvolta indicate con il termine arabo di *macalube* o *maccalube* tra le quali si annoverano quelle di Terrapelata, Marianopoli, Cianciana, Comitini, Aragona e Fuoco di Censo, sono state studiate da molti autori (Etiope et al., 2002; Martinelli & Judd 2004; Bonini, 2008; Madonia et al., 2011, Martinelli et al., 2012; Tassi et al., 2012; Cangemi & Madonia, 2014). Il settore SO dell'orogene siciliano, interposto tra due domini, il bacino tirrenico a nord e il canale di Sicilia a sud, è caratterizzato da frequente attività sismica di media intensità, rinvenuta nella valle del Belice e a sud di Sciacca, associata principalmente al lineamento SO-NE Campobello di Mazara-Castelvetrano (Favara et al., 2001; La Vecchia et al., 2007; Barreca et al., 2014). Questo settore della catena è caratterizzato dalla presenza di due delle principali aree termali della Sicilia: Montevago e Sciacca. Questi due sistemi, ampiamente studiati da diversi autori (Carapezza 1977; Alaimo et al., 1978; Alaimo 1983 Nota I-II-III; Favara et al., 1998; Favara et al., 2001; Grassa et al., 2006; Capaccioni et al., 2011), sono caratterizzati da temperature diverse e differente contenuto di gas in soluzione. Si passa, infatti, da fluidi arricchiti in CO₂ (acque di Sciacca) a fluidi a composizione mista CO₂-N₂ avvicinandosi alla catena (a nord). Oltre alle emergenze termali, misure termometriche effettuate in numerosi pozzi perforati per ricerche petrolifere sia a mare che a terra o per ricerche idriche nell'area, indicano anomalie termiche positive lungo tutta la fascia costiera tra Marsala e Agrigento, con due massimi centrati tra Mazara del Vallo-Castelvetrano e Cattolica Eraclea (ENEL et al., 1988; Fancelli et al., 1991). In particolare in quest'area sono state ipotizzate temperature dei fluidi di oltre 100°C a profondità superiori ai 2000 m. La presenza di numerose sorgenti termali e di aree caratterizzate da un flusso di calore moderatamente elevato (Cataldi et al., 1995) fanno della Sicilia una regione con una buona potenzialità geotermica (ENEL et al., 1988; Fancelli et al., 1991; Montanari et al., 2014 e riferimenti interni).

Nonostante l'abbondanza di studi ricchi di informazioni e dati per questi tre settori della Sicilia, la loro caratterizzazione da un punto di vista geotermico lascia molti temi ancora aperti: 1) la natura delle sorgenti di calore rappresentate da camere magmatiche e da corpi intrusivi a bassa profondità; 2) le rocce serbatoio nelle quali le acque di origine meteorica circolano, si scaldano e reagiscono chimicamente a contatto con la roccia; 3) i sistemi idrologici di ricarica di tali sistemi che includono, oltre alle acque meteoriche, anche la presenza di acqua marina. È da ritenere altamente probabile che queste tematiche, di notevole importanza per le proprietà dei sistemi geotermici, si riferiscano a parametri chimico-fisici e geologici con caratteristiche notevolmente diverse tra i vari settori della catena. Gli studi geochimici fanno quindi emergere le potenzialità geotermiche di queste aree, ma lasciano ancora aperti alcuni interrogativi sulle profondità e condizioni chimico-fisiche dei serbatoi idrotermali, sui processi geochimici che controllano la composizione delle manifestazioni termali, sui modelli di circolazione idrotermale, motivo per il quale si rendono necessari ulteriori approfondimenti sul piano conoscitivo ed interpretativo.

Tale studio si propone di integrare i dati esistenti, derivanti da una trentennale attività di monitoraggio, con nuove indagini geochimiche ed isotopiche. Sebbene siano disponibili numerosi studi che si sono susseguiti nel corso delle ultime decadi, il quadro geochimico dell'attività idrotermale in Sicilia è ancora molto frammentario e non è ancora disponibile un modello concettuale di circolazione a scala regionale dei fluidi in profondità. L'obiettivo finale di questo lavoro è quello di: *i)* approfondire ed incrementare le conoscenze dei fluidi emergenti all'interno dell'area studio; *ii)* comprendere le relazioni esistenti tra fluidi ed assetto geo-strutturale; *iii)* individuare l'origine ed i processi che regolano il chimismo dei fluidi termali e minerali, proponendo *iv)* modelli concettuali che descrivano tali processi e, di conseguenza, il complesso percorso di circolazione sotterranea dei fluidi.

Nel presente studio si riportano i risultati di un'estesa campagna di prospezione geochimica condotta su di un'ampia fascia che si estende in direzione NE-SO. L'area

investigata si estende dai Monti Peloritani nell'arco Calabro-Peloritano fino al bacino di Sciacca sulla costa sud-occidentale dell'isola, attraverso il Bacino di Caltanissetta nel settore centrale della Sicilia. Il database geochimico consta della composizione chimica ed isotopica di acque e gas prelevati da sorgenti, pozzi, gallerie drenanti, polle e vulcani di fango. I vari campionamenti sono stati condotti tra la primavera del 2015 e l'estate del 2016. Ai dati derivanti dall'attività di campionamento si aggiungono sia dati disponibili in letteratura, che dati inediti, ovvero ottenuti nell'ambito del progetto Atlante Geotermico (progetto CNR per il Mezzogiorno) e precedentemente acquisiti dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia (INGV, sezione di Palermo) nell'ambito delle attività di monitoraggio e caratterizzazione delle acque superficiali e sotterranee del territorio siciliano.

2. Inquadramento geologico-strutturale

2.1. Inquadramento regionale della Sicilia

La Sicilia è situata nel centro del Mar Mediterraneo in un'area tettonicamente complessa ed attiva. L'isola rappresenta un settore dell'orogene Appenninico-Maghrebide sviluppatosi dal tardo Oligocene lungo il margine di placca Africano-Europeo. Questo segmento di catena collega le Maghrebidi africane con l'Appennino Meridionale, attraverso il cuneo di accrezione Calabro-Peloritano. Gli aspetti geologici della Sicilia sono di particolare interesse scientifico grazie anche alla coeva presenza di differenti ambienti geodinamici e regimi tettonici, oltre che di un complesso sistema di subduzione recente e parzialmente in affioramento. Molti studi riguardanti l'evoluzione tettonica del complesso collisionale siciliano sono disponibili in letteratura scientifica (per una revisione dettagliata si rimanda a Catalano & D'Argenio, 1982; Roure et al., 1990; Nigro and Renda, 1999; Bello et al., 2000; Catalano et al., 2000a; Accaino et al., 2011).

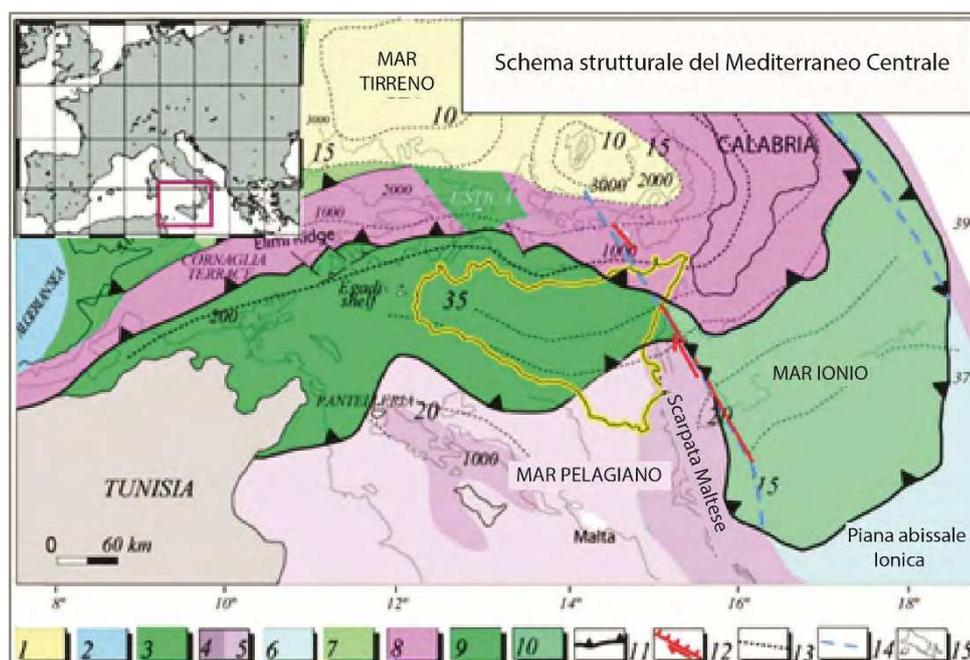


Figura 1 Mappa strutturale schematica del Mediterraneo centrale (modificata da Accaino et al., 2011): 1) crosta oceanica tirrenica; 2) crosta oceanica del bacino algerino; 3) crosta continentale assottigliata kabilo e sarda; 4, 5) crosta continentale Africana assottigliata; 6) crosta oceanica ionica; 7) unità sarde; 8) unità kabilo-calabridi; 9) unità siciliane-maghrebidi; 10) prisma di accrezione ionico; 11) fronti di sovrascorrimento; 12) faglia con componente transtensiva; 13) isobate della Moho (km); 14) limite ipotetico crosta oceanica-crosta continentale; 15) batimetria.

La collisione del blocco sardo-corso con il margine continentale africano è considerata la principale causa della deformazione compressiva dell'orogene Siciliano (Catalano et al., 1996 e riferimenti bibliografici interni).

Il complesso collisionale siciliano consiste di un articolato sistema catena-avanfossa-avampaese (*Figura 1*). L'area di avampaese affiora nella Sicilia sud-orientale e si estende a mare nel Canale di Sicilia e nel Mar Ionio. Le rocce appartenenti al dominio di avampaese africano sono costituite da una successione sedimentaria di carbonati di piattaforma e pelagici Meso-Cenozoici e depositi clastici Terziari sovrastanti il basamento cristallino ed avente uno spessore di circa 7 km. Il settore ionico si suppone possa rappresentare un sistema fossile di transizione margine continentale-piana abissale oceanica (Catalano et al., 2000b).

Una stretta avanfossa Pliocenico-Quaternaria si estende in direzione ONO-ESE, con immersione verso NO, dall'altopiano Ibleo sino alle aree a mare della Sicilia meridionale. Tale elemento è parzialmente sepolto al di sotto del cosiddetto *Gela Thrust System* (GTS) che rappresenta il settore esterno della catena (Catalano et al., 2013). Infine, un complesso sistema di catena (*Fold and Thrust Belt*) spesso oltre 15 km occupa gran parte della Sicilia e le adiacenti aree a mare. La catena è costituita da tre principali elementi, di seguito descritti dall'interno verso l'esterno (Catalano, 2004):

- a) l'elemento "Europeo";
- b) l'elemento "Tetideo";
- c) l'elemento "Africano".

L'elemento "Europeo" affiora esclusivamente nell'angolo nord-orientale della Sicilia in prossimità dei Monti Peloritani che costituiscono la parte siciliana dell'Arco Calabro-Peloritano (ACP) (Amodio Morelli et al., 1976) sovrascorso sulle sottostanti unità Tetidee e Africane. L'ACP comprende una serie di falde, alcune delle quali con copertura Meso-Cenozoica, costituite da un basamento cristallino Pre-Mesozoico, le quali presentano delle marcate analogie con l'elemento austro-alpino delle Alpi.

All'elemento "Tetideo" afferiscono le successioni sedimentarie "Sicilidi" (Ogniben, 1960). Queste ultime sono costituite da carbonati bacinali e depositi pelitico-arenacei del Giurassico Superiore-Oligocene e da successioni torbiditiche dell'Oligocene Superiore-Miocene Inferiore scollatesi dal loro substrato.

Infine, i depositi del margine continentale "Africano" consistono di rocce carbonatiche e silicoclastiche di mare profondo del Mesozoico-Miocene Inferiore (formatesi nei domini noti come Imerese e Sicano) e da rocce carbonatiche Meso-Cenozoiche depositatesi nei domini noti come Piattaforma Carbonatica Pre-Panormide, Panormide, Trapanese, Saccense e Ibleo-Pelagiana (Catalano & D'Argenio, 1978, 1982).

L'assetto strutturale del complesso collisionale è piuttosto variabile lateralmente, facendo sì che siano presenti delle marcate differenze tra la Sicilia occidentale e quella settentrionale, tra la Sicilia centro-meridionale e quella orientale.

2.2. Caratteristiche stratigrafiche, strutturali e litologiche dell'area di studio

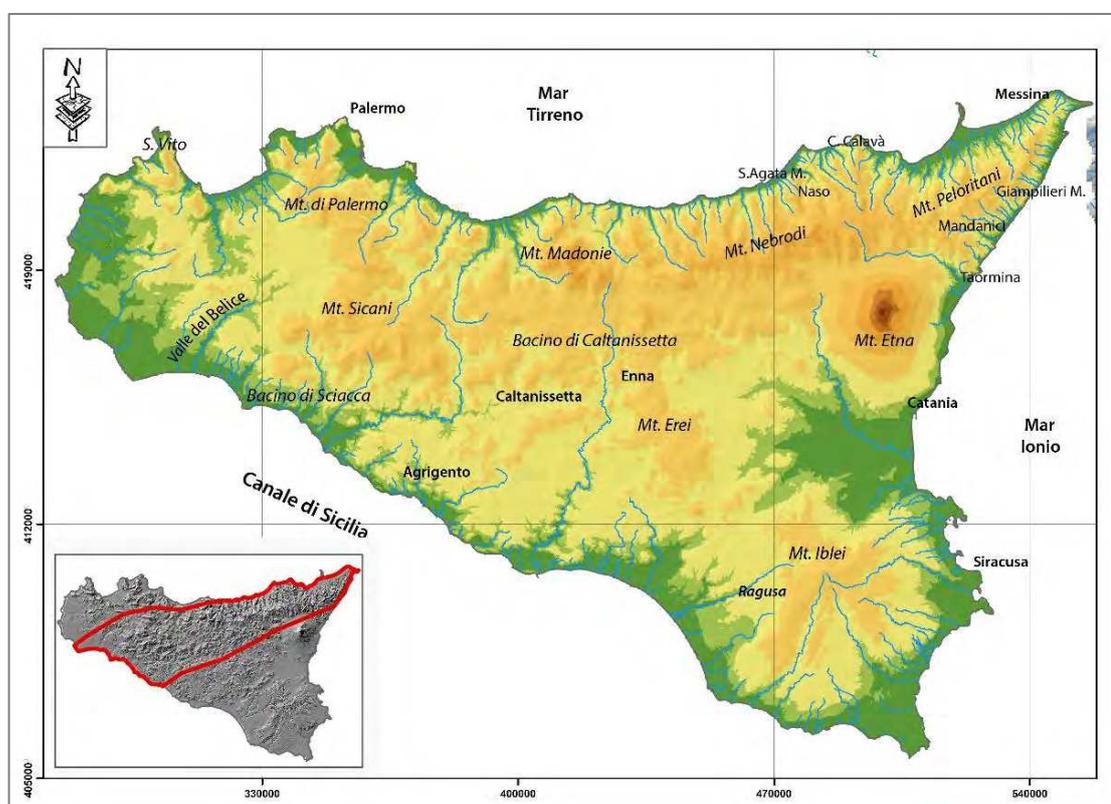


Figura 2 Mappa fisiografica con le principali località della Sicilia. In basso a sinistra l'area di studio.

Il *Fold and Thrust Belt* siciliano si estende lungo tutta la fascia settentrionale dell'isola dai Monti Peloritani a est, passando per i Nebrodi, le Madonie, i Monti di Palermo fino alla penisola di S. Vito a ovest (Figura 2). Verso sud la catena è in gran parte sepolta sotto il GTS.

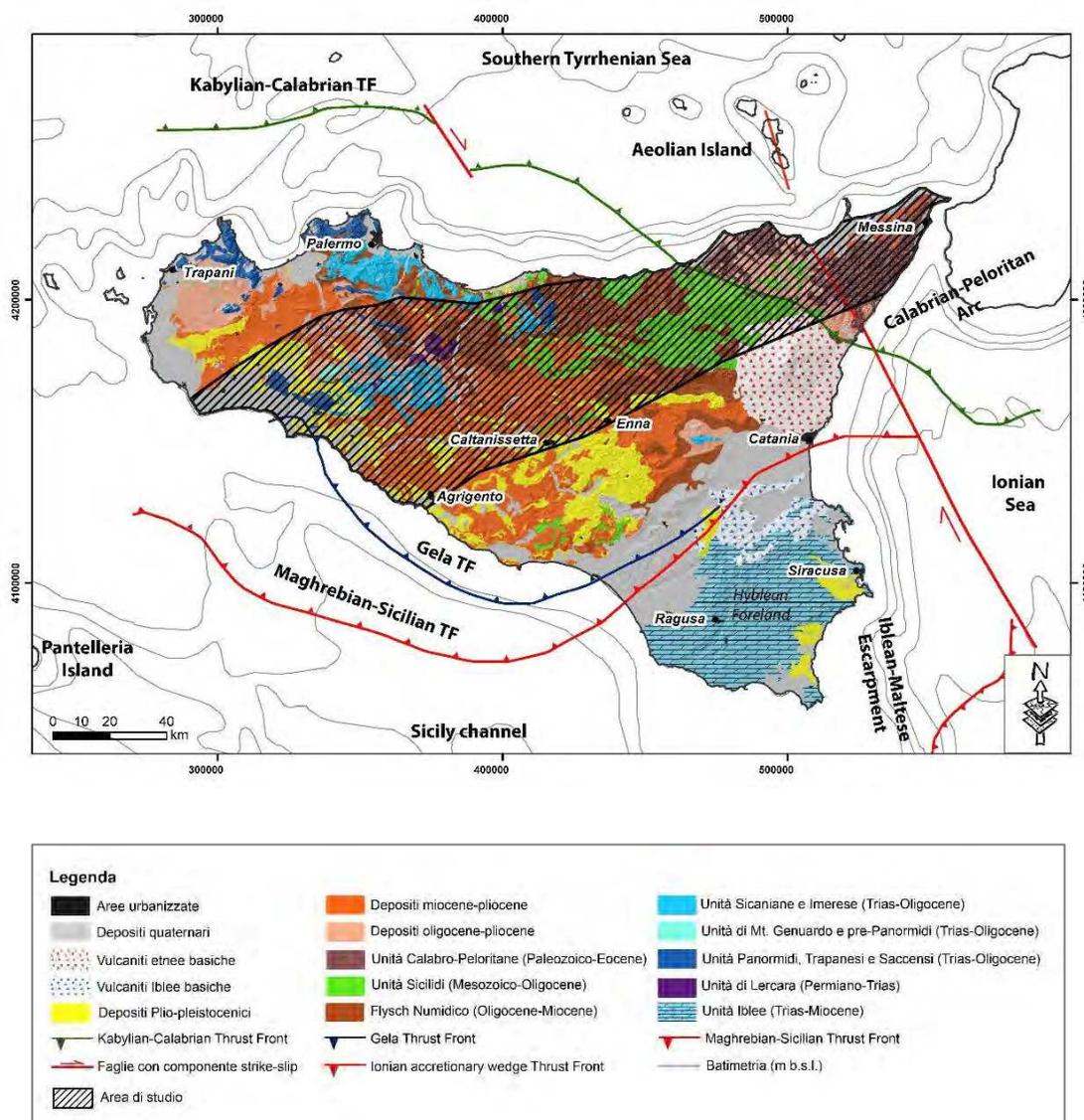


Figura 3 Mappa strutturale della Sicilia (modificata da Trumpy et al., 2015 e Accaino et al., 2011). L'area di studio è tracciata con il tratteggio nero.

2.2.1 Il settore Orientale: I monti Peloritani

Dal punto di vista strutturale, le unità peloritane afferiscono all'elemento tettonico europeo e rappresentano il settore geometricamente più elevato dell'Orogene Siciliano (Figura 3). L'Arco Calabro-Peloritano è costituito da falde di basamento cristallino ercinico, talora con resti delle originarie coperture Meso-Cenozoiche, il cui grado

metamorfico cresce verso le unità strutturalmente più alte; alla base si rinvengono epimetamorfiti varisiche con le relative coperture sedimentarie, mentre alla sommità si osserva un basamento Paleo-Meso-Proterozoico (Unità dell'Aspromonte). Le varie falde sono sature dal Flysch di Capo d'Orlando (Oligocene Superiore- Burdigaliano Inferiore), a sua volta ricoperto tettonicamente da Argille varicolori delle Unità Antisicilidi (elemento Tetideo) e dalle Calcareniti di Floresta (Burdigaliano superiore-Langhiano) (Lentini & Carbone, 2014). Le unità metamorfiche peloritane sono rappresentate dal basso verso l'alto dalle Unità Longi-Taormina, Fondachelli, Mandanici, Mela ed Aspromonte (*Figura 4*).

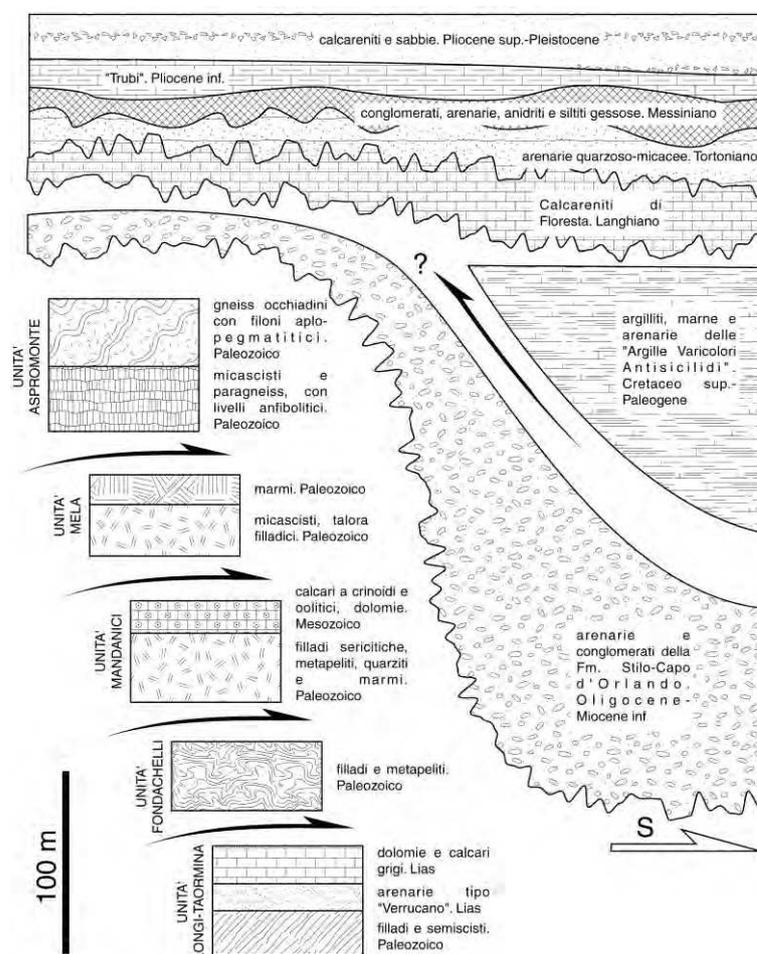


Figura 4 Successione stratigrafica dei corpi rocciosi costituenti l'edificio tettonico peloritano (modificato da Giunta & Nigro, 1999).

L'Unità Longi-Taormina affiora nei settori frontali della catena peloritana secondo un andamento NO-SE da S. Agata di Militello fino a Taormina (Amodio-Morelli et al., 1976;

Bonardi et al., 1976), lungo il fronte meridionale dei Monti Peloritani, marcando la cosiddetta "Linea di Taormina" (Giunta et al., 1992). Tale unità è costituita da un basamento cristallino epimetamorfico Paleozoico, ricoperto da una successione sedimentaria Meso-Cenozoica, generalmente scollata. Le metamorfite sono rappresentate da filladi, a luoghi grafitose e con lenti di metacalcari, associate a semiscisti seritici con lenti e vene di quarzo.

L'Unità di Fondachelli, geometricamente ubicata tra la sottostante Unità Longi-Taormina e la soprastante Unità di Mandanici, è caratterizzata quasi esclusivamente da un basamento epimetamorfico pre-alpino formato da filladi e metareniti con subordinati metabasiti, quarziti e rari calcari cristallini. Essa affiora in prossimità di Mirto-Caprileone sulla costa tirrenica e di Taormina, sulla costa ionica (Bonardi et al., 1976-1996).

L'Unità Mandanici è costituita da un basamento pre-alpino con esigui lembi di copertura sedimentaria meso-cenozoica. Tale basamento, interessato da un basso grado di metamorfismo è rappresentato da filladi (spesso con granato tardo-post cinematico, biotite e clorite), quarziti, metabasiti e marmi. L'Unità Mandanici affiora dalla Fiumara di Mandanici (versante ionico), fino alla Fiumara di Naso (versante tirrenico) (Ogniben, 1969; Atzori et al., 1974; Atzori e Vezzani, 1974; Bonardi et al., 1976).

L'Unità Mela è costituita da un basamento metamorfico di medio grado con prevalenti paragneiss passanti a micascisti con subordinate lenti metriche di metabasiti e potenti livelli di marmi a silicati. Essa affiora lungo una fascia con direzione E-O, da Giampileri Marina sulla costa ionica fino a Capo Calavà in quella tirrenica, geometricamente alla base dell'Unità dell'Aspromonte.

L'Unità dell'Aspromonte è formata da metamorfite di medio-alto grado, prive di una propria copertura sedimentaria Meso-Cenozoica, costituita da paragneiss passanti a micascisti intercalati da gneiss occhiadini con associati metagranitoidi. Localmente

sono presenti in quantità subordinata anfiboliti metaultramafiti e marmi a silicati. Il basamento è intruso da plutoni tardo-varisici.

Le Unità Sicilidi ricoprono tettonicamente le Unità Peloritane e i relativi depositi di avanfossa Oligo-Miocenica (arenarie e conglomerati del Flysch di Capo D'Orlando). Tali unità sono rappresentate da argille policrome (Argille Varicolori) e ad assetto caotico, cui si intercalano argilloscisti bituminosi, radiolariti e sottili strati argilloso-arenacei.

Le coperture tardo-orogene pre-collisionali del Miocene Inferiore-Medio sono costituite da arenarie con abbondanti bioclasti a cemento carbonatico. Nella parte sommitale della sequenza si rinvergono le coperture tardo-orogeniche post-collisionali del Tortoniano-Messiniano, costituite principalmente da sabbie, limi e conglomerati in prevalenza affioranti nei settori costieri e pedemontani. Esse ricoprono, tramite una superficie di erosione, il substrato metamorfico (Figura 5).

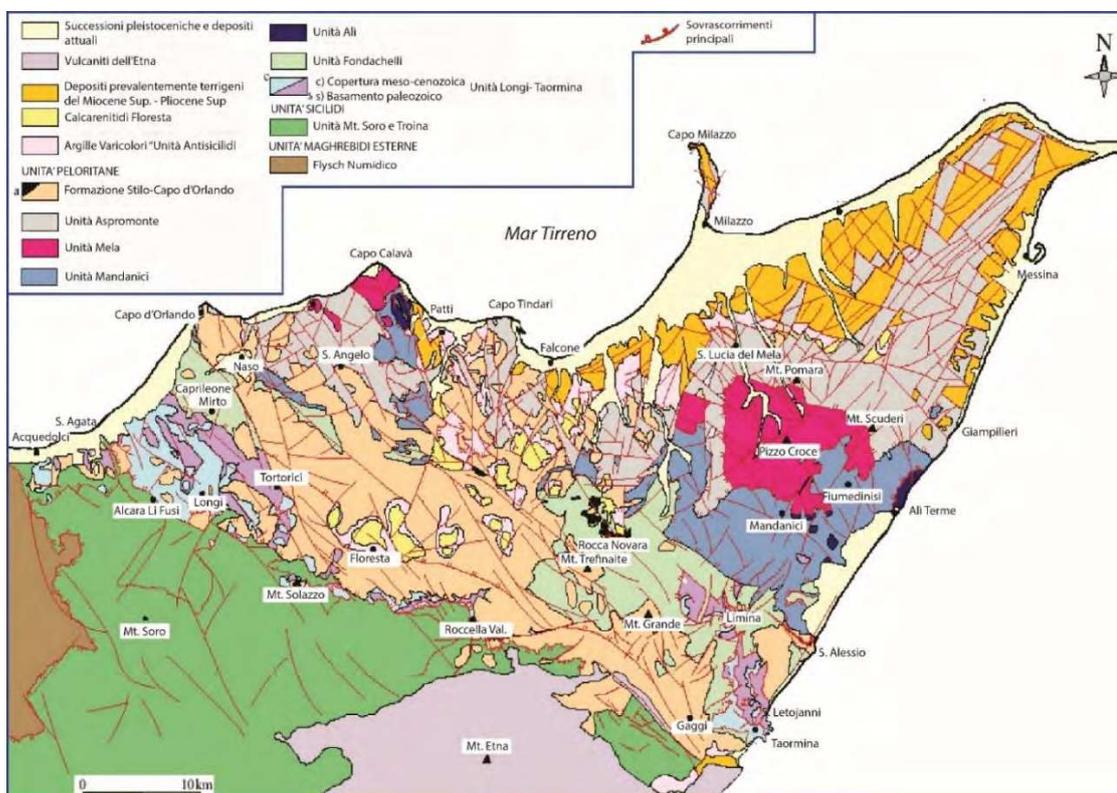


Figura 5 Schema geologico-strutturale dei Mt. Peloritani (modificato da Giunta & Nigro, 1998; Somma 1998).

L'evoluzione di tali bacini è condizionata dagli eventi tettonici distensivi, legati all'apertura Post-Miocenica del bacino tirrenico. La tettonica distensiva risulta localmente accomodata da campi di stress con componente strike slip, responsabili della formazione di faglie regionali (Neri et al., 2003) con andamento NO-SE (tuttora attive e sismogenetiche) come la Linea di Capo Calavà-S. Alessio e la Linea Eolie-Tindari-Letojanni che congiunge l'Arco Eoliano all'Etna. I terremoti e la tettonica evidenziano che questo sistema di faglie è attivo. Dagli studi di dettaglio della sismicità nell'area, condotti sia da Scarfi et al. (2005) che da Giammanco et al. (2008) sono noti processi di interazione tra fluidi e faglie che determinerebbero il triggering di terremoti a profondità crostali (7-15 km).

2.2.2 Il settore Settentrionale: I monti Nebrodi e Madonie

In prossimità dei Monti Nebrodi le unità tettono-stratigrafiche rinvenute sono costituite dalle Unità Sicilidi, strutturalmente più elevate e scollate lungo orizzonti del Cretaceo e del Terziario Inferiore e le sottostanti Unità Panormidi, afferenti al Dominio Africano. I depositi appartenenti al Bacino del Flysch Numidico (Giunta, 1985) affiorano estesamente nel settore centrale dell'area nebroidea e sono caratterizzati da una potente (fino a 1500 m) alternanza di argilliti silicee, siltiti argillose e quarzareniti (*Figura 6*). Il significato geotettonico del Bacino Numidico è dibattuto in letteratura da molti anni, e una sua completa descrizione esula dagli obiettivi del presente studio (per una dettagliata revisione si rimanda a Ogniben 1960, 1963; Duè, 1969, Wezel, 1970; Giunta, 1985).

Il Complesso Sicilide è rappresentato da sequenze marnose-calcaree e terrigene del Cretaceo Inferiore-Miocene Inferiore, organizzato in unità tettoniche e sovrascorse con vergenza meridionale sulle più esterne unità maghrebidi rappresentate in questo settore dai depositi del Flysch Numidico. In discordanza sulle unità Sicilidi poggia un complesso arenaceo-argilloso-conglomeratico di età Miocenica (Flysch di Reitano) (De Capoa et al., 2004).

Verso ovest, in prossimità delle Madonie, l'edificio tettonico è caratterizzato dalle Unità Imeresi, definite da Ogniben (1960) come "Complesso Basale", in quanto considerate in quest'area i termini più profondi della struttura a falde della catena. Tale successione, affiorante nel settore occidentale dei Monti Madonie, comprende terreni calcarei, silicei, marnosi e silicoclastici. Sulle Unità Imeresi s'impone tettonicamente il Complesso Panormide, successione Mesozoica di piattaforma carbonatica con copertura marnosa e silicoclastica. Tale complesso affiora estesamente nel settore orientale delle Madonie ma è presente nel sottosuolo, come reso noto dai dati di pozzo, nei Monti Nebrodi (Lentini et al., 1996), dove costituisce il substrato che si estende alla base delle scaglie tettoniche Numidiche e Sicilidi. Le Unità Sicilidi si rinvengono all'interno dei bassi strutturali e occupano la posizione strutturalmente più elevata nell'area. In discordanza affiorano i depositi relativi al ciclo deposizionale ascrivibile al Miocene Inferiore, Medio e Messiniano Inferiore (vedi sopra).

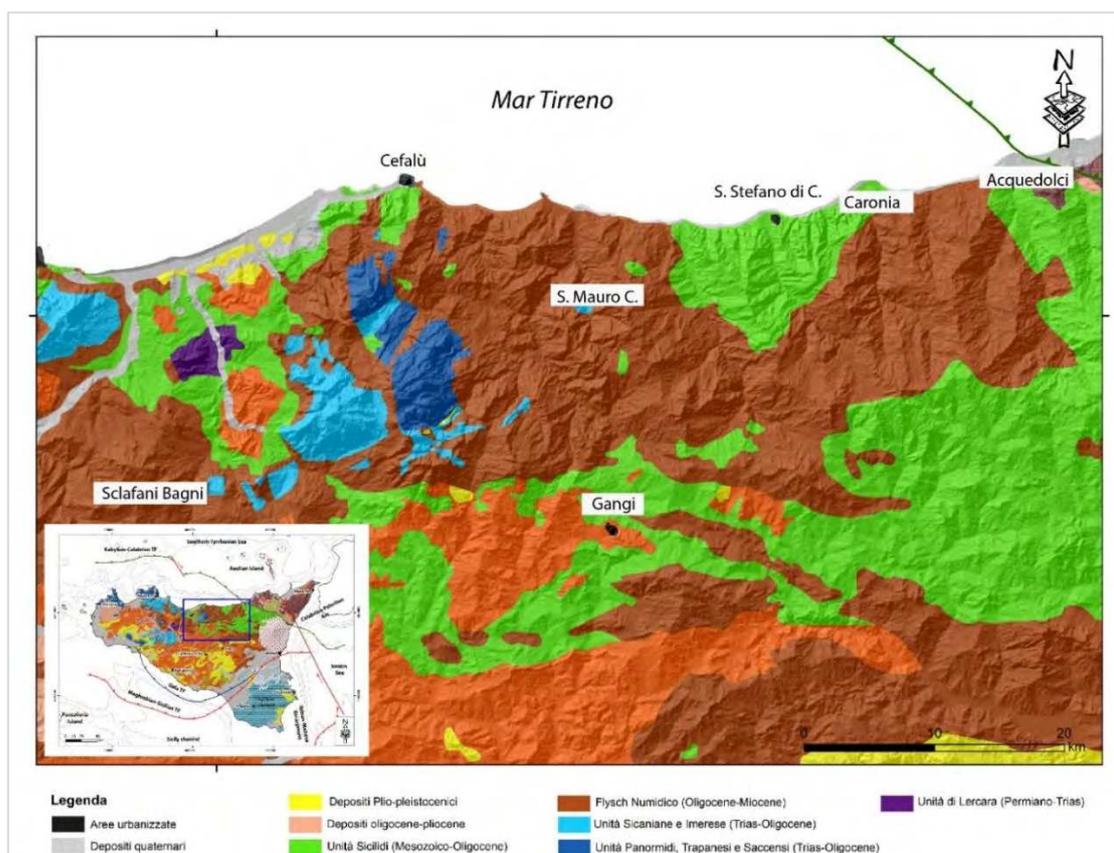


Figura 6 Schema geologico dei Mt. Nebrodi e Madonie (modificato da Trumpy et al., 2015).

2.2.3 Il settore Centrale: Il Bacino di Caltanissetta

Il settore Centrale dell'area di studio è caratterizzato da una estesa depressione morfostrutturale denominata "Bacino di Caltanissetta". Il significato geotettonico di tale elemento strutturale è piuttosto dibattuto in letteratura. Studi sismici crostali, recentemente condotti nell'ambito del Progetto Si.Ri.Pro (Catalano et al., 2013), considerano tale bacino una struttura sinforme dovuta al piegamento flessurale della monoclinale crostale, spessa sino a 20 km e costituita dalle unità sin qui descritte afferenti al dominio Africano e Sicilide.

Durante il progressivo accavallamento Neogenico-Quaternario delle falde verso sud, diversi bacini sintettonici si sono sviluppati sopra il cuneo (Butler & Grasso, 1993; Butler et al., 1995). Lo spesso riempimento di questi ultimi è rappresentato dal basso verso l'alto da marne, argille e arenarie del Tortoniano (F. Terravecchia), dalla successione evaporitica Messiniana (rappresentata dalla Serie Gessoso-Solfifera), da marne e calcari marnosi del Pliocene Inferiore (Trubi, depositatisi in conseguenza della crisi di salinità che ha interessato il Mediterraneo) ed infine dai sedimenti argillosi, sabbiosi e calcarenitici depositatisi in discordanza durante il Pliocene Superiore-Pleistocene Inferiore (*Figura 7*).

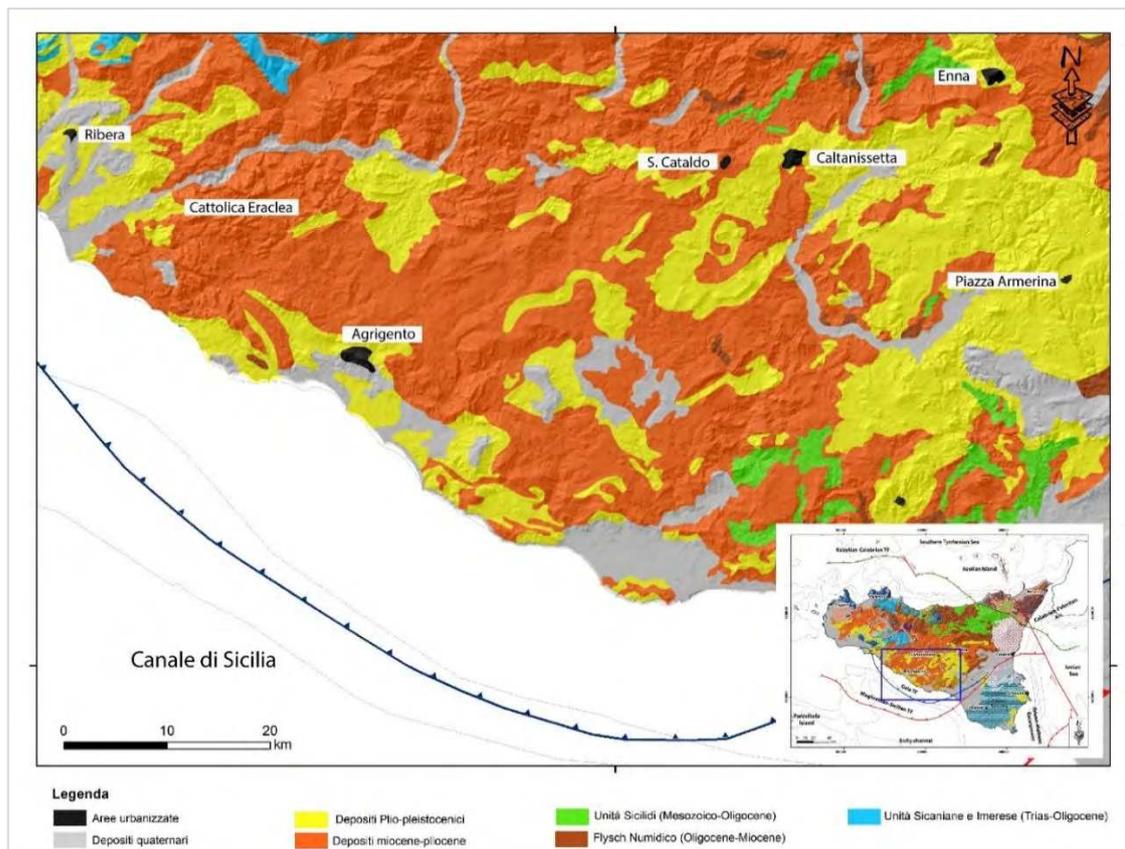


Figura 7 Schema geologico del Bacino di Caltanissetta (modificato da Trumpy et al., 2015)

2.2.4 Il settore occidentale: I Monti Sicani e il Bacino di Sciacca

Procedendo dai Monti Sicani al bacino di Sciacca l'edificio tettonico è formato dai seguenti livelli strutturali (Catalano et al., 2013):

- il livello inferiore è un cuneo tettonico potente da 8 a 9 km di unità embricate costituite da una successione rocciosa spessa più di 3 km di piattaforma carbonatica dei domini Panormide, Trapanese e Saccense. Il sistema embricato di piattaforma carbonatica con vergenza sud si sviluppa dalla costa tirrenica alla latitudine di Sciacca.
- il livello strutturale intermedio consiste di carbonati bacinali imeresi (a nord) e sicani (a sud) spessi circa 2-3 km. Tali unità sovrascorrono sulle unità embricate di piattaforma carbonatica. Le Unità Sicane si trovano a sud della dorsale Rocca Busambra-Maranfusa e si estendono fino al limite meridionale dei monti Sicani nella regione di Ribera.

- il livello superiore è rappresentato da: *i*) depositi molassici Miocenici, evaporiti Messiniane e calcari del Pliocene Inferiore che appaiono piegati, fagliati e scollati dal loro substrato; *ii*) depositi clastico-carbonatici del Pliocene Medio-Pleistocene Inferiore che colmano ampie depressioni sintettoniche (*Figura 8*).

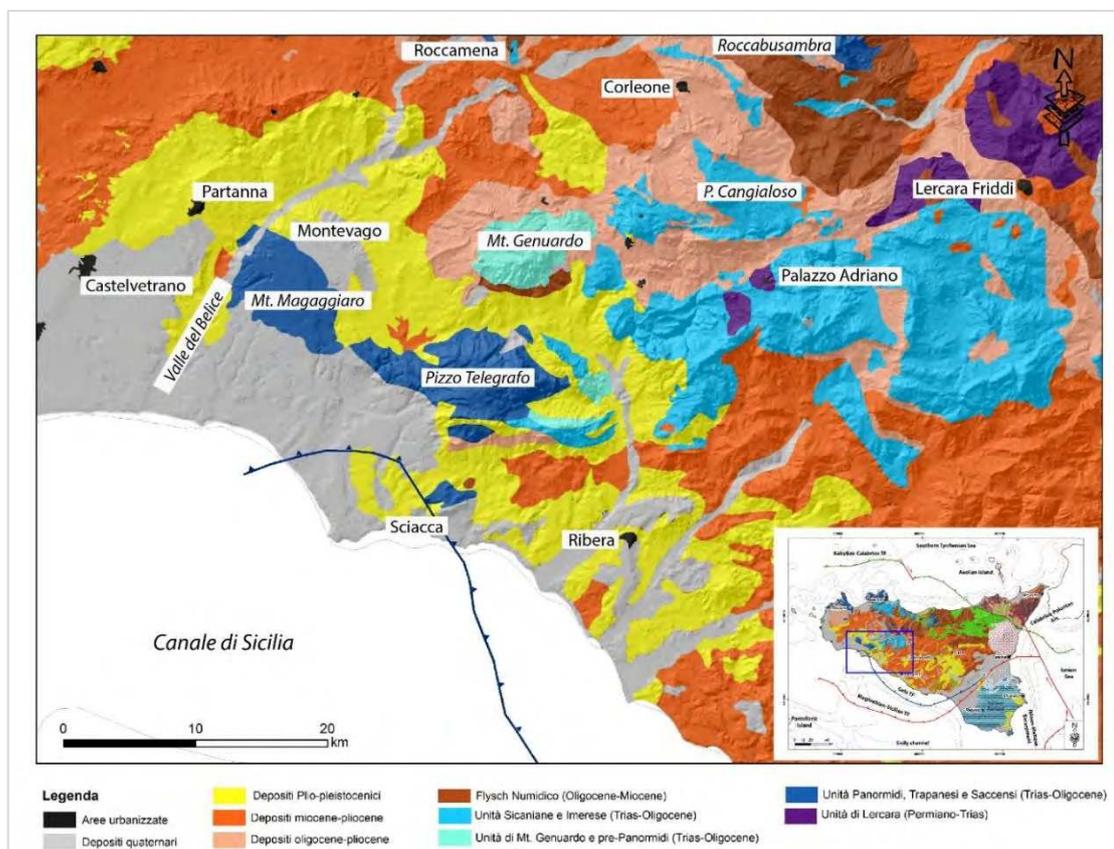


Figura 8 Schema geologico del settore occidentale: Monti Sicani e Bacino di Sciacca (modificato da Trumpy et al., 2015).

2.3. Il vulcanismo siciliano

La Sicilia è caratterizzata da diversi vulcani recenti ed attivi nel settore orientale, nel Canale di Sicilia e nel Tirreno meridionale. Tali vulcani si collocano in differenti contesti geodinamici e strutturali e su differenti tipi di substrato (Peccerillo, 2005).

Nel settore orientale della Sicilia, all'intersezione tra il sistema a *thrust* della catena Appenninico-Maghrebide, il Plateau Ibleo e il dominio oceanico Ionico si sviluppa il vulcanismo etneo (Viccaro et al., 2014). Due sono le strutture vulcano-tettoniche che controllano l'attività vulcanica etnea. La prima lungo il settore nord-orientale consiste di una serie di fessure eruttive e faglie con direzione da NNE-SSO a NE-SO. La seconda

lungo il settore meridionale è caratterizzata da fratture con direzione da NNO a SSE, evidenziate dall'allineamento di numerosi conici di scorie. L'attività etnea è stata suddivisa in quattro principali fasi, la prima delle quali iniziata circa 600.000 anni fa con l'emissione di lave tholeitiche (e.g. Lentini & Carbone, 2014; Viccaro et al., 2014). L'attività degli ultimi 15.000 anni è stata caratterizzata da differenti stili eruttivi, sebbene nelle ultime centinaia di anni abbiano dominato l'attività effusiva e stromboliana. In particolare dal 1971 sono stati notati degli aumenti nella frequenza eruttiva, dei volumi emessi e dei tassi di emissione, accompagnati da cambi composizionali dei prodotti emessi (k-trachibasalti) (Branca & De Carlo, 2005; Armienti et al., 1994; Viccaro and Cristofolini, 2008; Viccaro et al., 2011).

Nel Mar Tirreno meridionale è situato l'Arcipelago Eoliano, un arco vulcanico calc-alcalino attivo, la cui genesi è legata al processo di subduzione della crosta oceanica Ionica al di sotto della Calabria. Esso consiste di sette isole e diversi *seamount* disposti lungo una struttura semicircolare che si estende da ovest verso est. L'attività vulcanica subaerea è iniziata nel Quaternario, circa 400.000 anni fa (Peccerillo, 2005) e la composizione dei prodotti emessi è molto variabile. Si passa da lave basaltiche-andesitiche calc-alcaline, a lave riolitiche e subordinatamente shoshoniti e tefriti leucitiche (Lentini & Carbone, 2014).

I vulcani che caratterizzano il settore occidentale dell'arcipelago ovvero Alicudi, Filicudi e Salina sono considerati estinti, mentre i vulcani attivi sono ubicati nel settore centrale (Vulcano e Lipari) e nel settore orientale (Stromboli e Panarea). Nello specifico le ultime eruzioni di Vulcano e Lipari sono datate rispettivamente 1880-90 e 580 d.C. Stromboli è tuttora caratterizzata da una permanente attività vulcanica di tipo esplosivo stromboliana (Peccerillo, 2005). Mentre Panarea è caratterizzata da un'intensa attività idrotermale sottomarina, principalmente caratterizzata da fumarole che esibiscono temperature fino a 130 °C, identificate a circa un km dalla costa (Tassi et al., 2012b). Nel novembre 2003 è avvenuto un *gas blast* in corrispondenza delle emissioni gassose note sin dai tempi dei romani (e.g. Calanchi et al., 1995) e delimitate dagli scogli di

Dattilo, Lisca Bianca e Lisca Nera (Capaccioni et al., 2007 e riferimenti bibliografici inclusi). L'aspetto singolare di questo episodio è stato la presenza di composti gassosi di natura magmatica.

Sempre nel Tirreno meridionale, circa 60 km a nord della costa siciliana, sorge Ustica, un vulcano oggi estinto, messosi in posto discontinuamente tra il Pleistocene Inferiore e il Pleistocene Medio. Questo vulcano rappresenta la sola evidenza di magmatismo intraplacca subaereo nel Mar Tirreno avvenuto nel Quaternario. L'attività vulcanica, principalmente a composizione Na-alkalina, si è conclusa circa 130.000 anni fa (Lentini & Carbone, 2014)

I vulcani che caratterizzano il Canale di Sicilia (Linosa, Pantelleria e numerosi *seamount*) sono dislocati lungo le principali faglie estensionali NO-SE che bordano i sistemi di *rift* della litosfera continentale nord-africana o lungo le faglie trascorrenti N-S (Peccerillo, 2005 e bibliografia interna). Linosa è un vulcano che è rimasto attivo fino a 500.000 anni fa, ed emerge nel margine sud-occidentale del graben di Linosa. L'attività vulcanica compresa tra circa 1.000.000 e 500.000 anni fa è stata sia di tipo esplosivo che effusivo (Rossi et al., 1996). La composizione delle rocce che costituiscono l'isola varia da basalti mediamente alcalini a hawaiiiti.

Pantelleria è ubicata nella *rift zone* NO-SE che interessa il blocco pelagiano. L'assetto strutturale dell'isola è dominato dalla presenza di fratture orientate NO-SE e N-S. Inoltre, un sistema di faglie allineato in direzione NE-SO caratterizza l'isola e la suddivide in due settori: il settore nord-occidentale, principalmente caratterizzato dalla presenza di rocce a composizione basaltica, e il settore sud-orientale in cui sono esposte rocce a composizione silicatica perialcalina. Le rocce più antiche sono state datate 324.000 e 220.000 anni fa, mentre le più recenti risalgono a circa 4.000 anni fa (Civetta et al., 1984, 1988, 1998; Mahood & Hildreth 1986). Il vulcanismo sull'isola di Pantelleria risulta essere tuttora attivo e due importanti eruzioni sottomarine si sono verificate nel 1831 nel Banco di Graham e nel 1891 nel vulcano Foerstner, pochi km a nord-est di Pantelleria (Peccerillo, 2005, Lentini & Carbone, 2014).

Infine, il Plateau Ibleo è stato interessato da attività vulcanica dal Triassico al Quaternario. Le rocce più antiche (alcali basalti, hawaiiiti e basaniti) sono state raggiunte da perforazioni profonde (Patacca et al., 1979, Longaretti & Rocchi, 1990). I prodotti più antichi (alcali basalti e basaniti) rinvenuti in affioramento risalgono al Cretaceo e Paleocene (Barberi et al., 1974; Carveni et al., 1991) (e.g. Longaretti et al., 1991; Di Grande et al., 2002; Groppelli & Pasquarè 2004). L'attività più recente (Miocene Superiore-Pleistocene Inferiore) si è concentrata lungo le faglie bordiere del settore più a nord del Plateau Ibleo (Grasso et al., 1983). I prodotti vulcanici sovrastano il substrato sedimentario del Cretaceo Superiore, i calcari del Terziario Inferiore e le calcareniti Oligo-Mioceniche e sono intercalati con le calcareniti, le rocce evaporitiche e i sedimenti silicoclastici del Mio-Pleistocene.

2.4 I regimi tettonici

La Sicilia è un'isola tettonicamente molto attiva come testimoniato dai numerosi e importanti eventi sismici, anche catastrofici, verificatisi in epoca storica (Gasparini et al., 1982; Anderson & Jackson, 1987; Monaco et al., 1996; Giammanco et al., 2008) e dall'attività vulcanica. L'analisi degli attuali regimi tettonici dei diversi settori del complesso siciliano e la forte variazione spaziale dello stato di stress nel sottosuolo è importante ai fini idrogeologici e geochimici. Dagli studi di Carminati e Doglioni (2012) e Carafa & Barba (2013), risulta possibile suddividere, a scala regionale, due macro regimi tettonici nell'isola (*Figura 9*):

- la zona peri-tirrenica caratterizzata da un regime estensionale strettamente collegato all'apertura del bacino sud-tirrenico di retroarco. La formazione di questo sistema è causato dal "roll-back" della placca in subduzione (Doglioni, 1991).
- una zona in compressione in Sicilia centrale e meridionale legata ai processi di collisione continentali lungo il margine Europeo-Africano.

I risultati ottenuti da Frepoli & Amato (2000) sulla variabilità spaziale dello stress in Italia e in Sicilia confermano ampie variazioni del campo di stress su una distanza relativamente breve in Italia, pur confermando l'esistenza di aree entro le quali lo stress risulta essere piuttosto omogeneo. Tra queste, la maggior parte degli Appennini (escluso il settore settentrionale) è dominata da estensione perpendicolare all'andamento della catena montuosa. Sulla costa ionica calabra sono noti accenni di compressione attiva, mentre lo Stretto di Messina è caratterizzato da estensione. Variazioni significative del campo di stress sono note sia in Calabria che in Sicilia connesse al complesso sistema di subduzione tirrenico e al vulcanismo attivo (Frepoli & Amato, 2000).

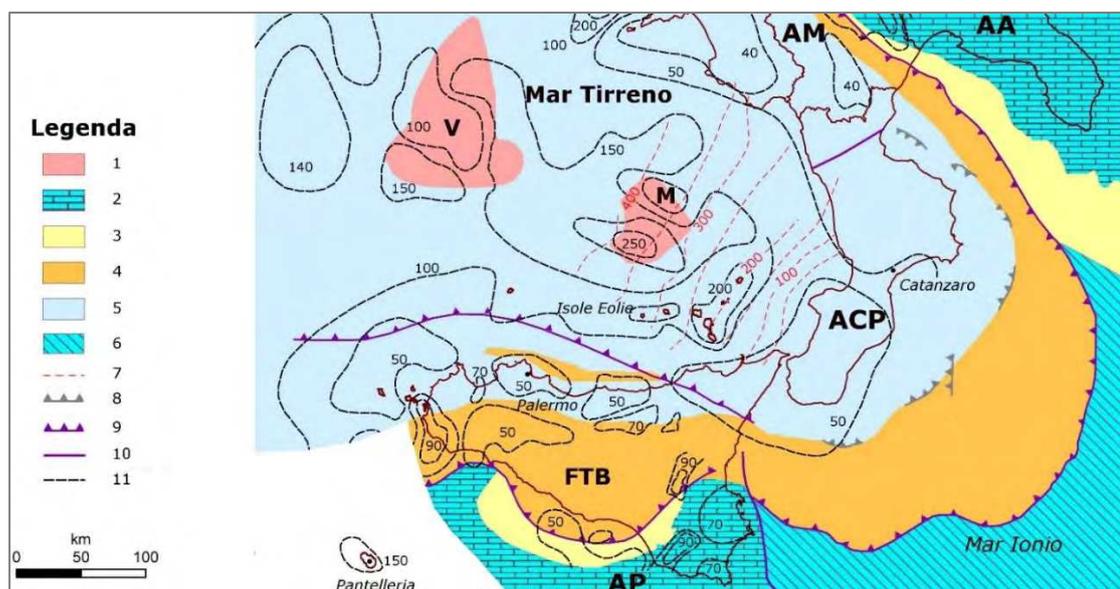


Figura 9 Carta tettonica sintetica (modificata da Scrocca et al., 2005, Vezzani et al., 2010, Carminati et al., 2012, Catalano et al., 2013). 1) crosta oceanica plio-quadernaria relativa al sistema di retroarco tirrenico; 2) aree di avampaese; 3) bacini di avanfossa; 4) aree attualmente interessate da tettonica compressiva; 5) aree attualmente interessate da tettonica estensionale; 6) crosta oceanica ionica; 7) isolinee della profondità del piano di Wadati-Benioff; 8) sovrascorrimenti; 9) fronti di sovrascorrimento principali; 10) faglie; isolinee di flusso di calore (da Della Vedova et al. 2011). AP=Avampaese Pelagiano; FTB= Fold and Thrust Belt Siciliano; ACP=Arco Calabro-Peloritano; AM=Appennino Meridionale; AA=Avampaese Apulo; V=Sistema vulcanico sottomarino del Vavilov; M=Sistema vulcanico sottomarino del Marsili.

Si sottolinea che in letteratura sia a scala locale che a scala regionale, sono stati riconosciuti regimi tettonici transpressivi e transtensivi (Nigro & Renda, 1999).

2.5. Il flusso di calore

La distribuzione della temperatura nella litosfera è uno dei principali parametri che influiscono sulle caratteristiche fisiche delle rocce e dei fluidi. L'incremento di temperatura con la profondità dipende sia da condizioni regionali che locali. Anomalie termiche nel mantello profondo sono relative a processi convettivi che si attivano e che guidano importanti processi geodinamici che interessano la litosfera. Queste anomalie profonde possono generare regionalmente variazioni nel flusso di calore alla base della crosta che si ripercuote su vaste aree. Piccole anomalie termiche in superficie, sono riconducibili a processi geologici attivi nella crosta, come magmatismo e circolazione dei fluidi.

Il flusso di calore medio terrestre è stato stimato in 65 mW/m^2 nelle aree continentali e in 101 mW/m^2 nelle aree oceaniche. In Italia tale flusso di calore presenta valori tra 30 e 100 mW/m^2 con valori superiori ai 400 mW/m^2 nella zona tirrenica, questi ultimi conseguenti all'assottigliamento crostale e alla risalita astenosferica al di sotto di tutta l'area (Cataldi et al., 1995; Della Vedova et al., 2001). I valori di flusso variano da regione a regione e differenze sostanziali in termini di flusso, connesse alle variazioni geologiche nel sottosuolo, sono note anche in aree vicine. La Sicilia presenta valori di flusso di calore mediamente elevati in corrispondenza del settore occidentale con valori che eccedono gli 80 mW/m^2 e, in aree più ristrette, raggiungono i 100 mW/m^2 (Figura 10); nel settore centro-settentrionale dell'isola, tra i Monti Nebrodi e le Madonie, i valori di flusso variano da 50 a 70 mW/m^2 ; valori di flusso di calore fino a 150 mW/m^2 e 200 mW/m^2 sono noti rispettivamente nel Canale di Sicilia e nell'Arcipelago Eoliano; infine, alti valori di flusso di calore caratterizzano anche l'area sud-orientale dell'isola (porzione Iblea) con valori sino a 80 mW/m^2 . Si ricorda che valori di densità di flusso di calore possono suggerire localmente la presenza di sistemi geotermici profondi.

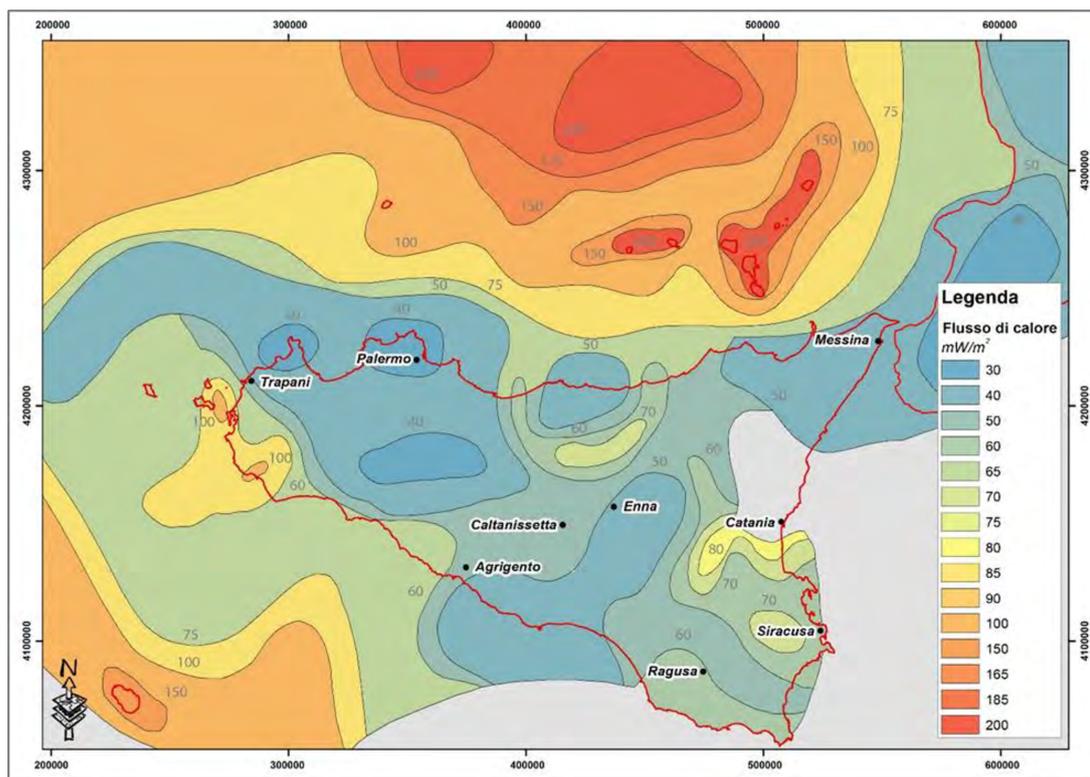


Figura 10 Mappa del flusso di calore espresso in mW/m^2 (modificato da Cataldi et al., 1995).

2.6 Il serbatoio carbonatico

Nell'ambito del Progetto VIGOR (Albanese et al., 2014), volto a valutare il potenziale geotermico delle quattro regioni della Convergenza (Campania, Puglia, Calabria e Sicilia), un'ampia parte del lavoro è stata dedicata alla identificazione e modellazione del serbatoio geotermico regionale siciliano. Lo studio e la combinazione di tutte le informazioni di pozzo disponibili (in particolare le misure di pressione e temperatura) con i dati geochimici noti, hanno permesso di identificare la presenza di un serbatoio geotermico di estensione regionale all'interno delle unità carbonatiche del Mesozoico (Montanari et al., 2014). A scala regionale, tali unità rappresentano il principale serbatoio geotermico, seppur sono presenti falde acquifere di modeste dimensioni ospitate negli orizzonti discontinui che sovrastano le suddette unità (Gola et al., 2013). Grazie all'integrazione dei dati geologici e geofisici disponibili con nuovi dati raccolti in aree chiave, sono stati ricostruiti l'andamento e la profondità di tale serbatoio geotermico (Figura 11).

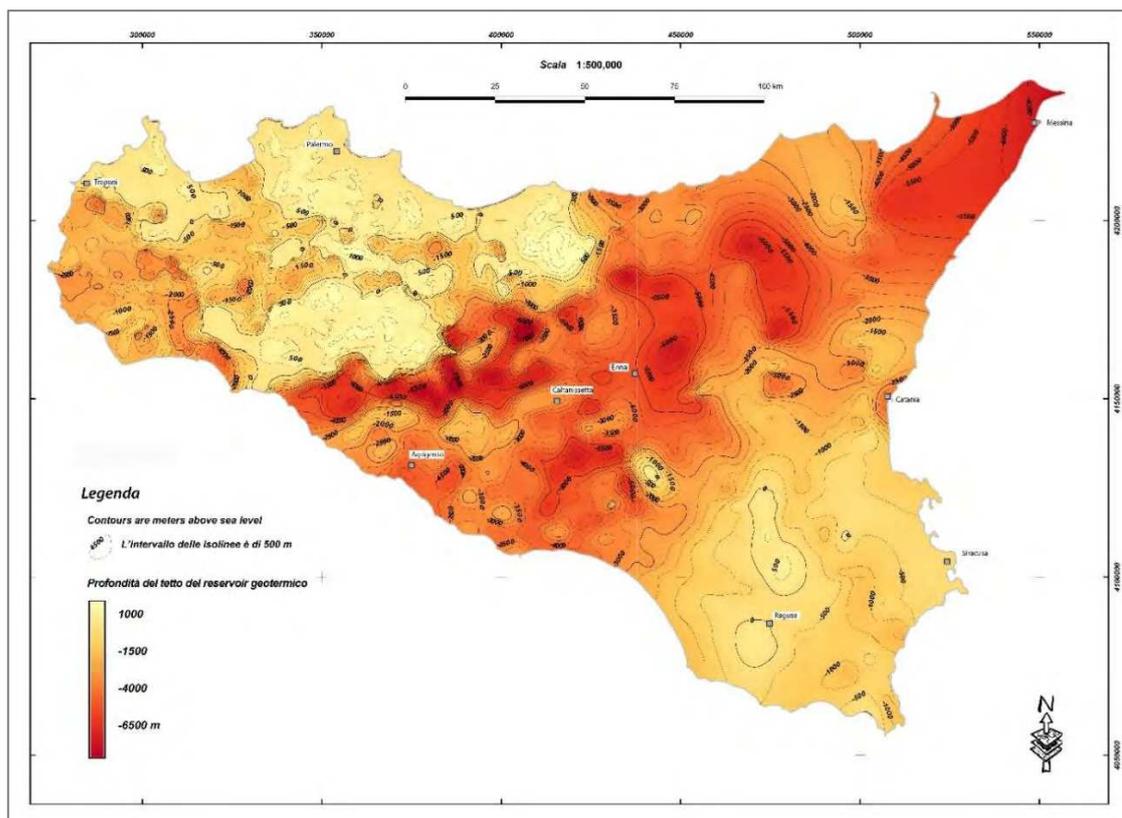


Figura 11 Mappa della profondità del top del serbatoio geotermico regionale siciliano (modificato da Montanari et al., 2014).

La ricostruzione 3D restituisce l'andamento in alti e bassi strutturali che caratterizza il serbatoio regionale in conseguenza dell'evoluzione tettonica che ha interessato la Sicilia. Particolarmente evidente è l'approfondimento del tetto del serbatoio carbonatico, che raggiunge anche i 6500 m di profondità, nel settore centrale della Sicilia, dalla zona di Agrigento a sud-ovest, fino al margine dei Monti Peloritani a nord-est (Bacino di Caltanissetta), mentre nei settori occidentale e nord-occidentale il serbatoio affiora in diverse aree (Figura 11).

Inoltre, dall'elaborazione dello stato termico dell'acquifero carbonatico profondo, realizzata in base ai profili di temperatura dei pozzi geotermici esplorativi e per la ricerca di idrocarburi, sono state evidenziate numerose anomalie termiche a scala regionale. Le mappe a 1000, 2000, 3000, 4000 e 5000 m di profondità (rispetto al livello medio del mare s.l.m.), ottenute utilizzando i dati di temperatura e le informazioni litostratigrafiche, hanno mostrato un marcato controllo delle strutture profonde sul

gradiente termico nelle unità di copertura, evidenziando valori più elevati laddove il serbatoio si localizzi più superficialmente o dove la convezione dei fluidi geotermici risulti essere più efficace. Come è possibile notare, dall'analisi delle mappe di seguito riportate le aree più interessanti (a profondità inferiori ai 2000 m di profondità) risultano essere: l'area madonita, l'area nebroidea, la fascia costiera tra Trapani e Mazara del Vallo e il settore orientale dell'isola dai Monti Iblei, passando per il Monte Etna, fino ai Monti Peloritani (*Figure 12 e 13*). A profondità superiori ai 4000 m, l'intervallo di temperatura 90-120°C viene raggiunto su tutto il territorio siciliano.

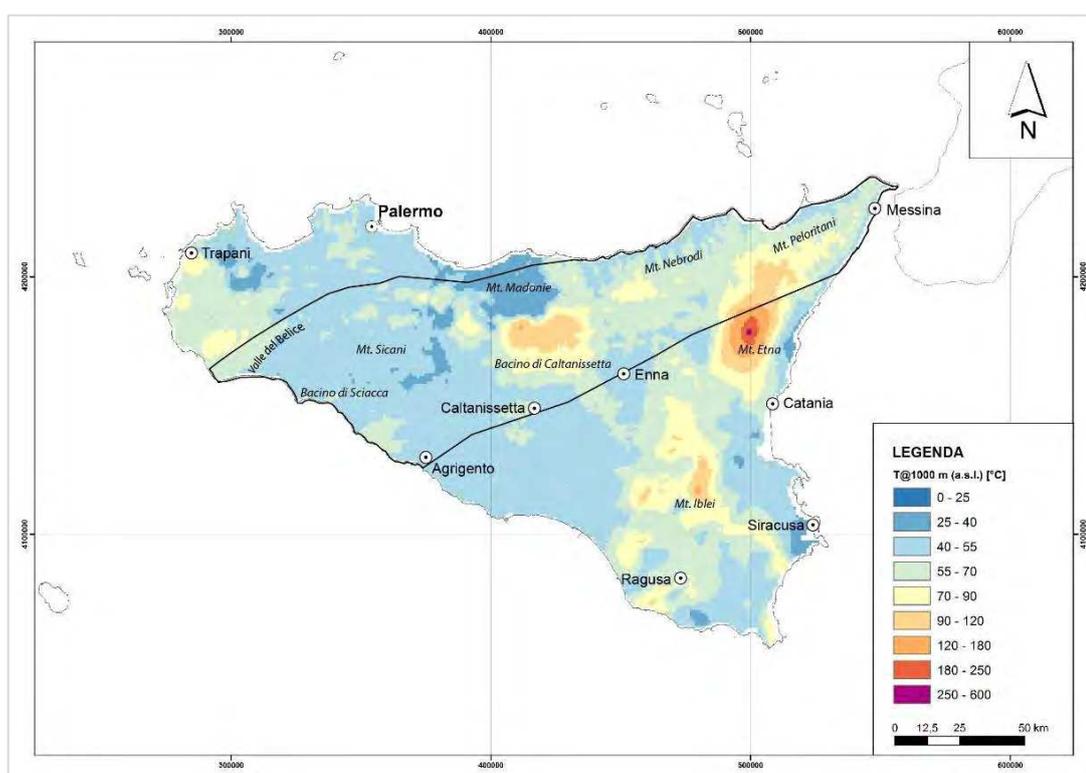


Figura 12 Distribuzione della temperatura a 1000 m di profondità s.l.m. L'area di studio è tracciata dalla linea nera.

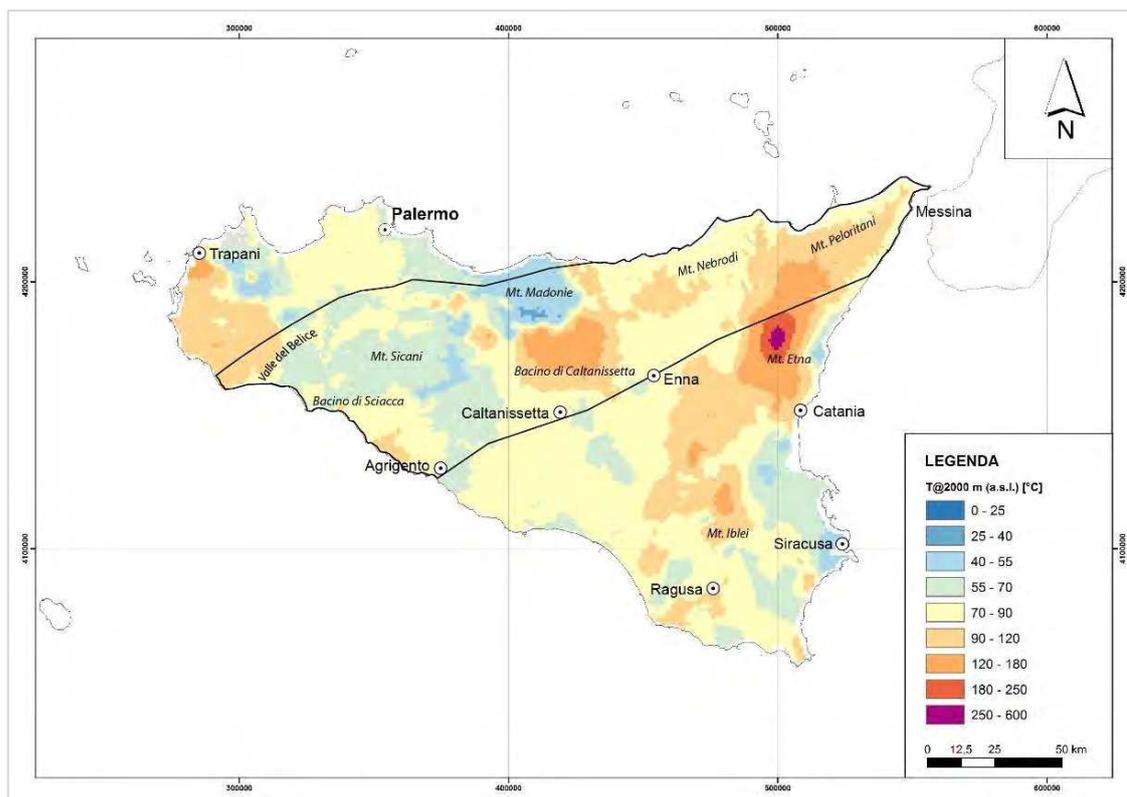


Figura 13 Distribuzione della temperatura a 2000 m di profondità s.l.m. L'area di studio è tracciata dalla linea nera.

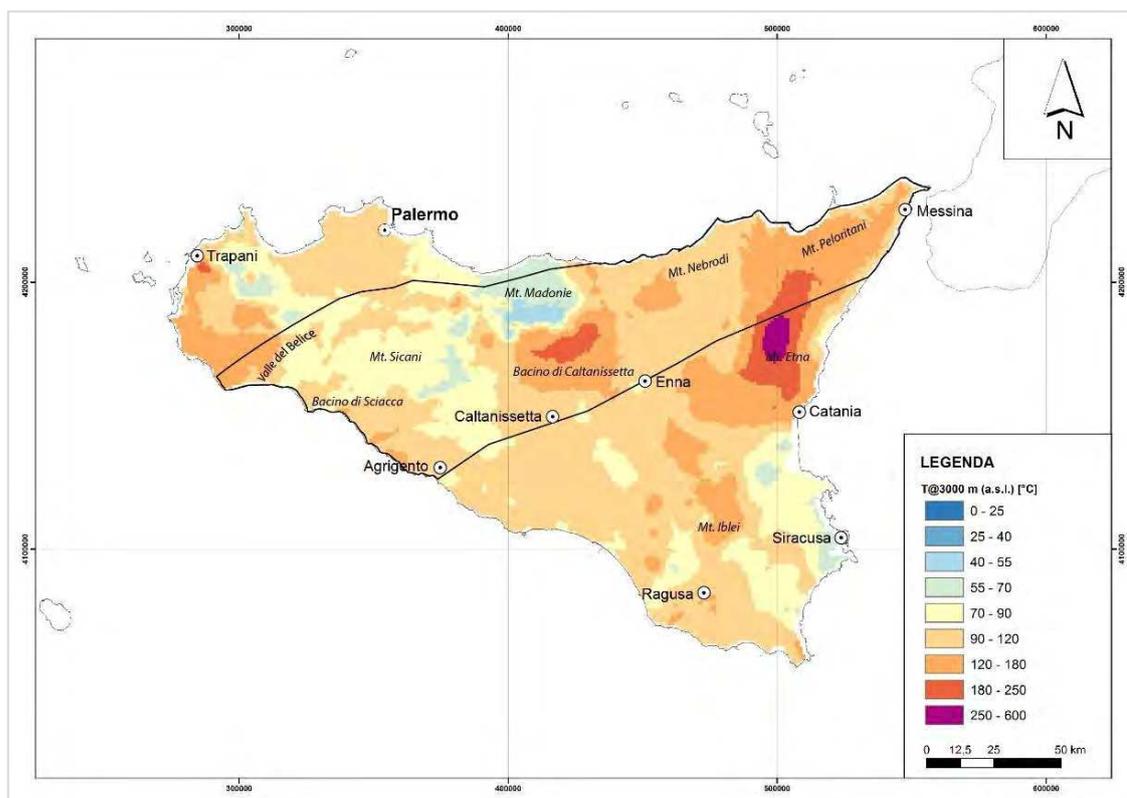


Figura 14 Distribuzione della temperatura a 3000 m di profondità s.l.m. L'area di studio è tracciata dalla linea nera.

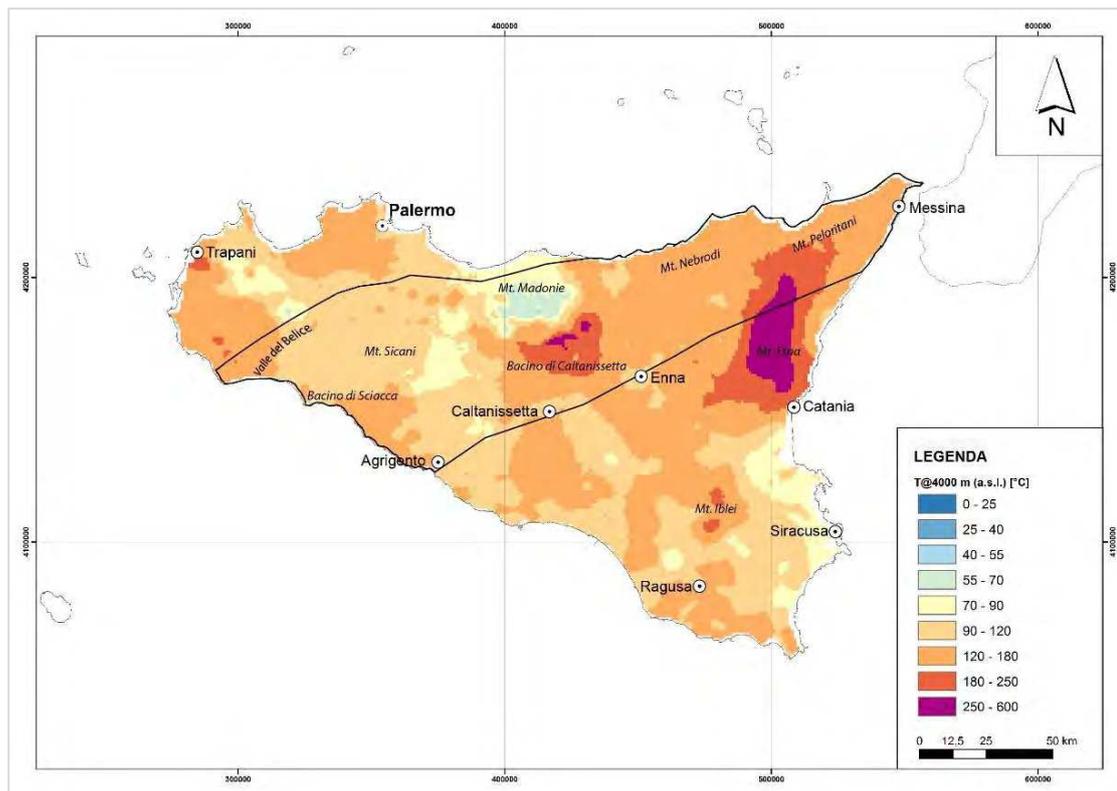


Figura 15 Distribuzione della temperatura a 4000 m di profondità s.l.m. L'area di studio è tracciata dalla linea nera.

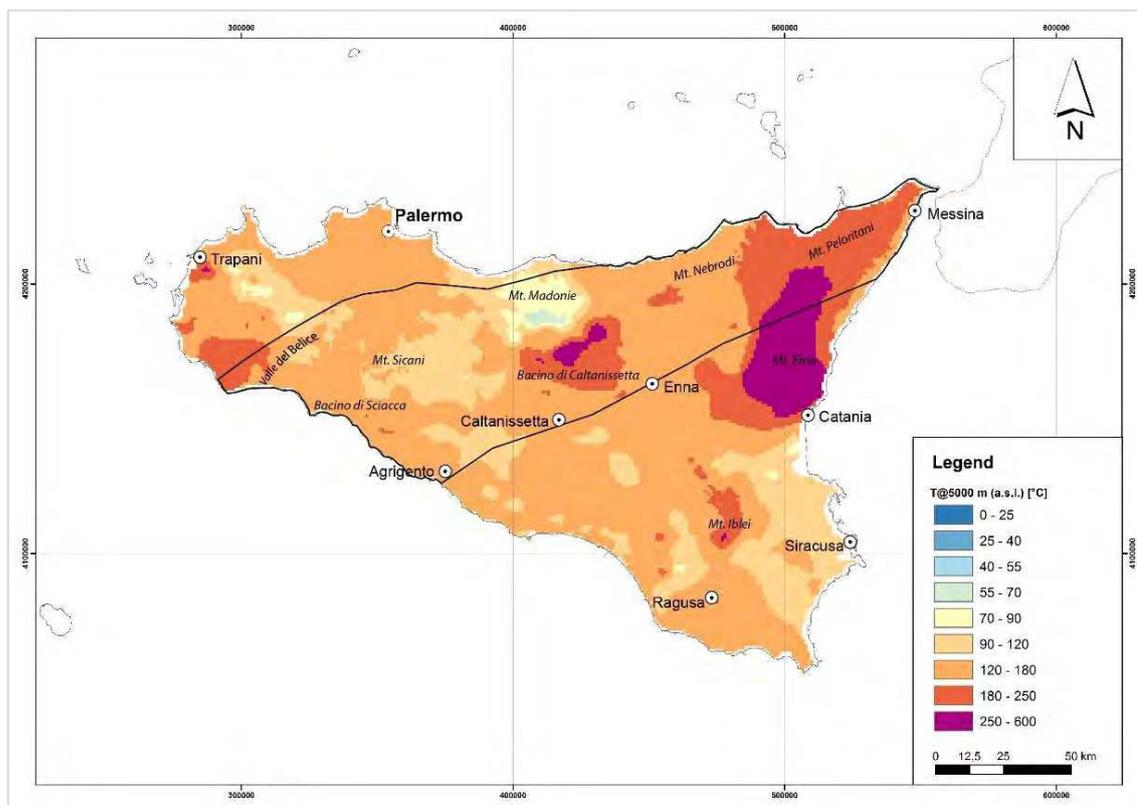


Figura 16 Distribuzione della temperatura a 5000 m di profondità s.l.m. L'area di studio è tracciata dalla linea nera.

2.7 Il basamento magnetico

La magnetometria, con il contributo di alcuni dati ottenuti da altre metodologie geofisiche, ha permesso di ottenere una prima definizione della profondità e dell'assetto strutturale del basamento magnetico. In base ai valori di profondità calcolata, ottenuti dalle anomalie attribuite al basamento suscettivo, Cassano et al. (1986), hanno realizzato una mappa della profondità del basamento magnetico in Italia. Con il termine "basamento" tali autori intendono il livello più profondo evidenziabile tramite magnetometria, sotto il quale dovrebbe, in genere, essere esclusa la presenza di rocce sedimentarie. Tale basamento magnetico pertanto potrebbe essere interpretato come la base del serbatoio carbonatico geotermico siciliano. L'andamento del basamento riportato in *Figura 17*, evidenzia in Sicilia la presenza di alti ad elevata suscettività nel settore occidentale (nell'area di Alcamo, Sciacca e Licata), nel settore settentrionale (nell'area compresa tra Milazzo e Palermo) ed infine nell'area Iblea.

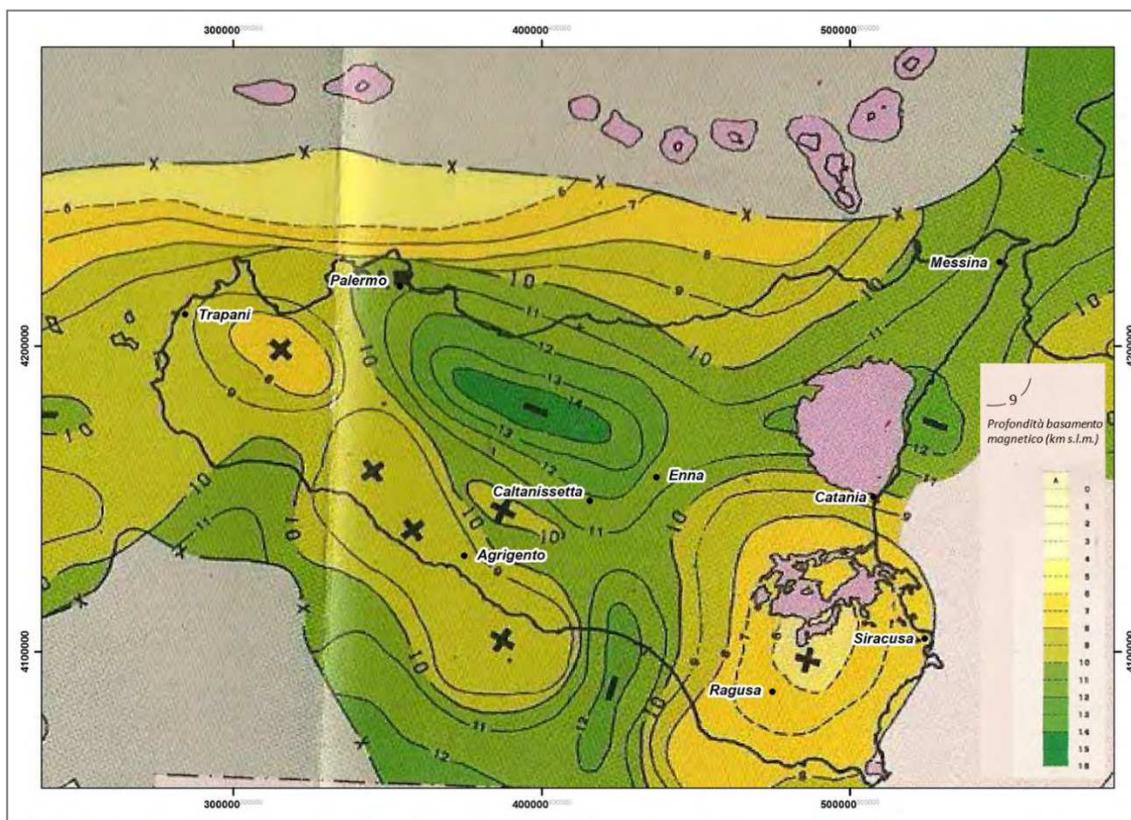


Figura 17 Mappa della profondità del basamento magnetico in Sicilia (modificato da Cassano et al., 1986).

3. Metodi di campionamento e procedure analitiche per acque e gas

3.1. Campionamento e analisi delle acque

Nel periodo compreso tra marzo 2015 e giugno 2016 sono state eseguite sei campagne di esplorazione geochimica durante le quali sono stati campionati n. 65 siti, mostrati in *Figura 18*.

I campioni di acque e gas provengono da pozzi, sorgenti, gallerie drenanti, polle e vulcanetti di fango, distribuiti lungo una fascia ampia circa 12.000 km² che taglia trasversalmente la catena siciliana e che si estende dai Mt. Peloritani (NE) al Bacino di Sciacca (OSO).

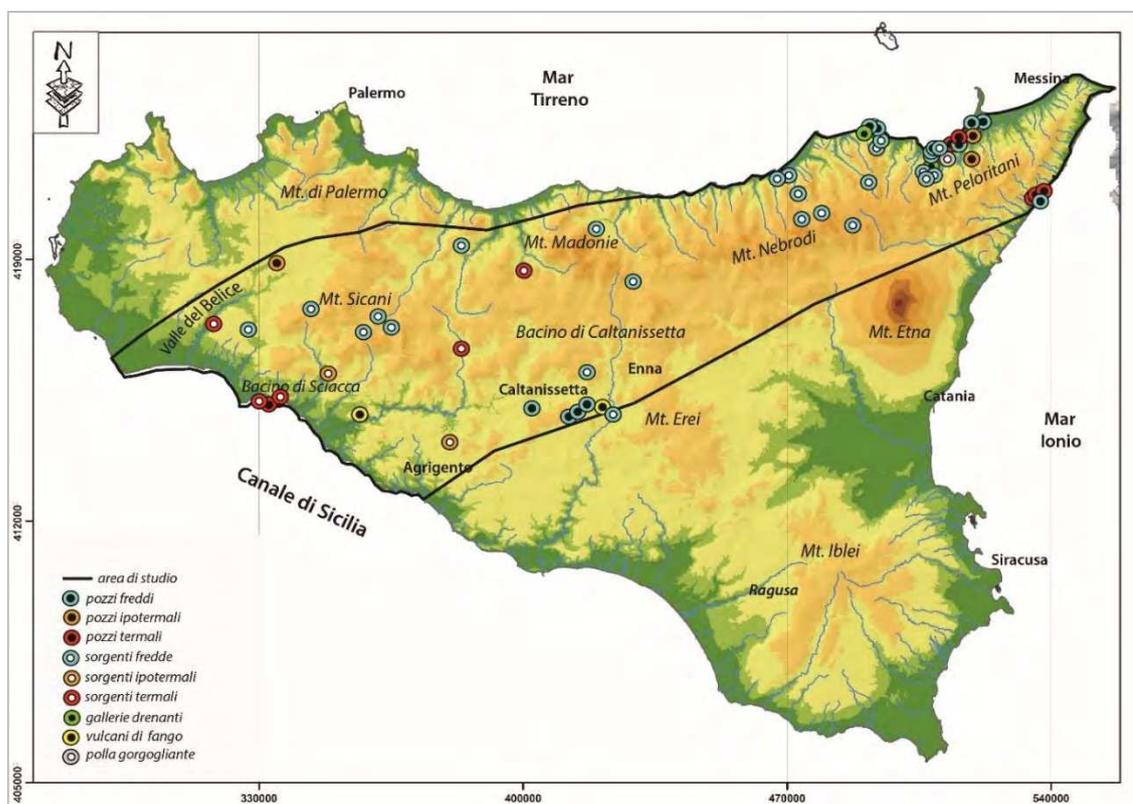


Figura 18 Distribuzione dei punti campionati all'interno dell'area di studio.

I parametri chimico-fisici come, pH, Eh, temperatura e conducibilità elettrica, i quali sono affetti da variazioni durante il trasporto dei campioni dal punto di prelievo al laboratorio di analisi, sono stati misurati direttamente in situ, tramite attrezzatura portatile (*Figura 19*). Per le misure di temperatura e conducibilità elettrica è stato utilizzato un conduttimetro Thermo Scientific Orion 3 Star. La conducibilità, espressa in

$\mu\text{S}/\text{cm}$, è riferita alla temperatura standard di 25 °C. Per le misure di pH è stato utilizzato un pH-metro portatile della Thermo Scientific Orion 3 Star. Infine, per il potenziale di ossido-riduzione (Eh) è stato utilizzato uno strumento Thermo Scientific, modello 250. La misura dell'Eh è espressa in mV.



Figura 19 Attrezzatura portatile utilizzata per la misura di temperatura, conducibilità elettrica (Thermo Orion Conductivity meter, 3 Star), pH (Thermo Orion pHmeter 3 Star) ed Eh (Thermo Orion, model 250).

L'alcalinità è stata determinata in laboratorio tramite titolazione acidimetrica con HCl 0.01 N e metil-arancio come indicatore e per via potenziometrica. Per ciascun sito sono state prelevate 4 aliquote d'acqua trasferite in appositi contenitori in polietilene (Figura 20):

- due aliquote da 50 mL, entrambe filtrate (0.45 μm) ed acidificate con HCl e HNO_3 , rispettivamente per l'analisi dei cationi e degli elementi in traccia;
- un'aliquota da 125 mL, filtrata a 0.45 μm , per l'analisi degli anioni;
- un'aliquota da 50 mL non trattata (tal quale), prelevata per la determinazione dei rapporti isotopici $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ e $^2\text{H}/^1\text{H}$ dell'acqua;



Figura 20 Contenitori in polietilene utilizzati per il campionamento delle acque.

Per l'analisi dei principali anioni (F, Cl, Br, NO₃, SO₄, PO₄) e cationi (Na, K, Mg, Ca, Li, NH₄) presenti nelle acque campionate, è stata utilizzata la cromatografia ionica (IC). Lo strumento impiegato per l'analisi degli anioni è un Metrohm 761 Compact IC (Figura 21). L'analisi dei cationi è stata eseguita con un Metrohm 861 Advanced Compact IC (Figura 22), entrambi in dotazione presso il laboratorio di Geochimica dei Fluidi e delle Rocce del Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Istituto di Geoscienze e Georisorse (IGG) di Firenze (Resp. Sig. Luciano Giannini). L'errore analitico per le analisi IC è <5%.



Figura 21 Cromatografo ionico Metrohm 761 Compact IC utilizzato per la determinazione dei seguenti soluti: F, Cl, Br, NO₃, PO₄ e SO₄.



Figura 22 Cromatografo ionico Metrohm 861 Advanced Compact IC utilizzato per la determinazione dei seguenti soluti: Na, K, Mg, Ca, Li, NH_4^+ .

Per l'analisi degli elementi in traccia (Fe, Mn, Sr, Ba) è stato utilizzato uno spettrometro ottico con emissione al plasma (ICP-OES) (Inducted Coupled Plasma – Optical Emission Spectroscopy) della Perkin-Elmer mod. Optima 2000 DV (Figura 23), disponibile presso il laboratorio di Chimica delle Acque del CNR-IGG di Pisa (Resp. Dott. Matteo Lelli). L'errore analitico per le analisi chimiche delle acque è <5%.



Figura 23 ICP-OES della Pelkir Elmer mod. Optima 2000 DV utilizzato per l'analisi di Fe, Mn, Sr, Ba.

I rapporti isotopici dell'ossigeno $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ e dell'idrogeno $^2\text{H}/^1\text{H}$ nelle acque (espressi, rispettivamente, $\delta^{18}\text{O}\text{-H}_2\text{O}$ e $\delta\text{D}\text{-H}_2\text{O}$ ‰ vs. V-SMOW: Standard Mean Ocean Water) sono stati determinati in contemporanea tramite spettroscopia ad assorbimento laser utilizzando un Liquid Water Isotope Analyser della Los Gatos Research (*Figura 24*) disponibile presso il laboratorio di Geochimica delle Acque del CNR-IGG di Pisa (Resp. Ing. Mario Mussi). Lo strumento è stato calibrato utilizzando standard interni ed i risultati di tale calibrazione sono stati riportati in unità di scostamento δ rispetto allo SMOW. La precisione analitica è dello ± 0.2 ‰ per il $\delta^{18}\text{O}$ e dello ± 1 ‰ per il δD .



Figura 24 Liquid Water Isotope Analyser della Los Gatos Research, disponibile presso il laboratorio di Geochimica delle Acque dell'Istituto di Geoscienze Georisorse del CNR di Pisa.

3.2 Campionamento e analisi dei gas

Per una completa caratterizzazione geochimica delle aree investigate è stata determinata la composizione delle specie gassose presenti in soluzione nelle acque. Il metodo utilizzato per l'estrazione dei gas disciolti nelle acque è ampiamente descritto in Tassi et al. (2008). Tale metodo prevede l'utilizzo di ampolle cilindriche in vetro (con volume pari a 200-300 mL; *Figura 25*) dotate di valvola in teflon, precedentemente evacuate in laboratorio con pompa rotativa.



Figura 25 Ampolla cilindrica utilizzata per il prelievo dei gas disciolti secondo il metodo di Tassi et al. (2008).

Il campionamento è stato eseguito attraverso l'immersione dell'ampolla all'interno della fase liquida da cui estrarre il gas disciolto. L'apertura della valvola determina l'introduzione dell'acqua all'interno dell'ampolla per decompressione. L'ampolla viene riempita fino a circa il 70% del suo volume, in modo da favorire nello spazio di testa il rilascio dei gas che vengono successivamente identificati e quantificati mediante gascromatografia (GC, *Figura 26*).

La composizione dei principali composti inorganici accumulati nello spazio di testa dell'ampolla (CO_2 , N_2 , Ar, O_2 , Ne) è stata determinata mediante un gascromatografo Shimatzu 15a con sistema di rilevazione TDC (Thermal Conductivity Detector). Per l'analisi del metano in basse concentrazioni è stato utilizzato un gascromatografo Shimatzu 14a con sistema di rilevazione FID (Flame Ionization Detector). L'analisi dei gas è stata effettuata presso il laboratorio di Geochimica dei Fluidi e delle Rocce del Dipartimento di Scienze della Terra e del CNR-IGG di Firenze (Resp. Sig. Luciano Giannini). L'errore analitico per le analisi chimiche delle fasi gassose è $\leq 5\%$.

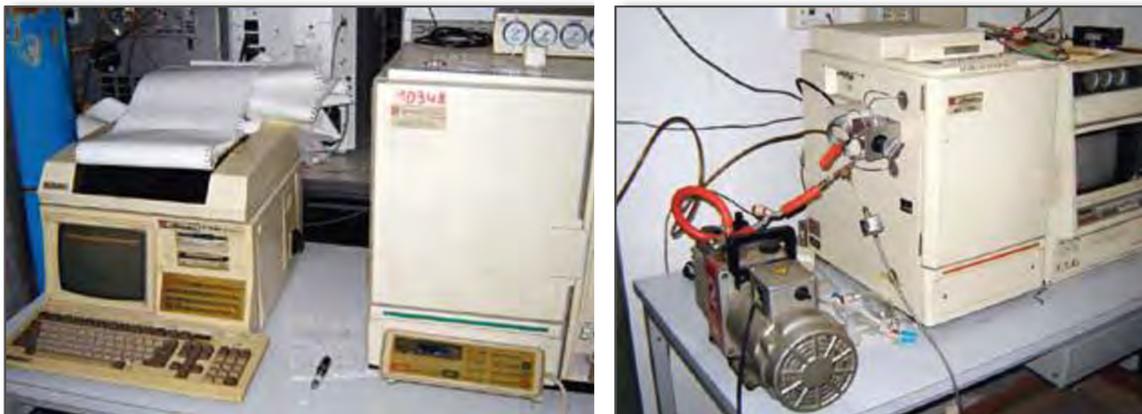


Figura 26 Gas cromatografo Shimadzu 14a, con sistema di rilevazione FID (Flame Ionization Detector), a sinistra; Gas cromatografo Shimadzu 15a, con sistema di rilevazione TCD (Thermal Conductivity Detector), a destra.

Nella fase gassosa raccolta nello spazio di testa delle ampolle è stato determinato il rapporto isotopico $\delta^{13}\text{C}$ della CO_2 ($\delta^{13}\text{C}\text{-CO}_2\text{STRIP}$) per spettrometria di massa utilizzando uno spettrometro di massa Finnigan mod. MAT 252, in dotazione presso il laboratorio degli Isotopi Stabili del CNR-IGG di Pisa (Resp. Ing. Mario Mussi) (Figura 27), mentre la fase di estrazione e purificazione della CO_2 , effettuata mediante trappole criogeniche, è stata effettuata presso il laboratorio di Geochimica degli Isotopi Stabili del Dipartimento di Scienze della Terra (Resp. Dr. Mario Paolieri) e del CNR-IGG di Firenze.



Figura 27 Analisi del $\delta^{13}\text{C}$ del carbonio della CO_2 disciolta in acqua ($\delta^{13}\text{C}\text{-CO}_2\text{STRIP}$).

In base ai valori isotopici misurati, è stato calcolato il $\delta^{13}\text{C}$ della CO_2 disciolta in acqua ($\delta^{13}\text{C-CO}_2$), facendo uso della seguente formula Zhang et al. (1995):

$$\epsilon_1 = \delta^{13}\text{C-CO}_2 - \delta^{13}\text{C-CO}_2\text{STRIP} = (0,0049 * T(^{\circ}\text{C})) - 1,31$$

I gas secchi, emessi dai vulcani di fango e dalle polle gorgoglianti sono stati campionati utilizzando un imbuto di plastica capovolto, posizionato al di sopra del punto di emissione e connesso, mediante un rubinetto a tre vie, ad una siringa a punta conica e al campionatore, all'interno del quale viene immagazzinato il gas. Per il campionamento dei gas secchi sono state utilizzate delle ampolle in pyrex a due vie dotate di valvole a vuoto su entrambe le estremità. Durante il campionamento, un'estremità del campionatore viene immersa in acqua al fine di evitare l'ingresso dell'aria. Nell'altra estremità, mediante la siringa, viene pompato all'interno dell'ampolla il gas precedentemente convogliato all'interno dell'imbuto. Tale gas, viene pompato sette, otto volte all'interno del campionatore, prima del prelievo, in modo da garantire la rimozione dell'aria presente all'interno. Al termine del campionamento, vengono chiuse le due valvole (di entrata e di uscita) del campionatore.

I campioni di gas secchi così prelevati, sono stati analizzati presso i laboratori dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Sezione di Palermo. Le specie gassose sono state determinate tramite un gas cromatografo (Clarus 500, Perkin Elmer) equipaggiato con Colonna Carboxen 1000 e due detector: HWD (Hot wire detector) e FID (Flame ionization detector). L'errore analitico è <3%.

Sui campioni prelevati sono stati anche determinati He e Ne e la loro composizione isotopica. La miscela di gas viene purificata in una linea di preparazione in acciaio inossidabile al fine di rimuovere tutte le specie chimiche diverse dai gas nobili. Successivamente, He e Ne vengono criogenicamente separati a 42 e 82 K, rispettivamente. Il rapporto $^3\text{He}/^4\text{He}$ e il ^{20}Ne sono analizzati mediante uno spettrometro di massa Helix SFT-GVI, seguendo il protocollo interno descritto in Rizzo et al. (2015).

L'incertezza analitica nella determinazione delle concentrazioni di He e Ne elementari è <5%. I rapporti $^3\text{He}/^4\text{He}$ sono stati corretti per la contaminazione atmosferica sulla base dei rapporti di $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ (Giggenbach et al., 1993), e questi valori corretti verranno di seguito riportati come R/Ra (dove R è il rapporto $^3\text{He}/^4\text{He}$ misurato nel campione e Ra è il rapporto $^3\text{He}/^4\text{He}$ nell'aria, il cui valore è 1.39×10^{-6}). L'errore analitico è <0.3%. Inoltre, su tali campioni, è stata misurata la composizione isotopica del carbonio della CO_2 attraverso uno spettrometro di massa Finnigan Delta Plus, dopo aver applicato le specifiche procedure previste per la purificazione dei campioni. La composizione isotopica della CO_2 è espressa come $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ vs. PDB. L'errore analitico è <0.2‰ (Paonita et al., 2013).

4. Studi precedenti

In letteratura sono noti diversi studi scientifici che riguardano la geochimica dei fluidi dell'area di studio. La letteratura è ricca di informazioni e dati eppure, ancora oggi sono molte le tematiche dibattute: *i)* i processi di interazione acqua-roccia, *ii)* l'origine dei fluidi e *iii)* i circuiti idrologici che questi percorrono. Di seguito riportiamo una descrizione delle principali manifestazioni ricadenti nell'area di studio e le considerazioni conclusive degli autori che ne hanno analizzato le caratteristiche.

Il settore occidentale dell'area di studio è caratterizzato dalla presenza di due importanti sistemi idrotermali: le Acque Calde di Montevago e il gruppo termale di Sciacca. Tra gli autori che si sono occupati di questi sistemi citiamo: Alaimo (1987a,b); Alaimo & Tonani (1987); Favara et al. (1998; 2001); Caracausi et al. (2005); Capaccioni et al. (2011). Dagli studi di Alaimo (1987a,b) e Alaimo & Tonani (1987), si evince che le acque di Sciacca siano caratterizzate da una composizione clorurato sodica, legata ad un'origine marina ma modificata dall'interazione con rocce di acquiferi caldi. Alla base vi è l'ipotesi della presenza di un serbatoio caratterizzato da poco magnesio e da una certa quantità di cloruri che mescolandosi con l'acqua di mare produrrebbe la sorgente termale di Sciacca. L'esistenza di una correlazione tra tettonica e composizione dei fluidi idrotermali è confermata dalle variazioni di chimismo osservate precedentemente e durante l'attività sismica (Favara et al., 1998, 2001). Inoltre, sarebbe accertata la presenza di un reservoir profondo, alimentato da un mixing fra acqua carbonatica e acqua marina in proporzioni pressoché simili, e l'esistenza di un processo d'interazione tra le acque che risalgono in superficie e i livelli evaporitici ricchi in Na-Cl che caratterizzano l'area (Favara et al., 2001). Secondo Favara et al. (1998, 2001) l'origine delle acque emergenti a Montevago sarebbe dovuta al mixing di tre end-member: *i)* uno profondo (il serbatoio carbonatico), *ii)* uno bicarbonato calcico-magnesiaco, derivante dalla dissoluzione di rocce carbonatiche e *iii)* uno solfato-calcico, derivante dalla lisciviazione di rocce evaporitiche. Il fluido, così ottenuto, sarebbe ulteriormente modificato durante la risalita da una contaminazione,

seppur minima, di acqua di mare (1-3%). Per le acque di Montevago la composizione isotopica dell'acqua indica un'origine meteorica. La fase gassosa dominante è l'anidride carbonica, la cui concentrazione risulta essere più bassa rispetto alle acque termali di Sciacca (Caracausi et al., 2005).

I valori isotopici dell'elio riportati per le due aree sopracitate sono ben al di sopra dei valori normalmente riscontrati nella crosta continentale, ed implicherebbero la presenza di magma in profondità nel settore occidentale della Sicilia (R/Ra pari a 1,8 a Montevago e R/Ra pari a 2,8 a Sciacca) (Caracausi et al., 2005). Secondo Capaccioni et al., (2011), per l'acquifero termale salino di Sciacca, ospitato all'interno dei carbonati triassici ed avente origine marina, è stata stimata una temperatura di 150 °C e alcune delle acque emergenti in superficie sono caratterizzate da uno shift positivo di ^{18}O , presumibilmente connesso a prolungati processi di interazione acqua/roccia alla temperatura di cui sopra. I fluidi in risalita sono soggetti a raffreddamento conduttivo grazie ai processi di mixing con acquiferi superficiali di origine meteorica, fino a raggiungere i circa 60 °C misurati all'emergenza. L'area di ricarica meteorica si localizza in prossimità dei monti circostanti a quote superiori ai 900 m. L'esistenza di questo sistema idrotermale sarebbe confermata dalla concentrazione di composti quali H_3BO_3 e NH_4 , nonché dagli elevati valori di R/Ra i quali indicano un contributo non trascurabile di gas mantellici tramite profonde dislocazioni tettoniche (Capaccioni et al., 2011).

Nel settore nord-orientale della Sicilia (area peloritana) è documentata la presenza di diverse sorgenti termali, gas gorgoglianti in acqua ed emissioni di gas sia sul settore tirrenico che su quello ionico (Giammanco et al., 2008; Camarda, 2004; Italiano et al., 2006; Grassa et al., 2006). Giammanco et al. (2008) hanno proposto un modello geochimico concettuale per spiegare il differente chimismo riscontrato nelle adiacenti manifestazioni che caratterizzano il settore tirrenico, Terme Vigliatore (sorgente termale) e Rodì Milici (gas gorgogliante in acqua). Tale modello descrive un sistema caratterizzato da una forte interazione tra gas profondi e acquiferi superficiali, la quale

determina una composizione geochemica totalmente diversa in questi due campioni. In particolare il gas emesso a Rodì Milici presenta una composizione a N₂ dominante (nonostante la contaminazione dell'aria sia trascurabile, O₂=1.4%), con una concentrazione in CO₂ molto bassa (0.13% in volume) ed un tenore in elio molto più elevato rispetto a quello dell'aria, pari allo 0.08% in volume. Viceversa il campione prelevato a Terme Vigliatore è costituito per il 99% in volume da CO₂ e da una concentrazione bassissima di He (al di sotto del limite di rilevabilità dello 0.0006% in volume). Secondo tale modello, gas mantellici arricchiti in CO₂ e He risalirebbero verso la superficie tramite faglie. Durante la risalita i gas interagirebbero con l'acquifero, in cui la CO₂ (specie gassosa più solubile) si dissolverebbe, per poi essere rilasciata come fase dominante a Terme Vigliatore. Al contrario il gas residuale, rimane arricchito nella specie gassosa meno solubile in acqua, ovvero l'elio, il quale attraversa l'acquifero, raggiungendo la superficie in corrispondenza del campione Rodì Milici.

Sempre sul settore tirrenico insiste un'altra area caratterizzata da emissioni gassose sia on-shore che sottomarine, nella frazione di Capo Calavà (Golfo di Patti, Monti Peloritani occ.). In tale area, Camarda (2004) ha rilevato la presenza di strutture tettoniche degassanti, allineate in direzione NNO/SSE (appartenenti all'*Aeolian-Malta fault system*"; Lanzafame & Bousquet, 1997), che si estendono verso il mare, come evidenziato dal rinvenimento di una notevole emissione gassosa sottomarina prossima alla spiaggia (soprannominata localmente *Spiaggia Fetente*). La composizione chimica ed isotopica dei gas del suolo e della sopracitata emissione sottomarina suggerisce la presenza di un sistema idrotermale localizzato nel basamento metamorfico ed alimentato da fluidi di origine mantellica, come confermato dai valori isotopici del carbonio. In questo sistema l'interazione tra fluidi e rocce metamorfiche è in grado di mobilitare il carbonio più pesante contenuto nelle rocce e modificare la composizione isotopica originaria del gas che in questi campioni è fortemente spostata verso valori molto positivi ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ fino a +4.2‰ vs PDB). Italiano et al. (2006) supportano l'esistenza di attività di tipo idrotermale e degassamento diffuso anomalo dal suolo

nella zona di Capo Calavà. Le analisi dei gas emessi in quest'area evidenziano una fase dominante a CO₂ e composizione isotopica del carbonio e dell'elio di derivazione mantellica. Tali autori indicano la presenza degli stessi fenomeni di termalismo e degassamento lungo la fascia costiera Ionica, ad Alì Terme, in cui sono note tre emergenze, Terme Marino 1, 2 e Granata Cassibile. Anche qui la fase gassosa è prevalentemente costituita da CO₂ ma differisce fortemente per la composizione isotopica dell'elio, che risulta avere valori molto bassi, riconducibili ad un'origine più marcatamente crostale. Grassa et al. (2006) suggeriscono che le elevate concentrazioni di CO₂ disciolta nelle acque circolanti, rinvenute nelle emergenze di Alì, siano legate a strutture tettoniche regionali che rappresentano le vie preferenziali di risalita del gas profondo.

Nel settore centro-settentrionale della Sicilia insistono due importanti sistemi termali: uno ubicato a Sclafani Bagni, l'altro a S. Giovanni Gemini (noto come *Acqua Fitusa*) (Carapezza, 1977; Alaimo et al., 1978; Grassa et al., 2006). Secondo Carapezza et al. (1977) le acque emergenti a Sclafani Bagni, sono caratterizzate da una elevata salinità probabilmente dovuta all'influenza di acque legate a giacimenti petroliferi o alla serie gessoso-solfifera diffusa nelle aree adiacenti all'emergenza. Per l'elevato contenuto in solfati che caratterizza l'Acqua Fitusa (superiore rispetto ai valori stechiometrici di Ca e Mg), si potrebbe invece ipotizzare un'origine dovuta ad ossidazione batterica dell'idrogeno solforato in solfato. I valori marcatamente positivi di $\delta^{18}\text{O}$, riportati in Alaimo et al. (1978), rinvenuti sia nelle acque di Sclafani che nell'Acqua Fitusa, farebbero supporre la presenza di alte temperature in profondità non avvalorate però dalle stime geotermometriche (che restituiscono temperature non molto diverse da quelle misurate all'emergenza). Lo shift positivo dell'ossigeno nei due campioni, secondo Grassa et al. (2006), sarebbe riconducibile a processi d'interazione acqua-gas-roccia.

Il settore centrale dell'area di studio è caratterizzato dalla presenza di numerosi *mud volcano*, sia on-shore che off-shore, localizzati in ambienti geologici simili, i.e.

caratterizzati da rapida sedimentazione e interessati da intensi processi tettonici. Tra questi i più importanti e ampiamente documentati in letteratura sono: Maccalube di Aragona, Fuoco di Censo a Bivona, Maccalube di Bissana a Cattolica Eraclea, Maccalube di Terrapelata a Caltanissetta, Maccalube di Marianopoli e Maccalube di Comitini (Etioppe et al., 2002, 2007; Grassa et al., 2004; Graziano, 2009; Madonia et al., 2011; Heller, 2011; Martinelli & Judd, 2004; Martinelli et al., 2012; Tassi et al. 2012a; Cangemi & Madonia, 2014). Grandi volumi di fango ricco in CH₄ sono emessi da questi vulcanetti che caratterizzano il settore centrale della Sicilia. Secondo Etioppe et al. (2002) l'output di CH₄ da Aragona, Bissana e Fuoco di Censo sarebbe pari rispettivamente a 394, 2.7 e 6.2 ton/a. I risultati analitici sui vulcani di fango caratterizzanti il settore centrale e centro-occidentale della Sicilia, indicano che i gas emessi sono CH₄ dominanti, diversamente da quelli emergenti nel settore orientale che risultano CO₂ dominanti con una concentrazione in CH₄ variabile tra il 4 e il 35%. Le bassissime concentrazioni di CO₂ determinate nei *mud volcano* che costituiscono il settore occidentale della Sicilia e caratterizzati da una netta prevalenza di gas metano (>90% in volume), sarebbe connessa al fatto che durante la risalita verso la superficie la componente più profonda arricchita in CO₂ tende a dissolversi nei corpi idrici attraversati, a differenza del CH₄, che invece riesce a raggiungere l'atmosfera, proprio in conseguenza del fatto che le due specie gassose hanno un differente tasso di dissoluzione in acqua (Italiano et al., 2001; Etioppe et al., 2002). Tale fenomeno tende ad influenzare il rapporto CH₄/CO₂ che a Bissana appare il più basso (CH₄/CO₂= 33.1). Probabilmente, l'assenza di un significativo corpo idrico, favorisce il passaggio di un quantitativo più elevato di CO₂ in atmosfera (Etioppe et al., 2002). Importanti considerazioni sui *mud volcano* siciliani sono state fatte da Heller (2011), il quale indica un'origine termogenica del gas, come confermato dalla composizione isotopica del metano. Le alte concentrazioni di alcani rilevate, suggerirebbero la presenza di una roccia madre immatura e/o mixing con sostanza organica fresca. I valori isotopici del carbonio osservati sono tipici di biodegradazione del metano seguito da metanogenesi

secondaria (Heller, 2011). Le acque associate ai vulcanetti di fango di Caltanissetta, presentano una elevata salinità simile a quella dell'acqua di mare, pH neutro e netta prevalenza di ioni Na e Cl (Madonia et al., 2011). Modifiche importanti rispetto all'acqua di mare, sono state identificate, sia nella composizione chimica che in quella isotopica (Madonia et al., 2011). Una riduzione del 25% di cloro rispetto all'acqua di mare, indicherebbe un processo di mescolamento con un'acqua a più bassa salinità, mentre l'arricchimento in sodio e la riduzione in potassio sembrerebbero legati a processi di illitizzazione della smectite e/o reazioni di scambio ionico tra acqua e minerali argillosi. Inoltre, la scarsa presenza di ioni calcio e magnesio sarebbe relativa al coinvolgimento in processi di scambio acqua-roccia ad alta temperatura e/o processi di precipitazione di minerali carbonatici favoriti dalle alte concentrazioni di carbonio inorganico disciolto (Madonia et al., 2011). Le basse concentrazioni di solfato (61 mg/L) sarebbero il risultato di processi di riduzione batterica dello stesso, associata alla degradazione della materia organica e/o all'ossidazione anaerobica del metano, processi che peraltro determinano un incremento del carbonio inorganico disciolto. Infine la composizione isotopica dell'acqua con valori fortemente positivi di ^{18}O , pari a +10‰ e valori di -8‰ per il ^2H sembrerebbe accreditare l'ipotesi che tali modifiche siano conseguenti a processi diagenetici (Madonia et al., 2011). Secondo Tassi et al. (2012), l'abbondanza di composti ciclici emessi dai *mud volcano* sarebbe alimentata da una sorgente posta a profondità superiori ai 3000 m dal p.c. in un ambiente sedimentario caratterizzato da alte pressioni e temperature comprese tra 100 e 120 °C. Tali condizioni favorirebbero la formazione dei composti ciclici per processi di cracking termico e reforming catalitico. L'ubicazione e la distribuzione delle manifestazioni che caratterizzano l'area di studio, sono mostrate in *Figura 28*.

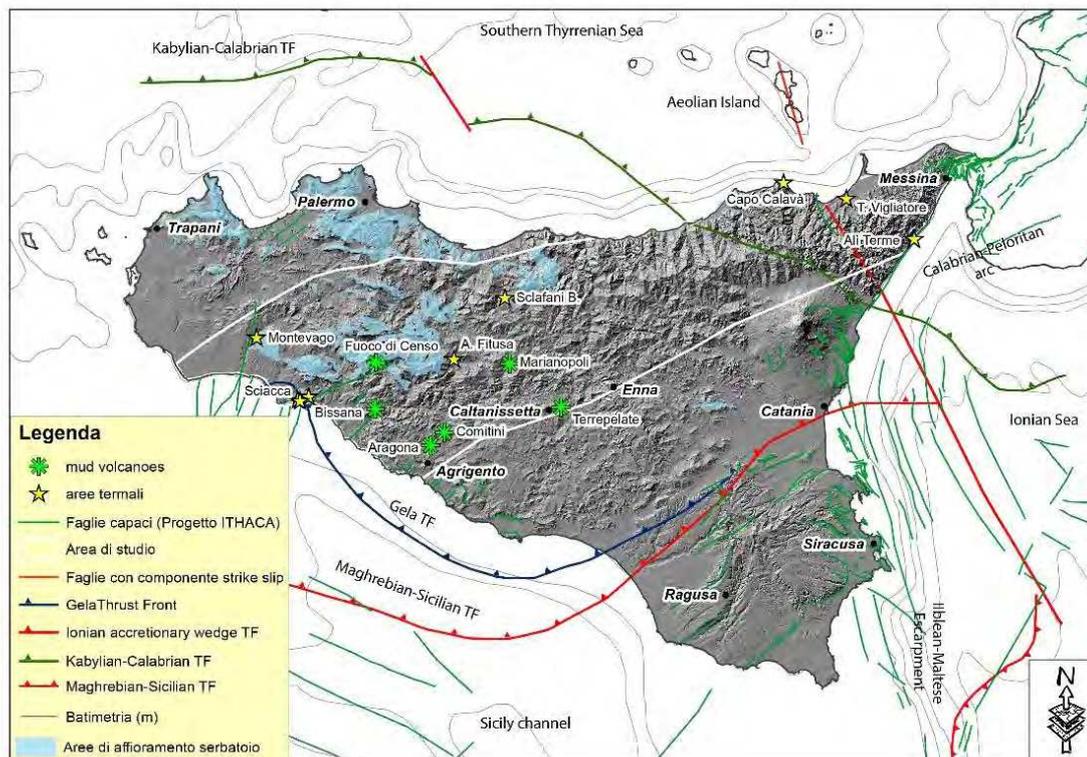


Figura 28 Mappa raffigurante le principali manifestazioni citate nel testo. Gli asterischi verdi rappresentano i mud volcano, le stelle gialle le aree termali. In azzurro le aree di affioramento del serbatoio carbonatico regionale.

Come è possibile notare dalla revisione della bibliografia esistente per l'area di studio relativa al presente progetto di dottorato, la maggior parte dei lavori scientifici è incentrata su aree relativamente ristrette o su specifiche emissioni senza fornire un quadro esaustivo in funzione del contesto geologico e geostrutturale. Di fatto l'unico studio che si occupa di definire meglio le caratteristiche delle sorgenti termo-minerali siciliane (comprese le adiacenti isole vulcaniche) mediante una caratterizzazione chimica e isotopica e di valutare i processi di interazione tra gas e acque termali è quello di Grassa et al. (2006). Un importante contributo, seppur datato, per la comprensione dei circuiti idrogeologici delle principali emissioni termali della Sicilia e delle potenzialità geotermiche è la nota scientifica di Alaimo et al. (1978).

5. Il dataset geochimico: dati nuovi, inediti e di letteratura

Nei prossimi capitoli verranno discussi ed interpretati i dati sui fluidi emessi nell'area di studio. I dati utilizzati per la discussione non includono soltanto quelli relativi al presente studio ma anche dati bibliografici, dati messi a disposizione dal Progetto Atlante per il Mezzogiorno (Minissale et al., 2016) e dati, inediti o pubblicati parzialmente, forniti dall'NGV, Sezione di Palermo. Pertanto, in questa tesi di dottorato è stato realizzato un database omogeneo sia in termini di informazioni chimiche e isotopiche dei siti sia in termini di copertura areale a scala regionale.

Parallelamente all'attività di campionamento ed analisi è stata infatti effettuata una ricerca bibliografica di dettaglio al fine di reperire tutti i dati geochimici ed isotopici disponibili in letteratura. I dati ottenuti sono stati organizzati all'interno di un database geochimico, suddiviso in due parti: 1) uno per le acque, 2) e uno per i gas liberi e disciolti. Il database acque finale consta dell'analisi geochimica di 310 siti di emergenza. Il database gas (liberi e disciolti) finale comprende l'analisi geochimica ed isotopica di 68 siti di emergenza.

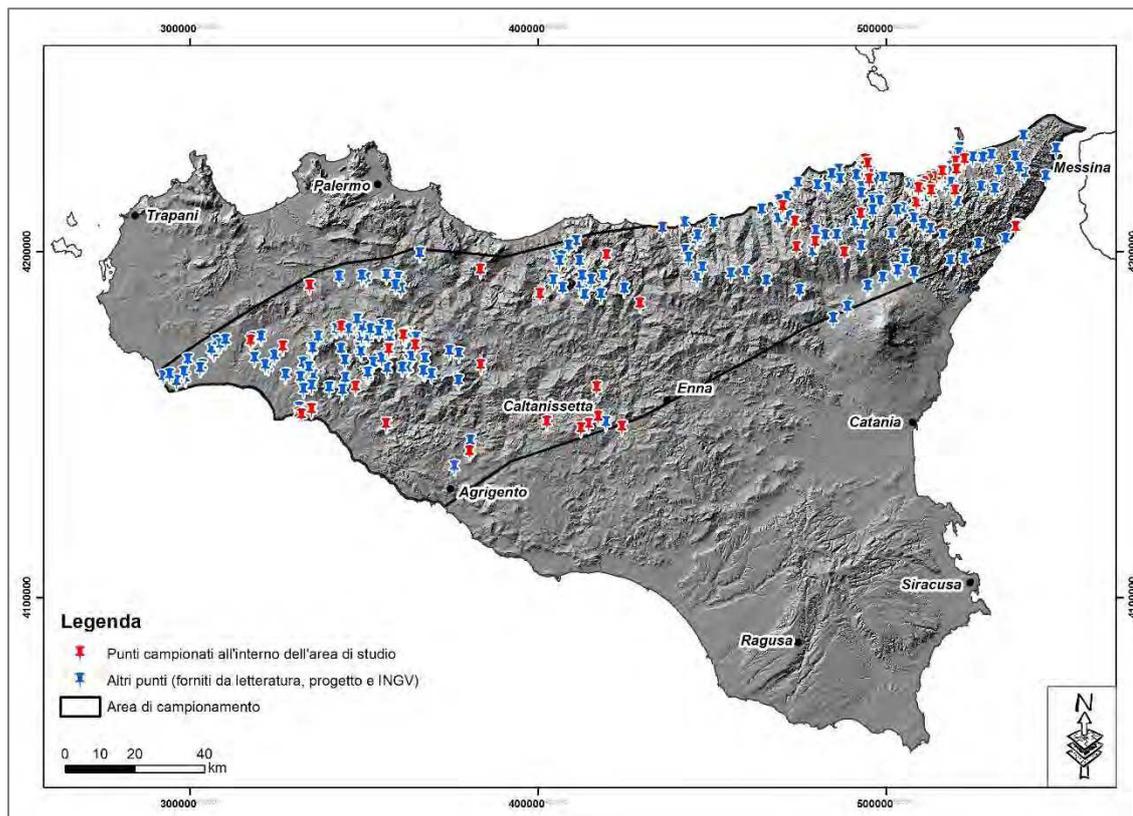


Figura 29 Distribuzione areale delle acque investigate all'interno dell'area di studio.

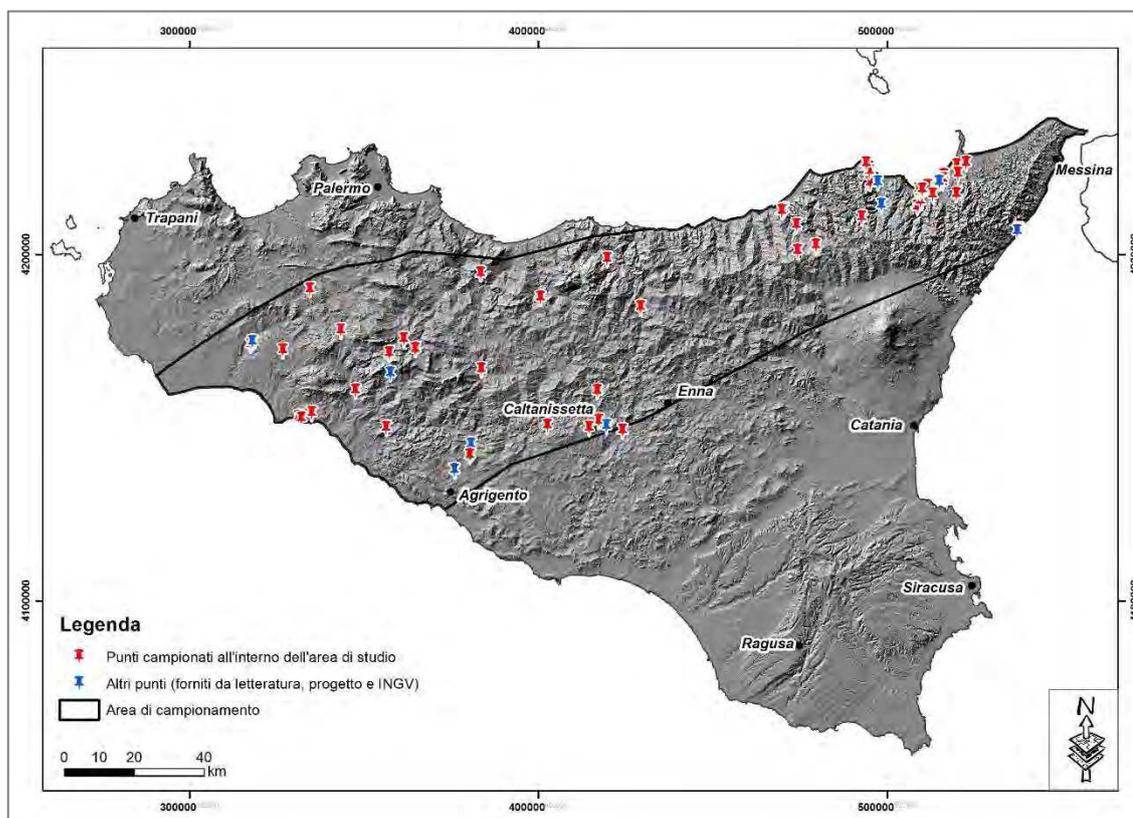


Figura 30 Distribuzione areale dei gas liberi e disciolti investigati all'interno dell'area di studio.

In generale per ogni singolo sito vengono riportate le seguenti informazioni: il nome e la località, le coordinate geografiche del punto (in unità metriche UTM-WGS84 Fuso 33 N), la tipologia (sorgente, pozzo, galleria drenante, polla), la quota dell'emergenza (in m s.l.m.), la temperatura (in °C), il pH, la salinità calcolata (come TDS= total dissolved solids in mg/L), il potenziale redox come Eh (in mV), la conducibilità elettrica (in $\mu\text{S}/\text{cm}$), gli elementi maggiori (Ca, Mg, Na, K, HCO_3 , SO_4 e Cl, espressi in mg/L), i minori (F, Br, NO_3 espressi in mg/L), il rapporto isotopico $^2\text{H}/\text{H}$ riportato come $\delta^2\text{H}$ e il rapporto $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ riportato come $\delta^{18}\text{O}$ (entrambi espressi in ‰ vs. SMOW). All'interno di un'altra tabella sono riportate inoltre le tracce (Fe, Sr, Li, B, NH_4 , Mn, Ba, Sr, Al, Sb, Ag, As, Be, B, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Cu, Se, Zn, Co, Rb, Tl, Bi, U, V) i cui valori sono espressi in $\mu\text{g}/\text{L}$.

Per quanto riguarda i gas, per ogni sito vengono riportati: il nome e la località, le coordinate geografiche del punto (in unità metriche UTM-WGS84 Fuso 33 N), il tipo di emissione (gas disciolto o libero), la quota della manifestazione, la temperatura dell'emergenza da cui viene prelevata l'aliquota per determinare la componente gassosa disciolta o da cui si separa la fase libera, gli elementi maggiori (CO_2 , N_2 , O_2 , CH_4) e i minori (H_2 , CO, He, Ar, Ne), il rapporto isotopico del carbonio della CO_2 (in ‰ vs. PDB) ed infine per alcuni siti il rapporto isotopico dell'He (espresso come R/Ra, dove $R=^3\text{He}/^4\text{He}$ misurato nel campione e $Ra=^3\text{He}/^4\text{He}$ misurato nell'aria, pari a 1.39×10^{-6}) ed il rapporto $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$. Le tabelle, così come descritte, sono riportate all'interno dell'Appendice.

5.1. Il contributo di INGV

Come sopra menzionato, al fine di avere una copertura significativa dell'area di studio, accanto ai dati raccolti durante l'attività di dottorato, sono stati inseriti all'interno del database alcuni dati inediti, altri parzialmente pubblicati, gentilmente forniti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Palermo. In particolare, si tratta di dati messi a disposizione da R. Favara, E. Gagliano Candela, L. La Pica, S. Morici, G.

Pecoraino e C. Scaletta, acquisiti tra il 2004 e il 2006, a seguito della stipula di una convenzione con la Regione Sicilia per la caratterizzazione delle Acque Sotterranee finalizzata alla redazione del “Piano di Tutela delle Acque della Regione Sicilia” (di cui all’art. 121 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152) e dei dati inediti forniti da C. Scaletta e E. Gagliano Candela, relativi ai Monti Peloritani e derivanti dalle attività di monitoraggio che INGV- Palermo porta avanti da decine di anni. Nello specifico sono state messe a disposizione 319 analisi relative a pozzi, sorgenti e gallerie drenanti, a copertura quasi totale dell’area di studio. Tali analisi sono state condotte presso i laboratori dell’INGV-Sezione di Palermo. Poiché si trattava di analisi eseguite per il monitoraggio, per i siti per i quali si disponeva di più analisi, in *Tabella a1* (Appendice) è stato riportato un unico dato.

6. Presentazione dei dati

Di seguito si riportano tutti i dati oggetto del presente studio. Per una migliore trattazione, verranno prima descritte le acque e poi i gas sia disciolti che liberi.

6.1. Acque

In *Tabella a1* (Appendice) sono riportate le composizioni chimiche delle acque ricadenti nell'area di studio. Al fine di verificare la qualità dei dati disponibili, è stato calcolato l'errore di bilancio di carica (Δ) per ciascuna soluzione acquosa ($\Delta = [(\Sigma an - \Sigma cat)/(\Sigma an + \Sigma cat)] \times 100$), consultabile in *Tabella a1*. Come si evince chiaramente da quest'ultima la qualità dei dati è buona, in quanto soltanto un limitatissimo numero di campioni (il 4% del totale) presenta un errore superiore al 4%.

Per una prima analisi dei dati, le acque sono state suddivise in:

- ✓ acque termali con temperatura maggiore di 21 °C;
- ✓ acque fredde con temperatura minore di 21 °C.

In relazione alla temperatura generalmente viene stabilita come soglia il valore di 20 °C, per definire un'acqua teoricamente anomala. Nel caso di questo studio, è stato stabilito un valore soglia leggermente superiore, 21 °C, in ragione della temperatura media dell'aria più elevata che caratterizza il territorio siciliano e che inevitabilmente condiziona la temperatura del suolo e dell'acqua.

I valori di temperatura variano da un minimo di 7.9 °C (S. Giacomo) ad un massimo di 54.8 °C (Terme Selinuntine). Il pH varia da debolmente acido (5.61, T. Selinuntine) a fortemente basico (9.45, Forzano). La conducibilità elettrica è compresa tra 59 e 45100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, rispettivamente nei campioni Piano Lana e H. Terme Grazia. Infine, le acque presentano valori di Eh nell'intervallo -398 mV (Maccalube di Bissana) e 602 mV (Quattro Cannoli).

Per avere una prima indicazione delle caratteristiche geochimiche delle acque investigate, è stato utilizzato il diagramma quadrato di Ludwig & Langelier (1942), il

quale permette di evidenziare l'appartenenza dei campioni di acqua alle varie facies geochimiche (Figura 31). Con tale elaborazione si osserva la significativa varietà composizionale che caratterizza le acque ricadenti nell'area di studio. La maggior parte dei campioni è di pertinenza del quadrante che individua le acque con chimismo bicarbonato alcalino-terroso, tipicamente associate ad acque di scorrimento superficiale e di falde poco profonde e circuiti brevi.

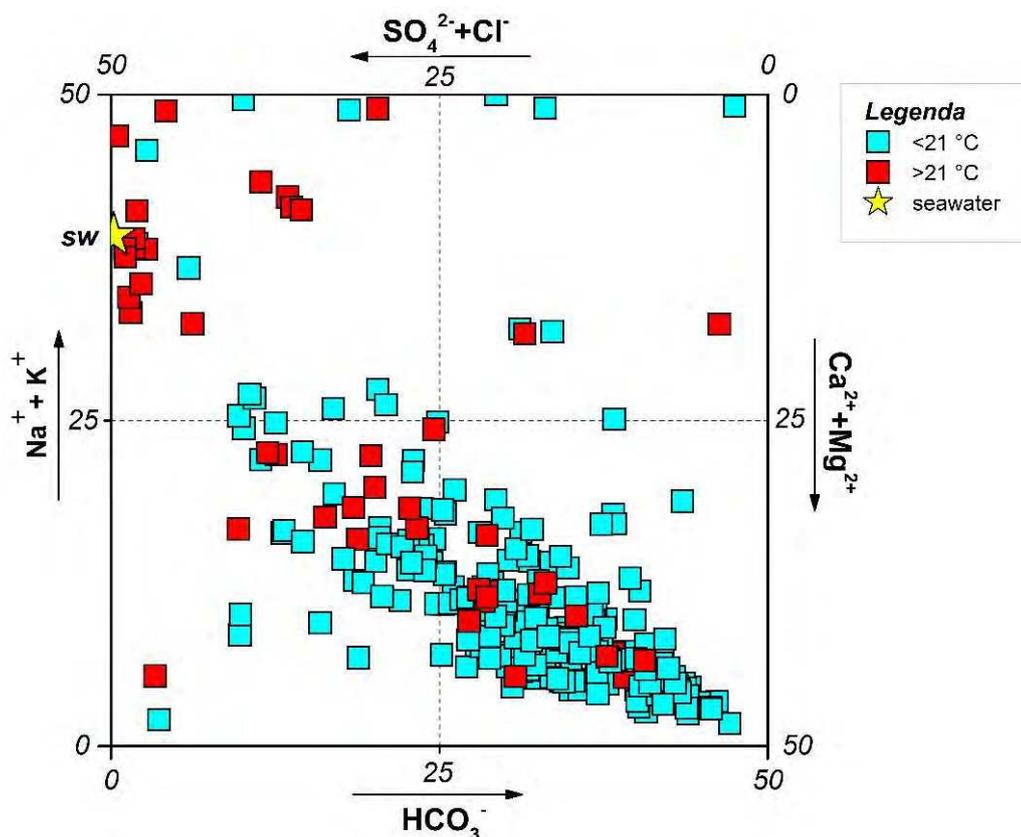


Figura 31 Diagramma quadrato delle acque ricadenti nell'area di studio (Langelier & Ludwig, 1942).

Numerosi sono anche i campioni che ricadono nel quadrante che individua le acque con composizione clorurato-solfato alcalino-terrosa. Sono presenti inoltre campioni con facies clorurato-solfato alcalina ed un più ristretto numero di campioni con composizione bicarbonato-alcalina.

Poiché il diagramma quadrato non considera la concentrazione di ogni singolo ione bensì la loro somma ($\text{Na} + \text{K}$, $\text{Ca} + \text{Mg}$, $\text{Cl} + \text{SO}_4$, ecc.), per definire la facies geochimica di appartenenza vengono qui di seguito proposti i diagrammi triangolari per le specie

anioniche (e.g. Giggenbach, 1991) e cationiche (Na+K)-Ca-Mg (e.g. Giggenbach et al., 1983) riportati rispettivamente in *Figura 32* e in *Figura 33*. Coniugando le informazioni fornite dal diagramma quadrato con quelle derivanti dai diagrammi triangolari, è stato possibile definire la composizione chimica di acque fredde e calde, come segue.

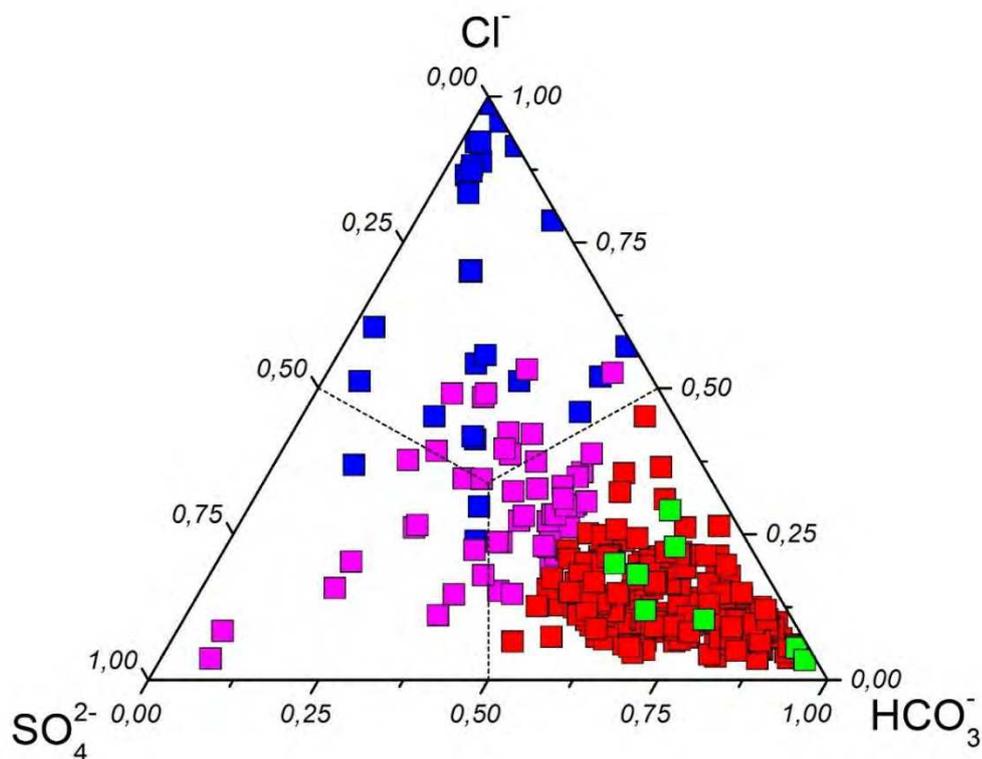


Figura 32 Diagramma triangolare delle specie anioniche. Quadrati rossi = acque bicarbonato alcalino-terrose; quadrati lilla = acque clorurato-solfato alcalino-terrose; quadrati verdi = acque bicarbonato alcaline; quadrati blu = acque clorurato solfato alcaline.

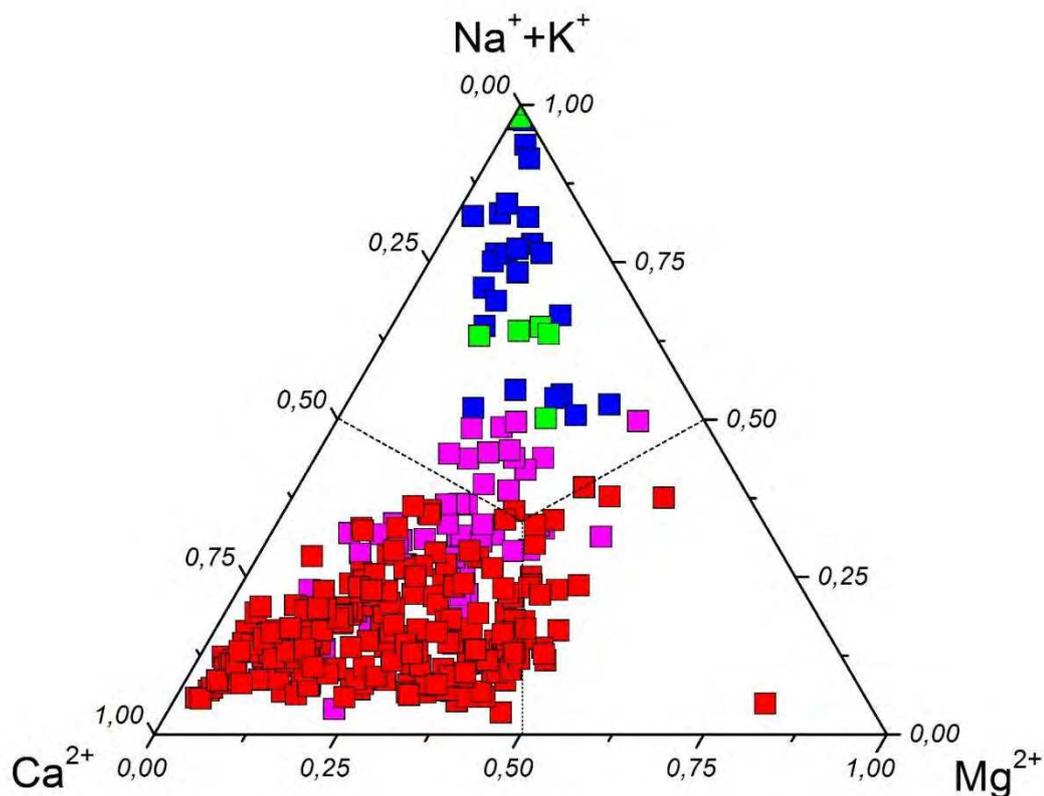


Figura 33 Diagramma triangolare delle specie cationiche. Quadrati rossi = acque bicarbonato alcalino-terrose; quadrati lilla = acque clorurato-solfato alcalino-terrose; quadrati verdi = acque bicarbonato alcaline; quadrati blu = acque clorurato solfato alcaline.

Acque fredde ($T < 21\text{ }^{\circ}\text{C}$)

- le acque che ricadono nel 1° quadrante del diagramma quadrato (Figura 23) appartengono, come precedentemente ricordato, al campo delle acque bicarbonato alcalino-terrose. Tali acque si ritrovano ampiamente su tutta l'area di studio investigata. A tale gruppo appartengono le acque caratterizzate da pH da debolmente acidi ad alcalini (6.13 - 9.45), mentre i valori di TDS (Total Dissolved Solids, i.e. la sommatoria dei costituenti principali) risultano essere compresi tra circa 90 e 1250 mg/L. I valori di Eh sono generalmente positivi (condizioni ossidanti), tipici di acque fredde (Hem, 1989) con l'eccezione di un ridotto numero di campioni che presentano valori negativi (condizioni riducenti): -1.4 (Filiti P., Mt. Peloritani), -1.4 (Magaggiaro 2 EAS, Piana di Castelvetrano) e -160 (Clemente, Piana di Castelvetrano) mV.

Alcune acque sono caratterizzate dalla predominanza dello ione magnesio sullo ione calcio, in particolare i campioni Milone, Squadrito, Balsima, Cons. Mazzarrà, Torre e Bocca di Cane nei Mt. Peloritani, Vegna nei Mt. Nebrodi, Musa e Bragaseggi nell'area etnea, Carboj e Feudotto nei Mt. Sicani, Clemente nella Piana di Castelvetro; in particolare Bocca di Cane e Bragaseggi rappresentano i termini più arricchiti, rispettivamente con 10.06 e 8.16 meq/L di Mg.

- un numero limitato di campioni ricade nel 2° quadrante del diagramma quadrato, che individua le acque con chimismo bicarbonato alcalino. Tali acque emergono limitatamente al settore peloritano (Quaranta, P. Biondo, C. San Filippo, C. Pilato e P. Nino) e nebroideo (Santuario). Esse presentano pH da neutro ad alcalino, tenori di TDS compresi tra 400 e 1950 mg/L e valori positivi di Eh. Soltanto il campione C. San Filippo presenta un Eh negativo (-257 mV). Come è apprezzabile dal diagramma degli anioni, la specie chimica più abbondante è il bicarbonato, mentre tra i cationi domina il sodio;
- nel 3° quadrante del diagramma quadrato ricadono le acque con chimismo clorurato-solfato alcalino. Tali acque sono caratterizzate da valori di pH compresi tra 6.06 e 9.02, salinità tra 70 e 41000 mg/L e valori negativi di Eh, fanno eccezione i campioni Marisca, Raiano, P. Pino e G. Villa Ridente (area peloritana) e Verni (area nebroidea) caratterizzati da Eh positivi. Tra gli anioni la specie più rappresentata è il cloruro e subordinatamente il solfato e il bicarbonato, mentre tra i cationi prevale il sodio seguito, in ordine di abbondanza, da calcio e magnesio. A questa famiglia appartengono anche i campioni Trifilò (area peloritana) e Raiano (area nebroidea).
- infine le acque ricadenti nel 4° quadrante (acque clorurato-solfato alcalino terrose) del diagramma quadrato hanno caratteristiche chimico-fisiche molto variabili. A tale famiglia appartengono le acque caratterizzate da pH compresi nell'intervallo 5.84 – 8.51, valori di TDS compresi tra circa 35 e 3300 mg/L, ed

Eh tendenzialmente positivo, ad eccezione dei campioni Scullica e Garibaldi (nei Mt. Peloritani), che presentano rispettivamente valori pari a -67 e -45 mV. La loro posizione (nei diagrammi triangolari anionici e cationici mette in evidenza come queste acque fredde si dispongano su tutti e tre i settori. Sono presenti acque dominate da bicarbonati (Mannarano, Nocita e Piturro nei Mt. Nebrodi; Porta dei Leoni, Vena, S. Francesco 2, C. Piana, B. Calcagno, Filiti A., P. Isgrò 2, Zerilli, Arcoraci, C. Marulli, Giambò V. nei Mt. Peloritani; Magione a Roccabusambra, Venezia, P. Tre Fontane, Pantaleo e Balatelle nella Piana di Castelvetro, Ciapparazzo nella piana Etnea, S. Gulfa nei Mt. Sicani e Vallone R. nella Piana di Sciacca), acque dominate da cloruri (P. Lana nelle Madonie; Brignoli, S. Margherita, Acqua Poma, A. Amanti, S. Febronia, P. Giochi e Garibaldi nei Mt. Peloritani e Stoccatello nei Mt. Sicani) e infine acque dominate da solfati (Tracanalè, Casazza, S. Fetente, Scullica e Picciolo nei Mt. Peloritani; P. Lopez, P. Lopez3, Borgo Palo e Capodarso nel Bacino di Caltanissetta). Nelle acque in cui prevale lo ione bicarbonato, la specie cationica dominante è il calcio, ad eccezione del campione C. Piana (Peloritani sett.) in cui è più abbondante il magnesio mentre in alcune acque prevale il sodio (Ciapparazzo nel settore nord-occidentale etneo, Nocita nei Mt. Nebrodi e P. dei Leoni nei Peloritani occ.). Nei campioni più ricchi in solfato prevale il contenuto in calcio in soluzione, soltanto le acque Tracanalè, Casazza e S. Fetente (che emergono nei Peloritani settentrionali) sono dominate da magnesio. Le acque che presentano il cloruro come anione dominante sono caratterizzate da alti contenuti in sodio, ad eccezione dei campioni P. Giochi e Garibaldi (area Peloritana) e Stoccatello (area Sicana) nei quali prevale il calcio.

Acque calde ($T > 21$ °C)

- Tra le acque che presentano un chimismo bicarbonato alcalino-terroso, le temperature sono comprese fra 21.1 e 31 °C. Esse sono caratterizzate da valori di pH compresi tra 6.13 e 8.03, TDS inferiore a 1000 mg/L (ad

eccezione del campione T. Marino 2 ubicato nel settore orientale dei Mt. Peloritani: TDS = 2300 mg/L) e Eh estremamente variabili, essendo compresi fra -228 a 463 mV. Come evidenziato dai diagrammi triangolari, la specie anionica predominante è il bicarbonato, mentre la specie cationica prevalente è il calcio, seguita in ordine di abbondanza dal magnesio;

- Due campioni termali presentano una composizione chimica bicarbonato alcalina. Si tratta dei campioni, P. Ventura e T. Augusto, che caratterizzano l'area peloritana e che presentano rispettivamente una temperatura di 23.9 e 30.2 °C, pH di 7.7 e 6.71, TDS di 1200 e 6000 mg/L e Eh pari a 67 e -309 mV.
- La maggioranza delle acque termali ricade nel quadrante che individua le acque a chimismo clorurato-solfato alcalino. Tali campioni sono caratterizzati da temperature comprese tra 21.1 e 54.8 °C, pH variabili tra 5.61 e 8.48, TDS fino a 40300 mg/L ed Eh negativi (condizioni riducenti tipiche dei sistemi idrotermali). I campioni appartenenti a questa famiglia sono dominati dai cloruri tra gli anioni e dal sodio tra i cationi. Le aree termali dominano l'area peloritana sia sulla fascia tirrenica che su quella ionica, l'area sicana e la piana di Sciacca ed il settore madonita.
- Tra le acque con chimismo clorurato-solfato alcalino-ferroso, la temperatura oscilla tra 21.3 e 39.2 °C, il pH varia da debolmente acido (6.81) a debolmente basico (8.48), la TDS varia da 400 a 2950 mg/L. Infine, il potenziale redox è compreso fra -288 e 219 mV. All'interno di questa famiglia, come è apprezzabile dal diagramma triangolare degli anioni (*Figura 31*), è possibile distinguere dei campioni chiaramente più ricchi in cloruri (P. Gorga e S. Vuturo emergenti tra la piana di Castelvetro e i Mt. Sicani), altri in cui prevale lo ione solfato (La Palmara nei Mt. Peloritani; Acqua Pia nei Mt. Sicani e Comitini nel bacino di Caltanissetta) e bicarbonato (Rinazzo nell'area peloritana, Fontana Calda e Fontana Calda

2 nella piana di Sciacca). Due campioni, Berlingheri (settore orientale dei Mt. Peloritani) e Vallone R. (Piana di Sciacca), presentano concentrazioni comparabili di solfati e bicarbonati. In tutti i campioni prevale il calcio, ad eccezione di Rinazzo, Berlingheri, S. Vuturo e Vallone R. in cui il sodio è il catione più rappresentativo.

	T	pH	CND	Eh	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
TERMALI											
N	37	36	34	29	37	37	37	37	37	37	37
Min	21,1	5,6	122	-337,0	4,7	2,7	16,0	0,0	113	18	10
Max	54,8	8,5	45100,0	463,0	1333,0	1048,0	11851,0	507,0	4209	20788	3224
Media	26,2	7,2	6164	-30,4	256,7	109,2	1087,5	53,0	550	1852	421
Mediana	23,9	7,3	1346	-1,4	120,2	39,7	148,0	13,0	372	141	164
FREDDI											
N	269	273	271	270	273	273	273	273	273	273	273
Min	7,9	5,8	59	-398,0	0,0	0,0	4,0	0,0	6	6	5
Max	20,9	9,5	30900	602,0	1718,0	974,0	12455,0	608,0	3029	20577	8906
Media	15,2	7,5	1017	167,2	92,8	31,1	204,3	7,9	326	277	129
Mediana	15,7	7,4	621	169,8	79,8	18,8	24,6	3,3	296	30	54

Tabella 1 Valori di alcune statistiche per temperatura (°C), conducibilità elettrica (µS/cm), pH e per le concentrazioni di cationi e anioni principali (Ca, Mg, Na, K, HCO₃, SO₄, Cl in mg/L).

6.1.1. Elementi in traccia

In *Tabella a2* (Appendice) sono riportate anche le concentrazioni degli elementi in traccia. Per la quasi totalità delle acque sono state determinate le concentrazioni di Ba, Li, Mn, Fe e Sr, mentre soltanto per un limitato numero di campioni sono disponibili le concentrazioni di Al, Sb, Ag, As, Be, B, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Cu, Se, Zn, Co, Rb, Tl, Bi, U e V (in µg/L).

In generale, è possibile osservare come le concentrazioni di Fe (<569 µg/L), Mn (<509 µg/L), Ba (<350 µg/L), Li (<361 µg/L) e Sr (<6600 µg/L) siano relativamente basse nella maggior parte delle acque "fredde" le quali presentano anche bassi valori di TDS. All'aumentare della temperatura e/o salinità in alcuni campioni, si riscontrano aumenti significativi nelle abbondanze degli elementi in traccia. Il valore massimo in Fe è stato misurato nel campione P. Napoli, nel settore Peloritano (25900 µg/L di Fe), sebbene altri campioni quali Ramata, Vegna e P. Praga (prelevati nel settore nebroideo i primi e nel settore peloritano il terzo) presentassero valori rispettivamente 687, 900 e 925 µg/L

di Fe; il maggior tenore in Mn, 4456.5 µg/L, è stato determinato nel campione P. Calatrasi, prelevato nel settore a nord dei Sicani; i tenori più elevati di Sr, Ba, Li sono stati misurati a Sclafani Bagni, rispettivamente pari a 166762 µg/L, 6185 µg/L, 5833 µg/L. In alcuni campioni termali e salini come ad es. T. Augusto, Molinelli, Terme Grazia, Sclafani B. e T. Selinuntine agli elevati tenori in Ba e Sr sono associati bassi valori di Fe e Mn. Viceversa, in alcuni campioni caratterizzati da basse temperature e bassa salinità sono stati misurati in taluni casi valori anomali in Fe e Mn (Ramata: 687 µg/L di Fe e 71.8 µg/L di Mn; Vegna: 900 µg/L di Fe e 54.9 di Mn; Neviera: 564 µg/L di Fe e 397 µg/L di Mn; Borgo Palo: 569.6 µg/L di Fe e 110.3 di Mn). I valori di B, nei campioni freddi raggiungono concentrazioni fino a 370 µg/L, fanno eccezione i due campioni Gebbia 1 (Mt. Sicani) e Quaranta (Mt. Peloritani) nei quali sono stati determinati tenori di 2310 e 1060 µg/L, rispettivamente. Tra i campioni termali (per il quale il dato è disponibile solo nei campioni B9, Malvello, Chiarastella, F. Calda, Sclafani B. e Acqua Fitusa) i valori più elevati in boro si riscontrano nelle acque Sclafani Bagni e Acqua Fitusa, i quali mostrano valori rispettivamente di 15980 e 22173 µg/L. Le concentrazioni in ioni NH₄ nei campioni freddi raggiungono valori fino a 640 µg/L. Inoltre alcuni campioni presentano valori di un ordine di grandezza superiori, quali V10 e Giorgianni, entrambi prelevati nell'area peloritana, pari a 9300 µg/L e 3067 µg/L, rispettivamente. Alcuni campioni termali appaiono più arricchiti in ioni NH₄⁺ quali P. Puliafito (1140 µg/L), T. Augusto (1340 µg/L), T. Granata (2200 µg/L), Vallore R. (4400 µg/L), T. Selinuntine (38400 µg/L), Molinelli (9400 µg/L), T. Grazia (11300 µg/L) e P. Calatrasi (24000 µg/L). Le concentrazioni di Al variano da 0.11 a 97.7 µg/L, quelle di As sono comprese fra 0.05 a 26.7 µg/L, Cr fra 0.02 e 1.5 µg/L, Ni fra 0.09 e 15.5 µg/L, Pb fra 0.05 e 2.87 µg/L, Cu fra 0.10 e 12.9 µg/L, U fra 0.01 e 13.5 µg/L e Zn fra 0.10 e 313 µg/L. Le concentrazioni di questi ultimi elementi, come già spiegato, non risultano disponibili per tutti i campioni e per quelli disponibili non si evincono delle differenze significative tra i campioni termali e non. Per quel che riguarda il Se, le concentrazioni variano da 0.11 a 7.32 (concentrazioni molto più elevate sono state

misurate elevate a Sclafani B. e A. Fitusa, emergenti nel settore centro-settentrionale dell'area di studio, e rispettivamente pari a 31.7 e 38.9 $\mu\text{g/L}$). Il tenore in V è compreso tra 0.05 e 5.44 $\mu\text{g/L}$ con alcune anomalie individuate nei campioni Santa Caterina, 17 Salme, Fisauri, Bragaseggi, Musa, e Ciapparazzo (tutti campioni prelevati alle pendici del Mt. Etna) di uno e 2 ordini di grandezza superiori. Cd e Bi sono $<0.05 \mu\text{g/L}$ nella quasi totalità dei campioni considerati. Il Sb supera di poco il limite di rilevabilità e la concentrazione massima analizzata è di 2.75 $\mu\text{g/L}$ nel campione Scullica (Mt. Peloritani). Infine, Ag, Be, Hg, Co e Tl risultano essere sempre al di sotto del limite di rilevabilità ($< 0.1 \mu\text{g/L}$).

6.1.2. Composizione isotopica: $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$, $\delta^2\text{H-H}_2\text{O}$

La composizione isotopica dell'acqua varia da un minimo di -9.3 a un massimo di 12.7 ‰ V-SMOW per il $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ e da un minimo di -57.0 a un massimo di 0.1 ‰ V-SMOW per il $\delta^2\text{H-H}_2\text{O}$. Nel diagramma $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$ riportato in *Figura 34* sono state plottate le diverse famiglie geochimiche individuate attraverso il diagramma quadrato. Come è possibile notare, la maggior parte dei campioni si dispone tra la *Global Meteoric Water Line* (GMWL; Craig, 1961), la *Eastern Mediterranean Meteoric Water Line* (EMMWL; Gat and Carmi, 1970) e la *Sicilian Meteoric Water Line* (LMWL; Liotta et al., 2013). La distribuzione dei campioni all'interno del grafico ne evidenzia l'origine meteorica degli stessi. Sebbene la maggior parte delle acque presenti una composizione isotopica consistente con quella delle acque meteoriche, alcuni campioni mostrano significativi discostamenti. In particolare, le acque a composizione clorurato-solfato alcalina presentano uno *shift* positivo dei valori isotopici $\delta^{18}\text{O}$ rispetto a tutte e tre le rette meteoriche plottate nel grafico. Alcuni campioni, quali Terme Grazia, V10 (Mt. Peloritani) e le Maccalube di Terrapelata (Bacino di Caltanissetta) risultano particolarmente arricchite in ossigeno-18 e in deuterio sia rispetto alle acque della ricarica meteorica locale, sia rispetto alla composizione isotopica dell'acqua di mare. Il campione Terme Selinuntine (Piana di Sciacca) presenta valori di deuterio e ossigeno

leggermente più alti rispetto agli altri campioni che mostrano tale discostamento dalle rette meteoriche. Anche i campioni Molinelli (Piana di Sciacca), Terme Granata (Mt. Peloritani), Acqua Fitusa, Vasca, GrLago e Sclafani Bagni (settore centrale e centro-settentrionale dell'area di studio) presentano un arricchimento in ossigeno-18. Infine, tra le acque a composizione bicarbonato alcalino-terrosa si distinguono due campioni: Cademi, che si posiziona a sinistra della Global Meteoric Water Line e il campione Torre, caratterizzato da una leggera positivizzazione in ossigeno-18.

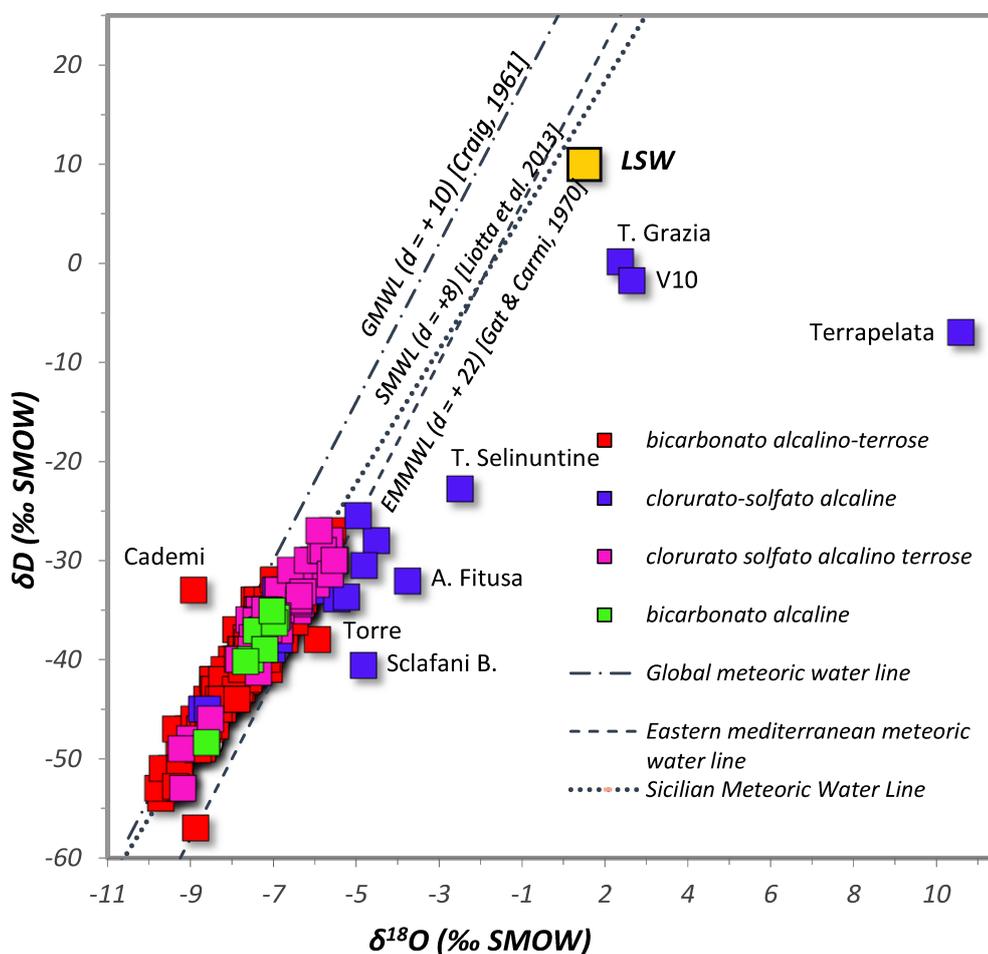


Figura 34 Diagramma $\delta^{18}\text{O}$ vs δD delle acque emergenti nell'area di studio.

6.2. Gas disciolti e liberi

Per individuare dunque, i processi che subiscono i gas durante la risalita verso la superficie e discriminare gli apporti endogeni da quelli di natura atmosferica sono state analizzate le composizioni chimiche di 68 fasi gassose disciolte nelle acque emergenti

e liberi caratterizzanti l'area di studio. Su tutte le acque campionate durante l'attività di ricerca, è stato eseguito il prelievo delle fasi gassose, ad eccezione dei campioni Sorgente Villa Antica, Isgrò 2, Santuario e P. Lopez 3 (ricadenti nel settore peloritano dell'area di studio). In *Tabella a3* (Appendice) sono riportate le concentrazioni delle specie gassose disciolte rinvenute nelle acque sotterranee. Inoltre, in *Tabella a3* sono stati inseriti i gas liberi emessi dai vulcani di fango: Maccalube di Terrapelata (Caltanissetta), Bissana (Cattolica Eraclea), Fuoco di Censo (Bivona), Aragona e Comitini. È importante sottolineare che ai dati raccolti durante il ciclo di dottorato sono stati aggiunti, come per le acque, i dati forniti da INGV, dal progetto Atlante Geotermico e dalla letteratura, in particolare si tratta delle analisi del contenuto in gas disciolto dei campioni: P. Biondo, P. Pintaudi, T. Marino 2, Parco Giochi, Berlingheri, T. Augusto (ricadenti nel settore Peloritano), Fuoco di Censo, Aragona, Terrapelata, Maccalube di Comitini (nel bacino di Caltanissetta) e Acqua Pia (nell'area sicana).

I risultati analitici mostrano che i gas disciolti nell'area di studio sono caratterizzati una miscela tra una componente gassosa arricchita in CO₂ e una componente atmosferica a N₂ prevalente. Le concentrazioni di anidride carbonica in soluzione sono comprese tra lo 0.27 % e il 99.6 % in volume, mentre quelle di azoto variano tra 0.41 e 99.6 % in volume (i valori massimi sono raggiunti rispettivamente nel campione Terme Augusto e nel campione P. Biondo). Segue in ordine di abbondanza il contenuto in ossigeno con un valore massimo raggiunto nel campione Barone Calcagno (area peloritana) del 34.3% in volume. Il metano nei gas disciolti mostra concentrazioni comprese tra 10⁻⁴ e 15% in volume. Le concentrazioni più elevate si rinvergono nei campioni V10, Pozzo Napoli, Pozzo Puliafito (nell'area peloritana), Acqua Fitusa e Sclafani Bagni (nel settore centrale dell'area di studio) quest'ultimo caratterizzato dal valore più elevato di metano in soluzione (15% in volume). In sei campioni (Contura, Fontana Trono, Montagnareale, Hotel2000, Fontana Abate e Acqua Fridda) la concentrazione di CH₄ è inferiore al limite di sensibilità strumentale.

Il contenuto di argon determinato in soluzione varia dallo 0.2 al 2.05% (valore massimo raggiunto nei campioni Pozzo Pino e Lavatoio, nei Mt. Peloritani). L'elio disciolto è presente in concentrazioni molto basse in tutti i campioni, in un intervallo compreso tra 3×10^{-3} a 0.16% in volume. Nel campione Terme Augusto il contenuto in elio non è stato rilevato. Il contenuto in neon è abbastanza variabile, va da 6×10^{-5} a 7×10^{-2} % in volume. Infine, i valori di idrogeno e monossido di carbonio sono disponibili solo per un numero limitatissimo di campioni (tre campioni in totale) con valori sino allo 0.03% di H₂ nel campione Berlingheri e valori di sino a 3×10^{-5} % in volume nei campioni Berlingheri e Parco Giochi (settore ionico, area peloritana).

I gas liberi emessi dai vulcani di fango relativi alle Maccalube di Bissana, Comitini, Fuoco di Censo, Aragona e Terrapelata, prelevati nel bacino di Caltanissetta, si distinguono dal resto dei campioni in quanto dominati dalla presenza di metano, con valori che variano dall'86 al 97.5% in volume.

6.2.1 Composizione isotopica dei gas: $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ e $^3\text{He}/^4\text{He}$

La composizione isotopica del carbonio della CO₂ mostra un intervallo molto ampio e compreso fra -26.52 e -0.38 ‰ vs PDB. Dal grafico di *Figura 35* in cui è stata plottata la composizione isotopica del carbonio nella CO₂ rispetto alle concentrazioni di CO₂ disciolta nelle acque possiamo distinguere nettamente due trend. Il primo in cui i valori di $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ mostrano una stretta correlazione con le concentrazioni di CO₂ disciolta nelle acque. Infatti, in figura si può notare come all'aumentare delle concentrazioni di CO₂ in soluzione si positivizzano i valori di $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ (1° trend). L'altro trend invece si caratterizza per una serie di campioni che mostrano come la concentrazione di CO₂ sia inversamente correlata con i valori di $\delta^{13}\text{C}$, ovverosia all'aumento delle concentrazioni di CO₂ in soluzione si delinea una negativizzazione del dato isotopico (2° trend). In prima approssimazione possiamo quindi concludere che questa elevata variabilità del dato isotopico che caratterizza i campioni che emergono nell'area di studio, suggerisce che la CO₂ presente in soluzione derivi da sorgenti differenti.

Su un numero limitato di campioni è stata determinata la composizione isotopica dell'elio, espresso con la notazione R/R_a dove R è il rapporto isotopico $^3\text{He}/^4\text{He}$ misurato e R_a è quello relativo all'aria (1.39×10^{-6}). Il rapporto $^3\text{He}/^4\text{He}$ è un buon tracciante dei processi mantellici e per questo viene utilizzato per discriminare la produzione di ^4He derivante da processi di decadimento radioattivo all'interno della crosta continentale dall' ^3He , che è essenzialmente primordiale e trattenuto all'interno della Terra al momento della sua formazione, il quale viene rilasciato nelle zone in estensione o nelle aree vulcaniche (Polyak e Tolstikhin 1985). I valori isotopici dell'elio sono disponibili per i campioni: P. Pintaudi, S. Fetente, T. Marino 1, T. Marino 2, Granata, P. Giochi, Berlingheri, T. Grazia, T. Augusto e Trifilò per il settore peloritano, A. Fitusa e Sclafani B. nel settore centro-settentrionale dell'area di studio; A. Pia e T. Selinuntine nel settore occidentale ed infine M. Bissana, M. Aragona e M. Terrapelata nel bacino di Caltanissetta. Tali valori variano da 0.42 nel campione A. Fitusa ad un massimo di 2.7 riscontrato nel campione T. Selinuntine.

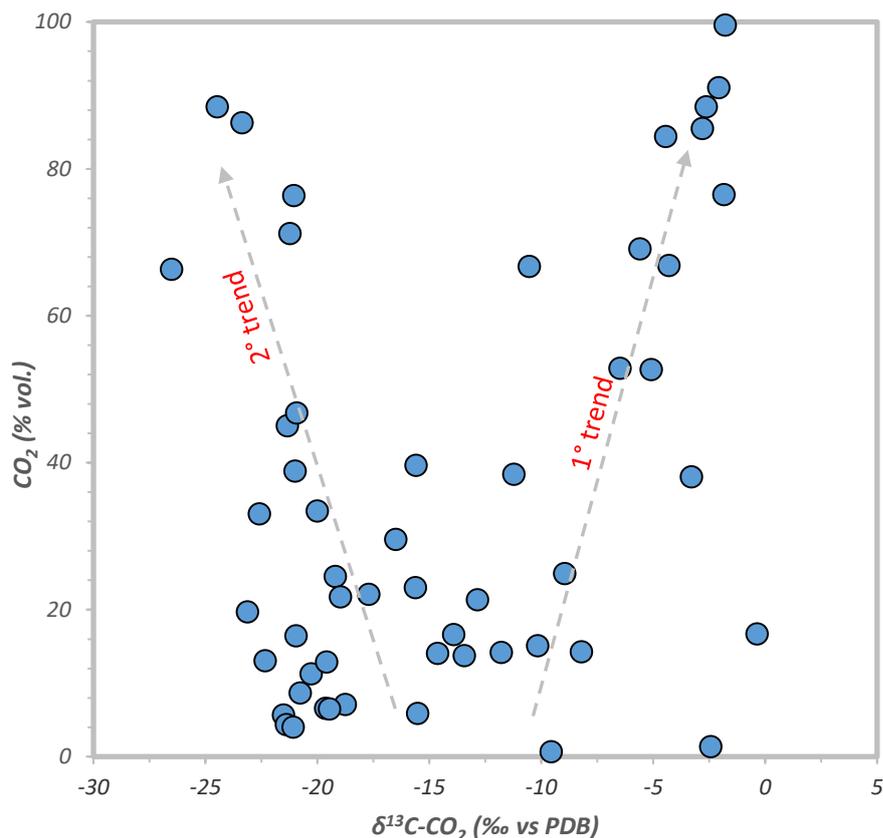


Figura 35 $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ in equilibrio con l'acqua plottata vs la concentrazione di CO_2 disciolta (in % di volume).

6.3. Indici di saturazione e $p\text{CO}_2$

Sebbene alcune reazioni acqua-soluto riescano a raggiungere l'equilibrio in breve tempo, reazioni che coinvolgono fasi differenti, come le reazioni di dissoluzione o di precipitazione di minerali, sono cineticamente ostacolate e raramente raggiungono un equilibrio. Variazioni di temperatura o di concentrazioni di soluti possono alterare lo stato di saturazione dell'acqua relativamente a varie specie minerali (Clark, 2015). L'indice di saturazione (IS) è definito come il rapporto tra il prodotto di attività ionica (IAP) e il prodotto di solubilità (K_{sp}). Valori negativi dell'indice di saturazione ($\text{IS} < 0$) si riferiscono ad acque sottosature nei confronti del minerale considerato che si traduce in una dissoluzione del minerale a cui si riferisce l'indice. Viceversa, valori positivi ($\text{IS} > 0$) si riferiscono ad acque sovrassature nei confronti del minerale considerato determinandone la precipitazione. Un indice di saturazione prossimo allo zero è indicativo di una situazione di equilibrio fra soluzione e minerale. Per il calcolo degli

indici di saturazione nei campioni di acqua studiati è stato utilizzato il software PHREEQC (Parkhurst e Appelo 1999), sviluppato specificamente per la modellistica geochimica e i calcoli di speciazione in fase acquosa, utilizzando il database MINTEQ.v4.dat. Tali indici di saturazione rispetto ai minerali principali sono stati calcolati sulla base dei dati di composizione chimica, pH e temperatura delle acque. I valori ottenuti sono riportati in *Tabella a4* (Appendice). Gli indici di saturazione dei principali minerali evidenziano che le acque a composizione bicarbonato alcalino terrosa sono generalmente sature o prossime all'equilibrio con calcite e dolomite, inoltre risultano sottosature in gesso, halite, fluorite e anidrite. Le acque a composizione bicarbonato alcalina si presentano leggermente sovrassature in calcite ($0.17 < IS < 0.80$) e dolomite ($0.20 < IS < 0.63$ ad eccezione di due campioni, C. S. Filippo e Quaranta che mostrano un $IS = -0.03$); inoltre sono sottosature in gesso, halite e anidrite; tali campioni risultano leggermente sottosaturi in fluorite con valori compresi tra -0.71 e -0.06.

Le acque a composizione clorurato alcalina rispetto all'aragonite, alla calcite e alla dolomite si presentano tendenzialmente sature o leggermente sottosature, soltanto i campioni Marisca, Verni e P. Pino (nei Mt. Peloritani) e Raiano (nei Mt. Nebrodi) sono fortemente sottosaturi. I campioni appartenenti a questo gruppo risultano da fortemente sottosaturi a leggermente sottosaturi in gesso con $-3.73 < IS < -0.22$, ad eccezione del campione V10 (area peloritana) che appare in una situazione di equilibrio ($IS = 0.08$); infine tutti i campioni sono significativamente sottosaturi in halite e leggermente sottosaturi in fluorite ($-1.37 < IS < -0.29$).

La *Tabella a4* (Appendice) infine mostra come i campioni a composizione clorurato solfato alcalino terrosa siano sostanzialmente all'equilibrio con calcite, aragonite e dolomite nella maggior parte dei campioni, ad eccezione di Scullica, P. Isgrò2 e P. Giochi (nell'area peloritana), P. Lopez3, Capodarso, Borgo Palo e Comitini (nel bacino di Caltanissetta), F. Calda e F. Calda 2 (nella piana di Sciacca), Magione (Roccabusambra), che risultano soprassaturi, e dei campioni Piano Lana (Mt

Madonie), Nocita (Mt. Nebrodi), Acqua Poma, Brignoli, Amanti, S. Margherita, Porta dei Leoni, Tracanale, Casazza e S. Febronia (Mt. Peloritani) che risultano sottosaturi. Tali acque si presentano fortemente sottosature in halite e sottosature in gesso ed anidrite, ad eccezione dei campioni Borgo e Comitini (nel bacino di Caltanissetta) che sono prossimi all'equilibrio, con IS rispettivamente di 0.07 e 0.02.

Nelle interpretazioni geochimiche si ricorre frequentemente al calcolo della $p\text{CO}_2$. Quest'ultima infatti riveste un ruolo importante nel grado di interazione delle acque sotterranee con le rocce circostanti. Valori di $p\text{CO}_2$ elevati sono generalmente attribuiti ad acque profonde, mentre valori di $p\text{CO}_2$ bassi sono associati a circuiti piuttosto superficiali. Partendo dall'analisi dei valori di $p\text{CO}_2$ in riferimento alle diverse famiglie geochimiche individuate, possiamo affermare che: le acque a composizione bicarbonato alcalino terrosa sono caratterizzate da un intervallo di valori di $p\text{CO}_2$ (inteso come $\log p\text{CO}_2$) compresi tra -4.39 e -1.24 (soltanto il campione T. Marino 2, prelevato nell'area peloritana, è caratterizzato da un valore di $p\text{CO}_2$ prossimo allo zero, -0,16); le acque a composizione bicarbonato alcalina mostrano un intervallo di valori che va da -3.41 a -1.55 (ad eccezione del campione T. Augusto nell'area peloritana per il quale è stato calcolato un valore di $p\text{CO}_2$ pari a -0.15); le acque con chimismo clorurato solfato alcalino terroso presentano valori di $p\text{CO}_2$ tra -3.38 e -1.06; infine le acque appartenenti alla famiglia clorurato alcalina esibiscono valori che vanno da -3.63 a 0 nel campione T. Selinuntine (Piana di Sciacca).

7. Discussione dei dati

7.1 Processi chimico-fisici che regolano il chimismo delle acque

Al fine di individuare i principali processi di interazione acqua-roccia che hanno determinato il chimismo che caratterizza le acque emergenti nell'area di studio ed individuare i contributi relativi ai vari processi geochimici, quali ad esempio quelli derivanti dalla lisciviazione delle litologie presenti nell'area, i dati composizionali sono stati trattati e plottati su una serie di diagrammi binari. Attraverso lo studio dei rapporti stechiometrici tra le principali specie chimiche disciolte che sono coinvolte nei processi di interazione con i minerali presenti nelle rocce che caratterizzano la zona studio, è infatti possibile ottenere utili indicazioni sull'origine degli ioni presenti in soluzione nelle acque.

In base alla loro posizione all'interno del diagramma Langelier & Ludwig (1942; LL), le acque sono classificate nelle seguenti facies idrochimiche (*Figura 31*): (1) bicarbonato alcalino-terrose; (2) solfato-clorurato alcalino-terrose; (3) bicarbonato alcaline; (4) clorurato-solfato alcaline.

Come evidenziato dal diagramma LL, le acque a composizione bicarbonato alcalino-terrosa rappresentano la quasi totalità delle acque disponibili. Tali acque emergono diffusamente lungo tutta l'area in esame. Si tratta per lo più di acque fredde, con temperatura $<21^{\circ}\text{C}$ e salinità relativamente bassa (<1000 mg/L). La composizione chimica di queste acque è riconducibile a processi di interazione a carico delle litologie carbonatiche e, più in generale, della frazione carbonatica che caratterizza le coperture sedimentarie che costituiscono la geologia locale. Si tratta in ogni caso di circolazione superficiale, motivo per il quale esse non acquisiscono un importante carico salino. Salinità relativamente più elevate (>1000 mg/L) si rinvencono nei campioni freddi S. Fantino, Filiti A., Milone e Bragaseggi, i primi tre ubicati nell'area peloritana, il terzo emergente alle pendici nord-orientali del Monte Etna. Tra le acque con chimismo bicarbonato alcalino-terroso figurano anche alcuni campioni ipotermali B9, B10 e S. Nicola1 (Piana di Castelvetro), Pozzo Praga e Pozzo Cavallaro (Mt. Peloritani),

Feudotto 2 (Mt. Sicani), Favara (Madonie) e Malvello (Roccabusambra) e termali Terme Marino 2 e Pozzo Puliafita (Mt. Peloritani), Casa Cutrone, Chiarastella e A. Calda di San Lorenzo (rispettivamente, Piana di Sciacca, Mt. di Palermo e Roccabusambra) per i quali è possibile supporre un circuito sotterraneo più ampio, che favorisce un leggero incremento di temperatura. Tra questi, soltanto il campione T. Marino 2 (area peloritana) mostra un incremento significativo della salinità (2303 mg/L), mentre gli altri hanno valori compresi tra 418 e 929 mg/L. I valori di $p\text{CO}_2$ (espressi su base logaritmica) calcolati per questo gruppo di acque si attestano in un intervallo compreso tra -4.39 e -1.21. Fa eccezione soltanto il campione T. Marino 2 il cui valore di $p\text{CO}_2$ è il più elevato (-0.16). L'alta concentrazione in bicarbonati e l'elevato valore di $p\text{CO}_2$ calcolato suggeriscono un'interazione con una fase gassosa ricca in CO_2 . Per gli altri campioni, i quali presentano bassi valori di $p\text{CO}_2$ e di bicarbonati, l'eventuale presenza di CO_2 potrebbe essere associata a processi di decomposizione di materia organica (in un sistema chiuso generalmente si rinvergono valori di $p\text{CO}_2$ compresi tra -2.5 e -1.5, leggermente più elevati di quelli riscontrati in sistemi in equilibrio con l'atmosfera, $p\text{CO}_2 = -3.4$; Clark, 2015).

Per discriminare i contributi provenienti dalle varie unità geologiche presenti, è risultato utile lo studio dei rapporti stechiometrici tra i diversi soluti. In particolare per le acque a composizione bicarbonato alcalino-terrosa, in *Figura 36* è stato riportato il diagramma binario HCO_3^- vs $(\text{Ca}+\text{Mg})$, considerando che il rapporto stechiometrico $\text{HCO}_3^-/(\text{Ca}+\text{Mg})=1$ sia legato ai processi di dissoluzione a carico carbonati calcio-magnesi.

La distribuzione delle acque bicarbonato alcalino-terrose in tale diagramma, riportato in *Figura 36*, rende evidente come la maggior parte delle acque con questo chimismo tenda a disporsi lungo la retta stechiometrica $\text{HCO}_3^-/(\text{Ca}+\text{Mg})=1$, confermando quindi che il processo principale che governa il loro chimismo è associato a processi di dissoluzione a carico di minerali carbonatici (calcite e dolomite). Questo è evidente soprattutto per quelle acque che sono caratterizzate da valori di HCO_3^- e $(\text{Ca}+\text{Mg})$

inferiori a 6 meq/L. Per valori più elevati, si osserva uno scostamento dalla retta stechiometrica in quanto viene ad evidenziarsi un rapporto $\text{HCO}_3/(\text{Ca}+\text{Mg}) < 1$. Pertanto, è possibile asserire che i minerali carbonatici, comuni nelle fratture di riempimento delle rocce cristalline, nelle relative coperture sedimentarie del settore orientale dell'area di studio (Arco Calabro-Peloritano) e nelle rocce carbonatiche diffusamente distribuite sul restante areale siciliano, siano i maggiori responsabili della composizione chimica osservata. In questo genere di circolazione superficiale, le principali reazioni che hanno luogo sono:



In accordo con tale ipotesi, l'indice di saturazione di queste acque presenta valori che evidenziano una condizione di saturazione o di prossimità all'equilibrio rispetto alle specie carbonatiche (calcite e aragonite). Fanno eccezione i campioni Neviera. A. Fridda, Balestra, Piraino, Mangalaviti e Fossa Neve (Mt. Nebrodi) Colella, Montagnareale, Fontalba e Piraino (Mt. Peloritani) e Fisauri (Mt. Etna) che si presentano sottosaturi rispetto a tutte le fasi mineralogiche considerate. Il basso grado di mineralizzazione di queste ultime acque, unito al fatto che risultano sottosature rispetto alle specie mineralogiche, indica che esse facciano parte di circuiti idrologici estremamente superficiali.

Come precedentemente accennato, all'aumentare delle concentrazioni in soluzione, questi campioni tendano a discostarsi dalla retta stechiometrica. I due campioni Vegna e Bragaseggi sono caratterizzati da un rapporto $\text{HCO}_3/\text{Ca}+\text{Mg} > 1$ che suggerisce un incremento delle concentrazioni di HCO_3 in soluzione o una diminuzione nel contenuto in elementi alcalino terrosi. In questi due campioni, l'uno (Vegna) emergente nel settore Nebroideo, l'altro (Bragaseggi) caratterizzante il settore settentrionale etneo rispetto agli altri campioni è stato individuato un incremento in alcalini in soluzione verosimilmente da imputare a processi di interazione acqua-roccia. L'interazione con le

litologie flyschoidi, che caratterizzano il settore nebroideo e la base dell'edificio etneo, dove è notevole la componente argillosa può infatti favorire reazioni di scambio ionico che comportano in primo luogo la sostituzione di Ca con Na nei siti scambiabili dei minerali argillosi. Questi infatti tendono ad adsorbire preferenzialmente gli ioni bivalenti (Ca e Mg) con conseguente incremento di ioni monovalenti in soluzione (Na). Queste acque sono caratterizzate da concentrazioni più elevate di Mg e Na. Un altro processo che giustifichi un eccesso in ioni bicarbonato in soluzione potrebbe essere l'apporto di CO_2 , anche se i valori di pCO_2 , rispettivamente di -1.21 per Bragaseggi e -1.67 per Vegna, permettono di escludere questa ipotesi. All'aumentare della salinità, le acque investigate tendono ad essere caratterizzati da un rapporto $\text{HCO}_3/\text{Ca}+\text{Mg}<1$, suggerendo un eccesso Ca e Mg rispetto agli ioni bicarbonato, come ad esempio nel caso del campione T. Marino 2. Questa acqua, prelevata lungo la costa ionica dell'area Peloritana, presenta un'elevata concentrazione di ioni cloruro (8.40 meq/L), derivanti da un limitato processo di mixing con acqua di mare, come anche evidenziato dal rapporto Cl/Na (1.12) che si approssima a quello dell'acqua di mare (SW in Figura 36).

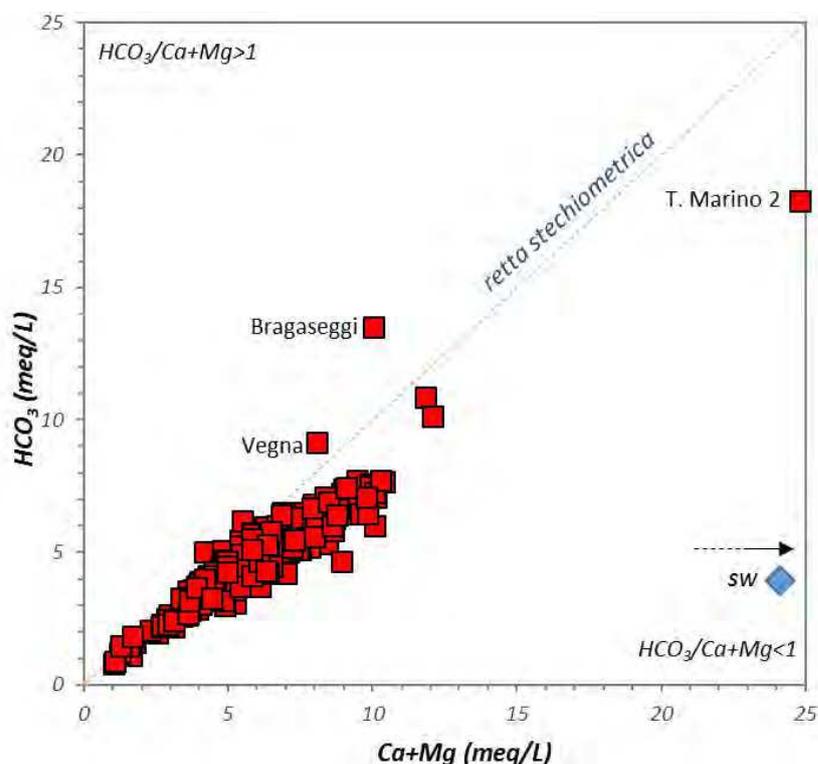


Figura 36 Diagramma binario HCO_3 vs $\text{Ca}+\text{Mg}$ (in meq/L) delle acque a composizione bicarbonato alcalino-terrosa.

Al fine di valutare la presenza di specie solfatiche, in quei campioni che deviano dalla retta stechiometrica, riportati in *Figura 36*, è stato realizzato un diagramma binario che mette in relazione la concentrazione di SO_4 con la sommatoria degli ioni Ca e Mg, alla quale viene sottratta la concentrazione di HCO_3 (in meq/L, *Figura 37*). Infatti se come riferito precedentemente, la presenza dei due elementi alcalino-terrosi è associata alla sola dissoluzione di minerali carbonatici, sottraendo a questi lo ione HCO_3 , tale perdita dovrebbe essere compensata dalla presenza dello ione SO_4 in soluzione in tali acque. Escludendo quei campioni che presentano un eccesso in HCO_3 , discussi sopra e plottando tutti i campioni a composizione bicarbonato alcalino-terrosa all'interno del suddetto grafico, possiamo notare che: i) la maggior parte delle acque tende a distribuirsi lungo la retta stechiometrica o in prossimità di quest'ultima; un certo numero di campioni mostra un arricchimento in solfati rispetto al calcio. Si tratta dei campioni che si rinvennero principalmente in corrispondenza della piana costiera peloritana, costituita da successioni pleistoceniche e depositi attuali, nella piana di Castelvetro e al contatto con le unità Sicilidi; iii) ed infine alcuni campioni mostrano un eccesso in alcalino-terrosi non compensato dalla concentrazione di solfato in soluzione. Per tali campioni, ricadenti limitatamente all'area peloritana e a quella sicana si possono ipotizzare processi di interazione con i minerali silicatici e/o di scambio ionico con le argille. L'interazione acqua-roccia nell'area di studio è fortemente influenzata dall'assetto geologico e stratigrafico particolarmente articolato in cui avviene la circolazione sotterranea, rendendo a volte difficoltosa la definizione dell'origine soluti; è comune infatti individuare acque con differenti composizione chimiche e TDS anche a distanze ravvicinate.

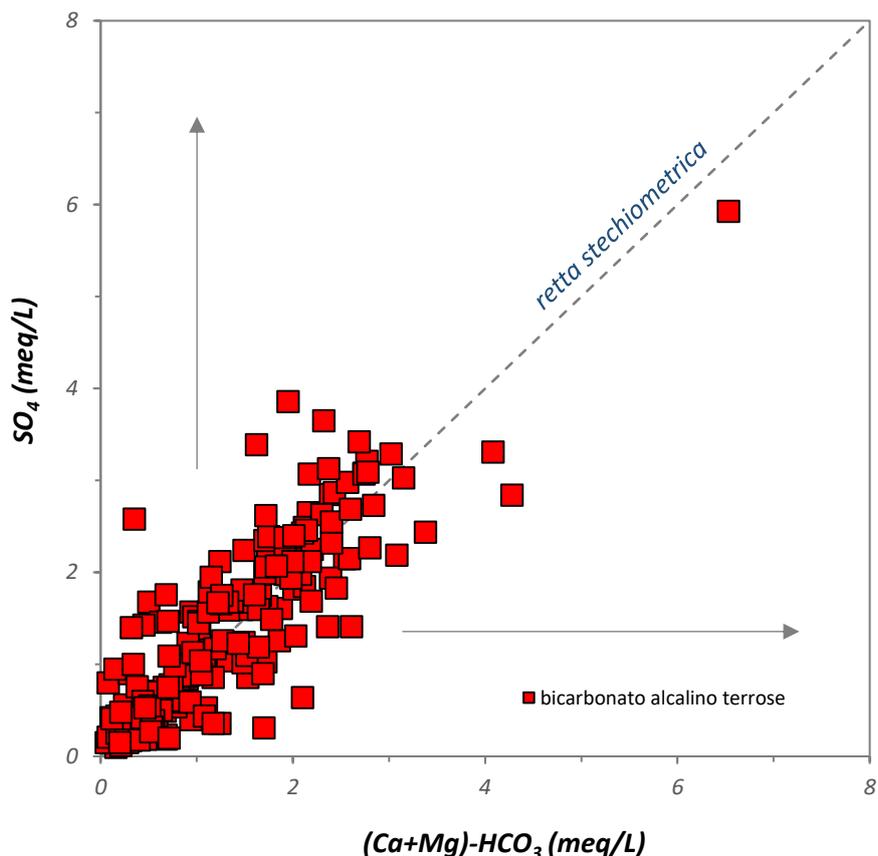


Figura 37 Diagramma binario SO_4 vs $(Ca+Mg)-HCO_3$ (in meq/L) delle acque con composizione bicarbonato alcalino-terrosa.

Per quanto riguarda le due componenti Na e Cl che caratterizzano le acque a composizione bicarbonato alcalino-terrosa, possiamo notare dal diagramma binario di *Figura 38*, che mette in relazione i due ioni, come la maggior parte dei campioni è caratterizzata da un arricchimento in Na rispetto al Cl, a sottolineare processi di interazione con minerali contenenti Na. Inoltre alcuni campioni si dispongono lungo o in prossimità della retta 1.2 ad indicare processi di mescolamento diretto con acqua di mare (come nel caso del campione T. Marino 2) o piuttosto una contaminazione da aerosol marino, data la bassa salinità che contraddistingue tali campioni. Altri ancora sono caratterizzati da concentrazioni molto simili di Na e Cl ad indicare dissoluzione di NaCl. In alcuni campioni è inoltre evidente un eccesso di Cl rispetto al Na la cui presenza potrebbe essere messa in relazione ad apporti di natura antropica.

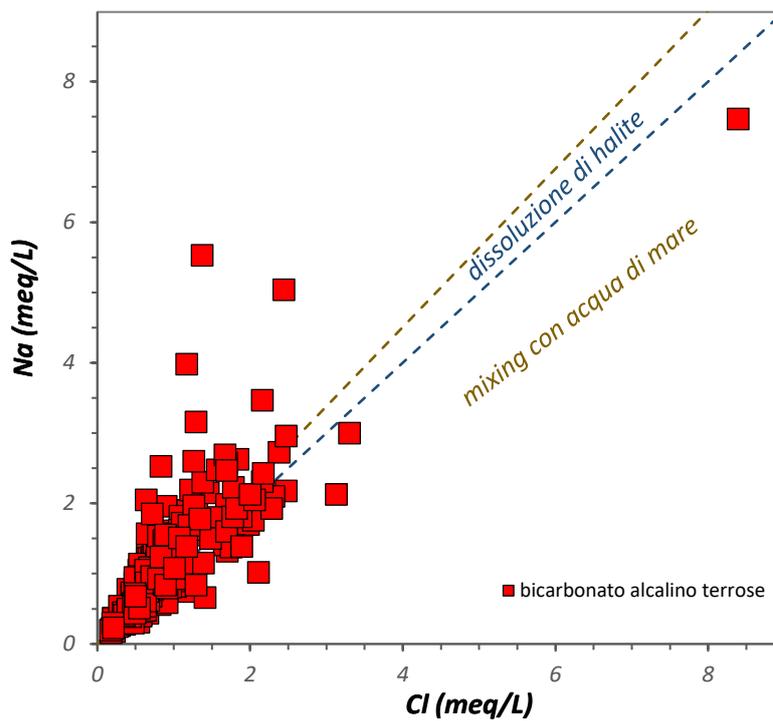


Figura 38a Diagramma binario Na vs Cl (in meq/L) delle acque con composizione bicarbonato alcalino-terrosa.

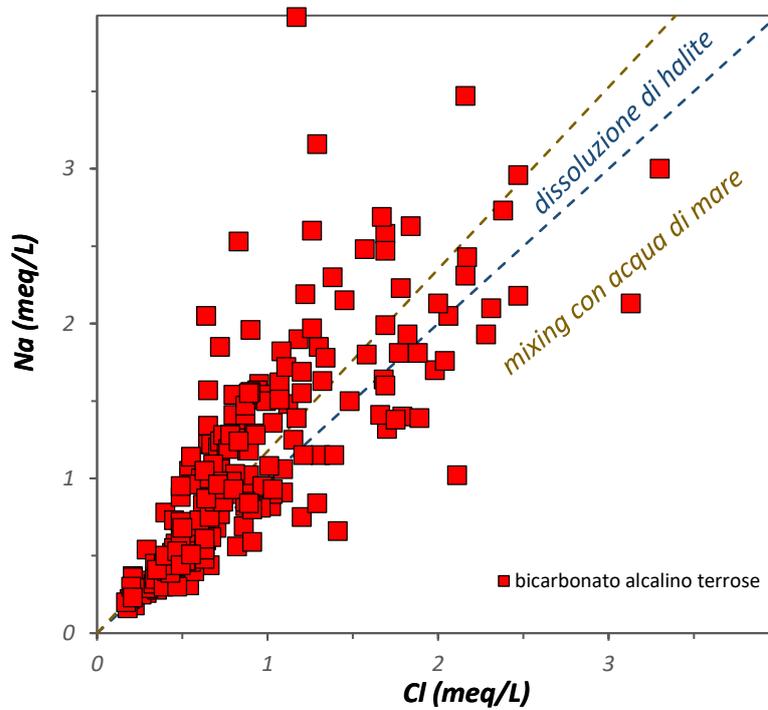
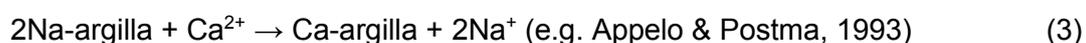


Figura 38b Zoom del diagramma binario Na vs Cl (in meq/L) delle acque con composizione bicarbonato alcalino-terrosa.

Le acque caratterizzate da un chimismo bicarbonato alcalino presentano un intervallo di temperatura che varia da 15 a 30 °C, una TDS da 404 mg/L (P. Biondo) a 6012 mg/L (Terme Augusto) e pH variabili da 6.71 a 9.01. La facies geochimica bicarbonato alcalina è presente esclusivamente nel settore peloritano, un unico campione (Santuario) caratterizza il settore nebroideo. Per spiegare il chimismo di tali acque si possono ipotizzare processi di scambio cationico con sedimenti argillosi e apporti variabili di CO₂ nel sistema. La CO₂ che interagisce con l'acqua favorisce la formazione di acido carbonico [CO_{2(g)} + H₂O ↔ H₂CO₃], il quale non essendo stabile tende a dissociarsi formando ioni bicarbonato e ioni idrogeno (H₂CO₃ ↔ H⁺ + HCO₃⁻). Tale ione bicarbonato a sua volta tende a dissociarsi in carbonato (HCO₃⁻ ↔ H⁺ + CO₃²⁻). La distribuzione di tali specie varia in funzione del pH. A pH <4.3 l'acido carbonico diventa la specie carbonatica presente, favorendo i processi di dissoluzione a carico dei minerali silicatici di cui sono costituite le rocce peloritane (questo processo risulta essere ipotizzabile per spiegare il chimismo di Terme Augusto, che rappresenta il campione con il valore di log(pCO₂) più elevato, pari a -0.15 e il pH più basso, 6.7). Quest'ultimo campione presenta anche condizioni di sovrassaturazione rispetto alle specie carbonatiche considerate (calcite, aragonite e dolomite). L'elevata concentrazione in ioni Na, oltre alle elevate concentrazioni di bicarbonato e CO₂, potrebbero perciò essere anche associati alla precipitazione di minerali carbonatici, cui consegue un decremento dei tenori di Ca e Mg in soluzione, in favore della composizione Na-HCO₃. Tutti gli altri campioni a composizione bicarbonato alcalina potrebbero essere il risultato dell'interazione tra acque a circuito superficiale e sedimenti argillosi che caratterizzano l'area peloritana e nebroidea. Tale interazione, conosciuta come processo di scambio cationico diretto, determina un decremento delle concentrazioni di Ca e Mg in soluzione (assorbiti dalle argille) e un contemporaneo incremento di Na (rilasciato dalle argille), secondo la reazione:



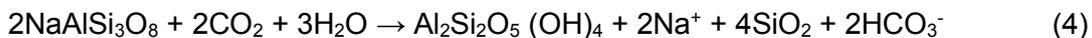
dando luogo a questo peculiare chimismo. A conferma che questi ultimi processi siano associati a circolazioni superficiali i valori di $\log(p\text{CO}_2)$ calcolati risultano bassi (tra -3.4 e -1.5).

La maggior parte delle acque con chimismo clorurato alcalino sono termali (T. Selinuntine, Sclafani B., T. Marino 1, Molinelli, T. Grazia e Acqua Santa) o ipotermali (Vasca, GrLago, Sulfurea Villafranca, T. Granata, P. Calatrasi e Acqua Fitusa). Tali acque sono caratterizzate da temperature comprese tra 21 e 54.8 °C, valori di Eh negativi (fino a -337 mV), pH nell'intervallo 5.6 - 8.48 e TDS compresi tra 1376 mg/L e 40284 mg/L. Tra i campioni termali sopra elencati, si distinguono Molinelli e T. Selinuntine (Piana di Sciacca), T. Granata, T. Marino 1 e T. Grazia (Mt. Peloritani) per gli elevati valori di $\log(p\text{CO}_2)$ ($-0.78 > p\text{CO}_2 < 0$). In numerose acque termali dell'Italia centrale, è comune avere valori logaritmici prossimi allo zero (che equivale a un valore di $p\text{CO}_2 > 1$ e di conseguenza alla presenza di una fase gassosa a CO_2 libera) (Minissale, 1991). Pressoché tutti i campioni termali appaiono all'equilibrio o leggermente sottosature rispetto ad aragonite, calcite e dolomite; inoltre sia i campioni T. Marino 1, T. Grazia, T. Granata che emergono nel settore ionico dell'area peloritana e che sono ospitati nell'acquifero metamorfico, sia i campioni termali T. Selinuntine, Molinelli e A. Santa che caratterizzano il settore occidentale dell'area di studio, nello specifico l'area di Sciacca, risultano essere leggermente sottosature in gesso e anidrite, a sottolineare un'evidente interazione con tali minerali. Nel settore occidentale dell'area di studio infatti si rinviene estesamente la successione evaporitica miopliocenica costituita da gessi selenitici, gessi balatini e da depositi clastico-evaporitici che sovrastano la successione carbonatica mesozoica ospitante tali fluidi geotermici (Fancelli et al., 1994). Nel settore orientale e precisamente nell'area di Ali Terme, si rinvenivano dolomie evaporitiche e calcari giallastri che contengono gesso all'interno della copertura sedimentaria Mesozoica dell'Unità metamorfica di Mandanici (Messina et al., 2013).

All'interno di questa famiglia geochimica vi sono anche dei termini freddi. Verni, Marisca (Mt. Peloritani) e Raiano (Mt. Nebrodi), poco salini ($74 > \text{TDS} < 194$ mg/L) il cui chimismo è probabilmente imputabile a processi di contaminazione da aerosol marino (e.g. Marisca si trova proprio in prossimità della costa mentre Verni e Raiano risultano rispettivamente ubicati a 9 e 14 km dalla costa). Questi ultimi campioni difatti appaiono in totale disequilibrio rispetto a tutte le specie mineralogiche considerate e presentano valori di $\log(p\text{CO}_2)$ molto bassi. Anche per i campioni P. Pino e G. Villa Ridente, caratterizzati da una salinità rispettivamente di 797 e 930 mg/L e campionati in un residence che sorge lungo la costa, non si può escludere che la prevalenza di ioni cloruro e sodio riscontrati in soluzione, non sia diretta conseguenza della contaminazione delle acque ad opera di aerosol marino. Per i campioni P. Napoli e V10 prelevati lungo la costa tirrenica (il primo) e ionica (il secondo) dell'area peloritana, caratterizzati da salinità molto più elevate (7720 e 40904 mg/L, rispettivamente) ed un rapporto $\text{Cl}/\text{Na} > 1$ (in meq/L), la composizione è associata a processi di mescolamento diretto con acqua di mare. Inoltre, i valori di $p\text{CO}_2$ calcolati in questi ultimi due campioni sono, rispettivamente, di -0.27 e -0.53, i.e. molto simili a quelli calcolati nei campioni termali e che confermerebbero i processi di degassamento attivo che caratterizzano la fascia ionica e tirrenica peloritana, già evidenziata da altri studi scientifici (Camarda, 2004; Giammanco et al., 2008, Italiano et al., 2006). Tale parametro può essere considerato il miglior indicatore della presenza di un flusso di CO_2 (e.g. Trumpy et al., 2015).

Infine, alla facies clorurato sodica appartengono anche i campioni Trifilò e P. Pintaudi, prelevati lungo il settore tirrenico dei Mt. Peloritani. Questi ultimi sono caratterizzati da pH, rispettivamente, di 9.02 e 7.93, condizioni riducenti (-12 e -223 mV), elevate concentrazioni di SO_4 e un eccesso di ioni Na rispetto al rapporto Na/Cl nell'acqua di mare e nell'halite. Questo eccesso potrebbe essere verosimilmente causato da una fase gassosa acida (CO_2 e/o H_2S) profonda (anche se in superficie si mescola con gas di origine atmosferica, vedi *Tabella a3*) in un ambiente dominato dalla presenza di

rocce metamorfiche. La fase gassosa risalente tende a rendere tali acque più aggressive nei confronti dei minerali che costituiscono tali rocce, i quali vengono alterati, favorendo la solubilizzazione degli ioni Na, secondo la reazione:



L'eccesso di Na potrebbe essere peraltro favorito anche da processi di scambio cationico delle argille, secondo la reazione:



Tali ioni entrando in soluzione favoriscono un marcato chimismo Na-HCO₃ e/o Na-SO₄ (proprio come nel caso dei campioni Trifilò e Pintaudi), a seconda che prevalga la CO₂ o l'H₂S come specie gassosa (Duchi et al., 1991).

Anche le acque espulse dai vulcanetti di fango (Maccalube di Aragona, Comitini, Terrapelata e Bissana) hanno una composizione specificatamente clorurato sodica. Le acque emesse da queste morfologie hanno valori di pH da neutri ad alcalini compresi tra 7.47 e 8.00 e sono salmastre, con una TDS compresa tra 14940 e 28758 mg/L. Le concentrazioni di Cl⁻ e Na⁺ risultano essere molto elevate (rispettivamente fra 193 – 494 meq/L e 237 – 446 meq/L). Il contenuto in SO₄ invece è molto basso (0.17 – 2.8 meq/L) se confrontato con il valore comunemente associato all'acqua di mare. Tale fenomeno è dovuto alla riduzione solfato batterica associata alla degradazione della materia organica e/o ossidazione anaerobica del metano (e.g. Murray et al., 1978; Capozzi et al., 2002). Le reazioni che favoriscono una riduzione del contenuto di solfati in soluzione ed un incremento del contenuto di bicarbonati derivano dalle seguenti reazioni:



Valori più elevati in SO_4 si rinvengono solo nel campione Bissana (186 meq/L di solfato), il quale, rispetto ai fluidi emessi dagli altri tre vulcanetti di fango a composizione specificatamente NaCl, mostra una composizione Na-Cl(SO_4). Dai calcoli termodinamici eseguiti su queste acque sono emerse condizioni di sovrassaturazione rispetto alle specie carbonatiche (aragonite, calcite e dolomite) crescente dal campione Terrapelata, Comitini, Aragona fino a Bissana. Pertanto, la precipitazione di minerali carbonatici, evidenziata dagli indici di saturazione, potrebbe essere la causa, insieme ai processi di scambio cationico con le argille, della diminuzione delle concentrazioni di Ca e Mg in soluzione in tali acque. Inoltre, tali campioni risultano sottosaturi in gesso, anidrite, fluorite e halite. Soltanto il campione Bissana raggiunge condizioni di equilibrio rispetto a gesso, anidrite e fluorite. Come riportato da Heller (2011), i fluidi emessi dai vulcani di fango sono probabilmente acque connate di origine marina rimasta intrappolata all'interno dei sedimenti al momento della deposizione, le cui proprietà geochemiche sono state fortemente modificate da processi diagenetici e di interazione acqua-roccia, come evidenziato dai rapporti tra soluti, molto differenti da quelli dell'acqua di mare. I valori di $\log(p\text{CO}_2)$ nei fluidi emessi dalle macalube sono bassi, compresi tra -2.22 e -1.87.

Per comprendere meglio i principali processi di interazione fluido-roccia che caratterizzano le acque con una significativa componente clorurato sodica viene riportato di seguito il diagramma binario Cl vs Na per le acque appartenenti alla famiglia clorurato sodica (*Figura 39 e 40*). Sulla base delle concentrazioni di cloruro e sodio, l'origine delle acque clorurato sodiche può essere associata ai seguenti processi: (1) dissoluzione di halite (Cl/Na ~1); (2) mixing con acqua di mare e/o acque connate (Cl/Na ~1.2) (e.g. Minissale, 2007); (3) eventuali apporti di brine geotermiche (e.g. Minissale et al., 1997).

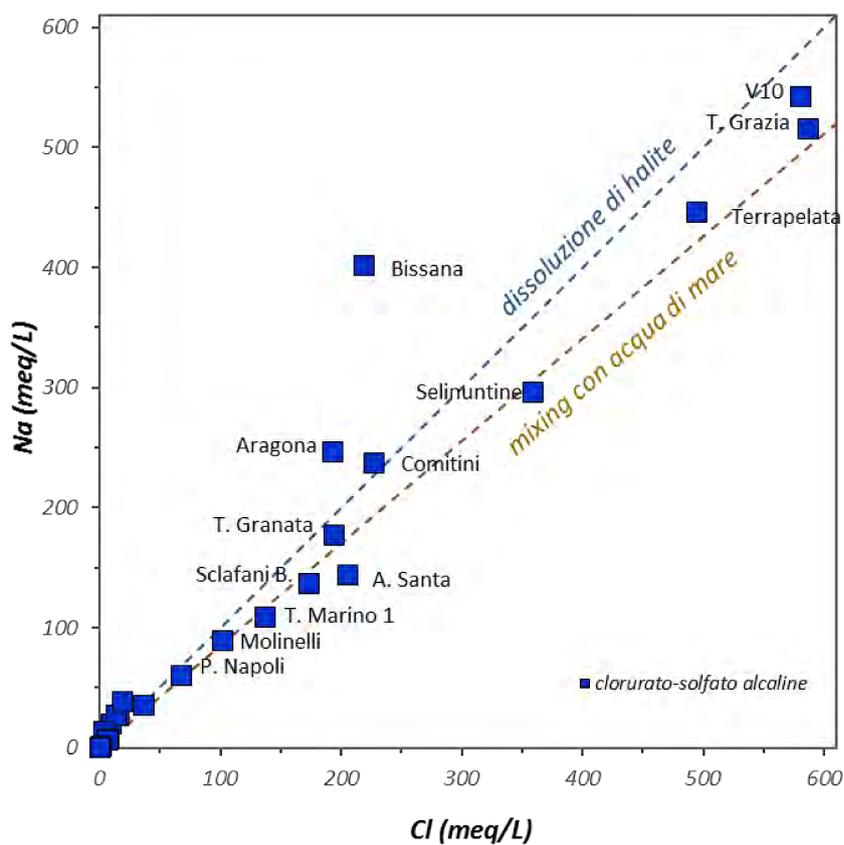


Figura 39 Diagramma binario Cl vs Na (in meq/L) delle acque a composizione clorurato-solfato alcalina.

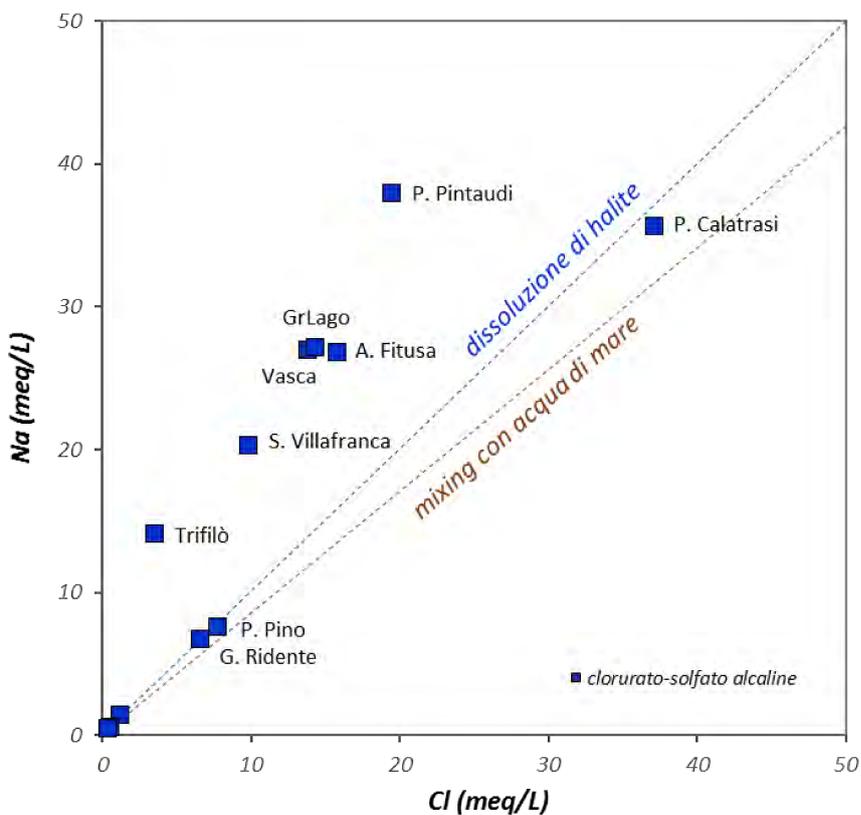


Figura 40 Zoom del diagramma binario Cl vs Na (in meq/L) delle acque a composizione clorurato-solfato alcalina.

I grafici Cl vs Na (*Figura 39 e 40*) mostrano come l'origine del contenuto salino dei fluidi emessi dai vulcani di fango (Bissana, Aragona, Comitini e Terrapelata) sia da associare in parte alla dissoluzione di halite (Comitini), in parte ad un mescolamento con acque fossili (Terrapelata). Inoltre, i campioni Bissana e Aragona presentano un eccesso in ioni Na rispetto al rapporto stechiometrico dell'halite che suggerisce una sorgente di ioni alcalini al di fuori della dissoluzione dell'halite e dell'acqua fossile derivante da reazioni di scambio con minerali argillosi (eq. 5). Un eccesso di Na, rispetto al rapporto Cl/Na dell'acqua di mare e dell'halite, è riscontrabile anche nei campioni P. Pintaudi e Trifilò (settore Peloritano) e nei campioni termali che caratterizzano il settore centro-occidentale dell'area di studio (GrLago, A. Fitusa, Vasca, S. Villafranca) indicando una ulteriore sorgente di Na derivante da processi di dissoluzione di Na-feldspati:



e/o reazioni di scambio con minerali argillosi (eq. 5).

I campioni termali campionati in prossimità della costa: Terme Grazia, V10, T. Marino 1 e T. Granata (settore Ionico, area Peloritana), Pozzo Napoli (settore Tirrenico, area Peloritana) e Terme Selinuntine, Molinelli (settore occidentale) si dispongono esattamente lungo la retta di mixing con acqua di mare, confermando che il principale meccanismo che favorisce la presenza in soluzione di questi due ioni sia appunto il mescolamento in varie proporzioni con l'acqua di mare, senza però escludere un piccolo contributo derivante da dissoluzione dell'halite. Per il campione termale Sclafani Bagni, emergente nel settore centro-settentrionale dell'area di studio, si può supporre il mescolamento con acque fossili. L'ubicazione del campione termale P. Calatrasi (Roccamena) indica che la principale origine del contenuto salino del fluido è la dissoluzione di halite. Infine, i campioni meno salini, che presentano i più bassi tenori in Na e Cl e che si dispongono all'origine degli assi del diagramma, indicano una contaminazione indiretta da acqua di mare (contributo di aerosol marino).

Per tracciare e vincolare maggiormente l'origine della salinità delle acque a composizione clorurato sodica, si può ricorrere al rapporto Br/Cl (Alcalá & Custodio, 2008). Poiché si tratta di specie definite come "traccianti" e "conservative", una volta entrate in soluzione a seguito di processi d'interazione gas-acqua-roccia, rimangono inalterate e possono essere utilizzate per identificare la loro sorgente e per discriminare fenomeni di mescolamento con acqua di mare, dissoluzione a carico dell'halite o diluzione con acque connate. In particolare, l'acqua di mare risulta caratterizzata da un rapporto Cl/Br in (mg/L) pari a 290 (Drever, 1997; Frondini, 2008), mentre i rapporti Cl/Br dell'halite sono generalmente ben al di sopra (Cl/Br = 500; Minissale et al., 1997). I rapporti Cl/Br nelle acque che lisciviano l'halite sono più alti poiché durante la deposizione di quest'ultima, lo ione bromuro non viene incorporato in tale struttura mineralogica. Di conseguenza la dissoluzione dell'halite produce un rapido incremento del rapporto Cl/Br, mentre la diluzione con acque connate produce rapporti vicini o più bassi rispetto a quelli determinati nell'acqua di mare.

I grafici Cl vs Br (*Figure 41 e 42*), relativi alle acque clorurate alcaline evidenziano come la maggior parte delle acque con chimismo clorurato sodico si collochi nei pressi o al di sopra della retta di mescolamento con acqua di mare. Tale distribuzione è indicativa di un possibile contributo di acque marine fossili in alcuni campioni (soprattutto nelle acque di Sclafani Bagni e Acqua Fitusa, nei quali un mescolamento diretto con acqua di mare è da escludere, ricadendo nel settore centrale dell'area di studio). Inoltre, un limitato numero di campioni ricade nel campo della dissoluzione dell'halite, ovvero i due campioni prelevati dai vulcani di fango (Aragona e Bissana) e i campioni Trifilò e S. Villafranca, l'uno ubicato nel settore tirrenico dell'area peloritana, l'altro nell'area sicana, settore centro-occidentale dell'area di studio.

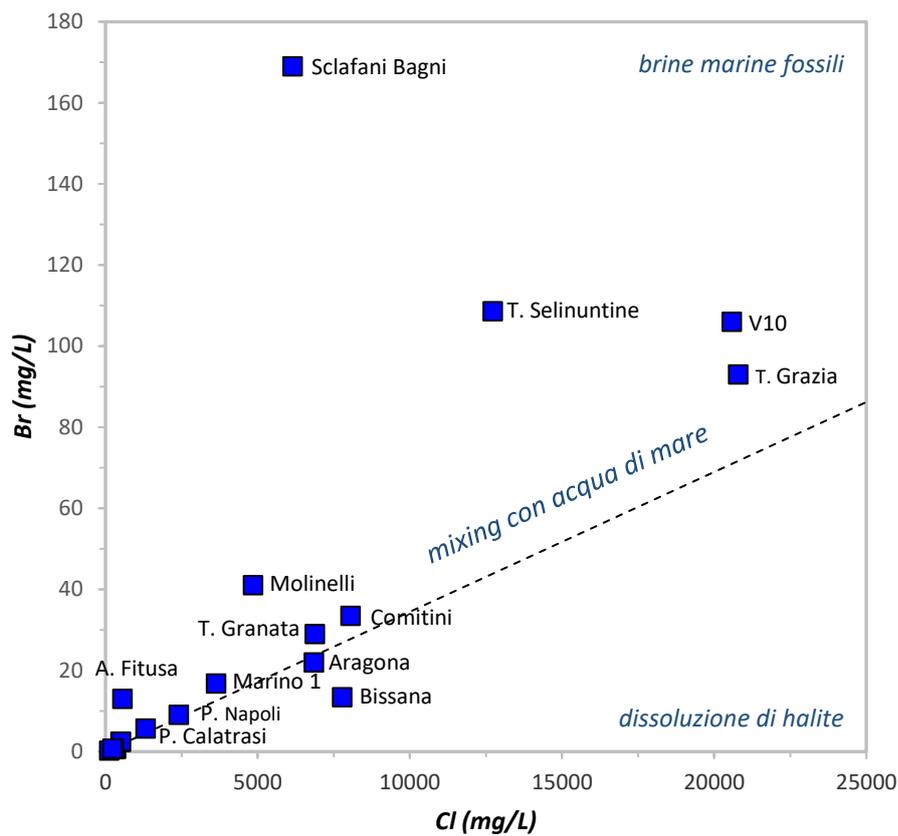


Figura 41 Diagramma binario Cl vs Br (in mg/L) delle acque clorurato-solfato alcaline.

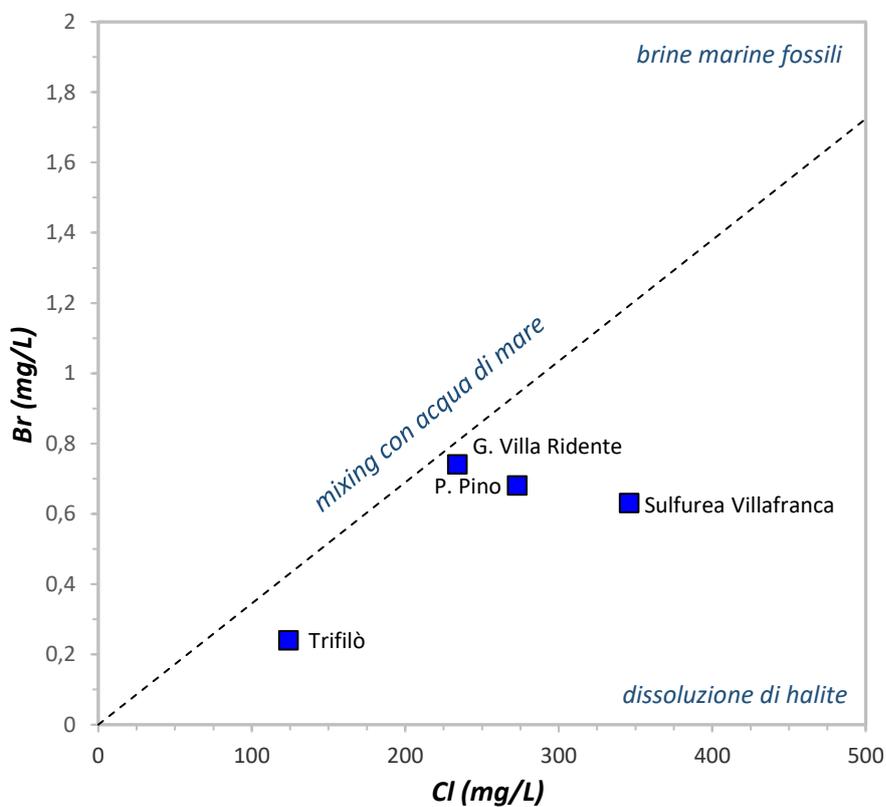


Figura 42 Zoom del diagramma binario Cl vs Br (in mg/L) delle acque clorurato-solfato alcaline.

Assumendo che quindi tali acque siano caratterizzate anche da processi di mescolamento con acqua di mare (in proporzioni differenti da campione a campione) e che il cloruro abbia un comportamento conservativo, è possibile stimare la percentuale di acqua marina tramite il *chloride mass balance* (Trabelsi et al., 2012). La formula che consente di quantificare questo contributo è la seguente:

$$\%_{sea} = [Cl_{sample} - Cl_{fresh}] / [Cl_{sea} - Cl_{fresh}] \times 100 \quad (9)$$

dove Cl_{sample} è la concentrazione di Cl^- nel campione; Cl_{fresh} è la concentrazione di Cl^- nel campione meno salino individuato nell'area di studio (0.18 meq/L Grotticelli); Cl_{sea} è la concentrazione di Cl^- nell'acqua di mare locale (610 meq/L). Sulla base dell'eq. 9, la percentuale di acqua di mare ($\%_{sea}$) nei campioni a componente clorurato alcalina, prelevati in prossimità della costa, risulta essere: Molinelli (~22%), T. Marino 1 (~17%), T. Grazia (~96%), V10 (~95%), T. Selinuntine (~59%), Acqua Santa (~34%), T. Granata (~32%), P. Napoli (~11%), P. Pintaudi (~3%).

Proseguendo nella trattazione, giungiamo alle acque con chimismo clorurato-solfato alcalino-terroso, che includono acque fredde ed acque termali. Tali acque si rinvengono diffusamente su tutta l'area di studio. I termini più termali invece si rinvengono limitatamente al settore compreso tra Montevago e Sciacca. L'estrema variabilità nelle concentrazioni di HCO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-} determinata nelle acque definite a composizione clorurato solfato alcalino terrosa è ben evidenziata dai diagrammi triangolari delle specie anioniche (*Figura 43a*) e cationiche (*Figura 43b*) ove i campioni appartenenti a questa famiglia sono stati distinti per area di emergenza.

All'interno di questa famiglia distinguiamo un gruppo di acque (P. Lopez, P. Lopez 3, Borgo Palo, Comitini e Capodarso) caratterizzato da composizione $Ca-SO_4$. Tali acque, caratterizzanti il settore centrale dell'area di studio (Bacino di Caltanissetta), risultano particolarmente arricchite in solfati come conseguenza della lisciviazione della serie gessosa-solfifera che caratterizza il settore centrale dell'area di studio. Gli indici di saturazione denotano che questi campioni a composizione $Ca-SO_4$ sono in equilibrio

con gesso e anidrite (soltanto il campione Capodarso risulta leggermente sottosaturo in anidrite), oltre che rispetto alle fasi mineralogiche carbonatiche.

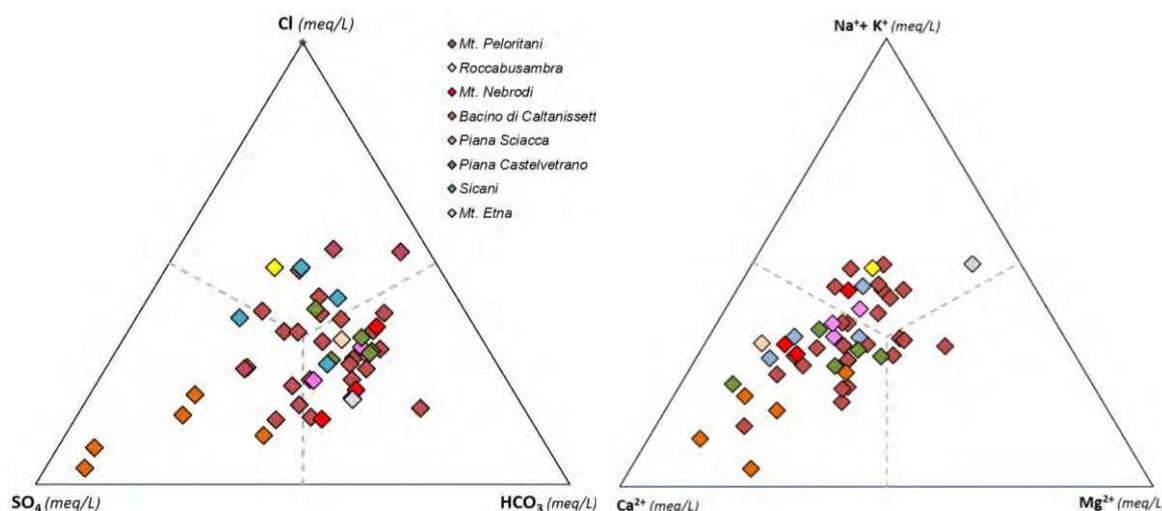


Figura 43 Diagrammi triangolari degli anioni (a) e dei cationi (b).

Osservando il grafico SO_4 vs Ca (Figura 44) si può notare come alcuni dei campioni a composizione Ca-SO_4 (in particolare Comitini, Borgo Palo, P. Lopez) divergono leggermente dal rapporto stechiometrico del gesso, ovvero presentano un eccesso in solfato rispetto al calcio. Ciò probabilmente deriva dall'interazione di tali acque con i sali di magnesio (e.g. Di Maggio et al., 2009) che caratterizzano il complesso evaporitico siciliano. Tale ipotesi è supportata anche dal rapporto $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{SO}_4$ prossimo a 1, dimostrando che il contenuto in magnesio di questi campioni tende a compensare il più basso contenuto in calcio nelle acque. Per spiegare le concentrazioni di Mg e SO_4 in queste acque si può considerare anche la possibile presenza di processi dedolomitizzazione, ovvero la dissoluzione incongruente di dolomite e precipitazione di calcite guidata dalla dissoluzione irreversibile di gesso. Tale dedolomitizzazione procede fino al raggiungimento della saturazione in gesso, determinando un aumento nel contenuto in magnesio e solfato nelle acque, simile a quella che si avrebbe per dissoluzione di solfato di magnesio.

Il campione Capodarso invece si dispone esattamente lungo la retta di dissoluzione ad evidenziare una circolazione in acquiferi gessosi. In base ai grafici di Figura 44 e 45, è

possibile notare che diversi campioni mostrano un eccesso in ioni calcio. Si tratta di quei campioni caratterizzati da un chimismo più arricchito in bicarbonati e/o cloruri. Alcuni di questi sono stati prelevati nel settore peloritano. Si tratta dei campioni S. Margherita, A. Poma, Brignoli, A. Amanti, S. Febronia, Parco Giochi e Garibaldi, caratterizzati dalla prevalenza di cloruro tra le specie anioniche e di Na, seguito dal Ca, fra le specie cationiche. Sempre nel settore peloritano, i campioni Giambò V., Arcoraci, Zerilli, Isgrò 2, Filiti P., Barone Calcagno, C. Piana, S. Francesco, Vena, e Porta dei Leoni denotano una predominanza dello ione bicarbonato e dello ione calcio, seguito dal sodio come specie cationica. Inoltre, altri campioni (Tracanalè, Casazza, S. Fetente, Scullica, La Palmara e Picciolo) presentano un eccesso di solfati come specie anionica e di Ca come specie cationica, (ad eccezione dei campioni Fetente, Scullica e Tracanalè che presentano un eccesso in Mg). I campioni Piturro, Mannarano e Nocita, prelevati nell'area nebroidea, emergenti dalle unità Sicilidi, presentano elevate concentrazioni di bicarbonato e calcio ad eccezione del campione Nocita che presenta un eccesso di sodio rispetto al calcio. Anche i campioni prelevati nella Piana di Castelvetro presentano un eccesso in bicarbonati, e calcio come specie cationica, ad eccezione del P. Gorga che mostra una predominanza di ioni cloro. L'unico campione a composizione clorurato solfato alcalino terrosa che caratterizza l'area madonita, Piano Lana, presenta una predominanza in ioni cloruro e sodio. Anche i campioni termali S. Vuturo, Acqua Pia (Montevago) e Fontana Calda 1 e 2 (piana di Sciacca) appartengono a questa facies geochimica. Il campione prelevato alle pendici settentrionali del Mt. Etna presenta una composizione bicarbonato sodica.

Per quanto riguarda i campioni termali prelevati nel settore occidentale tra i Mt. Sicani e la Piana di Sciacca, quelli prelevati nei siti Fontana Calda 1 e 2 presentano una composizione $\text{Ca}(\text{Na})\text{HCO}_3(\text{Cl})$. Mentre le due emergenze termali rinvenute a Montevago mostrano una composizione $\text{Na}(\text{Ca})\text{Cl}(\text{SO}_4)$ e $\text{Ca}(\text{Na})\text{SO}_4(\text{Cl})$ rispettivamente nel campione S. Vuturo, prelevato lungo l'alveo del Fiume Belice, e Acqua Pia (quest'ultimo con un rapporto Ca/SO_4 pari a 0.94).

L'estrema variabilità nelle concentrazioni di HCO_3 , Cl e SO_4 riscontrate in queste acque è relazionabile non solo nell'eterogeneità litologica che caratterizza le varie aree di emergenza (depositi clastici ed evaporitici nel Bacino di Caltanissetta; argille, arenarie e conglomerati del Flysch Numidico e delle Unità Sicilidi nel settore nebroido-madonita-peloritano; nelle coperture sedimentarie che sovrastano le rocce metamorfiche del settore peloritano e i depositi sintettonici che sovrastano la piana di Castelvetro e Sciacca) ma anche nei tempi e nei processi di mixing tra le diverse falde acquifere. I termini a più alta temperatura d'emergenza e TDS che caratterizzano il settore occidentale dell'area di studio (Acqua Pia e S. Vuturo) risultano essere in equilibrio con le specie carbonatiche, costituenti la roccia serbatoio di provenienza per queste acque (la sequenza carbonatica e dolomitica mesozoica, affiorante proprio in corrispondenza dell'area di Montevago; Montanari et al., 2014; Trumpy et al., 2015); inoltre, gli indici di saturazione e i rapporti stechiometrici rispetto a gesso e anidrite indicano processi di dissoluzione a carico di questi minerali. Le acque termali Fontana Calda 1 e 2, emergenti in corrispondenza della Piana di Sciacca, risultano invece leggermente soprassature in calcite, aragonite e soprattutto dolomite e sottosature sia in gesso che in anidrite, ad indicare probabili processi di precipitazione di minerali carbonatici e lisciviazione della serie gessoso-solfifera. La pressione parziale di CO_2 in ambedue i sistemi termali è compresa tra -2.71 e -1.30 e non sembra evidenziare importanti processi di interazione tra acqua e CO_2 . Peraltro ciò è osservabile dalla composizione dei gas disciolti, come sarà di seguito trattato nel presente capitolo.

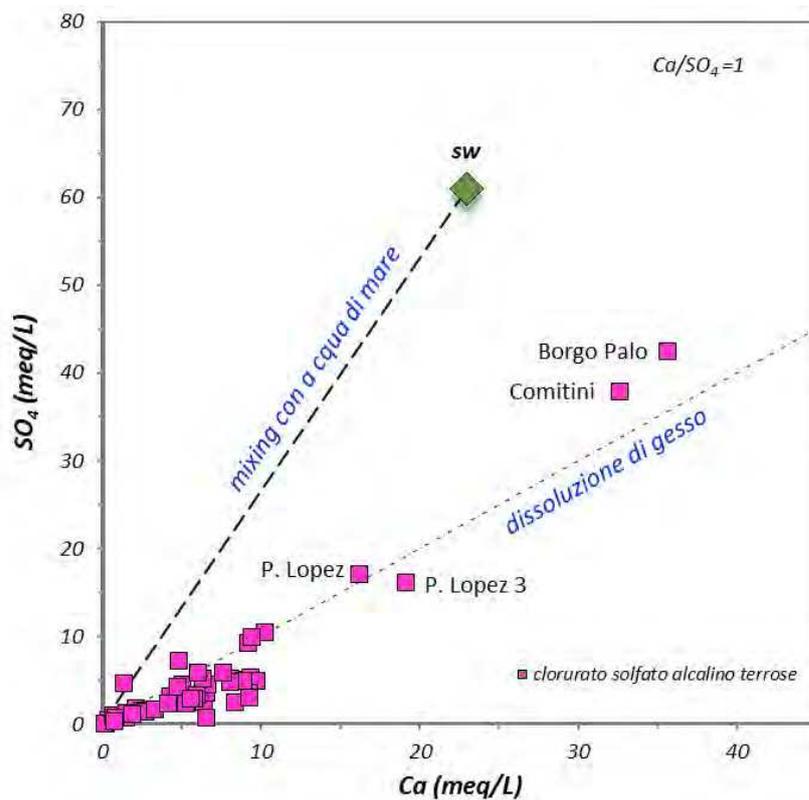


Figura 44 Diagramma binario Ca vs SO₄ (in meq/L) delle acque a composizione clorurato-solfato alcalino terrosa.

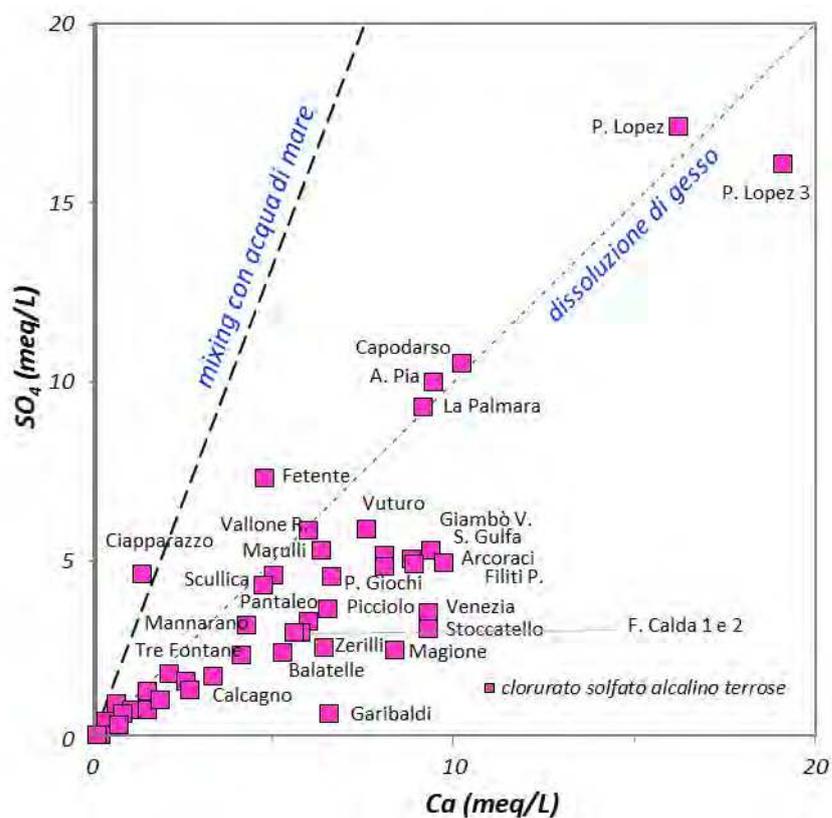


Figura 45 Zoom del diagramma binario Ca vs SO₄ in meq/L delle acque a composizione clorurato-solfato alcalino terrosa.

Uno studio dei fenomeni legati all'idrodinamica sotterranea non può prescindere dall'analisi degli elementi minori e delle tracce le cui concentrazioni sono riportate in *Tabella a2* (Appendice). Per la quasi totalità dei campioni sono disponibili le concentrazioni di Ba, Li, Fe, Mn e Sr (in $\mu\text{g/L}$). Mentre soltanto per un limitato numero di campioni sono disponibili le concentrazioni di Ag, Al, As, B, Be, Bi, Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Tl, V, U, e Zn (in $\mu\text{g/L}$). Alcuni elementi sono molto utili in quanto ritenuti dei veri e propri traccianti chimici nelle zone a termalità anomala (e.g. Celico, 1986; Minissale et al., 1997) e nelle aree geotermiche in generale, come, ad esempio, stronzio, litio, rubidio, bario, mercurio, manganese e boro. Come risulta dall'osservazione della *Tabella a2* (Appendice), i campioni caratterizzati da temperature più elevate e/o più salini siano caratterizzati da aumenti significativi nelle concentrazioni di alcuni di questi elementi.

Nelle acque termali lo stronzio raggiunge valori di due, tre ordini di grandezza superiori a quelli delle acque fredde. In particolare i campioni termali T. Selinuntine, Molinelli, T. Augusto, T. Marino 1, T. Grazia e Sclafani B. mostrano concentrazioni di Sr comprese tra 7520 e 166762 $\mu\text{g/L}$. Altri campioni termali come A. Fitusa, P. Puliafito, F. Calda, F. Calda 2, S. Vuturo e Chiarastella presentano valori compresi tra 720 e 2660 $\mu\text{g/L}$ anche se sistematicamente superiori rispetto alle concentrazioni misurate nei campioni con temperature <21 °C. L'unica eccezione è relativa al campione V10 che raggiunge un valore di Sr pari a 27200 $\mu\text{g/L}$. Il processo di dissoluzione delle anidriti spiegherebbe l'elevata concentrazione dello stronzio come elemento in traccia nelle acque termali. È infatti noto che i contenuti più elevati di stronzio fra le formazioni sedimentarie si riscontrano nella facies solfato-evaporitica (e.g. Murray, 1964; Braitsch, 1971). Esso infatti rappresenta un vicariante del Ca. Maggiori concentrazioni di Sr in soluzione sono state notate in acque con indice di saturazione da prossimo all'equilibrio a leggermente sottosature rispetto ad aragonite, gesso e anidrite.

Lo stesso andamento dello Sr si osserva per il Li (*Figura 46*), specie molto solubile e classificabile come conservativa, in quanto non partecipa a reazioni redox ed ai

processi biologici e considerato un tracciante geochimico delle acque geotermiche (Celico, 1986). Infatti, esso ha un'alta mobilità, un basso valore di raggio ionico e carica elettrica, per le sue basse concentrazioni in acque superficiali ed infine per l'impossibilità, una volta in soluzione, di formare, salvo rari casi, minerali propri. I campioni a più alta temperatura d'emergenza sono caratterizzati da elevate concentrazioni di questo elemento in soluzione (T. Granata: 3600 µg/L, T. Grazia: 5552 µg/L, T. Augusto: 1280 µg/L, T. Marino: 1 1920 µg/L, Sclafani B.: 5833 µg/L e T. Selinuntine: 1900 µg/L); concentrazioni nettamente inferiori caratterizzano i campioni Chiarastella, Fontana Calda, Puliafito, Berlingheri e A. Fitusa, con valori compresi tra 14.6 e 347 µg/L. Tra i campioni freddi spicca V10 con una concentrazione di litio pari a 5400 µg/L, probabilmente a causa dell'influenza del campione termale T. Granata (distretto termale di Ali Terme) che si ubica a pochi decine di metri di distanza. Gli altri campioni con temperature <21 °C presentano concentrazioni di litio comprese fra 0.17 e 361 µg/L. L'elevato contenuto in litio nelle acque termali rispetto alle acque fredde è generalmente indicativo di prolungati meccanismi di interazione acqua-roccia, infatti esso è comunemente rinvenuto in acque con circuiti lenti, lunghi e/o profondi. Unitamente allo stronzio si rinviene nelle acque che hanno circolato in formazioni gessose e anidritiche.

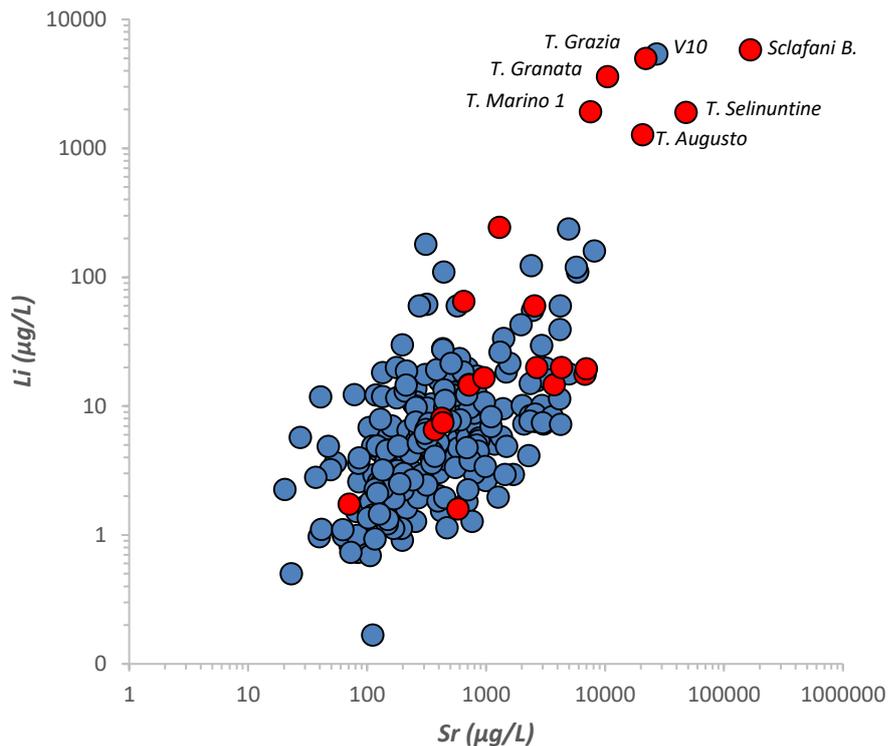


Figura 46 Diagramma binario Li vs Sr (in $\mu\text{g/L}$) delle acque investigate. I cerchi blu rappresentano le acque con $T < 21^\circ\text{C}$ e i cerchi rossi le acque con $T > 21^\circ\text{C}$.

Un altro parametro indicativo di elevate temperature in profondità è il boro. Il contenuto in boro è disponibile per le seguenti acque termali (*Tabella a2*, Appendice): B9 (167 $\mu\text{g/L}$), Malvello (42.7 $\mu\text{g/L}$), A. Fitusa (22173 $\mu\text{g/L}$), Chiarastella (78.7 $\mu\text{g/L}$), F. Calda (138 $\mu\text{g/L}$) e Sclafani B. (15980 $\mu\text{g/L}$). I valori di B misurati nei campioni freddi sono relativamente bassi e non superano i 370 $\mu\text{g/L}$ ad eccezione di Gebbia1 (Mt. Sicani) e Quaranta (Mt. Peloritani), ove il boro ha una concentrazione, rispettivamente, di 2310 e 1060 $\mu\text{g/L}$.

Anche la disponibilità dei dati di concentrazione di Rb nelle acque termali è limitata ai campioni B9 (4.4 $\mu\text{g/L}$), Malvello (1.3 $\mu\text{g/L}$), Feudotto 2 (2.6 $\mu\text{g/L}$), B10 (3.5 $\mu\text{g/L}$), S. Nicola 1 (0.60 $\mu\text{g/L}$), P. Gorga (1.8 $\mu\text{g/L}$), Favara (0.92 $\mu\text{g/L}$), A. Fitusa (14 $\mu\text{g/L}$), Chiarastella (3.6 $\mu\text{g/L}$), F. Calda (4.2 $\mu\text{g/L}$) e Sclafani B. (64.7 $\mu\text{g/L}$). Nei campioni freddi il contenuto in Rb è molto basso (varia fra 0.05 a 4.0 $\mu\text{g/L}$). Infatti le concentrazioni di tale elemento sono fortemente dipendenti dalla litologia, anche se

generalmente si rileva in piccole quantità nelle acque (pochi $\mu\text{g/L}$). Soltanto nei campioni freddi Magione (Rocabusambra), Quaranta e Panausto (Mt. Peloritani), S. Caterina, Fisauri, 17 Salme, Musa, Ciapparazzo e Bragaseggi (Mt. Etna) sono stati determinati valori più elevati (fino a $38.8 \mu\text{g/L}$).

I tenori di Ba nelle acque investigate variano tra 12.5 e $95.3 \mu\text{g/L}$, anche se alcune acque evidenziano concentrazione più elevate, quali: T. Selinuntine ($282 \mu\text{g/L}$), Sclafani B. ($6185 \mu\text{g/L}$), Molinelli ($136.5 \mu\text{g/L}$), T. Augusto ($283.5 \mu\text{g/L}$) e P. Puliafito ($189 \mu\text{g/L}$). Da un punto di vista geochimico rappresenta un elemento poco mobile, che tende ad essere allontanato dalla fase acquosa e a formare sali insolubili.

Anche l'ammoniaca, che in soluzione acquosa si rinviene come ione ammonio, se esistono le condizioni geologiche e strutturali favorevoli alla sua risalita, può avere anche origine profonda (Celico, 1986). I campioni più arricchiti in ioni NH_4^+ appaiono le acque termali P. Puliafito, T. Augusto, T. Granata, Vallore R., T. Selinuntine, Molinelli, T. Grazia e P. Calatrasi, rispettivamente con $1140 \mu\text{g/L}$, $1340 \mu\text{g/L}$, $2200 \mu\text{g/L}$, Vallone R. $4400 \mu\text{g/L}$, $38400 \mu\text{g/L}$, $9400 \mu\text{g/L}$, $11300 \mu\text{g/L}$, $24000 \mu\text{g/L}$. Anche i campioni freddi V10 e Giorgianni presentano valori anomali di ammonio, pari a $9300 \mu\text{g/L}$ e $3067 \mu\text{g/L}$. L'elevata concentrazione di ione ammonio rilevata nel campione Giorgianni, acqua a composizione bicarbonato alcalino terrosa prelevata da un pozzo nell'area peloritana ed associata ad un elevato tenore anche in nitrati in soluzione (46 mg/L), potrebbe essere indicativa di processi di inquinamento.

Il contenuto in Fe varia da 0.08 a $140 \mu\text{g/L}$ nei campioni freddi, soltanto alcuni campioni presentano valori più elevati (Ramata: $687 \mu\text{g/L}$, Vegna: $900 \mu\text{g/L}$ e Neviera: $564 \mu\text{g/L}$ nei Mt. Nebrodi; Borgo Palo: $569.6 \mu\text{g/L}$ nel Bacino di Caltanissetta). In tali campioni la presenza di questo elemento in elevate concentrazioni è da relazionare alla presenza di ossidi e idrossidi di ferro presenti nelle rocce che costituiscono l'area nebroidea (Catalano et al., 2010). I campioni termali presentano valori molto variabili di Fe. I

tenori più elevati si raggiungono nei campioni T. Marino 1 (1588.5 µg/L), T. Granata (1693.5 µg/L), P. Calatrasi (18.505 µg/L) e P. Napoli (25900 µg/L).

Il manganese può avere origine profonda come il ferro. Si ritrova nei sistemi naturali sia nella forma insolubile come Mn^{4+} , come ossido di Mn (MnO_2) o altamente solubile Mn^{2+} . L'ossido di manganese (MnO_2) è la forma minerale più comunemente rinvenuta negli acquiferi clastici (e.g. Clark, 2015). La sua concentrazione nelle acque fredde è molto variabile (da 0.08 µg/L a 110.25 µg/L). Alcuni campioni mostrano concentrazioni superiori (169 µg/L, P. Napoli; 254 µg/L, Bocca di Cane; 362 µg/L, Filiti A.; 397 µg/L, Neviera; 504 µg/L, Filiti P. e 275.2 µg/L, Bissana). I campioni termali più arricchiti in Mn sono T. Grazia (160.9 µg/L), T. Granata (166.8 µg/L), T. Marino (381.9 µg/L), P. Puliafito (422.6 µg/L), Comitini (509.1 µg/L) e P. Calatrasi (4456.5 µg/L). In alcuni campioni termali e salini come ad es. T. Augusto, Molinelli, Terme Grazia, Sclafani B. e T. Selinuntine agli elevati tenori in Ba, Li, Sr, sono normalmente associati valori di Fe e Mn relativamente bassi (*Tabella a2*, Appendice).

Lo studio della composizione isotopica dell'ossigeno e del deuterio (espressa come $\delta^{18}O$ e δ^2H in ‰ rispetto allo standard di riferimento V-SMOW: *Vienna Standard Mean Ocean Water*) fornisce importanti indicazioni sull'origine e sull'evoluzione geochimica delle acque. La composizione isotopica delle acque ricadenti nell'area di studio, come già riportato nel capitolo 5, varia da -9.28 a 12.73 ‰ per il $\delta^{18}O$ e da -57.00 a 0.10 ‰ per il δ^2H . Graficando i valori isotopici misurati nel classico diagramma δ^2H vs $\delta^{18}O$ (*Figure 47 e 48*) è possibile apprezzare le variazioni isotopiche nei vari campioni e risalire ai principali meccanismi che determinano delle modificazioni nella composizione isotopica delle acque meteoriche. Come riferimento, nel grafico sono riportate la *Global Meteoric Water Line* (GMWL), relazione riconosciuta a livello mondiale, esistente fra δD e $\delta^{18}O$ nelle acque di origine meteorica, determinata sulla base di campioni prelevati in tutto il mondo ($\delta^2H = 8\delta^{18}O + 10$, Craig, 1961); la *Eastern Mediterranean Meteoric Water Line* (EMMWL), relazione individuata per le precipitazioni del bacino del Mediterraneo ($\delta^2H = 8\delta^{18}O + 22$, Gat & Carmi, 1970), la

Sicilian Meteoric Water Line (SMWL), riportata nello studio di Liotta et al. (2013) per le precipitazioni meteoriche siciliane ($\delta^2\text{H} = 6.75 \delta^{18}\text{O} + 8.2$). Infine, come riferimento è stata anche indicata la composizione isotopica dell'acqua di mare del Mar Mediterraneo, riportata da Grassa et al. (2006) ($\delta^2\text{H} = +10$, $\delta^{18}\text{O} = 1$).

La distribuzione di tutti i campioni (freddi e termali) tra la *Global Meteoric Water Line* e la *Eastern Mediterranean Meteoric Water Line* ne evidenzia una marcata origine meteorica. Sebbene la maggior parte delle acque presenti una composizione isotopica consistente con quella delle precipitazioni meteoriche, alcuni campioni presentano una modifica della firma isotopica indicativa di meccanismi che ne hanno modificato la composizione d'origine, quali: (1) interazione acqua-roccia ad alte temperature; (2) mixing con acqua di mare; (3) processi evaporativi; (4) meccanismi di scambio tra acqua e gas.

Le acque emesse dai vulcani di fango (Bissana e Terrapelata) risultano essere arricchite in ossigeno-18 (indicato in letteratura come *oxygen shift*) sia rispetto alle acque della ricarica meteorica locale, sia rispetto alla composizione isotopica dell'acqua di mare, associata ad un arricchimento in deuterio. Tale andamento, individuato anche da altri autori (Dia et al., 1999; You et al., 2004, Madonia et al., 2011), è molto probabilmente il risultato di processi diagenetici, i quali hanno modificato la composizione chimica ed isotopica originaria (verosimilmente acqua di mare rimasta intrappolata all'interno dei sedimenti della successione neogenica-quadernaria al momento della deposizione).

I campioni T. Grazia e V10, che caratterizzano il settore ionico dell'area peloritana, ricadono nella porzione destra delle rette meteoriche considerate. Poiché tali campioni risultano particolarmente arricchiti sia in $\delta^{18}\text{O}$ che in $\delta^2\text{H}$, il frazionamento isotopico potrebbe essere associato a processi evaporativi. Tale processo varia a seconda della temperatura alla quale avviene il frazionamento e la frazione di vapore rimosso dall'acqua (e.g. Sacchi et al., 2008).

I campioni termali di T. Selinuntine, Molinelli, A. Fitusa, Vasca, GrLago, Sclafani B. e T. Granata mostrano un arricchimento in ossigeno 18, non associato ad un significativo arricchimento in deuterio. Lo shift del $\delta^{18}\text{O}$ in campioni termali, in letteratura è generalmente attribuito allo scambio isotopico tra fluido circolante e roccia incassante in condizioni di alta temperatura (generalmente $>150\text{ }^\circ\text{C}$, Truesdell & Hulston, 1980). Alle alte temperature, si assiste, infatti, ad una ripartizione preferenziale dell'isotopo pesante dell'ossigeno nella fase acquosa. Viceversa gli isotopi dell'idrogeno non vengono interessati da questo processo in quanto i serbatoi idrotermali non presentano normalmente una componente mineralogica idrata che consenta uno scambio isotopico con i fluidi circolanti al loro interno. Tale fenomeno è tipico di ambienti geotermici. La composizione isotopica di queste acque potrebbe essere relativa ad un processo di scambio isotopico tra fluido e roccia incassante a temperature elevate (e.g. Muehlenbachs and Clayton, 1976). Nel caso dei campioni termali, ubicati in prossimità della costa, T. Selinuntine, Molinelli e T. Granata, nei quali è stato individuato un mescolamento con acqua di mare, in accordo con quanto riportato da Capaccioni et al. (2011) si potrebbe ipotizzare un processo di mixing tra un'acqua meteorica e un'acqua di mare isotopicamente modificata da processi di scambio isotopico con la roccia incassante a temperature eccedenti i 150°C (Truesdell and Hulston, 1980). La presenza di acque termali fossili o connate di origine marina è stata peraltro più volte documentata in ambiente geotermico (e.g. in Anatolia da Mützemberg et al., 1992 e in Giordania da Capaccioni et al., 2003). Nei diagrammi di *Figura 47* e *48*, in cui vengono messi in relazione i valori di $\delta^2\text{H}$ con quelli di $\delta^{18}\text{O}$ determinati nelle acque, il campione Cademi (Mt. Peloritani) ricade fuori dall'intervallo delimitato dalla GMWL; la sua ubicazione a sinistra delle rette meteoriche potrebbe essere dovuta ad un processo di interazione tra acqua e CO_2 gassosa (Chiodini et al., 2000). L'arricchimento nell'isotopo leggero dell'ossigeno (^{16}O) può infatti avvenire per processi di scambio isotopico tra acqua e la CO_2 . La reazione:



determina un conseguente incremento in ossigeno-18 della CO₂ e l'incremento in ossigeno-16 della fase acquosa (Chiodini et al., 2000).

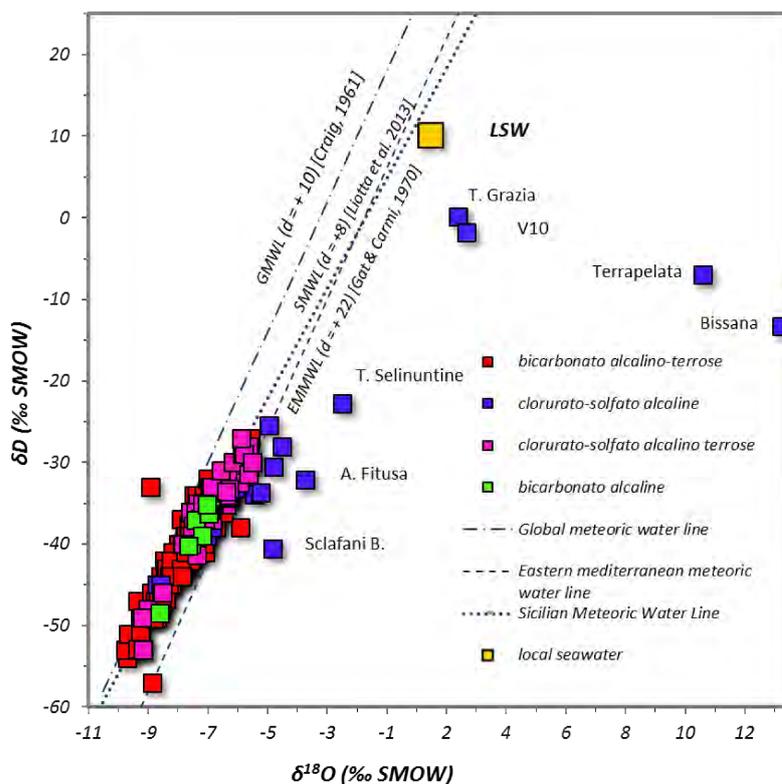


Figura 47 Diagramma binario $\delta^{18}\text{O}$ vs δD delle acque emergenti nell'area di studio.

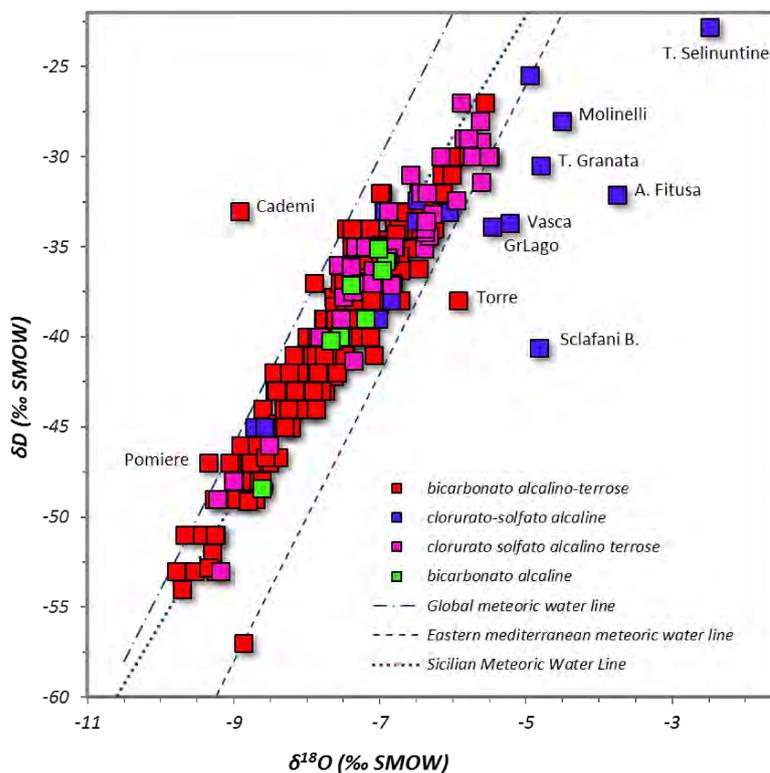


Figura 48 Zoom del diagramma binario $\delta^{18}\text{O}$ vs δD delle acque emergenti nell'area di studio.

7.2 Geotermometria in fase liquida

In assenza di misure dirette che consentano di valutare le temperature dei reservoir termali siciliani, la geotermometria in fase liquida può tentativamente rappresentare un valido supporto (e.g. Giggenbach, 1988; Chiodini et al., 1991). Essa viene largamente utilizzata in geochimica per la stima della temperatura calcolata a partire dalla composizione chimica dei fluidi campionati in superficie. Condizione imprescindibile per l'applicabilità dei geotermometri è il raggiungimento di condizioni di equilibrio tra fluido e minerali idrotermali che caratterizzano il serbatoio geotermico. anche se non sempre i sistemi naturali rispondono a tali condizioni. Diversi fattori, quali ad esempio processi di *boiling* e *cooling* cui i fluidi possono andare incontro durante la risalita verso la superficie (che possono causare dissoluzione o precipitazione di fasi mineralogiche o cambiare il grado di saturazione rispetto a certi minerali) o il mixing con acque superficiali (che può determinare la diluzione del fluido) possono portare ad un disequilibrio e quindi mascherare o obliterare le condizioni esistenti all'interno della roccia ospitante un sistema termale. Il grado di equilibrio raggiunto nelle acque ricadenti nell'area di studio è stato valutato tramite l'applicazione del diagramma triangolare Na-K-Mg (*Figura 49*), proposto da Giggenbach (1988). Nel tentativo di estrapolare delle stime termometriche dei reservoir termali e nell'impossibilità di applicazione di altre stime geotermometriche (come per esempio quelle fornite dai geotermometri della silice, le cui concentrazioni sono note dalla letteratura, solo per un numero limitato di campioni) si è ricorsi al doppio geotermometro Na/K e K/Mg, che si basa sull'equilibrio esistente tra fluido e rocce magmatiche e del basamento metamorfico. Tale geotermometro permette una distinzione tra: (1) fluidi in equilibrio; (2) fluidi parzialmente equilibrati; e (3) acque immature, in funzione delle proporzioni esistenti tra Na, K e Mg (in mg/L). Per definire il grado di equilibrio tra fluido e roccia, il diagramma triangolare di Giggenbach (1988) combina il rapporto cationico K/Mg (che risponde molto rapidamente alla diminuzione di temperatura e interazione con acque più superficiali) con il rapporto Na/K (che si equilibra in tempi molto più lunghi). Il

diagramma Na-K-Mg mette in evidenza come la maggior parte delle acque studiate si posizionino all'interno del campo che individua le acque definite "immature". Per le acque che non mostrano alcun equilibrio con la paragenesi mineralogica di riferimento (feldspati: albite e K-feldspato e silicati: illite-clorite; e.g. Fancelli et al., 1991) e la cui composizione geochimica è dominata da molteplici processi quali dissoluzione della roccia, mixing con acque fredde e processi di scambio ionico, qualsiasi stima geotermometrica risulta poco affidabile.

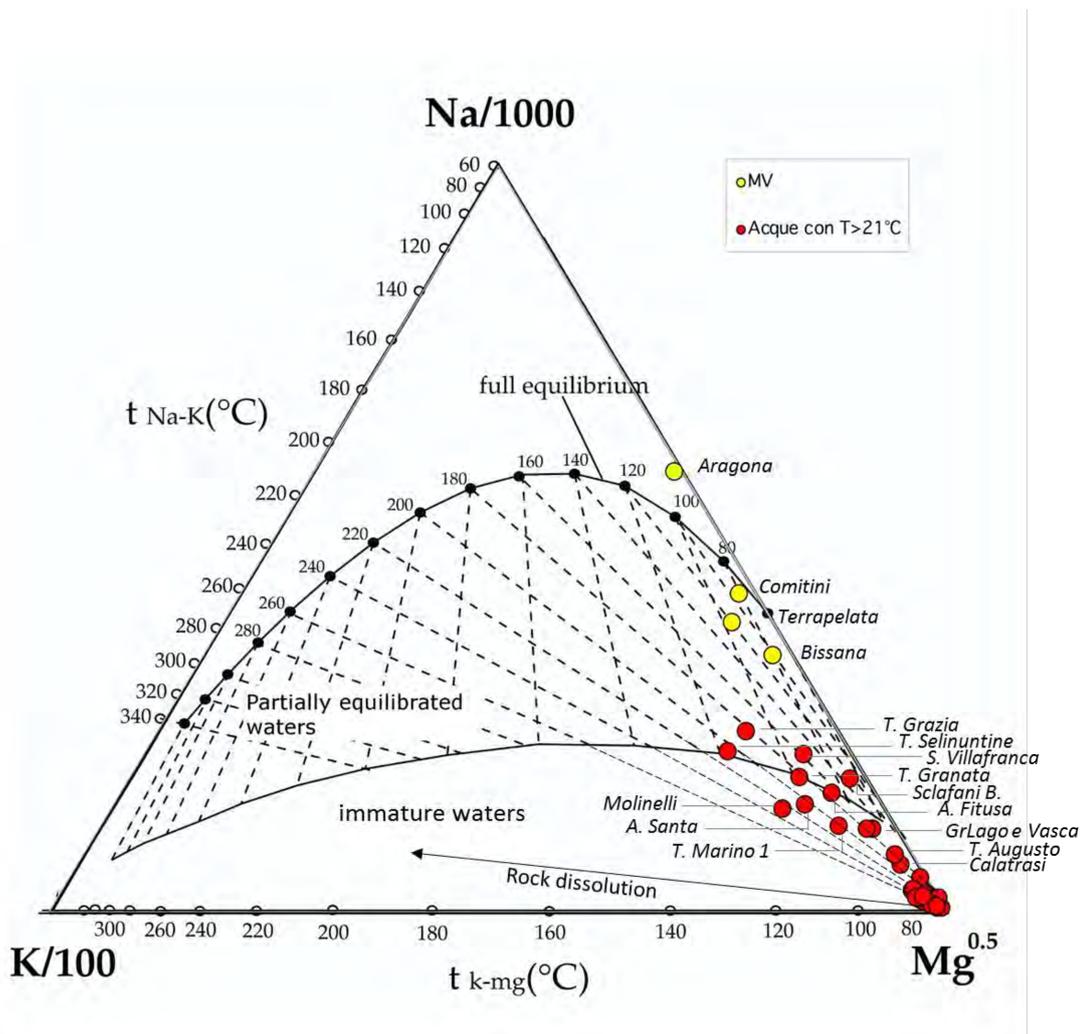


Figura 49 Diagramma triangolare Na-K-Mg (Giggenbach, 1988).

Dall'analisi della Figura 49 è evidente che tutte le acque studiate, sono da considerarsi "immature", nel senso che il loro chimismo non deriva da un vero equilibrio del processo acqua-roccia. All'interno del digramma alcune acque termali tendono a

posizionarsi lungo un trend di arricchimento in Na. La distribuzione dei campioni all'interno del grafico riflette i diversi processi identificati dall'analisi chimica e chimico-fisica delle acque campionate, in cui sono stati evidenziati processi di mescolamento con acqua di mare e/o brine fossili, mescolamento con acquiferi superficiali e processi di scambio cationico. Tutte le acque considerate non risultano pertanto adatte per una stima affidabile delle temperature in profondità con questo tipo di geotermometro. Nel tentativo di estrapolare delle stime geotermometriche, guardando alla disposizione dei campioni all'interno del grafico possiamo dire che: i quattro campioni prelevati dai vulcani di fango, caratterizzanti il bacino di Caltanissetta, ricadono nell'area che individua le acque che presentano un parziale equilibrio con la roccia incassante (Comitini, Terrapelata e Bissana) e nell'area di completo equilibrio (Aragona). Tali campioni sembrano evidenziare il raggiungimento di un certo equilibrio termodinamico con la roccia incassante puntando ad una temperatura di equilibrio compresa tra 80 e 120 °C. Tale stima sembra essere in linea con l'intervallo di temperatura ipotizzato per l'ambiente di formazione di tali manifestazioni (alte pressioni, profondità >3000 m e temperature comprese tra 100 e 120 °C; Tassi et al., 2012a). Nel diagramma è evidente come un limitato numero di campioni termali raggiunga un parziale equilibrio e/o tendono a differenti temperature di equilibrio, in particolare i campioni prelevati nel settore occidentale dell'area di studio (T. Selinuntine, Acqua Santa e Molinelli) tendono a 200-220 °C, i campioni prelevati nel settore orientale (T. Granata, T. Grazia, T. Marino 1) a 180-200°C, i campioni prelevati nel settore più centrale (A. Fitusa, Sclafani B., Vasca, GrLago e S. Villafranca) a temperature comprese tra 120 e 160 °C. Tali stime sui campioni termali sembrerebbero suggerire la provenienza da acquiferi con temperature comprese tra 120 e 220°C, in buon accordo con gli shift isotopici dell'ossigeno derivanti dai processi d'interazione acqua-roccia incassante osservati nel diagramma δD vs $\delta^{18}O$. Applicando il geotermometro a quarzo proposto da Fournier (1977) attraverso la formula $[T= 1309/(5.19 - \log C) - 273.15]$, in quei campioni per i quali è nota la concentrazione di silice in soluzione, i valori di temperatura stimati sono

compresi tra 45 (campione A. Fitusa) e 138 (T. Augusto) °C, indicando valori di temperatura più bassi rispetto a quelli ottenuti applicando l'approccio di Giggenbach (1988). Tuttavia, il suddetto intervallo di valori deve essere considerato come una stima di minima essendo evidenti nei campioni studiati processi di mescolamento con acque superficiali.

Sito	A. Pia	T. Selinuntine	Molinelli	Sciafani B.	A. Fitusa	A. Calda di Lorenzo	T. Granata	T. Marino 1	T. Augusto	Chiarastella
T °C	39,2	54,4	31,2	34	24	31	21,6	31,7	30,2	30,4
Silice (in mg/L)	22	43	41	14	12	17	29	32	102	25
Reference	a	a	a	b	b	c	a	a	a	d
Fournier (1977)	67	95	93	51	45	57	78	82	138	72

*a= Grassa et al., 2006 - b= Minissale et al., 2016 - c= dall'Aglio, 1966; d= Dall'Aglio, 1970.

Più recentemente Chiodini et al. (1995) hanno implementato il geotermometro proposto da Marini et al. (1986) messo a punto per sistemi idrotermali di media e bassa temperatura ospitati in rocce carbonatico-evaporitiche. Questi indicatori si basano sull'assunzione che la concentrazione di alcune specie chimiche disciolte nei fluidi termali siano dipendenti dalla temperatura ($1/T$), pCO_2 e dalla salinità totale (ΣEq). Al fine di ottenere una stima approssimativa delle condizioni di temperatura e pCO_2 esistenti in profondità, sono state plottate le acque aventi $T > 21^\circ C$ ricadenti nel settore centrale e occidentale dell'area di studio, all'interno del diagramma ternario $HCO_3-SO_4-100^*F$ (Figura 50) realizzato per un sistema in equilibrio con calcite, dolomite, gesso e fluorite (Chiodini et al., 1995). Come è possibile osservare dal grafico proposto da Chiodini et al. (1995), i campioni tendono a disporsi diffusamente su tutta l'area del diagramma, evidenziando un intervallo di temperatura relativamente ampio e compreso tra 50 e 150 °C e valori di pCO_2 da circa 1 a un valore irrealistico di 100 bar. I valori di pCO_2 per questi campioni, calcolati (come precedentemente discusso) attraverso il software Phreeqc variano tra -2.89 (Sulfurea V.) e 0 (T. Selinuntine). Considerando ascrivibili a circolazioni superficiali tutte le acque ricadenti nell'intervallo ($-3.4 < \log pCO_2 < -1.5$) e attribuite di contro a circuiti più profondi quelle che presentano valori di $pCO_2 > -1.5$, possiamo ritenere più verosimili soltanto i valori di temperatura ottenuti per i campioni Selinuntine, Acqua Pia, Acqua Santa, S. Vuturo e Molinelli, compresi nell'intervallo di temperatura 60-150 °C e di pCO_2 tra 0 e 1 bar. In ogni caso questa

applicazione geotermometrica, insieme alle altre due sopra descritte, evidenzia le molteplici difficoltà di valutazioni termometriche per le acque della Sicilia.

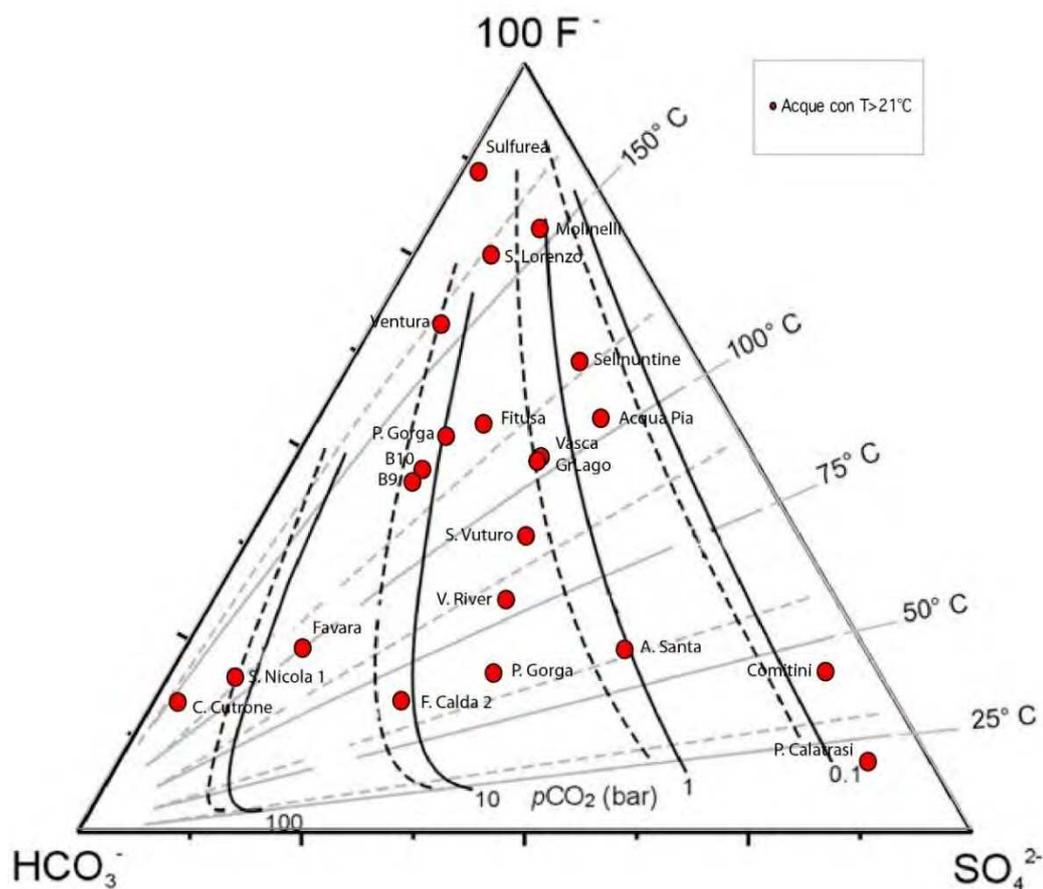


Figura 50 Diagramma triangolare HCO_3^- - SO_4^{2-} - 100°F (Chiodini et al., 1995).

7.3 Geochimica delle specie gassose disciolte

Un valido strumento per incrementare le conoscenze sui processi d'interazione acqua-roccia è rappresentato dallo studio delle fasi gassose disciolte nelle acque. L'alta mobilità e la differente solubilità che li caratterizza rende i gas degli utilissimi traccianti geochimici (e.g. Inguaggiato et al., 2005; Grassa et al., 2006; Italiano et al., 2010). In *Tabella a3* (Appendice) sono riportate le composizioni chimiche dei gas disciolti relativi alle acque investigate. I risultati analitici hanno evidenziato che i gas disciolti presenti nella totalità delle acque campionate nell'area di studio rappresentino un mix tra una componente gassosa arricchita in CO_2 e una componente atmosferica a N_2 prevalente

(Figura 51). La variabilità nel contenuto di CO₂ disciolta varia in funzione del contesto geodinamico e strutturale in cui è situata l'emergenza, come discusso di seguito.

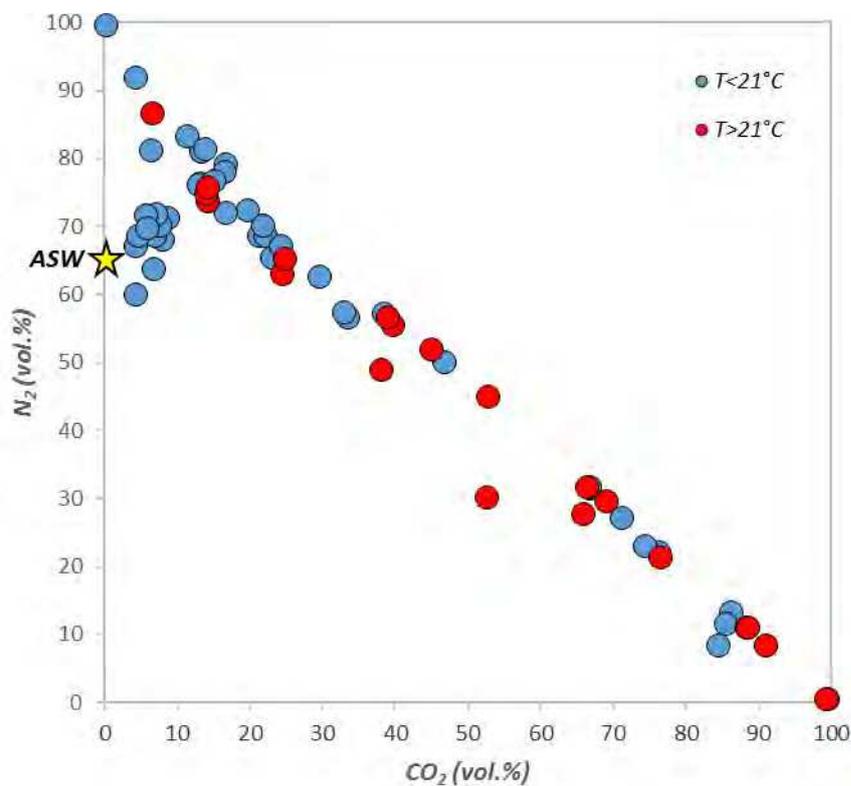


Figura 51 Diagramma binario N₂ vs CO₂ nei gas disciolti. L'acqua satura d'aria (ASW) viene riportata come riferimento.

In base al diagramma N₂ vs. CO₂ (in vol. %) di Figura 51, si può notare come nella maggior parte dei casi le acque termali siano associate ad una fase gassosa a CO₂ dominante o una fase mista CO₂-N₂, mentre le acque fredde mostrano un arricchimento in N₂. Inoltre, alcuni campioni freddi (P. Napoli, V10 e Parco Giochi) prelevati in aree caratterizzate da intenso degassamento (fascia ionica e tirrenica peloritana), sono caratterizzati da elevate concentrazioni di CO₂ in soluzione. L'N₂ di cui risultano arricchiti i campioni freddi ed alcuni campioni termali ha un'origine superficiale, come evidenziato dai rapporti N₂/Ar calcolati nelle acque caratterizzanti l'area di studio, compresi tra quelli determinati in aria (N₂/Ar = 83) e quelli determinati in acqua satura d'aria, ASW (N₂/Ar = 38). L'azoto quindi tende a subentrare nel sistema come fase disciolta nelle acque di ricarica meteorica.

Per risalire all'origine della CO₂ determinata in soluzione è di fondamentale importanza l'utilizzo della composizione isotopica. Le principali sorgenti di CO₂ possono essere così definite: i) termometamorfismo dei carbonati e/o del basamento cristallino, ii) ossidazione della materia organica e iii) degassamento mantellico (e.g. Chiodini et al., 1995b; 1999; 2000; Minissale et al., 1997b; Minissale, 2004; Frondini et al., 2008), ognuna delle quali è caratterizzata da un segnale isotopico specifico. In particolare l'end-member crostale, relativo alle reazioni termometamorfiche mostra valori di $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ tra -2 e +2‰ vs PDB (Craig, 1963); quello superficiale, relativo al contributo di gas di origine organica presenta valori $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ compresi tra -13 e -28 ‰ vs PDB (Cerling et al., 1991) mentre quello mantellico è caratterizzato da valori di $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ compresi tra -8 e -3 ‰ vs PDB (Rollinson, 1993). La composizione isotopica del carbonio determinata nei vari campioni (in un range di valori compresi tra -26.52 e -0.38 ‰ vs PDB) suggerisce la presenza di CO₂ ascrivibile a tutti e tre le possibili sorgenti di CO₂ sopra riportate (Figura 52).

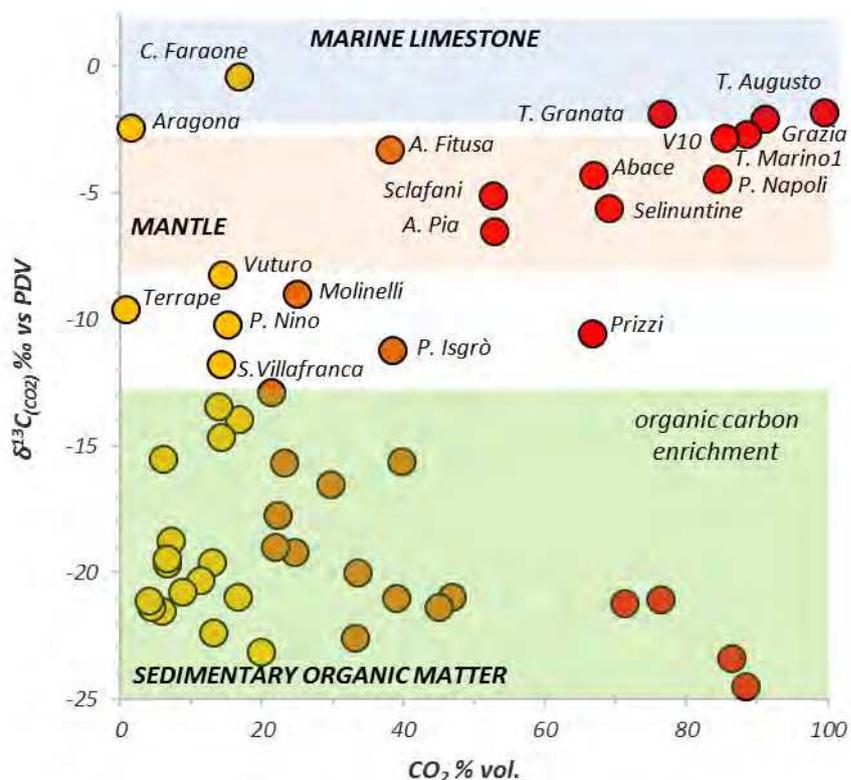


Figura 52 Diagramma binario CO₂ vs $\delta^{13}\text{C-CO}_2$. Simboli: cerchi rossi= CO₂ 99-52% in volume; cerchi arancioni= CO₂ 45-21% in volume; cerchi gialli= CO₂ <20% in volume.

I campioni che presentano le concentrazioni maggiori di CO₂ (compresi tra il 99 e il 52% in volume; cerchi rossi) sono caratterizzati da un'origine profonda del gas disciolto. In particolare, la composizione isotopica dei campioni termali T. Grazia, T. Augusto e T. Granata (area peloritana) rispettivamente di -2.09, -1.8 e -1.86‰ evidenzia un'origine termometamorfica della CO₂, tali campioni infatti ricadono nell'area relativa al termine carbonatico. Inoltre, sempre al settore peloritano appartengono Terme Marino 1, Borgo Abacena, P. Napoli e V10, i cui valori isotopici del carbonio indicherebbero un'origine mantellica della CO₂ (-2.65, -4.31, -4.46 e -2.81‰, rispettivamente). Anche i valori isotopici determinati nei campioni termali prelevati nel settore occidentale dell'area di studio (A. Pia e T. Selinuntine) e nel settore centro-settentrionale (Sclafani Bagni) suggerirebbero un'origine mantellica della CO₂ in soluzione. Viceversa i gas disciolti di P. Calatrasi (Sicilia occidentale), di Astasi (Sicilia orientale), di Acquanuova (Sicilia centro-settentrionale) e di Capodarso (settore centrale), fermo restando le elevate concentrazioni di CO₂ che suggerirebbero un'origine profonda della stessa, mostrano valori di $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ nettamente negativi e tipicamente associati a processi microbiologici.

La composizione isotopica dei gas disciolti caratterizzati da concentrazioni intermedie di CO₂ in soluzione (cerchi arancioni in *Figura 52*), sembrerebbe individuare una CO₂ di origine profonda (intervallo isotopico da degassamento mantellico) soltanto ad Acqua Fitusa (settore centro-settentrionale dell'area di studio) e Molinelli (settore occidentale); mentre per Mangalaviti, La Palmara, Pozzo Praga, Pozzo Cavallaro, Acqua Fridda, Montagnareale, Pozzo Giambò V., Pozzo Puliafito, Sorgente Fetente, Pozzo di Perla e S. Gulfa (prelevati nell'area peloritana) è stato evidenziato un segnale isotopico relazionabile con una CO₂ prevalentemente biogenica. Per Pozzo Isgrò e Contrada Mendola (prelevati lungo il settore tirrenico dell'area peloritana), i cui valori di $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ sono rispettivamente pari a -11.23 e -12.86‰, la sorgente di CO₂ sembrerebbe biogenica, seppur non si può escludere un piccolo contributo di CO₂ che abbia un'origine più profonda.

Infine, nei gas disciolti ove la concentrazione CO₂ è <20% in volume (cerchi gialli in *Figura 51*) prevale la componente biogenica. Si distinguono soltanto C. Faraone, prelevato nell'area peloritana tirrenica, S. Vuturo, proveniente dal settore occidentale e Aragona e Terrapelata, appartenenti al bacino di Caltanissetta, con valori isotopici rispettivamente di -0.38, -2.44, -8.22 e -9.57‰ vs PDB. In particolare C. Faraone ricade perfettamente nell'intervallo isotopico tipico di processi termometamorfici, mentre per i campioni Maccalube di Aragona, S. Vuturo e Maccalube di Terrapelata si potrebbe ipotizzare un contributo mantellico. L'anidride carbonica emessa dai vulcani di fango (Aragona e Terrapelata) è generalmente associata ad un'origine crostale, ed è peculiare individuare valori di questo genere che suggeriscono un contributo da degassamento mantellico. È da sottolineare, come riportato da Tassi et al. (2012b), che nei fluidi arricchiti in metano, la produzione di anidride carbonica sia associata all'ossidazione anaerobica di idrocarburi pesanti, seguita in molti casi da metanogenesi secondaria, processo in grado di arricchire la CO₂ residuale in ¹³C (Pallasser, 2000, Etiope et al., 2009).

Inoltre, la CO₂, essendo molto più solubile del CH₄ in acqua, subisce processi di frazionamento isotopico legati all'interazione tra i fluidi che risalgono in superficie e le falde acquifere superficiali, contribuendo ulteriormente alla variazione dei valori δ¹³C-CO₂. Quindi, le variazioni isotopiche osservate nei campioni caratterizzanti l'area di studio sono presumibilmente il risultato di processi di mixing in differenti proporzioni tra gas di origine biogenica e gas di origine mantellica e/o termometamorfica, anche se potrebbero riflettere l'effetto di processi di frazionamento secondari.

Nel diagramma di *Figura 53*, viene messa in relazione la concentrazione di CO₂ in soluzione nelle acque emergenti nel settore di studio con la concentrazione in CH₄ al fine di ipotizzare le possibili origini del metano. In assenza del dato isotopico del metano, che ci consenta di definire l'origine di questo gas nei diversi campioni (il dato isotopico è disponibile soltanto per i campioni provenienti dalle maccalube), possiamo ipotizzare, che l'origine del metano nei campioni che presentano le concentrazioni più

elevate di CO_2 , molto probabilmente sia biogenica o termogenica. Nei campioni termali Sclafani B. e Acqua Fitusa, che si rinvencono ai margini della spessa sequenza sedimentaria che riempie il Bacino di Caltanissetta, le elevate concentrazioni di CH_4 (dal 15 all'8%) potrebbero essere associate a contributi significativi da sorgente termogenica (Tassi et al. 2012a).

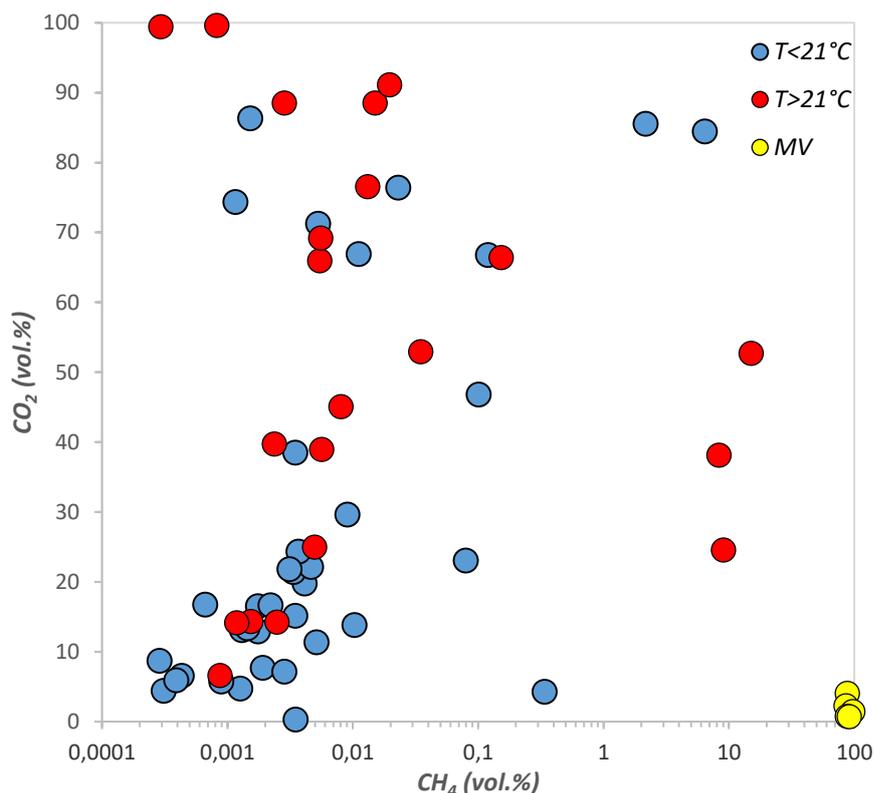


Figura 53 Diagramma binario CO_2 vs CH_4 nei gas disciolti. I cerchi gialli rappresentano i gas liberi prelevati dai vulcani di fango.

I campioni prelevati dai vulcani di fango presentano concentrazioni in metano fino al 99%, queste emissioni, come sottolineato dai dati isotopici del carbonio nel metano esibiti in diverse note scientifiche, sono alimentate da fonti organiche poste a profondità superiori a 3000 m, in un ambiente genetico caratterizzato da alte pressioni e temperature nell'intervallo di temperatura 100-120 °C (Etiopie et al., 2002; Grassa et al., 2004; Tassi et al., 2012a). I campioni dominati dalla componente superficiale, che si dispongono all'origine degli assi di Figura 52 e che presentano un incremento nei tenori di CH_4 , sono verosimilmente caratterizzati da un'origine superficiale dello stesso.

I campioni arricchiti in metano, prelevati dai vulcani di fango, presentano elevate concentrazioni in elio totale. Tale arricchimento evidenzia una notevole produzione di elio radiogenico e lunghi tempi di residenza dei gas nel sottosuolo. Stessi processi possono essere ipotizzati per le sorgenti termali di Sclafani Bagni e Acqua Fitusa, rinvenute nel settore centrale dell'area di studio, ai bordi dell'imponente sequenza sedimentaria Neogenica-Quaternaria, le quali presentano elevate concentrazioni di elio totale (fino a 0.16% nel campione Sclafani Bagni). Di contro i gas associati alle sorgenti termali mostrano contenuti relativamente più bassi in elio, come evidenziato in altre sorgenti termali che caratterizzano l'Appennino centro-settentrionale (Minissale et al., 2000).

I valori isotopici dell'elio, determinati in un ristretto numero di campioni (T. Marino 1 e 2, T. Granata, T. Grazia, Berlingheri, Parco Giochi, P. Pintaudi, S. Fetente e Terme Augusto nel settore orientale; Aragona, Terrapelata, Aragona, Bissana, Acqua Fitusa e Sclafani Bagni nel settore centrale dell'area di studio; e Terme Selinuntine e Acqua Pia nel settore più occidentale) spaziano tra 0.41 e 2.68 R/Ra con un rapporto $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$, utilizzato per correggere il dato isotopico misurato per spettrometria di massa, che varia di tre ordini di grandezza (0.30 – 287). Considerando i valori isotopici tipicamente associati ai tre end-member di provenienza dell'elio: (1) R/Ra= 1 nell'aria; R/Ra ~0.02 nella crosta (il valore di R/Ra è molto più basso di quello misurato nell'aria a causa della continua produzione nella crosta di ^4He derivante dal decadimento radioattivo di Th, K e U); R/Ra di ~8 nel mantello (Sano and Wakita, 1985), i valori misurati nei gas disciolti risultano al di sopra di quelli tipicamente attesi nella crosta, suggerendo un contributo variabile di He di origine mantellica. Il valore più elevato di R/Ra è stato misurato nel settore occidentale dell'area di studio (Sciacca: 2.68Ra), mentre quello più basso è stato registrato nel settore centro-settentrionale (A. Fitusa: 0.42Ra). Essendo l'elio un gas chimicamente inerte, fisicamente stabile e altamente mobile il suo rapporto isotopico, viene largamente impiegato in geochimica per risalire alla sua origine in diversi contesti geologici.

Plottando i rapporti isotopici dell'elio non corretti rispetto alla contaminazione atmosferica contro i rapporti $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ nel diagramma di *Figura 54*, è evidente dalla loro distribuzione, che l'origine dell'elio derivi da un mixing in differenti proporzioni tra elio primordiale (^3He), elio radiogenico (^4He) ed elio atmosferico. Alcuni campioni, quali P. Pintaudi, S. Fetente e T. Augusto, prelevati lungo la fascia costiera tirrenica peloritana esibiscono rapporti $^4\text{He}/^{20}\text{Ne} < 0.5$, comparabili con quello atmosferico (0.268). Sulla base dei valori di R/Ra e $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ misurati nella crosta, nell'atmosfera e nel mantello pari a 0.02 e 1000, a 1 e 0.268 (per i gas disciolti vedasi Yuce et al., 2014) e 6.5 e 1000, rispettivamente è stato possibile stimare le frazioni di elio provenienti da ciascun end-member, usando il sistema di equazioni proposto da Sano e Wakita (1985):

$$(^3\text{He}/^4\text{He})_c = (^3\text{He}/^4\text{He})_a \times A + (^3\text{He}/^4\text{He})_m \times M + (^3\text{He}/^4\text{He})_r \times R \quad (11)$$

$$1/(^4\text{He}/^{20}\text{Ne}) = A/(^4\text{He}/^{20}\text{Ne})_a + S/(^4\text{He}/^{20}\text{Ne})_m + R(^4\text{He}/^{20}\text{Ne})_r \quad (12)$$

$$A + M + R = 1 \quad (13)$$

dove c, a, m, r stanno rispettivamente per: campione, atmosfera, mantello e radiogenico. Invece di utilizzare come end-member profondo un mantello di tipo MORB (mid-ocean ridge basalts, $R/Ra = 8 \pm 1$) abbiamo utilizzato un mantello di tipo SCLM (sub continental lithospheric mantle, $R/Ra = 6.5$). Infatti, vari studi scientifici hanno dimostrato che l'end-member mantellico nell'area mediterranea abbia valori di R/Ra pari a 6.5 ± 1 (Dunai e Baur, 1995; Gautheron et al., 2005; Shimizu et al., 2005; Torfstein et al., 2013, Yuce et al., 2014). Le percentuali di elio stimate per i tre end-member sono mostrate in *Tabella a3* (Appendice) e in *Figura 54*.

Il contributo di elio radiogenico è dominante nella maggior parte dei campioni nell'intervallo 4 – 93%, mentre il contributo di elio mantellico varia dall'3 al 41%. Soltanto nei campioni T. Augusto, P. Pintaudi e S. Fetente è stato stimato un elevato contributo atmosferico nell'intervallo 58 – 89%, peraltro già evidenziato in questi campioni da un rapporto $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ prossimo a quello dell'acqua satura d'aria (ASW, $^4\text{He}/^{20}\text{Ne} = 0.268$). Il campione che mostra il contributo più elevato di elio-3 (mag%= 41)

supportato da un elevato rapporto $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ (287) è il campione T. Selinuntine prelevato nel settore occidentale dell'area di studio. Viceversa il campione che esibisce la componente atmosferica maggiore (atm%= 89) e basso valore di He/Ne (0.3) è il campione T. Augusto campionato lungo la fascia tirrenica del settore orientale dell'area di studio.

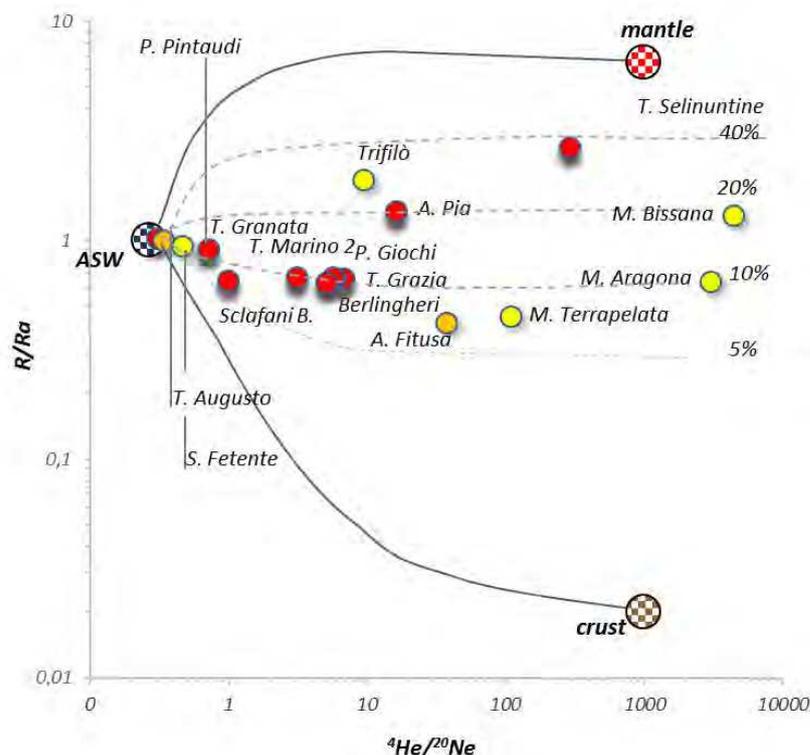


Figura 54 Diagramma R/Ra vs $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$. All'interno del grafico sono riportati i tre end-member atmosfera/crosta/mantello come riferimento.

La Figura 55 mostra come la percentuale di elio mantellico rinvenuto nei fluidi campionati vari in funzione della distribuzione areale dei campioni. Il settore occidentale dell'area di studio è quello caratterizzato dalle più alte percentuali di elio di derivazione mantellica (21 – 41 %) così come già evidenziato in altri studi (Caracausi et al., 2005; Capaccioni et al., 2011), la componente radiogenica è preponderante (59 – 78 %). Nei campioni Acqua Pia e Terme Selinuntine, i dati isotopici del carbonio (-6.5 e -5.61 ‰ V-PDB) indicano un'origine mantellica della CO_2 e sono associati ad elevati valori isotopici dell'elio (1.36 e 2.68Ra, rispettivamente) indicativi di una prevalente

componente crostale ma con un rilevante contributo di elio di derivazione mantellica ed una componente atmosferica bassissima.

Procedendo dal settore occidentale dell'area investigata verso quello più centrale, la componente radiogenica tende ad aumentare, divenendo prevalente (66-93 %), mentre il contributo mantellico tende ad abbassarsi procedendo verso l'interno della sequenza sedimentaria che riempie il bacino di Caltanissetta. In corrispondenza della Maccaluba di Bissana il valore isotopico misurato ($1.31R_a$) è molto più elevato di quello comunemente riscontrato nelle manifestazioni a CH_4 dell'Appennino settentrionale (Minissale et al., 2000). Il contributo di elio mantellico calcolato per tale campione si attesta intorno al 20%, in linea con la percentuale stimata nell'emergenza termale di Montavago, nel settore occidentale. All'interno del bacino neogenico, in corrispondenza della Maccaluba di Aragona, il contributo di elio mantellico diminuisce sensibilmente (~10%). Percentuali di elio mantellico molto più basse, seppur non trascurabili, sono state stimate anche nelle due sorgenti termali Sclafani Bagni e Acqua Fitusa e nella Maccaluba Terrapelata (~6%).

Nel settore orientale (area peloritana) troviamo delle differenze in termini geochimici tra le emergenze che caratterizzano il settore ionico e quelle che caratterizzano il settore tirrenico. I campioni prelevati nel settore ionico sono caratterizzati da una composizione isotopica dell'elio piuttosto costante, con valori compresi tra 0.62 e 0.85 R_a , sottolineando una tipica derivazione crostale. Il contributo radiogenico in questi campioni è predominante (~85 %) con una frazione di derivazione mantellica <10%. Il contributo atmosferico risulta essere basso in tutti campioni, soltanto nel campione T. Granata, caratterizzato da un rapporto $^4He/^{20}Ne$ di 0.7, tale contributo raggiunge il 37% circa. Diversamente dal settore ionico, i campioni prelevati in quello tirrenico mostrano una composizione isotopica dell'elio compresa tra 0.86 e 1.33 R_a , associati però a rapporti $^4He/^{20}Ne$ molto bassi, per i quali è stata stimata una predominante componente atmosferica (58-89 %), un contributo di elio magmatico molto basso e molto variabile da campione a campione (P. Pintaudi: 4%, S. Fetente: 3% e T.

Augusto: 7%), ed una componente radiogenica che si attesta tra 4 e 38%. Fa eccezione la polla gorgogliante Trifilò (anch'essa emergente nel settore tirrenico dei Peloritani) prelevata a circa 2 km di distanza dal campione termale T. Augusto la quale mostra, diversamente da quest'ultimo, una predominante origine radiogenica dell'elio (68%), con una frazione di elio di derivazione mantellica a poco meno del 30%. Un importante contributo di elio di origine magmatica nell'area tirrenica, come quello evidenziato da questo studio, era stato già documentato, per lo stesso campione, da Giammanco et al. (2008). Inoltre, valori di $2.5R_a$ erano stati individuati in un campione prelevato a Capo Calavà, a poche centinaia di metri dal campione S. Fetente e a circa 20 km di distanza dal campione T. Augusto e Trifilò (Sano et al., 1989). Peraltro, le due aree in cui sono state determinate le percentuali di elio di derivazione mantellica, nel settore occidentale (Piana di Sciacca, Montevago, Bissana) e nel settore orientale (fascia costiera tirrenica), corrispondono alle aree più vicine alle due grandi anomalie di flusso di calore evidenziate da Cataldi et al. (1995): il Canale di Sicilia da una parte e il bacino tirrenico dall'altra.

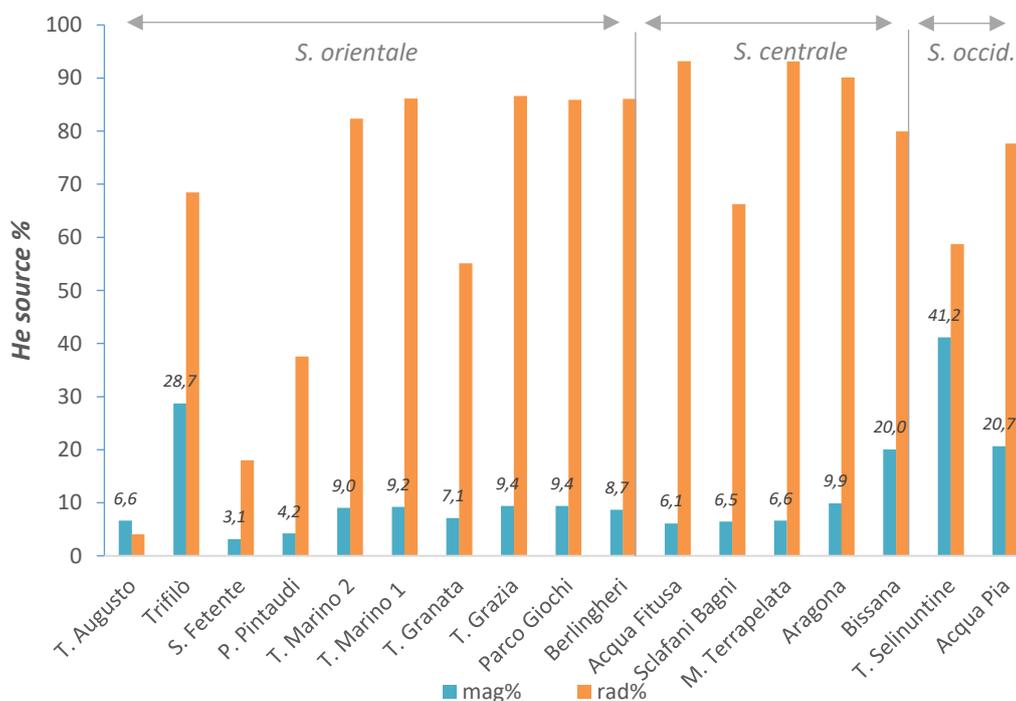


Figura 55 Percentuale di elio derivante dai due end-member (crosta/mantello) e distribuzione areale dei campioni all'interno dell'area di studio.

Suddividendo i campioni sulla base della disposizione geografica all'interno dell'area di studio e plottando il rapporto R/Ra rispetto al rapporto $CO_2/{}^3He$ determinato nei campioni (Figura 56), possiamo evidenziare ancora una volta come i fluidi tendano a disporsi lungo una linea di mixing tra l'end-member crostale e quello mantellico e come alcuni fluidi che caratterizzano l'area investigata presentino rapporti $CO_2/{}^3He$ tipici di fluidi di origine mantellica. Tale diagramma è consistente con quello di Figura 55, in quanto il più grande contributo da sorgente magmatica si ha nel settore occidentale, mentre la più bassa percentuale caratterizza i fluidi che emergono nel settore più centrale dell'area di studio.

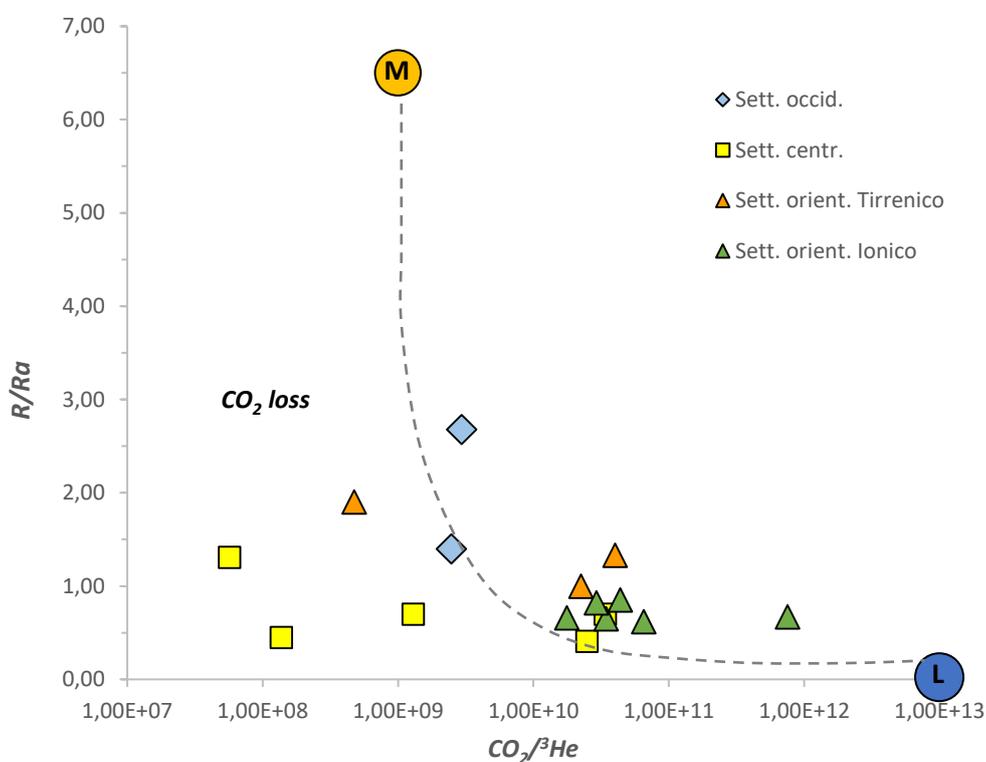


Figura 56 $CO_2/{}^3He$ vs R/Ra plottate in funzione della distribuzione areale dei campioni. SO, settore occidentale; SE, settore orientale; SC, settore centrale. L'end-member crostale (L) e l'end-member mantellico (M) sono riportati come riferimento.

I rapporti $CO_2/{}^3He$ sono particolarmente variabili, evidenziando valori indicativi di una chiara origine mantellica (nell'intervallo di valori compresi tra 1×10^9 e 1×10^{10}) e valori di un ordine di grandezza superiore, normalmente associati a litologie crostali (Marty and Jambon, 1987; O'Nions and Oxburgh, 1988; Hooker et al., 1985). Soltanto i campioni

Aragona (sette centrale dell'area di studio), Acqua Pia e T. Selinuntine (sette occidentale), rispettivamente con rapporti $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ pari a 1.29×10^9 , 2.53×10^9 e 2.95×10^9 , mostrano rapporti che rientrano nel tipico intervallo di fluidi mantellici.

Plottando i campioni per i quali è disponibile il rapporto isotopico dell'elio all'interno del diagramma di *Figura 57*, che mette in relazione la concentrazione di CO_2 in soluzione con il rapporto $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ calcolato nei gas disciolti, possiamo fare alcune importanti considerazioni.

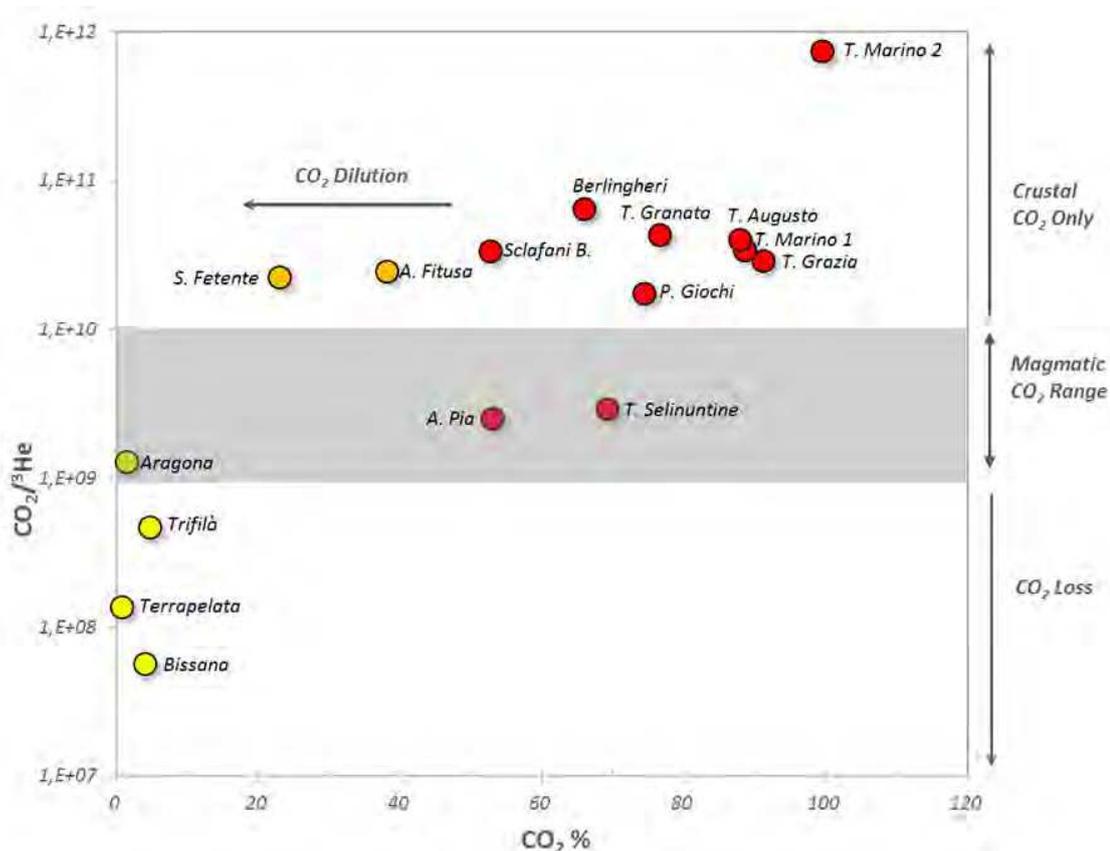


Figura 57 Diagramma $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ vs $\text{CO}_2\%$ in volume delle acque investigate. L'area grigia rappresenta l'intervallo di rapporto $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ tipicamente rinvenuto in fluidi derivanti dal mantello.

Come già ricordato, gli unici campioni a ricadere nell'intervallo tipico dei fluidi di origine mantellica sono Aragona, Acqua Pia e T. Selinuntine. Per gli altri campioni per i quali la composizione isotopica della CO_2 sembra evidenziare una prevalente origine da processi termometamorfici ed un contributo magmatico relativamente basso, quali T.

Granata, T. Augusto, T. Grazia e C. Faraone, i rapporti $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ sembrerebbero dare conferma della predominante origine crostale della CO_2 .

Viceversa per i campioni Sclafani Bagni, T. Marino 1 e Acqua Fitusa, per i quali i valori di composizione isotopica della CO_2 ricadevano nel range tipico dei fluidi mantellici (valori di $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ compresi tra -5.61 e -2.65‰), i rapporti $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ (rispettivamente, 3.39×10^{10} , 3.43×10^{10} e 2.48×10^{10}) evidenziano una prevalente origine crostale della CO_2 , anche se non è possibile escludere il contributo di una sorgente più profonda, mantellica. I campioni Berlingheri, T. Marino 2 e Parco Giochi, per i quali non siamo in possesso del dato isotopico della CO_2 ma per i quali è disponibile la composizione isotopica dell'He, mostrano rapporti $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ (rispettivamente, 6.5×10^{10} , 7.51×10^{11} e 1.76×10^{10}) che evidenziano una sorgente prevalentemente crostale in origine. Infine, i campioni Terrapelata, Bissana (Bacino di Caltanissetta) e Trifilò (area peloritana tirrenica), presentano i più bassi rapporti $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ (rispettivamente, 1.36×10^8 , 5.68×10^7 , e 4.73×10^8), e ricadono al di sotto dell'area "grigia", ovvero al di fuori dell'intervallo che individua i fluidi mantellici. I bassi rapporti $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ possono essere diretta conseguenza della perdita di CO_2 e/o un'acquisizione di He (Marty & Jambon, 1987). Proprio a causa della grande differenza in solubilità che presentano queste due specie gassose, l'interazione tra fase gassosa profonda e acquiferi superficiali potrebbe portare ad una preferenziale dissoluzione della specie più solubile (la CO_2). Tale processo comporta una diminuzione progressiva del contenuto in CO_2 mentre la specie meno solubile (l'He) ne risulterà arricchita. Questo processo, già evidenziato da Giammanco et al. (2008), ha permesso di spiegare la bassa concentrazione di CO_2 e l'elevata concentrazione di He in soluzione nel campione Trifilò. La perdita di CO_2 e l'arricchimento in ${}^4\text{He}$ è evidente anche nei campioni provenienti dalle manifestazioni a CH_4 che caratterizzano il bacino di Caltanissetta.

7.4 Relazione tra fluidi circolanti e tettonica

Differenti concentrazioni di He e CO₂ disciolti nelle acque sono il risultato di un mixing in diverse proporzioni tra una componente crostale e una componente mantellica, che riflette le diverse configurazioni tettoniche lungo tutta l'area di studio.

Come già espresso nei capitoli precedenti, il complesso assetto geodinamico che caratterizza il Mediterraneo Centrale è frutto dell'interazione tra il dominio europeo da una parte e quello africano dall'altro. La collisione del blocco sardo-corso con il margine continentale africano è infatti considerata la principale causa della deformazione compressiva che caratterizza l'orogene Siciliano (Catalano et al., 1996 e riferimenti bibliografici inclusi). Tale settore della catena Appenninico-Maghrebide si estende tra due importanti zone in estensione, il Canale di Sicilia a sud e il bacino di retroarco tirrenico a nord.

Lo stato compressivo che caratterizza gran parte del territorio oggetto di questo studio (eccezione fatta per il settore Peloritano attualmente interessato da tettonica estensionale) è molto ben evidenziato in *Figura 4* (capitolo 2 Inquadramento geologico) e più volte sottolineato dagli studi di Carminati & Doglioni (2012) e Carafa & Barba (2013). Sulla base dei valori di flusso di calore (Cataldi et al., 1995), le aree con valori >200 mW/m² si individuano proprio in corrispondenza del bacino tirrenico a nord e nel Canale di Sicilia a sud. I valori più elevati di gradiente geotermico nell'area di studio si rinvencono soltanto a Sciacca con valori sino a 65-70 mW/m² e nel settore compreso tra le Madonie e i Mt. Nebrodi con valori sino a 70 mW/m².

Come evidenziato in numerosi studi scientifici (Hoocker et al., 1985; Sano et al., 1989; Tedesco, 1997), elevati rapporti R/Ra si rinvencono tipicamente nelle regioni di arco e retroarco vulcanico, mentre bassi rapporti sono ricorrenti nelle aree continentali per l'elevata produzione di elio radiogenico osservato in conseguenza del decadimento di uranio, torio e potassio presenti nella crosta. Recenti studi correlano però il rinvenimento di ³He non solo alla presenza di magma intruso in profondità nella crosta

ma anche alla presenza di faglie con componente estensionale che si spingono in profondità (Caracausi et al., 2013; D'Alessandro et al., 2014; Yuce et al., 2014). In considerazione del fatto che i sistemi termali fin qui descritti siano lontani dalle condizioni sopra riportate e per lo più caratterizzate da una tettonica prevalentemente di tipo compressivo, la presenza di così elevati valori di R/R_a , decisamente superiori a quelli associati a fluidi crostali ($0.02R_a$), non può che essere legata all'ipotesi che vi sia una connessione con il mantello tramite sistemi di faglie con componente estensionale che fungono da vie preferenziali per la risalita delle specie campionate in superficie.

Dal punto di vista geodinamico e geochimico distinguiamo tre grandi domini. Il dominio occidentale, entro cui ricadono i due importanti sistemi idrotermali di Sciacca (T. Selinuntine) e Montevago (Acqua Pia) che si sviluppa leggermente più a nord. Nell'area di Sciacca sono presenti diverse emergenze termali caratterizzate da temperature variabili tra 22 e 54.8 °C, TDS compresa tra 532 e 23194 mg/L ed un chimismo da bicarbonato alcalino terroso nei termini meno salini (Casa Cutrone), a solfato alcalino-terroso (Fontana Calda 1 e 2, Vallone River) nei termini intermedi, a specificatamente clorurato alcalino nei termini più salini (Molinelli, Acqua Santa e T. Selinuntine). Tali acque, circolanti all'interno del serbatoio carbonatico individuato nei calcari mesozoici, sono tipicamente arricchite in CO_2 mista in concentrazioni variabili a N_2 , da cui ne consegue una composizione mista CO_2-N_2 (il contenuto maggiore è stato determinato in T. Selinuntine, 69% in volume di CO_2 in soluzione). Tali manifestazioni, emergenti nel settore occidentale dell'area di studio, sono caratterizzate dalla presenza di elevate concentrazioni di CO_2 in soluzione, associate a valori di $\delta^{13}C-CO_2$ indicativi di un'origine mantellica della stessa e da elevati rapporti R/R_a e He/Ne che confermano la presenza di He mantellico in una percentuale pari al 41%. Spostandoci poco più a nord nell'area di Montevago, caratterizzata dalle due emergenze S. Vuturo e Acqua Pia, il chimismo diventa di tipo clorurato alcalino-terroso nella prima e più solfato alcalino terroso nella seconda, le temperature, la salinità e la concentrazione di CO_2 in

soluzione tendono a diminuire (massimo valore nel campione Acqua Pia, 52% di CO₂ in volume) e persino i valori di R/Ra e He/Ne sottolineano una componente mantellica inferiore, seppur elevata (21%). Studi precedenti, condotti da Caracausi et al. (2005) e Capaccioni et al. (2011), avevano già individuato la presenza di rapporti di R/Ra così elevati e collegato tali evidenze geochemiche alla presenza di magma nel sottosuolo, come conseguenza delle due eruzioni che hanno interessato il canale di Sicilia nel 1831 e nel 1863 e che hanno generato l'Isola Ferdinandea, di cui oggi rimangono solo i resti conosciuti come "Banco di Graham". Per riconciliare l'assetto tettonico della Sicilia occidentale, che come abbiamo visto è dominata da regime compressivo, con la risalita di fluidi mantellici, è necessario invocare la presenza di sistemi di faglie profonde collegate al mantello, con un'importante componente estensionale.

Spostandoci verso il settore centrale della Sicilia, al bordo fra la catena magrebide e il bacino di Caltanissetta si collocano gli altri due sistemi termali: Acqua Fitusa, nell'area di S. Giovanni Gemini, e Sclafani Bagni, nell'area madonita. Tali sistemi sono dominati da un chimismo delle acque clorurato sodico, con temperature rispettivamente di 24 e 34 °C e TDS di 2161 mg/L e 10426 mg/L. Tali acque sono associate ad una componente mista CO₂-N₂, così come nel settore occidentale, oltre ad un importante contenuto di CH₄ (rispettivamente dell'8 e del 15%). Rispetto alle emergenze che caratterizzano il settore occidentale dell'area di studio, la composizione isotopica del carbonio e dell'elio confermano un'origine delle due specie prevalentemente crostale ma mostrano ancora un significativo contributo di ³He stimato intorno al 6%. Entrando all'interno del Bacino di Caltanissetta (regno delle cosiddette "maccalube", termine con il quale vengono indicate le manifestazioni eruttive di fango - "vulcani di fango" -, acqua salata a composizione clorurato sodica ed a CH₄ - fino al 97.5% - dominante), l'assetto geologico evidenzia potenti spessori terrigeni Oligo-Miocenici che sovrastano la sequenza carbonatica Mesozoica. I valori di δ¹³C-CO₂ sono molto diversi da campione a campione e denotano processi che spaziano da un'origine prevalentemente organica della CO₂ (nel campione Bissana) a valori ove è riscontrabile una componente

mantellica (Aragona), mentre i rapporti isotopici dell'elio decrescono dal settore più esterno a quello più interno del bacino sedimentario Neogenico (1.31 a Bissana, 0.7 ad Aragona e 0.4 a Terrapelata). Tali rapporti denotano un'origine dell'elio prevalentemente radiogenica ma con un contributo di elio mantellico non trascurabile, che passa dal 20 al 6% nel settore più interno del bacino. Tali percentuali sembrerebbero evidenziare l'esistenza di zone di debolezza crostale sino ad elevata profondità e le strutture rappresenterebbero le vie preferenziali di risalita dei gas sia di origine crostale (gli idrocarburi) sia quelli più profondi. L'origine della composizione isotopica del metano è un valido aiuto nella comprensione dell'origine dei gas e dei processi di migrazione verso la superficie. Diversi studi scientifici (Grassa et al., 2004; Martinelli & Judd, 2004; Etiope et al., 2007; Martinelli et al., 2012; Tassi et al., 2012a) si sono occupati dell'analisi della composizione isotopica del metano di numerose manifestazioni a metano presenti in Italia e in Sicilia. Come è noto dalla letteratura (e.g. Schoell, 1980), il rinvenimento degli idrocarburi in questo tipo di manifestazioni, può essere riconducibile a due processi: l'alterazione termica (origine termogenica) e la decomposizione microbica di sostanza organica (origine batterica) ed ognuno di questi processi è marcato da una firma isotopica differente. Tali autori, sulla base dei valori di composizione isotopica che presentano tali manifestazioni e con l'aiuto di diagrammi classificativi, concordano su un'origine del metano prevalentemente riconducibile a processi termogenici sia nel gas emesso a Palazzo Adriano (Fuoco di Censo), sia in quello emesso ad Aragona (unici campioni per quali siano noti i valori isotopici di deuterio e del carbonio nel metano, rispettivamente $\delta^{13}\text{C-CH}_4 = -35.1\text{‰}$ vs PDB e $\delta\text{D-CH}_4 = -146\text{‰}$ vs SMOW e $\delta^{13}\text{C-CH}_4 = -45.1\text{‰}$ vs PDB e $\delta\text{D-CH}_4 = -178\text{‰}$ vs SMOW; Grassa et al., 2004; Martinelli et al., 2012; Tassi et al., 2012).

Nel settore orientale due sono le strutture crostali note che agiscono e che veicolano la risalita delle specie volatili, ovvero: il sistema "Patti-Eolie", che si connette a terra con il sistema "Tindari-Letojanni" (Ghisetti e Vezzani, 1977), e il "sistema di Messina" (Italiano et al., 2006). Il sistema Tindari-Letojanni mostra caratteri deformativi

transtensionali, ovvero la coesistenza di componenti estensionali e trascorrenti (Neri et al., 1996); il sistema di Messina è caratterizzato da faglie a prevalente componente estensionale (Ghisetti, 1992, Italiano et al., 2006). La composizione chimica delle emergenze che caratterizzano l'area orientale rispecchia la loro differente ubicazione sul settore tirrenico e ionico. Il sistema Eolie-Tindari-Letojanni, orientato in direzione NO-SE (Grassa et al., 2006; Camarda, 2008, Giammanco et al., 2008) rappresenterebbe la via preferenziale di risalita dei gas profondi, che caratterizzano il settore tirrenico. Tale settore è dominato dal sistema idrotermale presente a Terme Vigliatore (campione T. Augusto) e da processi di degassamento largamente diffusi sia a terra che a mare. La fascia costiera interessata da questi fenomeni è principalmente compresa tra Terme Vigliatore e Capo Calavà, ed è caratterizzata dall'emissione di fluidi con composizione chimica, temperatura e TDS molto variabili, così come molto diversi sono i tenori di CO₂ rinvenuti nei gas disciolti, con le concentrazioni più elevate determinate nei campioni T. Vigliatore (99.6%) e P. Napoli (84.4%), la cui origine suggerita dai valori isotopici del carbonio nella CO₂, sembrerebbe associata rispettivamente a processi termometamorfici e processi mantellici. L'origine prevalentemente crostale della CO₂ nel campione T. Augusto sarebbe confermata anche dai rapporti CO₂/³He, mentre non è possibile vincolare l'origine dell'elio nel campione P. Napoli, in quanto non è disponibile il valore di R/Ra. Purtroppo, in base ai valori isotopici dell'elio relativi all'area tirrenica, la componente atmosferica è risultata sempre prevalente con un intervallo tra 58 e l'89%. L'unico campione nel quale è stato identificato un importante contributo di elio di derivazione mantellica è il campione Trifilò (29%).

Sulla fascia costiera ionica lungo il "sistema di Messina", nell'area di Ali Terme, nelle emergenze termali e fredde, il gas disciolto prevalente è la CO₂ con tenori variabili dal 65.9 al 99.4% in volume e $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ compresi fra -2.65 e -1.86 ‰ tipicamente attribuiti ad un'origine crostale della CO₂ legata a reazioni termometamorfiche. Anche i rapporti

R/Ra (0.67 – 0.91Ra) sono associabili ad un prevalente contributo radiogenico (54-86 %) ed un contributo mantellico <10 %.

La variabilità e la complessità delle caratteristiche geochemiche che presentano i fluidi, costituenti l'area di studio e che a volte si rinviene anche in campioni adiacenti, sono coerenti con la complessa situazione geodinamica che contraddistingue la Sicilia. Tale studio mette in evidenza che il degassamento mantellico che interessa il settore occidentale della Sicilia (come precedentemente riportato in Caracausi et al., 2005 e Capaccioni et al., 2011) caratterizza in parte il settore centrale ed orientale della Sicilia. L'individuazione di fluidi mantellici in contesti geodinamici come quelli appena descritti non può che essere giustificata dalla presenza di faglie che veicolano la risalita di questi fluidi profondi attraverso la crosta.

Peraltro, studi recenti, hanno documentato attraverso l'integrazione di dati geofisici a terra e offshore, geologici e geodetici processi deformativi attivi nella porzione sud-occidentale della Sicilia, in un'area spazialmente adiacente alla zona macrosismica interessata dal terremoto distruttivo del Belice del 1968 (Barreca et al., 2014). Tale studio, supportato ed in buon accordo con studi precedenti (Monaco et al., 1996; Lavecchia et al., 2007) documenta la presenza di processi sismotettonici che accomodano la compressione attiva al fronte della catena, con conseguente piegamento e fratturazione superficiale in risposta al movimento delle strutture profonde compressive sud-est vergenti. Inoltre, studi di sismica a riflessione, condotti nell'ambito del progetto SiRiPro, lungo il settore che si estende dalle Madonie e che attraversa il Bacino di Caltanissetta fino a Gela (settore centrale della Sicilia) hanno evidenziato la presenza di una fitta rete di faglie che si sviluppa lungo tutto il transetto e che attraversa la sequenza sedimentaria fino a raggiungere la porzione superiore della crosta e del sottostante mantello superiore (Catalano et al., 2013).

8. Modello geochimico concettuale dell'area di studio

Sulla base delle considerazioni discusse nei capitoli precedenti, di seguito vengono proposti dei modelli geochimici concettuali relativi alla circolazione sotterranea dei fluidi che caratterizza l'area di studio. Per semplicità di trattazione, l'area è stata suddivisa in tre settori: il settore occidentale, il settore centrale ed infine quello orientale. Per ognuno dei quali, oltre alla schematizzazione del circuito dei fluidi, sono stati evidenziati i principali processi d'interazione acqua-gas-roccia che regolano il chimismo delle acque e delle fasi gassose associate.

A partire dal lavoro di Montanari et al. (2014), nel quale, grazie all'integrazione di dati geologici e geofisici disponibili, con nuovi dati raccolti in aree chiave, è stata identificata la presenza di un unico serbatoio geotermico di estensione regionale all'interno delle unità carbonatiche del Mesozoico, è stato ricostruito l'andamento del serbatoio carbonatico, con un tipico sviluppo in alti e bassi strutturali, in conseguenza dell'evoluzione tettonica che ha interessato la Sicilia. Al fine di stabilire gli spessori in corrispondenza delle varie aree, è stato necessario tracciare la base del serbatoio carbonatico, definita grazie allo studio condotto da Cassano et al. (1986), che, attraverso il rilievo aeromagnetico eseguito a scala nazionale, ha permesso di fissare profondità ed assetto strutturale del basamento magnetico, considerato il livello più profondo, sotto il quale dovrebbe essere esclusa la presenza di rocce sedimentarie.

Nel settore occidentale dell'area di studio la successione sedimentaria, costituita da calcari e dolomie Mesozoiche, risulta prossima alla superficie e in diverse aree questa è visibile in affioramento. Tali affioramenti sono presumibilmente le aree di ricarica del sistema termale profondo. Al di sopra di questo imponente serbatoio carbonatico che, in corrispondenza del settore occidentale, raggiunge i 7-8 km di spessore (come evidenziato dagli alti strutturali del basamento magnetico ad elevata suscettività, con profondità comprese tra 6 e 9 km ed un andamento medio ONO-ESE), si imposta una spessa sequenza sedimentaria Neogenica-Quaternaria, costituita principalmente da depositi terrigeni, clastici ed evaporitici. Quest'ultimi fungono da copertura

impermeabile del sottostante sistema geotermico, a causa della loro bassa permeabilità media, seppur talora ospitino al loro interno acquiferi multi-strato separati da orizzonti impermeabili. In particolare, tali acquiferi superficiali e discontinui si rinvengono sia negli intervalli conglomeratico-arenacei della Formazione Terravecchia, nelle evaporiti Messiniane e nei livelli sabbiosi, conglomeratici e arenacei Plio-Pleistocenici. Il settore occidentale dell'area di studio (*Figura 58*) ospita due importanti sistemi idrotermali, quello di Montevago e quello di Sciacca, i quali presentano delle differenze composizionali ed isotopiche sia per la componente liquida che gassosa. La composizione chimica delle acque emergenti a Montevago evidenzia il mescolamento di tre componenti: i) una componente carbonatica, derivante dalla dissoluzione di calcite e dolomite che costituiscono il reservoir geotermico, ii) una componente solfatica, originata dalla dissoluzione di gessi che caratterizzano la porzione basale del serbatoio e iii) una componente clorurata, associata all'interazione fra fluidi profondi ed acquiferi più superficiali durante la risalita verso la superficie, da cui ne deriva una composizione $\text{Ca-SO}_4(\text{Cl})$. La composizione isotopica delle emergenze termali di Montevago risulta comparabile con quella della ricarica meteorica locale. La risalita dei fluidi termali che caratterizza quest'area parrebbe connessa al sistema di faglie, ad andamento NO-SE, che dominano la Valle del Belice. La conferma di una connessione diretta tra circolazione idrotermale e strutture tettoniche è ben documentata nel lavoro di Favara et al. (2001), ove sono state evidenziate variazioni significative nel tempo della chimica delle acque in corrispondenza di eventi sismici, come quelle riscontrate prima, durante e successivamente al catastrofico evento sismico del 1968. Le discontinuità tettoniche rappresentano le vie di risalita anche della fase gassosa che si origina nel mantello. Infatti, la composizione isotopica di CO_2 e He indica la presenza di magma accumulato sotto la crosta continentale. Le elevate concentrazioni di CO_2 in soluzione sono associate ad elevate concentrazioni di N_2 , da cui ne deriva una tipica composizione mista $\text{CO}_2\text{-N}_2$. I rapporti N_2/Ar , compresi tra quelli determinati in aria e

quelli determinati in acqua satura d'aria (ASW) suggeriscono un'origine atmosferica del gas.

Nell'area costiera rivolta al canale di Sicilia, insistono le tre principali emergenze termali T. Selinuntine, Molinelli e Acqua Santa (quest'ultima scomparsa a seguito dell'evento sismico del 1968), dominate da una composizione Na-Cl. Altre emergenze a più bassa salinità e chimismo Ca-HCO₃(SO₄) e Ca-HCO₃, quali Fontana Calda 1 e 2 e Casa Cutrone, caratterizzano l'area di Sciacca e risultano essere riconducibili a circuiti idrici più superficiali, come evidenziato dalla più bassa salinità e termalità. Diversamente dall'area di Montevago, la composizione chimica delle acque emergenti nel settore costiero evidenzia la presenza di una componente clorurata derivante dal mescolamento con acqua di mare in varie proporzioni, oltre ad una carbonatica e solfatica come già osservato per Montevago. Il campione di Terme Selinuntine è stato stimato avere una componente marina del 59% che si abbassa al 22% nella sorgente Molinelli. I dati isotopici di δD e $\delta^{18}O$ confermano la presenza di un fluido geotermico all'interno delle porzioni profonde dei carbonati Mesozoici. Tali campioni mostrano uno *shift* del $\delta^{18}O$ generalmente attribuito allo scambio isotopico tra fluido circolante e roccia incassante in condizioni di alta temperatura. In questi campioni, la cui componente clorurato sodica deriva principalmente dal mescolamento con acqua di mare, è stato ipotizzato un processo di mixing tra un'acqua meteorica e un'acqua di mare isotopicamente modificata da processi di scambio isotopico con la roccia incassante ad elevate temperature. Gli elevati tenori in Li e Sr sono indicativi di prolungati meccanismi di interazione acqua-roccia, con circolazione lenta, lunga e/o profonda. Le stime geotermometriche per i campioni T. Selinuntine, Molinelli e Acqua Santa hanno fornito temperature comprese tra 200 e 220 °C all'interno del serbatoio geotermico, in accordo con gli *shift* isotopici dell'ossigeno derivanti dai processi d'interazione acqua-roccia incassante a $T > 150$ °C osservati. Laddove la copertura impermeabile consente l'accumulo di gas nel serbatoio, la CO₂ raggiunge concentrazioni superiori (campione T. Selinuntine, CO₂ > 69%). Le elevate

concentrazione di CO_2 e la composizione isotopica del carbonio suggeriscono un'origine mantellica di questa specie. Il rapporto isotopico dell'elio, risultato il più elevato tra tutte le manifestazioni termali della Sicilia, con una percentuale di elio primordiale stimata intorno al 41%, può essere spiegata, in accordo con i precedenti studi condotti da Caracausi et al. (2005) e Capaccioni et al. (2011), con il fatto che l'elio viene trasportato attraverso sistemi di faglie profonde che agiscono come percorsi preferenziali per la risalita di fluidi profondi. La presenza di magma sotto la crosta potrebbe essere correlata alle due eruzioni che hanno interessato il canale di Sicilia nel 1831 e nel 1863 e che hanno generato l'isola Ferdinandea, di cui oggi rimangono solo i resti conosciuti come "Banco di Graham".

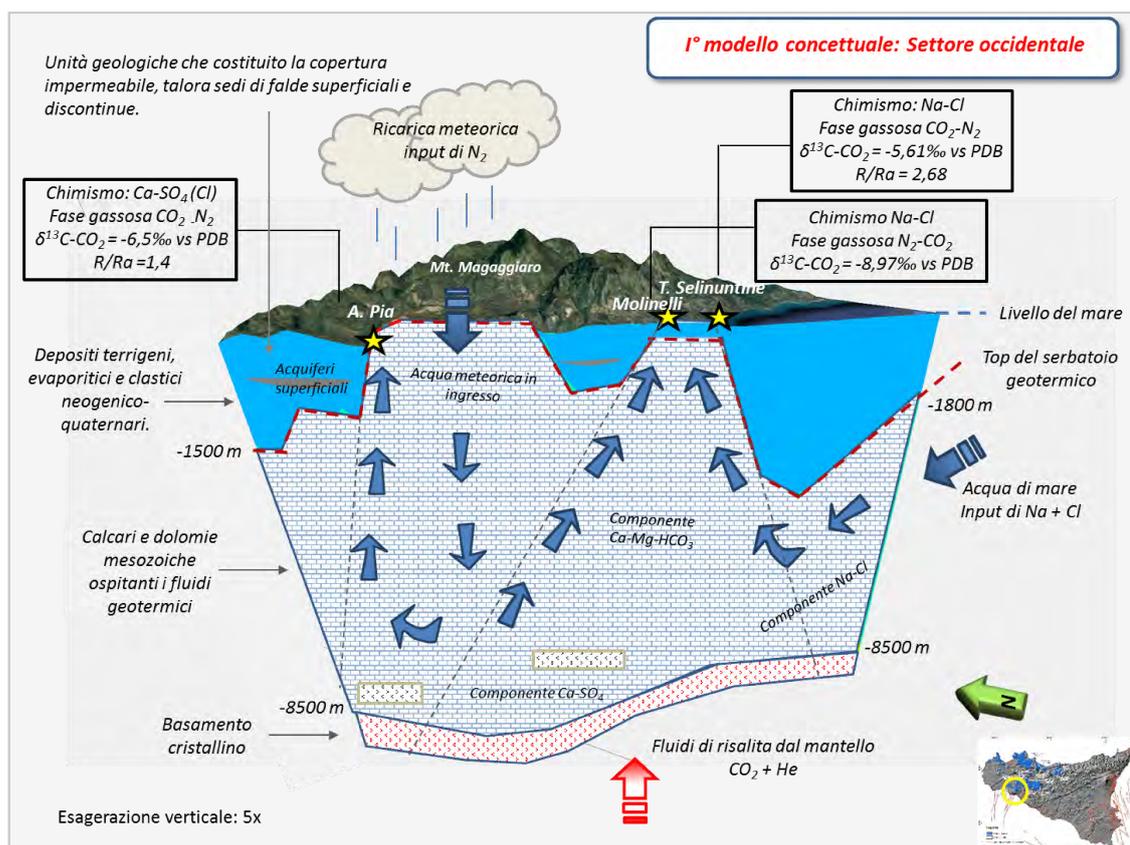


Figura 58 Modello geochimico concettuale della circolazione idrica sotterranea nel settore occidentale dell'area di studio ove viene riportata l'ubicazione delle principali emergenze termali. La ricostruzione del top del serbatoio carbonatico geotermico si basa sullo studio di Montanari et al. (2014). Andamento e profondità del basamento cristallino sono stati desunti dall'indagine di Cassano et al. (1986). I rettangoli presenti alla base della sequenza carbonatica mesozoica rappresentano lenti gessose rinvenute al loro interno.

Spostandoci verso est, nel settore più centrale dell'area di studio, la successione carbonatica ospitante i fluidi geotermici si approfondisce notevolmente, raggiungendo in alcuni punti i 7 km di profondità e le sorgenti termali lasciano il posto alle così dette maccalube o vulcani di fango (*Figura 59*). Tali morfologie caratterizzano il prisma di accrezione che si è sviluppato nella porzione anteriore del *Fold and Thrust Belt* appenninico maghrebide, che progressivamente migra verso sud, sopra l'avampaese pelagiano-africano (Bonini, 2009). Esse si originano nei potenti spessori terrigeni Neogenico-Quaternari, che riempiono il Bacino di Caltanissetta e che sovrastano la sequenza carbonatica Mesozoica. La loro origine è conseguenza di un elevato tasso di sedimentazione, tale da non consentire l'eliminazione dei fluidi e della sostanza organica presenti nei sedimenti al momento della deposizione. L'incremento della pressione interstiziale all'interno dei depositi terrigeni causa la riduzione dei volumi interni e l'espulsione di acque, gas e fango dai sedimenti, portando così alla formazione dei tipici vulcani sedimentari. Un incremento dello *squeezing*, indotto da cause interne od esterne al sistema sedimentario, può comportare l'innescio di vere proprie eruzioni e colate di fango con emissioni di gas metano. Attività di tipo parossistico, avvenute anche recentemente, sono note sia alle maccalube di Aragona, il cui ultimo catastrofico evento risale al settembre 2014, che a quelle di Terrapelata, relativo all'agosto del 2008 (Cangemi & Madonia, 2014; Madonia et al., 2011).

La composizione chimica dei fluidi emessi è tipicamente Na-Cl. L'acqua d'origine, verosimilmente acqua di mare, rimasta intrappolata al momento della sedimentazione, è stata successivamente modificata dal punto di vista chimico, come testimoniato dai rapporti ionici, fortemente differenti da quelli d'origine, sia dal punto di vista isotopico. Infatti tali acque presentano un marcato arricchimento della composizione isotopica dell'ossigeno, sia rispetto alle acque meteoriche che all'acqua di mare. Le variazioni riscontrate sono diretta conseguenza dei processi diagenetici che hanno interessato tali fluidi. Le concentrazioni di metano raggiungono valori fino al 97.5% in volume, a cui si associano in ordine di abbondanza N₂, CO₂ e O₂. L'origine del CH₄, suggerita dal

$\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$, è termogenica e si genera a profondità >3000m in condizioni di alta pressione con temperature comprese tra 100 e 120°C (Grassa et al., 2004; Tassi et al., 2012a). In questo settore della Sicilia, dominato da tettonica compressiva è stato riconosciuto un contributo derivante da fluidi mantellici sulla base dei rapporti isotopici dell'elio, che alle macalube di Aragona e di Terrapelata, sono pari, rispettivamente, a 0.7 e 0.4Ra. La presenza della componente mantellica, minoritaria rispetto a quella radiogenica raggiunge una percentuale non trascurabile, compresa fra il 6 e il 10% (con picchi del 20% nel campione Bissana). Così elevati contributi di elio primordiale rinvenuti in superficie possono essere relazionati alla presenza di fratture crostali a carattere regionale che si protraggono sino ad elevate profondità e che fungono da via preferenziale di risalita sia dei fluidi generatisi all'interno della spessa sequenza sedimentaria (il metano) che quelli generatisi a più elevate profondità (l'elio e l'anidride carbonica). Ai bordi di questo importante bacino, laddove il serbatoio carbonatico tende nuovamente a riaffiorare (in corrispondenza degli alti strutturali carbonatici) si rinvengono nuovamente le sorgenti termali. In particolare la sorgente di Sclafani Bagni, emergente nel settore madonita dell'area di studio, presenta un chimismo tipicamente NaCl, ed una salinità >10000 mg/L. L'elevata salinità riscontrata in questa sorgente, è stata associata al mescolamento con acque fossili, come evidenziato dai rapporti Br/Cl. Stime geotermometriche forniscono temperature di circa 120°C all'interno del reservoir geotermico. La fase gassosa disciolta a CO₂ prevalente, è ancora una volta associata a concentrazioni comparabili di N₂, proprio in conseguenza del fatto che tale gas, di origine atmosferica (come evidenziato dai rapporti N₂/Ar), raggiunge il serbatoio profondo come fase gassosa disciolta nelle acque di ricarica meteorica che s'infiltrano attraverso gli affioramenti carbonatici. Il dato isotopico della CO₂ riferisce un'origine profonda del gas ed in particolare da degassamento mantellico. Il valore isotopico dell'elio di 0.7, è indicativo del mixing tra un end-member prevalentemente crostale (⁴He) e un end-member più profondo (³He) il quale è stato stimato intorno al 6%.

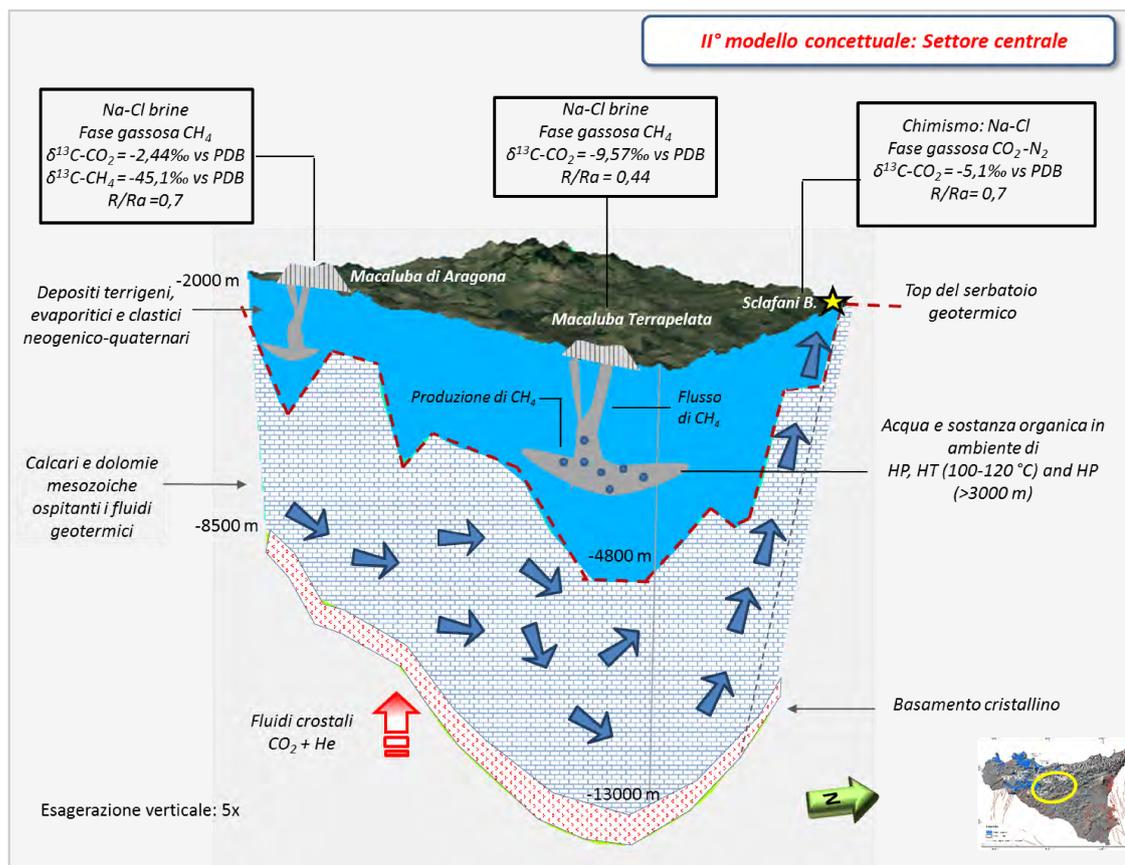


Figura 59 Modello geochimico concettuale della circolazione idrica sotterranea nel settore centrale dell'area di studio. Viene riportata l'ubicazione di due manifestazioni a metano e di una sorgente termale. La ricostruzione del top del serbatoio carbonatico geotermico si basa sul lavoro di Montanari et al. (2014). Andamento e profondità del basamento cristallino sono stati desunti dall'indagine di Cassano et al. (1986).

All'interno di quello che viene definito "l'elemento europeo", i.e. l'Arco Calabro-Peloritano, la circolazione idrotermale, veicolata da due importanti sistemi di faglia, si rinviene lungo le due aree costiere, quella tirrenica e quella ionica (Figura 60). Studi geodinamici (e.g. Roure et al., 1990; Montanari et al., 2014) suggeriscono una continuità delle unità appenninico-maghrebi carbonatiche al di sotto dell'Arco Calabro-Peloritano, il quale sarebbe sovrascorso su di esse durante il Langhiano-Tortoniano. Secondo la ricostruzione riportata da Montanari et al. (2014), la piattaforma carbonatica qui appare molto approfondita (fino a 6 km di profondità) ed evidenze geochimiche sembrerebbero supportare l'ipotesi di una circolazione idrotermale che interesserebbe la coltre metamorfica che caratterizza l'area peloritana. Come già accennato, sono due i principali sistemi idrotermali che caratterizzano questo settore della catena. Il primo, emergente nel settore costiero tirrenico: il sistema termale di

Terme Vigliatore e l'altro, nel settore ionico: il sistema termale di Ali Terme. Inoltre, sia in corrispondenza del settore tirrenico, ed in particolar modo nell'area compresa tra Capo Calavà e Terme Vigliatore, sia nel settore ionico sono noti fenomeni di degassamento a terra ed a mare connessi alla presenza di questi due importanti sistemi di faglia: a) la "Linea Eolie-Tindari-Letojanni con direzione NO-SE nel settore Tirrenico e b) il "Sistema di Messina", ad andamento NE-SO nel settore Ionico. Il campione Terme Augusto (Terme Vigliatore) è caratterizzato da una composizione Na-HCO_3 alla quale si associa la presenza di elevate concentrazioni di CO_2 disciolta. Il significativo apporto di CO_2 determina una maggior aggressività alle acque circolanti nei confronti dei minerali silicatici che caratterizzano il serbatoio di provenienza dell'acqua, favorendo l'acquisizione di questo peculiare chimismo bicarbonato alcalino. Gli isotopi dell'ossigeno e dell'idrogeno indicano per queste acque una origine meteorica e la ricarica del sistema in quest'area avverrebbe attraverso le discontinuità che pervadono le metamorfite nelle zone a più elevata quota e nelle aree collinari. Falde di modeste dimensioni e piuttosto discontinue caratterizzano sia le formazioni flyschiodi che i depositi alluvionali, in cui si riscontra una certa permeabilità per porosità (seppur funzione della granulometria) e/o per fessurazione (Carbone et al., 2007). L'origine della CO_2 sembrerebbe essere associata ad una sorgente crostale, prodotta da reazioni termometamorfiche a carico delle specie carbonatiche. La componente mantellica stimata attraverso gli isotopi dell'elio si attesta intorno al 6%. Diversamente da quest'ultimo, sulla fascia tirrenica sono stati identificati altri campioni, come Trifilò, ubicata a circa 2 km circa da Terme Vigliatore, il cui contributo di elio mantellico è stimato intorno al 28%. Le variazioni delle caratteristiche geochimiche che si delineano da campione a campione mettono in risalto come l'emergenza dei fluidi sia fortemente controllata dalle strutture tettoniche regionali. Ali Terme, ubicata lungo la costa ionica dell'arco peloritano, è dominata dalla presenza di numerose emergenze calde e fredde, tutte associate ad un chimismo prevalentemente clorurato sodico relativamente salino, ad eccezione di T. Marino 2 che presenta una composizione

bicarbonato alcalino-terrosa ed una salinità decisamente più bassa. Il chimismo di tali emergenze riflette probabilmente un processo di mescolamento tra acquiferi superficiali a bassa salinità e l'acqua di mare in una percentuale del 17% e 32% rispettivamente a T. Marino 1 e T. Granata, mentre per T. Grazia e V10 il contributo marino è superiore al 90%. Questi ultimi due campioni sono peraltro caratterizzati da *shift* positivi sia della composizione isotopica dell'ossigeno che del deuterio, tale frazionamento isotopico sembrerebbe associato a processi evaporativi. I campioni T. Marino 1 e 2 mostrano una composizione isotopica coeva con quella delle acque meteoriche locali, mentre il campione T. Granata mostra un certo arricchimento in ossigeno-18 generalmente attribuito allo scambio isotopico ad alta temperatura tra fluido e roccia incassante. I geotermometri in fase liquida indicano il raggiungimento dell'equilibrio a temperature di 180 °C. Come già ricordato, la risalita di questi fluidi sarebbe controllata dal Sistema di Messina, il quale sarebbe in grado di veicolare tali fluidi verso la superficie. I valori di $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ e R/Ra suggeriscono una produzione prevalentemente crostale sia per la CO_2 che per l'He. Seppur stimando un contributo di elio da degassamento magmatico di poco inferiore al 10%.

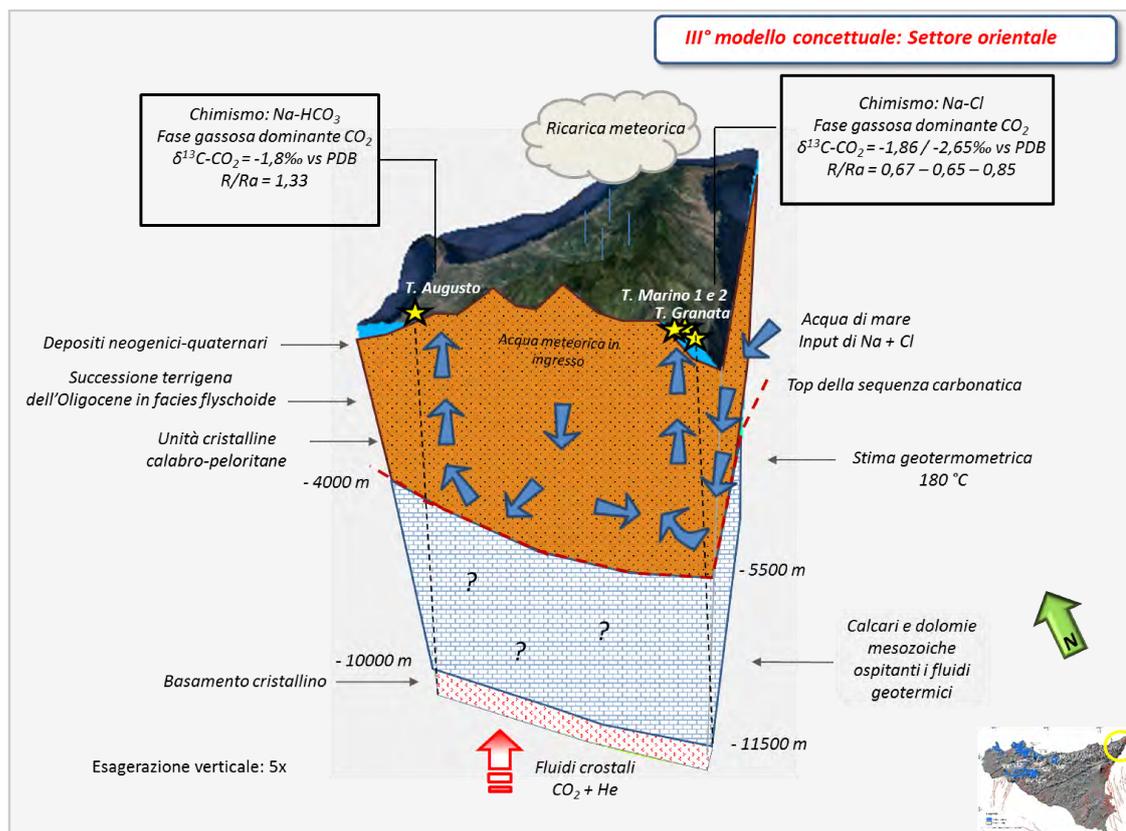


Figura 60 Modello geochimico concettuale della circolazione idrica sotterranea nel settore orientale dell'area di studio. Viene riportata l'ubicazione delle emergenze termali. La ricostruzione del top del serbatoio carbonatico geotermico si basa sul lavoro di Montanari et al. (2014). Andamento e profondità del basamento cristallino sono stati desunti dall'indagine di Cassano et al. (1986).

In Figura 61, riportata di seguito, si può apprezzare il controllo strutturale nella circolazione sotterranea nei fluidi all'interno dell'area di studio. La presenza di sorgenti termali nelle porzioni occidentale e centro-settentrionale è associata a discontinuità tettoniche, le quali bordano gli alti strutturali carbonatici, e a sistemi di faglia con componente estensionale. Gli affioramenti mesozoici rappresentano le principali aree di ricarica del serbatoio geotermico regionale, individuato nei calcari e nelle dolomie mesozoiche. Le acque meteoriche infiltrandosi, favoriscono l'ingresso di gas atmosferico (principalmente N₂) nelle porzioni più profonde del serbatoio carbonatico geotermico, determinando una composizione delle sorgenti termali circolanti nell'acquifero carbonatico, mista a CO₂ e N₂. I vulcani di fango e le manifestazioni a metano si rinvengono limitatamente al cuneo di accrezione Neogenico-Quaternario in cui la tettonica compressiva favorisce l'espulsione dei fluidi confinati nelle porzioni più

superficiali della crosta. Infine, il settore calabro-peloritano ospita un'intensa circolazione idrotermale, con composizione dei fluidi a CO₂ dominante, all'interno delle falde metamorfiche. In quest'ultimo settore la ricarica meteorica del sistema sarebbe connessa alle fratture che pervadono le rocce metamorfiche peloritane e la risalita dei fluidi ai due importanti sistemi di faglia che dominano il settore tirrenico e quello ionico.

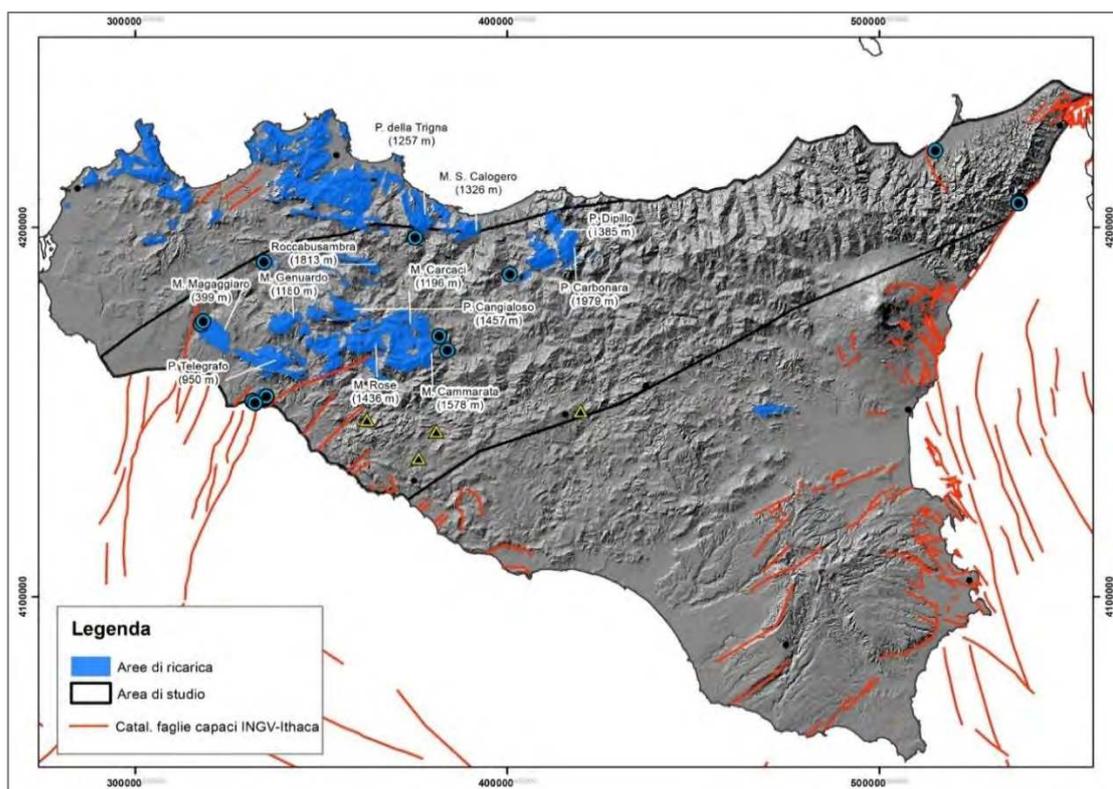


Figura 61 Principali affioramenti carbonatici che caratterizzano il territorio siciliano, rappresentazione spaziale delle faglie attive in grado di produrre una significativa deformazione tettonica permanente in superficie, tratte dal catalogo delle faglie capaci ITHACA ed ubicazione delle principali manifestazioni che caratterizzano l'area di studio (sorgenti termali e vulcani di fango).

9. Conclusioni

L'area in esame, compresa tra l'Arco Calabro-Peloritano a NE e la Piana di Sciacca a SO è caratterizzata dalla presenza di numerose manifestazioni che includono acque termali, degassamento al suolo e vulcani di fango. Queste manifestazioni secondo diversi autori (Carapezza, 1977; Alaimo et al., 1978; Alaimo 1987 Nota I e II; Alaimo & Tonani 1987; Fancelli et al., 1991; Favara et al., 1998; Favara et al., 2001; Etiope et al., 2002; Martinelli & Judd 2004; Grassa et al., 2006; Giammanco et al., 2008; Bonini, 2008; Madonia et al., 2011; Capaccioni et al., 2011; Martinelli et al., 2012; Tassi et al., 2012a; Cangemi & Madonia, 2014) sono relazionate al complesso assetto geologico-strutturale che interessa il territorio siciliano. La Sicilia rappresenta un settore della catena appenninica che unisce l'Appennino meridionale alla catena Maghrebide attraverso l'arco Calabro-Peloritano. Quest'area del Mediterraneo centrale è da inquadrare in un contesto di regime collisionale collocato al limite fra le placche africana ed eurasiatica che ha dato origine all'Orogene Appenninico – Maghrebide. Il *Fold and Thrust Belt* (FTB) siciliano si è originato dalla sovrapposizione di corpi tettonici, avvenuta a partire dal Miocene, derivanti dalla deformazione dei domini paleogeografici sviluppati durante il Mesozoico nel margine africano (Roure et al., 1990; Bello et al., 2000; Catalano et al., 2013; Trumpy et al., 2015).

L'obiettivo principale di questa ricerca è stato quello di: i) approfondire ed incrementare le conoscenze dei fluidi emergenti all'interno dell'area studio; ii) comprendere le relazioni esistenti tra fluidi ed assetto geo-strutturale; iii) individuare l'origine ed i processi che regolano il chimismo dei fluidi termali e minerali e iv) fornire modelli concettuali geochimici che descrivano tali processi e il complesso percorso di circolazione sotterranea dei fluidi.

Nell'area di studio è stata determinata una grande variabilità composizionale delle acque, appartenenti a quattro facies geochimiche: clorurato alcaline, bicarbonato alcaline, bicarbonato alcalino-terrose e clorurato-solfato alcalino terrose. La composizione isotopica di tali acque indica una marcata origine meteorica. Sebbene la

maggior parte delle acque presenti una composizione isotopica consistente con quella delle precipitazioni meteoriche, i valori isotopici di alcuni campioni riflettono gli effetti di meccanismi che ne hanno modificato la composizione d'origine, quali: (1) interazione acqua-roccia ad alte temperature; (2) mixing con acqua di mare; (3) processi evaporativi; (4) processi di scambio tra acqua e gas. Una fase gassosa a $\text{CO}_2\text{-N}_2$ è associata alle acque termali che caratterizzano il settore occidentale e centro-settentrionale dell'area di studio. Tali sorgenti si rinvengono a ridosso degli alti strutturali carbonatici e/o in corrispondenza di discontinuità tettoniche. I rapporti N_2/Ar calcolati in tali acque, sono compresi tra quelli determinati in aria ($\text{N}_2/\text{Ar} = 83$) e quelli determinati in acqua satura d'aria, ASW ($\text{N}_2/\text{Ar} = 38$), ad evidenza di un'origine meteorica di questi gas. La composizione isotopica della CO_2 invece, suggerisce un'origine prevalentemente mantellica della stessa. Nelle manifestazioni termali Acqua Pia e T. Selinuntine la composizione isotopica dell'elio evidenzia una predominanza di elio radiogenico ma con un contributo significativo di elio mantellico, fino al 41%. Le manifestazioni termali del settore centro-settentrionale (Sclafani e A. Fitusa) sono caratterizzate da rapporti isotopici di elio inferiori rispetto a quelli di Acqua Pia e T. Selinuntine, suggerendo una sorgente principalmente crostale alla quale si associa contributo di elio primordiale non superiore al 10%. In corrispondenza del settore più centrale dell'area di studio, in cui il serbatoio geotermico raggiunge la maggiore profondità, l'area accoglie un altro tipo di manifestazioni superficiali, i vulcani di fango caratterizzati dalla tipica emissione di gas a CH_4 dominante. Il transito dei fluidi termali verso la superficie è impedito dalla presenza della spessa sequenza sedimentaria che agisce da copertura impermeabile del sistema, ovattando il segnale geochimico più profondo. In queste manifestazioni, l'origine della specie maggiormente rappresentata in soluzione (il metano) è termogenica, mentre l'origine della CO_2 varia da valori prevalentemente biogenici (nel campione Bissana) a valori che suggeriscono un contributo profondo (Terrapelata e Aragona). L'arricchimento nell'isotopo pesante del carbonio in questo tipo di manifestazioni potrebbe essere associato a processi di

metanogenesi secondaria e/o frazionamento isotopico, derivanti dall'interazione tra i fluidi che risalgono in superficie e le falde acquifere superficiali. I rapporti isotopici dell'elio determinati nei vulcani di fango, peraltro ad oggi noti in letteratura, solo per il campione Aragona, suggeriscono contributi di elio-3 stimati fino al 20% (a Bissana). Una fase gassosa a CO₂ prevalente è invece associata alle sorgenti termali che circolano nel basamento cristallino peloritano, il quale rappresenta il livello strutturalmente più elevato della catena. Tali emergenze s'impostano in corrispondenza di importanti discontinuità tettoniche. I valori isotopici della CO₂ mostrano valori che variano da una tipica origine termometamorfica a valori ricadenti nell'intervallo isotopico individuato nei fluidi derivati da prodotti del mantello. La distribuzione dei rapporti R/Ra, determinati nelle varie manifestazioni, sembra suggerire, in accordo con i dati di flusso di calore, un maggior contributo di elio radiogenico nelle sorgenti termali che caratterizzano il settore peloritano, interessato da tettonica estensionale. Contributi significativi di elio-3 (29%) sono stati determinati solo in un campione (Trifilò) lungo il settore tirrenico.

Tale studio ha permesso di individuare contributi significativi di elio da degassamento mantellico, non soltanto nel settore occidentale dell'area di studio, già evidenziato da numerosi studi scientifici (Grassa, 2004; Caracausi et al., 2005; Grassa et al., 2006) ma anche in corrispondenza del settore centro-occidentale e centrale dell'area di studio, dove si rinvengono le manifestazioni a metano, notoriamente dominate da tettonica di tipo compressivo e valori isotopici dell'elio tipicamente crostali (e.g. Minissale et al., 2000). Lungo il settore sud-occidentale, nella porzione di territorio compresa tra Sciacca e Agrigento, è stata riconosciuta un'importante anomalia in elio, che corrisponde ad un incremento nella densità del flusso di calore, che in prossimità di quest'area raggiunge i 65 mW/m² circa. L'insieme delle conoscenze acquisite durante questo studio ci consente di indicare questa porzione di territorio come potenzialmente idonea alla ricerca di fluidi di alta temperatura. Qui infatti i calcari e le dolomie Mesozoici, sede dell'acquifero regionale, risultano particolarmente superficiali,

per cui consentirebbero il reperimento del fluido geotermico a profondità relativamente modeste e una riduzione dei costi di avvio e gestione di un eventuale impianto geotermico. Il prosieguo delle attività di ricerca, intraprese durante questo studio, sarebbe auspicabile. Importanti risultati sono stati ottenuti sul piano conoscitivo, ma riteniamo che alcuni aspetti trattati possano essere oggetto di ulteriori approfondimenti scientifici. In particolare la definizione dell'origine del metano che caratterizza le sorgenti termali, dato che ad oggi, sono note e disponibili in letteratura le composizioni isotopiche del carbonio e del deuterio nel metano solo in alcuni vulcani di fango e definire anche l'origine del solfato determinato in soluzione nelle acque.

10. Bibliografia

- Accaino F., Catalano R., Di Marzo L., Giustiniani M., Tinivella U., Nicolich R., Sulli A., Valenti V., Manetti P. (2011). A crustal seismic profile across Sicily. *Tectonophysics*, 508, pp. 52–61.
- Alaimo R. (1987). Il bacino termale di Sciacca. Nota I: Inquadramento geologico e caratteristiche chimiche delle acque.
- Alaimo R. (1987). Il bacino termale di Sciacca. Nota II: Origine dell'acqua termale.
- Alaimo R. and Tonani F. (1987). Il bacino termale di Sciacca. Nota III: Geotermometria delle acque termali e modello di miscuglio per le acque emergenti.
- Alaimo R., Carapezza M., Dongarrà G., Hauser S. (1978). Geochimica delle sorgenti termali siciliane. *Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Petrologia*, 34, pp. 577-590.
- Albanese C., Allansdottir A., Amato L., Ardizzone F., Bellani S., Bertini G., et al. (2014) VIGOR: Sviluppo geotermico nelle Regioni della Convergenza. Progetto VIGOR e Valutazione del Potenziale Geotermico delle Regioni della Convergenza. In: POI Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico 2007-2013, Edizioni CNR e IGG Area della Ricerca di Pisa; 2014. ISBN:9788879580113.
- Alcalá F.J., Custodio E. (2008). Using the Cl/Br ratio as a tracer to identify the origin of salinity in aquifers in Spain and Portugal. *Journal of Hydrology* 359, 189–207.
- Amodio-Morelli L., Bonardi G., Colonna V., Dietrich D., Giunta G., Ippolito F., Liguori V., Lorenzoni V., Paglionico A., Perrone V., Picaretta G., Russo M., Scandone P., Zanetti-Lorenzoni E., Zuppetta A. (1976). L'arco Calabro-Peloritano nell'orogene appenninico-maghrebide. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 17, pp. 1-60.
- Anderson H., Jackson J. (1987). The deep seismicity of the Tyrrhenian Sea. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 91, pp. 613–637.
- Appelo C.A.J., & Postma D. (1993). *Geochemistry, groundwater and pollution*. Rotterdam, A.A. Balkema, 536 p.
- Armienti P., Clocchiatti R., D'Orazio M., Innocenti F., Petrini R., Pompilio M., Tonarini S., Villari L. (1994). The long-standing 1991–1993 Mount Etna eruption: petrography and geochemistry of lavas. *Acta Vulcanologica*, 4, pp. 15–28.

- Atzori P., D'Amico C. and Pezzino A. (1974). Relazione geo-petrografica preliminare sul cristallino della catena peloritana (Sicilia). *Mineralogica et Petrographica Acta*, 18, pp. 83-96.
- Atzori P. and Vezzani L. (1974). Lineamenti petrografico-strutturali della catena peloritana. *Geologica Romana*, 13, pp. 21-27.
- Barberi F., Civetta L., Gasparini P., Innocenti F., Scandone R., Villari L. (1974). Evolution of a section of the Africa-Europe plate boundary: paleomagnetic and volcanological evidence from Sicily. *Earth and Plan. Science Letters*, 22, pp. 123-132
- Barreca G., Bruno V., Cocorullo C., Cultrera F., Ferranti F., Guglielmino F., Guzzetta L., Mattia M., Monaco C., Pepe F. (2014). Geodetic and geological evidence of active tectonics in south-western Sicily (Italy). *Journal of Geodynamics*, 82, pp. 138–149.
- Bello M., Franchino A., Merlini S. (2000). Structural model of Eastern Sicily. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 55, pp. 61-70.
- Bonardi G., Giunta G., Messina A., Perrone V., Russo S. (1996). The Calabria-Peloritani Arc and its correlation with Northern Africa and Southern Europe. 6 th Field Meeting IGCP Project n. 276, Newsletter vol.6. Field Trip Guidebook. Edited by A. Messina & S. Russo.
- Bonardi G., Giunta G., Liguori V., Perrone V., Russo M., Zuppetta A. (1976). Schema geologico dei Monti Peloritani. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 95, pp. 49-74.
- Bonini M. (2009). Mud volcano eruptions and earthquakes in the Northern Apennines and Sicily, Italy. *Tectonophysics*, 474 pp. 723-735.
- Braitsch O. (1971). Salt Deposits Their Origin and Composition. In *Minerals, Rocks and Inorganic Materials*, 4, ISBN: 978-3-642-65085-7.
- Branca S., Del Carlo P. (2005). Types of eruptions of Etna volcano AD 1670–2003: implications for short-term eruptive behavior. *Bulletin of Volcanology*, 67, pp. 732–742.
- Butler R.W.H., Lickorish W.H., Grasso M., Pedley H.M. and Ramberti L. (1995). Tectonics and sequence stratigraphy in Messinian basins, Sicily: Constraints on the initiation and termination of the Mediterranean salinity crisis. *Geological Society of America Bulletin*, 107, pp. 425-439.
- Butler R.W.H. and Grasso M. (1993). Tectonic controls on base-level variations and depositional sequences within thrust-top and foredeep basins: examples from the Neogene thrust belt of central Sicily. *Basin Research*, 5, pp. 137-151.

Calanchi N., Capaccioni B., Martini M., Tassi F., Valentini L. (1995). Submarine gas emissions from Panarea (Aeolian archipelago): distribution of inorganic and organic compounds and inference about source conditions. *Acta Vulcanologica*, 7(1), pp. 43-48.

Camarda M. (2004). Soil CO₂ Flux Measurements in Volcanic and Seismic Areas: Laboratory Experiments and Field Applications. Tesi di Dottorato, Università di Palermo.

Cangemi M. & Madonia P. (2014). Mud volcanoes in onshore Sicily: a short overview. *Gottingen Contribution to Geosciences*, 77, pp. 123-127.

Capaccioni B., Vaselli O., Tassi F., Santo A. P., Delgado Huertas A. (2011). Hydrogeochemistry of the thermal waters from the Sciacca Geothermal Field (Sicily, southern Italy). *Journal of Hydrology*, 396, pp. 292–301.

Capaccioni B., Tassi F., Vaselli O., Tedesco D., Poreda R. (2007). Submarine gas burst at Panarea Island southern Italy, on November 3, 2002: a magmatic versus hydrothermal episode. *Journal of Geophysical Research*, 112, B05201. doi:10.1029/2006JB004359.

Capaccioni B., Vaselli O., Moretti E., Tassi F., Franchi R. (2003). The origin of thermal waters from the eastern flank of the Dead Sea Rift Valley (western Jordan). *Terra Nova* 15 (3), 145–154.

Capozzi R., Picotti V. (2002). Fluid migration and origin of a mud volcano in the northern Apennines (Italy): the role of deeply rooted normal faults. *Terra Nova* 14, 363–370.

Caracausi A., Martelli M., Nuccio P.M., Paternoster M., Stuart F.M. (2013) Active degassing of mantle-derived fluid: A geochemical study along the Vulture line, southern Apennines (Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 253, 65–74.

Caracausi A., Favara R., Italiano F., Nuccio P.M., Paonita A., Rizzo A. (2005). Active geodynamics of the central Mediterranean Sea: Tensional tectonic evidences in western Sicily from mantle-derived helium. *Geophysical Research Letters*, vol. 32, L04312, doi:10.1029/2004GL021608.

Carafa M.M.C., Barba S. (2013). The stress field in Europe: optimal orientations with confidence limits *Geophysical Journal International*, 193, 2, pp. 531-548.

Carapezza M., Cusimano G., Liguori V., Alaimo R., Dongarrà G., Hauser S. (1977). Nota introduttiva allo studio delle sorgenti termali dell'isola di Sicilia. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 96, pp 813-836.

Carbone S., Messina A., Lentini F. (2007). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 601 Messina - Reggio di Calabria. S.EL.CA. s.r.l., Firenze, 2007.

Carminati E., Doglioni C. (2012). Alps vs. Apennines: The paradigm of a tectonically asymmetric Earth. *Earth-Science Reviews*, 112, pp. 67–96.

Carveni P., Grasso M., Romano R. and Tricomi S. (1991). Vulcanismo del margine settentrionale ibleo. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 47, pp. 417-429.

Cassano E., Fichera R., Arisi Rota F. (1986). Rilievo aeromagnetico d'Italia: alcuni risultati interpretative. *Atti del 5° Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida*. Roma 17-19 novembre 1986.

Catalano R., Valenti V., Albanese C., Accaino F., Sulli A., Tinivella U., Gasparo Morticelli M., Zanolta C., Giustiniani M. (2013). Sicily 'fold-thrust belt and slab roll-back: the SI.RI.PRO. seismic crustal transect. *Journal of the Geological Society, London*, doi: 10.1144/jgs2012-099.

Catalano R., Avellone G., Basilone L. & Sulli A. (2010). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio n. 607 "Corleone". Regione Siciliana, ISPRA, Dip. Di Geologia e Geodesia, Università di Palermo.

Catalano R. (2004) *Geology of Sicily: An introduction*. BOCCONEA, 17, pp. 33-46.

Catalano R., Franchino A., Merlini S. & Sulli A. (2000a). A crustal section from North Algeria to the Ionian ocean (Central Mediterranean). *Memorie della Società Geologica Italiana*, 55, pp. 71–85.

Catalano R., Franchino A., Merlini S. & Sulli A. (2000b). Central Western Sicily structural setting interpreted from seismic reflection profiles. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 55, pp. 5–16.

Catalano R., Di Stefano P., Sulli A., Vitale F.P. (1996). Paleogeography and structure of the central Mediterranean: Sicily and its offshore area. *Tectonophysics*, 260, pp. 291–323.

Catalano R. & D'Argenio B. (1982). Schema Geologico della Sicilia. In: Catalano R. & D'Argenio B. (eds) *Guida alla geologia della Sicilia occidentale*. Geological Society of Italy, *Memoir*, XXIV (Suppl. A), pp. 9–41.

Catalano R. & D'Argenio B. (1978). An essay of palinspastic restoration across western Sicily. *Geologica Romana*, 17, pp. 145–159.

Cataldi R., Mongelli F., Squarci P., Taffi L., Zito G., Calore C. (1995). Geothermal ranking of Italian territory. *Geothermics*, 24 (1), pp.115–129.

Celico P. (1986). *Prospezioni idrogeologiche*. Vol. 1. Liguori Editore, 736 pp.

Cerling T.E., Solomon D.K., Quade J., Bowman J.R. (1991). On the isotopic composition of carbon in soil carbon dioxide. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55, 3403–3405.

Chiodini G., Allard P., Caliro S., Parello F. (2000). ^{18}O Exchange between steam and carbon dioxide in volcanic and hydrothermal gases: Implications for the source of water. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64, 2479-2488.

Chiodini G., Frondini F., Kerrick D.M., Rogie J., Parello F., Peruzzi L., Zanzari A.R. (1999) Quantification of deep CO_2 fluxes from Central Italy. Examples of carbon balance for regional aquifers and of soil diffuse degassing. *Chemical Geology*, 159, 205–222.

Chiodini G., Frondini F., Marini L. (1995a). Theoretical geothermometers and pCO_2 indicators for aqueous solutions coming from hydrothermal systems of medium-low temperature hosted in carbonate-evaporite rocks. Application to the thermal springs of the Etruscan Swell, Italy. *Appl. Geochem.* 10, 337–346.

Chiodini G., Frondini F., Ponziani F. (1995b). Deep structures and carbon dioxide degassing in central Italy. *Geothermics*, 24, 1, 81-94.

Chiodini G., Cioni R., Guidi M., Marini L. (1991). Chemical geothermometry and geobarometry in hydrothermal solutions: a theoretical investigation based on a mineral-solution equilibrium model. *Geochim. Cosmochim. Acta* 55, 2709–2727.

Civetta L., D'Antonio M., Orsi G., Tilton G.R. (1998). The geochemistry of volcanic rocks from Pantelleria Island, Sicily Channel: petrogenesis and characteristics of the mantle source region. *Journal of Petrology*, 39, pp. 1453–1491.

Civetta L., Cornette Y., Gillot P.Y., Orsi G. (1988). The eruptive history of Pantelleria (Sicily Channel) in the last 50 ka. *Bulletin of Volcanology*, 50, pp. 47–57.

Civetta L., Cornette Y., Crisci G., Gillot P.Y., Orsi G., Requejos C.S. (1984). Geology, geochronology and chemical evolution of the Island of Pantelleria. *Geological Magazine*, 121, pp. 541–668.

Clark I. (2015). *Groundwater Geochemistry and Isotopes*. CRC Press 2015. ISBN: 978-1-4665-9173-8.

Craig H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science* 133, 1702–1708.

Craig H. (1963). The Isotopic Geochemistry of Water and Carbon in Geothermal Areas. In: Tongiorgi E. (Ed.), *Nuclear Geology on Geothermal Areas*. CNR (Italian Council for Research), Spoleto, Italy, pp. 17–54.

D'Alessandro W., Brusca L., Kyriakopoulos K., Bellomo S., Calabrese S. (2014). A geochemical traverse along the “Sperchios Basin — Evoikos Gulf” Graben (Central Greece): origin and evolution of the emitted fluids. *Mar. Pet. Geol.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2013.12.011>.

De Capoa P., Di Staso A., Guerrera F., Perrone V., Tramontana M. (2004). The age of the oceanic accretionary wedge and onset of continental collision in the Sicilian Maghrebian Chain. *Geodinamica Acta*, 17 (5), pp. 331-348.

Della Vedova B., Bellani S., Pellis G., Squarci P. (2001). Deep temperatures and surface heat flow distribution. In: Vai, G.B., Martini, I.P. (Eds.), *Anatomy of an Orogen: the Apennines and Adjacent Mediterranean Basins*. Kluwer Ac. Publ., Great Britain, pp. 65–76.

Di Grande A., Mazzoleni P., Lo Giudice A., Beccaluva L., Macciotta G., Siena F. (2002). Subaerial Plio-Pleistocene volcanism in the geo-petrographic and structural context of the north/central Iblean region (Sicily). *Periodico di Mineralogia*, 71, pp. 159–189.

Di Maggio C., Di Trapani F.P., Madonia G., Salvo D., Vattano M. (2009). First report on the sinkhole phenomena in the Sicilian evaporites (Southern Italy). In Abstract volume di "I Sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato - Sinkholes. The catastrophic sinking in natural and anthropic environments" (pp.40-40). Roma: ISPRA-SGI, 3-4 dicembre 2009.

Dia A. N., Castrec-Rouelle M., Boulege J., Comeau P. (1999) Trinidad mud volcanoes where do the expelled fluids come from? *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63, 1023–1038.

Dogliani C. (1991). A proposal of kinematic modelling for W-dipping subductions – possible applications to the Tyrrhenian–Apennines system. *Terra Nova*, 3, pp. 423–434.

Drever, J.I., 1997. *The Geochemistry of Natural Waters*. Prentice-Hall, New Jersey, USA.

Duchi V., Bencini A., Cortese G., Minissale A. (1991). Caratteristiche geochemiche dei fluidi della Calabria centro-settentrionale e loro potenzialità geotermica. *Boll. Soc. Geol. It.*, 110, 273-280.

Duee G. (1969). Étude géologique des Monts Nebrodi (Sicile). Thèse, Fac. Sc., Paris, 424 pp.

Dunai T.J., Baur H. (1995). Helium, neon, and argon systematics of the European subcontinental mantle: implications for its geochemical evolution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 2767–2783.

ENEL, ENI-AGIP, CNR, ENEA (1988). Inventario delle Risorse Geotermiche Nazionali—Indagine d'insieme Sul Territorio Nazionale. Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (currently Ministero dello Sviluppo Economico), pp. 75.

ENEL, ENI-AGIP, CNR, ENEA (1988). Regione Sicilia. In: Inventario delle Risorse Geotermiche Nazionali, Rapporto CNR-IIRG, Pisa.

Etiopie G., Feyzullayev A., Milkov A.V., Waseda A., Mizobe K., Sun C.H. (2009). Evidence of subsurface anaerobic biodegradation of hydrocarbons and potential secondary methanogenesis in terrestrial mud volcanoes. *Marine and Petroleum Geology* 26, 1692–1703.

Etiopie G., Martinelli G., Caracausi A., Italiano F. (2007). Methane seeps and mud volcanoes in Italy: Gas origin, fractionation and emission to the atmosphere. *Geophysical Research Letters*, vol. 34, L14303, doi:10.1029/2007GL030341.

Etiopie G., Caracausi A., Favara R., Italiano F., Baciù C. (2002). Methane emission from the mud volcanoes of Sicily (Italy). *Geophysical Research Letters*, vol. 29, n. 8, 1215, 10.1029/2001GL014340.

Fancelli R., Nuti S., Taffi L., Monteleone S., Pipitone G. (1994). Studio idrogeochemico e termico per la valutazione della Sicilia occidentale. In: Inventario delle Risorse Geotermiche Nazionali. Ministero dell'industria, del commercio e dell'Artigianato. CNR-Istituto Internazionale per le Ricerche Geotermiche, Pisa.

Fancelli R., Monteleone S., Nuti S., Pipitone G., Rini S., Taffi L. (1991). Nuove conoscenze idrogeologiche e geotermiche nella Sicilia occidentale. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, vol. XXVI.

Favara R., Grassa F., Inguaggiato S., Valenza M. (2001). Hydrogeochemistry and stable isotopes of thermal springs: earthquake-related chemical changes along Belice Fault (Western Sicily). *Applied Geochemistry*, 16, pp. 1-17.

Favara R., Grassa F., Inguaggiato S., D'Amore F. (1998). Geochemical and hydrogeological characterization of thermal springs in Western Sicily, Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 84, pp. 125–141.

Fournier R.O. (1977). Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*, 5, pp 41–50.

Frepoli A., Amato A. (2010). Spatial variation in stresses in peninsular Italy and Sicily from background seismicity. *Tectonophysics*, 317, pp. 109–124.

Fronzini F. (2008). Geochemistry of regional aquifer systems hosted by carbonate-evaporite formations in Umbria and southern Tuscany (central Italy). *Applied Geochemistry*, 23, 2091–2104.

Gasparini P., Iannaccone G., Scandone P., Scarpa R. (1982). Seismotectonics of the Calabrian Arc. *Tectonophysics*, 84, pp. 267–286.

Gat J.R., Carmi I. (1970). Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea area. *J. Geophys. Res.* 75, 3039–3048.

Gautheron C., Moreira M., Allegre C. (2005). He, Ne and Ar composition of the European lithospheric mantle. *Chem. Geol.* 217, 97–112.

Ghisetti F. (1992) Fault parameters in the Messina Strait (southern Italy) and relations with the seismogenic source. *Tectonophysics*, 210, 117-133.

Ghisetti F., Vezzani L. (1977) Evidenze di linee di dislocazione al versante meridionale dei Monti Nebrodi e Madonie e loro significato neotettonico. Proc. 15th Plen. Meeting I.G.U. Commission on Geomorph. Surv. ad Mapping, Modena-Catania, 7-15 Spt. 1979, 33-58.

Giammanco S., Palano M., Scaltrito A., Scarfi L., Sortino F. (2008). Possible role of fluid overpressure in the generation of earthquake swarms in active tectonic areas: The case of the Peloritani Mts. (Sicily, Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 178, pp. 795-806.

Giggenbach W.F., Sano Y. and Wakita H. (1993) Isotopic composition of helium, and CO₂ and CH₄ contents in gases produced along the New Zealand part of a convergent plate boundary. *Geochim. Cosmochim. Acta* 57, 3427-3455.

Giggenbach W.F. (1988). Geothermal solute equilibria. Derivation of Na–K–Mg–Ca geothermometers. *Geochim. Cosmochim. Acta* 52, 2749–2765.

Giunta G., Nigro F. (1999). Tectono-sedimentary constraints to the Oligocene-to-Miocene evolution of the Peloritani thrust belt (NE Sicily). *Tectonophysics*, 315, pp. 287–299.

Giunta G., Bellomo D., Carnemolla S., Pisano A., Profeta R. & Runfola F. (1992). La "linea di Taormina": residuo epidirmico di una paleostruttura crostale del fronte cinematico Maghrebide? Atti 8° Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma, Italy.

Giunta G. (1985). Problematiche ed ipotesi sul bacino numidico nelle maghrebidi siciliane. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 104, pp. 239-256.

Gola G., Manzella A., Trumpy E., Montanari D., van Wees J.D. (2013). Deep-seated Geothermal Resource Assessment of the VIGOR Project Regions, Italy. Proceedings of the European Geothermal Congress 2013 Pisa, Italy, 3-7 June 2013. ISBN 978-2-8052-0226-1.

Grassa F., Capasso G., Favara R. and Inguaggiato S. (2006). Chemical and Isotopic Composition of Waters and Dissolved Gases in Some Thermal Springs of Sicily and Adjacent Volcanic Islands, Italy. *Pure and Applied Geophysics*, 163, pp. 781-807, DOI 10.1007/s00024-006-0043-0.

Grassa F., Capasso G., Favara R., Inguaggiato S. (2004) Molecular and isotopic composition of free hydrocarbon gases from Sicily, Italy *Geophysical Research Letters* vol. 31, L06607, doi:10.1029/2003GL019362, 2004.

Grasso M., Lentini F., Nairn A.E.M. and Vigliotti M. (1983). A geological and paleomagnetic study of the Hyblean volcanic rocks. *Tectonophysics*, 98, pp. 271-295.

Graziano L. (2009) Manifestazioni di vulcanesimo sedimentario nel territorio di Marianopoli (CL). Tesi, Università di Palermo.

Groppelli G., Pasquaré F.A. (2004). Nuovi contributi alla ricostruzione della stratigrafia vulcanica dell'area di Capo Passero, Sicilia sud-orientale, nel quadro del vulcanismo cretacico superiore del Plateau Ibleo, in «*Bollettino della Società Geologica Italiana*», n. 123, pp. 275-289 con carta allegata.

Heller C. (2011). Fluid venting structures of terrestrial mud volcanoes (Italy) and marine cold seeps (Black Sea) - Organo-geochemical and biological approaches. Tesi di Dottorato, Università di Göttingen.

Hem J.D. (1989). Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. USGS WSP 2254.

Hooker P.J., Bertrand R., Lombardi S., O'Nions R.K., Oxburgh E.R. (1985) Helium-3 anomalies and crust-mantle interaction in Italy. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49, 2505-2513.

Inguaggiato S., Martin-Del Pozzo L.A., Aguayo A., Capasso G., Favara R. (2005). Isotopic chemical and dissolved gas constraints on spring water from Popocatepetl volcano (Mexico): evidence of gas–water interaction between magmatic component and shallow fluids. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 141, 91–108.

Italiano F., Bonfanti P., Pizzino L., Quattrocchi F. (2010) Geochemistry of fluids discharged over the seismic area of the Southern Apennines (Calabria region, Southern Italy): Implications for Fluid-Fault relationships. *Applied Geochemistry*, 25, 540–554.

Italiano F., Bonfanti P., Caracausi A., Ditta M., Favara R., Gagliano Candela E., Maugeri R., Nigro F., Renda P., Scaletta C. (2006). Attività di emissione di fluidi lungo strutture tettoniche: risultati nell'area della Sicilia Nord-Orientale. GNGTS, Roma, 28-30 novembre 2006, Abstract book, pp. 302-305.

Italiano F., Favara R., Etiope G. and Favali P. (2001). Submarine emissions of greenhouse gases from hydrothermal and sedimentary areas, In: Cidu, (Ed.), *Water–Rock Interaction 2001*. Swets & Zeitlinger, pp. 863–866.

Langelier, W., Ludwig, H. (1942). Graphical methods for indicating the mineral character of natural waters. *J. Am. Water Assoc.* 34, pp 335–352.

Lanzafame G., Bousquet J.C. (1997). The Maltese escarpment and its extension from Mt. Etna to the Aeolian Islands (Sicily): importance and evolution of a lithosphere discontinuity. *Acta Vulcanologica*, vol. 9, pp. 113-120.

Lavecchia G., Ferrarini F., de Nardis R., Visini F., Barbano M. S. (2007). Active thrusting as a possible seismogenic source in Sicily (Southern Italy): Some insights from integrated structural–kinematic and seismological data. *Tectonophysics*, 445, pp. 145–167.

Lentini F., Carbone S. (2014). *Geologia della Sicilia – Geology of Sicily*. I Introduzione - Introduction. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, Volume XCV, pp. 7-414.

Lentini F., Carbone S., Catalano S. & Grasso M. (1996). Elementi per la ricostruzione del quadro strutturale della Sicilia Orientale. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 51 (1), pp. 179-195.

Liotta M., Grassa F., D'Alessandro W., Favara R., Gagliano Candela E., Pisciotta A., Scaletta C. (2013). Isotopic composition of precipitation and groundwater in Sicily, Italy. *Applied Geochemistry* 34, 199–206.

Longaretti G., Rocchi S., Ferrari L. (1991). Il magmatismo dell'avampaese Ibleo (Sicilia orientale) tra il Trias e il Quaternario: dati di sottosuolo della Piana di Catania dal Pleistocene al Miocene medio. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 47, pp. 537-555.

Longaretti G. e Rocchi S. (1990). Il magmatismo dell'avampaese Ibleo (Sicilia orientale) tra il Trias e il Quaternario: dati stratigrafici e petrologici di sottosuolo. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 45, pp. 911-925.

Madonia P., Grassa F., Cangemi M., and Musumeci C. (2011). Geomorphological and geochemical characterization of the 11 August 2008 mud volcano eruption at S. Barbara village (Sicily, Italy) and its possible relationship with seismic activity. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 11, pp. 1545–1557.

Marini L., Chiodini G., Cioni R. (1986). New geothermometers for carbonate evaporate geothermal reservoirs. *Geothermics*, 15, 77–86.

Martinelli G., Cremonini S. and Samonati E. (2012). Geological and Geochemical Setting of Natural Hydrocarbon Emissions in Italy. *Advances in Natural Gas Technology*. Dr. Hamid Al-Megren (Ed.), ISBN: 978-953-51-0507-7.

Martinelli G., Judd A. (2004). Mud volcanoes of Italy. *Geological Journal*, 39, pp. 49–61.

Marty B., Jambon A. (1987). C^3He in volatile fluxes from the solid Earth: implications for carbon geodynamics. *Earth Planet. Sci. Lett.* 83, 16–26.

Meyers P.A. (1994). Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology*, 114, pp. 289-302.

Mahood G.A., Hildreth W. (1986). Geology of the peralkaline volcano at Pantelleria, Strait of Sicily. *Bulletin of Volcanology*, 48, pp. 143–172.

Messina A., Lentini F., Macaione E., Carbone S., Doherty A. (2013). Tectono-stratigraphic evolution of the Southern sector of the Calabria-Peloritani Chain: state of knowledge. *Periodico semestrale del Servizio Geologico d'Italia - ISPRA e della Società Geologica Italiana. Geol. F. Trips*, Vol. 5 n. 2.2, 163 pp., DOI 10.3301/GFT.2013.04.

Minissale A., Donato A., Procesi M., Giammanco S., Pizzino L. (2016). Dati e Carte geochimiche del Mezzogiorno d'Italia. In: Adele Manzella (Ed.) Progetto Atlante Geotermico del Mezzogiorno, CNR per il Mezzogiorno, CNR-IGG, ISBN: 9788879580298.

Minissale A., Mattash M. A., Vaselli O., Tassi F., Al-Ganad I. N., Selmo E., Shawki N. M., Tedesco D., Poreda R., Ad-Dukhain A. M., Hazzae M. K. (2007). Thermal springs, fumaroles and gas vents of continental Yemen: Their relation with active tectonics, regional hydrology and the country's geothermal potential. *Applied Geochemistry*, 22, 799–820.

Minissale A. (2004). Origin, transport and discharge of CO₂ in central Italy. *Earth-Science Reviews*, 66, 89–141.

Minissale A., Magro G., Martinelli G., Vaselli O., Tassi F. (2000). Fluid geochemical transect in the Northern Apennines (central-northern Italy): fluid genesis and migration and tectonic implications. *Tectonophysics*, 319, 199–222.

Minissale A., Magro G., Vaselli O., Verrucchi C., Perticone I. (1997a). Geochemistry of water and gas discharges from the Mt. Amiata silicic complex and surrounding areas (central Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 79, 223-251.

Minissale A., Evans W.C., Magro G., Vaselli O. (1997b). Multiple source components in gas manifestations from north-central Italy. *Chemical Geology*, 142, 175-192.

Minissale A. (1991). Thermal springs in Italy: their relation to recent tectonics. *Applied Geochemistry*, 6, 201-212.

Monaco C., Mazzoli S., Tortorici L. (1996). Active thrust tectonics in Western Sicily (southern Italy): the 1968 Belice earthquake sequence. In *Terra Nova*, 8(4), pp. 372 – 381.

Montanari D., Albanese C., Catalano R., Contino A., Fedi M., Gola G., Iorio M., La Manna M., Monteleone S., Trumpy E., Valenti V., Manzella A. (2014). Contourmap of the top of the regional geothermal reservoir of Sicily (Italy). *Journal of Maps*, doi: 10.1080/17445647.2014.935503.

Muehlenbachs K., Clayton R.N. (1976). Oxygen isotope composition of the oceanic crust and its bearing on seawater. *J. Geophys. Res.*, 81-23, 4365-4369.

Murray J.W., Grundmanis V., Smethie W.M. (1978). Interstitial water chemistry in the sediments of Saanich inlet. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42, pp. 1011-1026.

- Murray R.C. (1964). Origin and diagenesis of gypsum and anhydrite. *J. Sed. Petrol.*, 34, 3, 512-523.
- Mützemberg S., Balderer W., Rauert W. (1992). Environmental isotope study of saline geothermal systems in western Anatolia, Canakkale, Turkey. In: Kharaka and Maest (Eds.), *Water–Rock Interaction*. Balkema, Rotterdam, pp. 1317–1320 (ISBN 90 54100753).
- Neri G., Barberi G., Orecchio B., Mostaccio A. (2003). Seismic strain and seismogenic stress regimes in the crust of the southern Tyrrhenian region. *Earth and Planetary Science Letters*, 213, pp. 97-112.
- Neri G., Caccamo D., Cocina O., Montalto A. (1996) Geodynamic implications of earthquake data in the Southern Tyrrhenian Sea. *Tectonophysics*, 258, 233-249.
- Nigro F. & Renda P. (1999). The north central-sicily belt: structural setting and geological evolution. *Annales societatis Geologorum Poloniae*, vol. 69, pp. 49-61.
- O'Nions R., Oxburgh E. (1988). Helium, volatile fluxes and the development of continental crust. *Earth Planet. Sci. Lett.* 90, 331–347.
- Ogniben L. (1969). Schema introduttivo alla geologia del confine calabro-lucano. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 8 (4), pp. 453-763
- Ogniben L. (1963). Il Flysch Numidico nel quadro della geologia della Sicilia. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 4, pp. 1-18.
- Ogniben L. (1960). Note illustrative dello schema geologico della Sicilia nord-orientale. *Rivista Mineralogica Siciliana*, 64-65, 183-212.
- Pallasser R.J. (2000). Recognising biodegradation in gas/oil accumulations through the $\delta^{13}\text{C}$ compositions of gas components. *Organic Geochemistry*, 31, 1363–1373.
- Paonita A., Federico C., Bonfanti P., Capasso G., Inguaggiato S., Italiano F., Madonia P., Pecoraino G., Sortino F. (2013). The episodic and abrupt geochemical changes at La Fossa fumaroles (Vulcano Island, Italy) and related constraints on the dynamics, structure, and compositions of the magmatic system. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 120, 158–178.
- Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J. (1999). User's guide to PHREEQC (version 2) – a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. In: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report, pp. 99–4259.

Patacca E., Scandone P., Giunta G. & Liguori V. (1979). Mesozoic paleotectonic evolution of the Ragusa zone (Southeastern Sicily). *Geologica Rom.*, 18, pp 331-369.

Peccerillo A. (2005). Plio-Quaternary volcanism in Italy. *Petrology, Geochemistry, Geodynamics*. Springer, Heidelberg, pp. 365.

Polyak B.G. & Tolstikhin I.N. (1985). Isotopic composition of the Earth's helium and the motive forces of tectogenesis. *Chemical Geology*, 52, pp 9-33.

Rizzo A., Barberi F., Carapezza M.L., Di Piazza A., Francalanci L., Sortino F., D'Alessandro W. (2015). New mafic magma refilling a quiescent volcano: evidence from He-Ne-Ar isotopes during the 2011–2012 unrest at Santorini, Greece. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 16, 798–814.

Rollinson H. (1993). *Using geochemical data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman Group, London.

Rossi P.L., Tranne C.A., Calanchi N., Lanti E. (1996). Geology, stratigraphy and volcanological evolution of the island of Linosa (Sicily Channel). *Acta Vulcanologica*, 8, pp. 73-90.

Roure F., Howell D.G., Muller C. and Moretti I. (1990). Late Cenozoic subduction complex of Sicily. *Journal of Structural Geology*, vol. 2, n. 2, pp. 259-266.

Sacchi E., Zuppi G. M., Pizzino L., Quattrocchi F., Lombardi S. (2008). Fluid Geochemistry as Indicator of Tectonically-Related, Deep Water Circulations in the Sardinian Rift-Campidano Graben (Italy): New Insights from Environmental Isotopes. *Aquat. Geochem.*, 14, 301–319 DOI 10.1007/s10498-008-9038-z.

Sano Y., Wakita H., Italiano F., Nuccio M.P. (1989). *Geophysical Research Letters*, 16, 6, 511-514.

Sano Y., Wakita H. (1985). Geographical Distribution of $^3\text{He}/^4\text{He}$ Ratios in Japan Implications for Arc Tectonics and Incipient Magmatism. *Journal of Geophysical Research*, 90, n. b10, 8729-8741.

Scarfì L., Langer H., Scaltrito A. (2005). Relocation of microearthquake swarms in the Peloritani mountains – implications on the interpretation of seismotectonic patterns in NE Sicily, Italy. *Geophysical Journal International*, 163, pp. 225-237, doi: 10.1111/j.1365-246X.2005.02720.x.

Schoell M. (1980). The hydrogen and carbon isotopic composition of methane from natural gases of various origins. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 44, 649–661.

Scrocca D., Carminati E., Doglioni C. (2005). Deep structure of the southern Apennines, Italy: Thin-skinned or thick-skinned? *Tectonics*, 24, pp 1-20.

Shimizu A., Sumino H., Nagao K., Notsu K., Mitropoulos P. (2005). Variation in noble gas isotopic composition of gas samples from the Aegean arc. Greece. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 140, 321–339. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2004.08.016>.

Somma R. (1998). *Geologia strutturale del fronte meridionale dei Monti Peloritani sud-orientali ("Linea di Taormina", Sicilia)*. Tesi di Dottorato, Università di Palermo, pp. 277.

Tassi F., Bonini M., Montegrossi G., Capecchiacci F., Capaccioni B, Vaselli O. (2012a). Origin of light hydrocarbons in gases from mud volcanoes and CH₄-rich emissions. *Chemical Geology*, 294–295, pp. 113–126.

Tassi F., Fiebig J., Vaselli O., Nocentini M. (2012b). Origins of methane discharging from volcanic, hydrothermal and cold emissions in Italy. *Chemical Geology*, vol. 310-311, pp. 36-48, ISSN:0009-2541.

Tassi F., Vaselli O., Luchetti G., Montegrossi G., Minissale A. (2008). Metodo per la determinazione dei gas disciolti in acque naturali. CNR-IGG Rapporto Interno n. 2/2008, 10 p.

Tedesco D. (1997). Systematic variations in the ³He/⁴He ratio and carbon of fumarolic fluids from active volcanic areas in Italy: Evidence for radiogenic ⁴He and crustal carbon addition by the subducting African plate? *Earth and Planetary Science Letters*, 151, 255-269.

Torfstein A., Hammerschmidt K., Friedrichsen H., Starinsky A., Garfunkel Z., Kolodny Y. (2013). Helium isotopes in Dead Sea transform waters. *Chem. Geol.* 352, 188–201.

Trabelsi R., Abid K., Zouari K., Yahyaoui H. (2012). Groundwater salinization processes in shallow coastal aquifer of Djefara plain of Medenine, Southeastern Tunisia. *Environmental Earth Sciences* 66, 641–653. DOI 10.1007/s12665-011-1273-8.

Truesdell A.H., Hulston J.R. (1980). Isotopic evidence on environments of geothermal systems. In: Fritz, P., Fontes, J.Ch. (Eds.), *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. The Terrestrial Environment, A*, vol. 1. Elsevier, 179–226.

Trumpy E., Donato A., Gianelli G., Gola G., Minissale A., Montanari D., Santilano A., Manzella A. (2015). Data integration and favourability maps for exploring geothermal systems in Sicily, southern Italy. *Geothermics*, 56, pp. 1-16.

Vezzani L., Festa A., Ghisetti F.C. (2010). *Geology and Tectonic Evolution of the Central-Southern Apennines, Italy*. Geological Society of America Special Papers, 469, pp 1-58.

Viccaro M., Garozzo I., Cannata A., Di Grazia G., Gresta S. (2014). Gas burst vs. gas-rich magma recharge: A multidisciplinary study to reveal factors controlling triggering of the recent paroxysmal eruptions at Mt. Etna. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 278–279, pp. 1–13.

Viccaro M., Nicotra E., Millar I.L., Cristofolini R. (2011). The magma source at Mount Etna volcano: perspectives from the Hf isotope composition of historic and recent lavas. *Chemical Geology*, 281, pp. 343–351.

Viccaro M., Cristofolini R. (2008). Nature of mantle heterogeneity and its role in the short term geochemical and volcanological evolution of Mt. Etna (Italy). *Lithos*, 105, pp. 272–288.

Wezel F.C. (1970). *Geologia del Flysch Numidico della Sicilia nord-orientale*. Memorie della Società Geologica Italiana, 9, pp. 225-280.

You C. F., Gieskes J. M., Lee T., Yui T. F., Chen H. W. (2004) Geochemistry of mud volcano fluids in the Taiwan accretionary prism, *Appl. Geochem.*, 19, 695–707.

Yuce G., Italiano F., D'Alessandro W., Yalcin T.H., Yasind D.U., Gulbay A.H., Ozyurt N.N., Rojay B., Karabacak V., Bellomo S., Brusca L., Yang T., Fug C.C., Lai C.W., Ozacar A., Walia V. (2014). Origin and interactions of fluids circulating over the Amik Basin (Hatay, Turkey) and relationships with the hydrologic, geologic and tectonic settings. *Chemical Geology*, 388, 23–39.

Zhang J., Quay P.D., Wilbur D.O. (1995). Carbon isotope fractionation during gas-water exchange and dissolution of CO₂. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, 107-114.

APPENDICE

Tabella a1 – Composizione chimica ed isotopica delle acque. Quota in m (slm). Temperatura in °C. Eh in mV. TDS, Ca, Mg, Na, K, Alk, Cl, SO₄, F, Br e NO₃ in mg/L. δ¹⁸O-H₂O e δD-H₂O in ‰ vs. SMOW.

ID	Ref	Utm-E	Utm-N	Località	Sito	Area	Famiglia	Tipo	Quota	T	pH	CND	Eh	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Alk	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	δ ¹⁸ O-H ₂ O	δD-H ₂ O	(Δ)
		WGS84 Fuso 33N				geochimica			m slm	°C		μS/cm	mV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	V-SMOW	V-SMOW	meq/L (%)
1	DO	494907	4223939	Gioiosa M.	Santa Margherita	Mt. Peloritani	CSAT	s	250	15,9	6,7	339	54,9	240	22,2	12,1	27,7	4,8	63	42	40	0,82	0,18	27,30	-7,00	-37,80	-1,25
2	DO	495177	4224556	Gioiosa M.	Barone Calcagno	Mt. Peloritani	CSAT	s	38	16,9	7,5	631	116,9	526	67,0	27,0	46,2	6,5	211	66	85	1,10	0,22	16,00	-6,60	-36,30	2,28
3	DO	509381	4213985	Gioiosa M.	Campogrande 2	Mt. Peloritani	BAT	s	297	16,0	7,2	713	129,5	673	129,0	12,9	42,0	2,7	365	39	53	1,10	0,11	28,80	-6,23	-35,50	3,89
4	DO	495598	4222533	Gioiosa M.	Sorgente Villa Antica	Mt. Peloritani	BAT	s	152	17,4	8,0	805	54,8	768	115,0	42,0	41,7	8,3	412	57	88	1,50	0,18	3,10	-6,61	-37,10	4,24
5	DO	493822	4226065	Gioiosa M.	Galleria Villa Ridente	Mt. Peloritani	CA	gd	48	18,4	7,8	1057	102,5	797	48,0	44,0	154,0	7,4	158	234	128	1,40	0,74	21,60	-6,47	-36,80	2,47
6	DO	493822	4226065	Gioiosa M.	Pozzo Pino	Mt. Peloritani	CA	p	48	18,8	6,7	1219	106,9	930	51,0	51,0	175,0	11,8	183	273	168	1,40	0,68	15,10	-6,62	-36,70	0,48
7	DO	494031	4226178	Gioiosa M.	Sorgente Fetente	Mt. Peloritani	CSAT	s	34	14,2	7,3	1448	51,4	1332	96,0	113,0	140,0	13,7	359	247	351	2,20	0,60	9,70	-6,71	-36,70	0,22
8	MO	494144	4224357	Gioiosa M.	A. Amanti	Mt. Peloritani	CSAT	s	342	16,9	6,7	342	307,2	197	17,0	9,7	26,5	5,4	55	42	35	0,95	0,16	4,71	-6,87	-37,50	-0,34
9	MO	492797	4224883	Gioiosa M.	Balsima	Mt. Peloritani	BAT	s	410	17,1	7,7	922	230,9	678	65,3	51,4	48,5	4,6	311	82	93	1,12	0,24	19,84	-6,90	-37,00	-0,14
10	MO	495311	4223776	Gioiosa M.	C. Piana	Mt. Peloritani	CSAT	s	107	16,6	7,3	443	251,9	301	30,6	19,9	28,2	3,3	119	52	40	1,10	0,16	6,88	-6,86	-36,90	0,51
11	MO	493416	4224324	Gioiosa M.	Fontane	Mt. Peloritani	BAT	s	514	15,5	7,5	738	196,8	613	102,5	26,8	20,8	2,3	330	28	95	1,08	0,08	6,82	-7,13	-39,40	-0,34
12	MO	492888	4223170	Gioiosa M.	Lavatoio	Mt. Peloritani	BAT	s	412	16,2	7,2	988	227,1	801	101,2	53,9	32,4	2,2	470	64	71	0,86	0,16	5,58	-6,92	-38,60	-0,80
13	MO	494216	4223986	Gioiosa M.	Pileci	Mt. Peloritani	BAT	s	412	15,6	7,4	416	216,3	304	37,5	20,6	12,6	2,9	162	23	42	0,57	0,08	2,98	-7,13	-38,30	-0,63
14	MO	493516	4225443	Gioiosa M.	Acqua Poma	Mt. Peloritani	CSAT	s	320	16,8	6,2	668	274,9	395	30,4	17,6	58,4	14,8	79	89	66	1,12	0,24	37,58	-6,90	-36,10	0,24
15	MO	494193	4223748	Gioiosa M.	Russa	Mt. Peloritani	BAT	s	454	14,9	7,4	420	81,4	313	39,9	20,5	13,2	2,8	171	23	42	0,57	0,08	0,19	-7,14	-37,80	-0,27
16	MO	495495	4222873	Gioiosa M.	S. Febronia	Mt. Peloritani	CSAT	s	198	18,1	7,6	294	199,5	167	14,7	8,0	25,2	2,0	43	45	20	1,14	0,16	7,69	-6,59	-35,00	-0,89
17	MO	493195	4223285	Gioiosa M.	S. Filippo (Gaiezza)	Mt. Peloritani	BAT	s	539	17,5	8,0	438	214,1	331	62,9	5,9	19,7	1,3	165	31	28	0,70	0,08	16,49	-7,14	-40,20	0,39
18	DO	494835	4225014	Gioiosa M.	Pozzo Napoli	Mt. Peloritani	CA	p	19	18,7	6,6	6400	-56,4	7720	274,0	512,0	1382,0	53,0	3029	2403	55	1,30	9,10	1,30	-6,00	-32,40	-0,62
19	DO	509546	4215258	Campogrande	Borgo Abacena	Mt. Peloritani	BAT	gd	243	14,5	7,4	734	133,2	693	137,0	10,6	44,0	3,2	380	42	49	1,40	0,15	25,30	-6,06	-35,10	4,23
20	DO	508731	4213686	Campogrande	San Fantino	Mt. Peloritani	BAT	s	366	16,9	7,0	1018	153,5	1019	182,0	12,7	80,0	20,5	463	77	103	1,40	0,18	79,00	-6,22	-36,30	3,20
21	MO	497652	4215362	Librizzi	Rinazzo	Mt. Peloritani	CSAT	p	243	22,0	7,9	634	-1,0	408	38,2	13,6	64,3	2,5	168	61	54	3,42	0,16	3,41			0,47
22	MO	496473	4215083	Librizzi	Fraiale	Mt. Peloritani	BAT	s	576	15,0	7,7	367	196,4	256	41,3	8,0	18,0	0,8	137	26	17	2,64	0,08	4,77			-0,41
23	MO	496188	4214236	Librizzi	Porta dei Leoni	Mt. Peloritani	CSAT	s	527	9,5	7,1	291	165,6	179	14,7	9,3	24,2	1,4	73	36	19	0,57	0,08	0,06			-1,10
24	MO	498355	4214168	Librizzi	P. Biondo	Mt. Peloritani	BA	p	326	15,1	8,6	550	-	404	20,0	11,8	75,2	9,4	207	56	23	0,76	0,16	0,00	-6,70	-39,00	-0,20

ID	Ref	Utm-E	Utm-N	Località	Sito	Area	Famiglia	Tipo	Quota	T	pH	CND	Eh	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Alk	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	δ ¹⁸ O-H ₂ O	δD-H ₂ O	(Δ)
WGS84 Fuso 33N									m slm	°C		μS/cm	mV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	V-SMOW	V-SMOW	meq/L (%)
25	MO	496192	4211480	San Piero Patti	Forzano	Mt. Peloritani	BAT	s	439	17,0	9,5	452	118,2	331	41,7	15,6	22,7	1,6	198	26	19	0,70	0,08	5,33			-1,23
26	MO	497377	4220667	Patti	P. Pintaudi	Mt. Peloritani	CA	p	234	18,2	7,9	5100	-223,0	3507	145,1	82,9	873,5	29,3	381	689	1300	1,10		4,34	-6,35	-38,00	-0,09
27	MO	499327	4220943	Patti	Timeto	Mt. Peloritani	BAT	p	35	16,4	7,5	834	201,0	667	105,6	22,4	42,8	4,3	330	46	113	1,06		2,54	-6,97	-39,00	-0,44
28	MO	480377	4218836	Naso	Feudo	Mt. Peloritani	BAT	s	397	15,8	7,2	781	168,5	562	114,0	8,3	21,1	1,1	336	39	28	0,46		14,63	-6,85	-36,00	-0,87
29	MO	469393	4214382	Sant' Agata di Militello	Papa	Mt. Peloritani	BAT	p	17	18,3	7,2	1020	167,6	895	141,5	30,9	63,0	3,4	394	85	146	0,32		32,24	-6,81	-39,00	0,06
30	MO	474809	4219409	Capo D'Orlando	Masseria	Mt. Peloritani	BAT	p	12	16,9	7,5	643	101,0	569	80,4	30,4	23,9	2,6	339	29	54	0,33		8,99	-7,41	-43,00	-0,31
31	MO	492887	4201193	Floresta	San Giacomo	Mt. Peloritani	BAT	s	1073	7,9	8,4	459	204,7	325	50,5	16,5	7,1	1,4	226	12	12	0,00		<1	-8,52	-47,00	-0,76
32	DO	515020	4220785	T. Vigliatore	Terme Augusto	Mt. Peloritani	BA	p	41	30,2	6,7	4280	-309,0	6011	230,0	192,0	1132,0	31,0	4209	144	66	3,30	0,80	1,00	-6,90	-37,07	1,80
33	DO	511713	4219733	T. Vigliatore	Pozzo Isgrò	Mt. Peloritani	BAT	p	25	14,8	7,6	573	264,7	570	60,3	37,5	29,2	2,7	334	29	70	0,65	0,05	5,87	-6,74	-38,09	-2,98
34	DO	513405	4220438	T. Vigliatore	Pozzo Isgrò 2	Mt. Peloritani	CSAT	p	27	17,5	7,5	1169	130,0	1153	125,0	47,4	129,0	8,0	472	137	227	2,70	0,51	3,50	-5,11	-29,16	-1,79
35	DO	516002	4220660	T. Vigliatore	Contrada Mendola	Mt. Peloritani	BAT	p	50	16,1	7,3	676	124,0	727	93,5	48,8	23,6	3,9	383	32	137	0,96	0,03	4,19	-6,48	-34,59	-1,74
36	DO	514670	4221156	T. Vigliatore	Pozzo Nino	Mt. Peloritani	BA	p	36	19,8	7,4	1135	122,2	1260	74,2	59,4	191,0	13,8	741	58	99	2,27	0,12	21,89	-6,52	-35,13	2,80
37	DO	513067	4217206	Rodi Milici	Trifilò	Mt. Peloritani	CA	pg	97	20,7	9,0	1320	-12,0	1065	4,3	1,6	324,0	5,1	324	124	280	1,20	0,24	0,13	-6,01	-33,63	-0,43
38	DO	509510	4217937	Furnari	C. San Filippo	Mt. Peloritani	BA	s	25	18,9	8,6	1451	-257,0	1319	3,7	2,1	385,0	4,6	684	137	90	10,20	0,43	0,29	-7,17	-40,21	-0,74
39	DO	509178	4218684	Furnari	La Palmara	Mt. Peloritani	CSAT	p	10	21,3	7,0	1649	-1,4	1604	184,0	65,0	185,0	13,2	513	180	446	1,90	0,87	15,40	-5,78	-33,23	-0,43
40	DO	510014	4218725	Furnari	Pozzo Giambò V.	Mt. Peloritani	CSAT	p	11	19,6	7,0	1297	73,8	1388	162,0	60,8	130,0	14,6	544	198	248	1,90	0,54	28,00	-6,14	-35,05	-2,79
41	DO	510179	4218537	Furnari	C. Marulli	Mt. Peloritani	CSAT	s	16	18,4	7,2	1185	93,3	1208	126,9	62,2	118,0	7,1	403	202	254	1,47	0,53	33,87	-5,88	-34,21	-4,14
42	DO	509381	4217935	Furnari	Pozzo Ventura	Mt. Peloritani	BA	p	24	23,9	7,7	1104	67,0	1203	77,8	25,0	233,0	3,5	610	102	144	4,80	0,28	3,14	-6,42	-35,80	-0,06
43	DO	520051	4225592	Milazzo	Pozzo di Perla	Mt. Peloritani	BAT	p	31	17,4	7,6	530	101,0	508	91,2	11,8	22,3	4,9	247	25	87	0,59	0,06	17,92	-6,50	-34,85	-2,08
44	DO	522643	4226235	Milazzo	C. Faraone	Mt. Peloritani	BAT	p	49	20,3	7,6	533	103,7	538	97,0	11,9	28,7	7,6	250	30	99	0,96	0,12	12,70	-6,18	-33,10	0,01
45	DO	516087	4221631	Castroreale	C. Pilato	Mt. Peloritani	BA	p	140	19,5	9,0	1285	14,2	1115	0,0	0,0	328,6	0,0	523	104	150	9,02	0,30	0,87	-6,47	-36,26	-2,77
46	DO	519908	4217230	Barcellona	Pozzo Praga	Mt. Peloritani	BAT	p	435	21,3	7,5	770	-31,0	846	160,3	21,7	25,1	3,0	433	36	164	2,10	0,25	0,18	-6,36	-35,40	-3,03
47	DO	520335	4223258	Barcellona	Pozzo Cavallaro	Mt. Peloritani	BAT	p	44	22,0	7,3	875	128,8	875	138,2	22,7	57,0	7,5	391	60	150	1,40	0,29	46,70	-5,91	-32,20	-2,62
48	DO	516269	4222775	Barcellona	Pozzo Puliafito	Mt. Peloritani	BAT	p	13	25,8	7,4	847	-181,2	929	139,0	26,0	56,0	10,0	455	77	163	1,40	0,40	0,15	-6,28	-34,30	-5,10
49	DO	537593	4207118	All Terme	Terme Marino 1	Mt. Peloritani	CA	p	32	31,7	6,1	11040	-248,2	9017	642,0	219,0	2053,0	112,0	1107	3633	1228	3,90	16,80	0,20	-4,45	-25,50	-1,51

ID	Ref	Utm-E	Utm-N	Località	Sito	Area	Famiglia	Tipo	Quota	T	pH	CND	Eh	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Alk	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	δ ¹⁸ O-H ₂ O	δD-H ₂ O	(Δ)
WGS84 Fuso 33N							geochimica		m slm	°C		μS/cm	mV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	V-SMOW	V-SMOW	meq/L (%)
50	MO	537565	4207107	Alì Terme	Terme Marino 2	Mt. Peloritani	BAT	p	32	25,0	6,1	-	-228,0	2303	299,2	119,8	172,0	13,5	1114	298	285	1,06	1,44		-5,53	-30,00	-0,08
51	DO	537768	4207134	Alì Terme	Terme Granata	Mt. Peloritani	CA	p	0	21,6	6,0	12900	-179,1	14132	658,0	290,0	4082,0	170,0	768	6876	1246	5,00	29,00	2,00	-4,30	-30,50	1,18
52	DO	537860,95	4207074	Alì Terme	V10	Mt. Peloritani	CA	p	0	17,6	6,4	30900	-225,0	40904	1718,0	974,0	12455,0	608,0	1610	20577	2824	7,40	106,00	9,40	2,16	-1,80	4,04
53	DO	537338	4206638	Alì Terme	Hotel Terme Grazia	Mt. Peloritani	CA	p	10	31,8	5,9	45100	-294,1	40284	1288,0	1048,0	11851,0	507,0	1465	20788	3224	3,80	93,00	0,00	1,88	0,10	0,05
54	MO	537500	4206840	Alì Terme	Parco Giochi	Mt. Peloritani	CSAT	p	8	18,2	8,5	1386	19,1	913	133,1	53,0	54,1	8,2	262	165	219	0,57		17,98	-6,08	-31,00	-0,99
55	MO	537325	4206645	Alì Terme	Berlingheri	Mt. Peloritani	CSAT	p	11	24,1	7,6	1181	64,3	910	95,2	27,7	125,8	7,0	284	98	207	1,27	0,40	63,25			-0,63
56	DO	469861	4212450	Alcara Li Fusi	Contura	Mt. Peloritani	BAT	s	232	16,6	7,1	711	144,2	792	128,2	31,8	40,7	4,9	450	73	57	0,91	0,19	5,78	-6,64	-37,40	0,71
57	DO	470418	4212752	Militello Rosmarino	Astasi	Mt. Peloritani	BAT	s	212	15,6	7,5	772	94,9	788	119,6	36,0	39,3	3,0	439	71	78	0,62	0,17	1,68	-6,80	-37,50	-0,74
58	MO	474049	4208377	Alcara Li Fusi	Fontana Abate	Mt. Peloritani	BAT	s	405	14,5	7,7	442	130,0	341	57,1	13,6	8,4	1,5	232	13	12	0,19		3,78	-8,11	-48,00	-1,16
59	DO	479716	4202376	Alcara Li Fusi	Mangalaviti	Mt. Peloritani	BAT	s	1261	17,3	7,2	177	92,7	165	29,0	2,9	7,2	0,7	111	7	6	0,06	0,03	0,40	-8,06	-46,70	-3,72
60	DO	474342	4200889	Alcara Li Fusi	Acqua Fridda	Mt. Peloritani	BAT	s	1257	13,0	6,5	117	124,9	139	21,0	3,1	8,4	1,5	90	8	7	0,06	0,03	0,40	-7,89	-46,70	-3,87
61	MO	495192	4220618	Montagnareale	Montagnareale	Mt. Peloritani	BAT	s	350	16,9	6,9	458	151,4	299	30,3	19,8	22,2	3,4	146	35	36			6,14	-7,36	-40,00	-0,48
62	DO	492803	4210535	Raccuja	Fontana Trono	Mt. Peloritani	BAT	s	698	12,6	7,5	77	122,0	258	37,0	10,1	16,6	1,8	135	23	33	0,24	0,06	0,56	-7,90	-44,80	-1,75
63	MO	502898	4194551	Moio Alcantara	Passo Moio	Mt. Peloritani	BAT	p	543	13,3	7,8	627	154,0	455	74,1	12,8	24,4	3,5	272	20	43	0,30		5,57	-7,45	-44,00	-0,90
64	MO	511236	4220558	Terme Vigliatore	Bonomo	Mt. Peloritani	BAT	p	5	14,0	7,2	793	239,0	677	80,2	45,3	29,4	4,9	391	28	76	0,58		22,51	-6,88	-38,00	-0,16
65	MO	507612	4210072	Tripi	Palombaro	Mt. Peloritani	BAT	p	307	16,4	7,8	700	209,8	559	85,8	20,7	32,6	3,1	296	31	86	0,57		3,04	-6,78	-37,00	-0,84
66	MO	516445	4204413	Fondachelli-Fantina	Bocca di Cane	Mt. Peloritani	BAT	p	544	12,4	7,1	931	220,0	903	35,3	122,2	12,3	3,3	662	16	50	0,35		1,61	-7,68	-42,00	0,17
67	MO	527832	4227168	Pace del Mela	Tagliatore	Mt. Peloritani	BAT	p	35	15,7	7,4	677	174,7	607	98,6	18,5	34,9	5,5	302	32	108	1,26		6,57	-6,34	-35,00	-0,94
68	MO	519064	4220872	Barcellona Pozzo di Gotto	Isonzo	Mt. Peloritani	BAT	p	83	16,2	7,7	840	114,8	649	111,4	18,3	34,3	6,6	311	40	114	1,03		11,72	-6,38	-35,00	-0,74
69	MO	537158	4227091	Spadafora	Vena	Mt. Peloritani	CSAT	p	177	14,1	7,3	415	233,0	327	42,5	17,6	19,9	6,3	122	25	89	1,14		3,47	-6,48	-35,00	-0,77
70	MO	506888	4218673	Falcone	Filiti A.	Mt. Peloritani	BAT	p	3	17,3	7,1	1653	170,0	1297	187,6	41,1	129,0	2,7	519	144	255	2,48		16,49	-5,00	-30,00	0,39
71	MO	506910	4219260	Falcone	Filiti P.	Mt. Peloritani	CSAT	p	5	18,7	7,4	726	-14,0	677	96,6	20,2	57,2	7,1	354	56	85	1,37		<1	-6,86	-38,00	-0,35
72	MO	508213	4218856	Falcone	Foti	Mt. Peloritani	BAT	p	12	18,5	7,3	929	304,0	785	122,2	22,5	59,5	4,6	415	60	94	1,65		5,67	-5,86	-34,00	0,12
73	MO	510417	4219834	Furnari	Torre G.	Mt. Peloritani	BAT	p	6	16,1	7,5	811	97,0	685	80,8	46,9	32,6	4,3	391	29	85	0,77		15,38	-6,77	-40,00	0,84
74	MO	510858	4220662	Terme Vigliatore	Edil Mare	Mt. Peloritani	BAT	p	3	12,0	7,4	787	203,0	679	80,0	45,9	31,0	3,6	384	30	77	0,63		26,23	-6,84	-40,00	-0,01
75	MO	512218	4221133	Terme Vigliatore	Calabrò	Mt. Peloritani	BAT	p	3	16,8	7,1	866	154,0	753	101,2	42,6	35,6	5,1	418	35	96	0,63		19,47	-6,64	-40,00	0,33

ID	Ref	Utm-E	Utm-N	Località	Sito	Area	Famiglia	Tipo	Quota	T	pH	CND	Eh	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Alk	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	δ ¹⁸ O-H ₂ O	δD-H ₂ O	(Δ)
		WGS84 Fuso 33N					geochimica		m slm	°C		μS/cm	mV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	V-SMOW	V-SMOW	meq/L (%)
76	MO	512564	4220363	Terme Vigliatore	Scilipoti	Mt. Peloritani	BAT	p	21	14,1	7,7	946	166,0	780	93,8	51,5	37,2	4,8	418	34	107	0,65		33,23	-6,76	-39,00	0,24
77	MO	512666	4220711	Terme Vigliatore	Siracusa	Mt. Peloritani	BAT	p	14	16,7	7,2	789	151,0	706	96,4	39,0	34,0	4,7	406	31	81	0,70		13,14	-6,50	-36,00	0,77
78	MO	514731	4221907	Terme Vigliatore	Squadrito	Mt. Peloritani	BAT	p	10	16,4	7,2	922	81,0	836	93,6	66,2	27,6	6,0	433	28	158	0,71		23,00	-6,59	-38,00	-0,47
79	MO	520648	4226628	Milazzo	Amalfa	Mt. Peloritani	BAT	p	30	17,3	7,3	696	89,0	554	107,0	12,6	20,3	6,1	268	23	93	0,55		22,57	-6,85	-38,00	0,25
80	MO	511063	4219938	Terme Vigliatore	Scilipoti A.	Mt. Peloritani	BAT	p	10	16,5	7,4	776	184,0	687	82,6	45,9	29,7	4,3	406	28	80	0,60		10,35	-6,59	-41,00	0,03
81	MO	519359	4227081	Milazzo	Gitto M.	Mt. Peloritani	BAT	p	18	17,1	7,4	696	108,0	618	117,6	14,7	19,7	5,9	305	27	95	0,56		32,67	-6,79	-36,00	-1,24
82	MO	520680	4227174	Milazzo	Picciole	Mt. Peloritani	CSAT	p	22	18,0	7,3	1039	112,5	672	131,1	18,7	26,2	5,0	177	40	176	0,47		97,34	-6,38	-33,00	0,27
83	MO	521202	4228643	Milazzo	Sicil Flora	Mt. Peloritani	BAT	p	13	17,2	7,4	618	127,5	580	114,0	13,4	21,5	6,2	256	26	103	0,72		38,87	-6,96	-36,00	0,88
84	MO	521805	4225909	Milazzo	Fiumarella	Mt. Peloritani	BAT	p	35	15,8	7,5	532	226,0	466	86,4	11,5	16,9	5,7	220	22	84	0,73		19,16	-6,60	-36,00	-1,35
85	MO	521156	4229588	Milazzo	Zerilli	Mt. Peloritani	CSAT	p	21	17,6	7,3	988	155,0	761	128,3	22,7	59,5	6,8	250	142	124	0,85		26,72	-6,61	-37,00	-0,55
86	MO	521065	4228169	Milazzo	D'Amico	Mt. Peloritani	BAT	p	10	17,4	7,2	873	83,0	880	169,1	19,9	37,7	7,0	366	47	159	0,77		73,16	-6,35	-35,00	0,18
87	MO	520285	4228373	Milazzo	Formica G.	Mt. Peloritani	BAT	p	6	17,6	7,4	630	54,0	596	117,8	13,6	21,5	5,8	256	29	109	0,76		42,04	-7,00	-37,00	0,52
88	MO	517962	4222903	Barcellona Pozzo di Gotto	Aia Scarpaci	Mt. Peloritani	BAT	p	30	18,7	7,4	980	208,0	780	138,7	20,4	41,2	6,4	366	48	129	1,11		29,33	-6,29	-35,00	-0,07
89	MO	520991	4228027	Milazzo	Formica P.	Mt. Peloritani	BAT	p	6	17,0	7,2	824	94,0	750	151,7	16,5	24,6	6,5	284	39	136	0,68		90,52	-6,41	-37,00	0,39
90	MO	519178	4219994	Barcellona Pozzo di Gotto	2 Mulini	Mt. Peloritani	BAT	p	94	15,8	7,5	726	166,0	595	103,8	15,3	31,4	6,0	287	37	105	1,18		8,43	-6,42	-35,00	-1,06
91	MO	519133	4220722	Barcellona Pozzo di Gotto	S. Venera	Mt. Peloritani	BAT	p	68	16,6	7,3	773	143,0	650	110,6	18,2	35,9	6,3	311	43	110	1,30		12,90	-6,16	-34,00	-0,85
92	MO	518974	4223035	Barcellona Pozzo di Gotto	S. Andrea	Mt. Peloritani	BAT	p	32	18,1	7,1	818	151,0	731	128,3	19,4	39,1	6,5	342	43	122	1,31		29,20	-6,30	-35,00	-0,18
93	MO	519992	4223333	Barcellona Pozzo di Gotto	Dal Contres	Mt. Peloritani	BAT	p	55	17,9	7,3	1163	98,0	888	144,3	24,2	60,7	12,9	394	66	147	1,64		37,82	-5,83	-33,00	0,38
94	MO	514340	4221774	Terme Vigliatore	Milone	Mt. Peloritani	BAT	p	14	18,8	7,2	1314	122,0	1249	114,4	77,6	116,1	7,6	619	87	185	0,57		40,67	-6,49	-36,00	0,56
95	MO	515878	4220762	Terme Vigliatore	Catena	Mt. Peloritani	BAT	p	30	18,6	7,3	1081	197,2	844	97,2	47,9	68,3	6,9	406	88	118	1,08		11,22	-6,32	-37,00	0,44
96	MO	512367	4221053	Terme Vigliatore	Perdichizzi	Mt. Peloritani	BAT	p	8	18,7	7,2	763	175,0	748	97,2	42,6	35,9	5,1	433	32	84	0,69		17,42	-6,62	-38,00	-0,08
97	MO	511828	4220089	Terme Vigliatore	Cambria	Mt. Peloritani	BAT	p	19	13,9	7,4	659	218,0	601	71,9	40,0	26,4	4,0	357	26	67	0,18		8,31	-6,96	-34,00	0,07
98	MO	511145	4220436	Terme Vigliatore	Giambò T.	Mt. Peloritani	BAT	p	8	16,2	7,3	722	127,0	650	75,8	44,2	29,7	4,3	384	27	75	0,72		9,36	-6,94	-38,00	0,06
99	MO	510267	4220117	Furnari	Mazzeo	Mt. Peloritani	BAT	p	5	17,0	7,3	867	162,0	773	94,8	51,2	36,1	4,5	424	32	99	0,63		30,01	-6,68	-39,00	0,82
100	MO	518832	4224179	Barcellona Pozzo di Gotto	Giorgianni	Mt. Peloritani	BAT	p	15	17,0	6,9	1074	37,0	923	160,7	25,1	46,0	7,6	442	60	131	1,25		46,00	-6,22	-38,00	-0,17
101	MO	518910	4222840	Barcellona Pozzo di Gotto	Chiesa S. Andrea	Mt. Peloritani	BAT	p	38	16,9	7,4	783	164,0	669	113,6	17,6	37,5	6,8	317	38	114	1,15		22,82	-6,30	35,00	-0,93

ID	Ref	Utm-E	Utm-N	Località	Sito	Area	Famiglia	Tipo	Quota	T	pH	CND	Eh	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Alk	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	δ ¹⁸ O-H ₂ O	δD-H ₂ O	(Δ)
WGS84 Fuso 33N							geochimica		m slm	°C		μS/cm	mV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	V-SMOW	V-SMOW	meq/L (%)
102	MO	516220	4221663	Barcellona Pozzo di Gotto	CasaBianca	Mt. Peloritani	BAT	p	30	16,5	7,3	1013	27,0	809	107,6	55,0	22,3	4,9	464	20	126	0,57		9,18	-6,55	-38,00	0,10
103	MO	520131	4223146	Barcellona Pozzo di Gotto	Petraro	Mt. Peloritani	BAT	p	60	17,9	7,3	981	112,0	814	135,3	22,8	51,5	10,4	357	63	148	1,48		23,50	-5,95	-33,00	-0,24
104	MO	511495	4215935	Mazzarra' Sant' Andrea	Alosi2	Mt. Peloritani	BAT	p	91	15,1	7,2	710	156,0	656	74,1	45,8	28,7	4,1	397	26	73	0,82		6,32	-6,76	-37,00	-0,44
105	MO	511062	4219472	Terme Vigliatore	Alosi1	Mt. Peloritani	BAT	p	17	16,0	7,5	740	151,0	688	78,2	45,6	36,3	4,6	397	34	81	0,80		11,66	-6,73	-38,00	-0,11
106	MO	510949	4215874	Mazzarra' Sant' Andrea	Badia	Mt. Peloritani	BAT	p	111	14,3	7,5	742	124,0	618	70,7	43,0	28,3	3,8	369	24	73	0,75		5,53	-6,85	-37,00	0,15
107	MO	524926	4226810	San Filippo del Mela	Sorgente	Mt. Peloritani	BAT	p	84	17,8	7,1	557	124,0	411	50,5	13,7	42,8	3,9	195	26	69	1,38		8,93	-6,00	-33,00	0,27
108	MO	530283	4227602	Monforte San Giorgio	Benefizio	Mt. Peloritani	BAT	p	43	15,7	7,6	447	300,6	386	61,5	11,9	23,2	5,6	185	22	71	0,80		5,86	-6,36	-33,00	-0,53
109	MO	511084	4215996	Mazzarra' Sant' Andrea	Lionti	Mt. Peloritani	BAT	p	89	16,0	7,3	831	133,0	637	72,1	45,2	27,8	3,8	384	27	70	0,88		6,26	-6,88	-34,00	-0,23
110	MO	512285	4216929	Mazzarra' Sant' Andrea	Ca.Rot.	Mt. Peloritani	BAT	p	70	15,5	7,4	516	173,0	483	78,0	17,3	24,6	4,3	268	26	59	0,91		4,71	-6,31	-34,00	0,02
111	MO	511006	4215208	Mazzarra' Sant' Andrea	Cons. Mazzarrà	Mt. Peloritani	BAT	p	112	13,9	8,4	700	148,0	592	58,7	45,7	28,3	3,6	351	23	75	0,53		5,83	-6,83	-37,00	-0,56
112	MO	513336	4216406	Rodi' Milici	Arcoraci	Mt. Peloritani	CSAT	p	127	17,7	6,7	1448	85,0	1274	194,8	47,1	113,6	3,5	497	174	238	1,45		3,78	-5,86	-32,00	1,31
113	MO	539534	4233086	Villafranca Tirrena	Casazza	Mt. Peloritani	CSAT	p	13	12,9	7,7	224	236,6	146	13,6	9,6	14,0	4,4	34	20	48	0,42		1,55	-7,08	-36,00	0,41
114	MO	515725	4222628	Barcellona Pozzo di Gotto	Cavilla	Mt. Peloritani	BAT	p	24	17,0	7,1	971	180,0	808	106,4	56,1	22,1	4,8	458	18	138	0,53		4,98	-6,83	-38,00	0,13
115	MO	515866	4221962	Barcellona Pozzo di Gotto	Caliri	Mt. Peloritani	BAT	p	22	17,5	7,2	939	139,0	742	129,5	19,3	39,8	6,6	363	40	117	1,08		26,10	-6,89	-35,00	-0,16
116	MO	527862	4226721	Pace del Mela	Laino	Mt. Peloritani	BAT	p	50	16,5	7,3	645	176,0	577	91,8	17,1	35,6	5,7	290	29	102	1,11		5,46	-6,29	-35,00	-0,93
117	MO	483430	4217906	Sinagra	Solicchiata	Mt. Peloritani	BAT	p	87	17,7	7,2	576	158,1	487	76,6	17,6	29,6	3,8	241	34	80	0,37		3,81	-7,26	-41,00	-0,03
118	MO	486415	4223336	Piraino	Campo Piraino	Mt. Peloritani	BAT	p	30	15,8	7,1	688	162,0	493	70,3	23,7	29,9	4,8	244	33	81	0,84		5,98	-7,03	-39,00	0,93
119	MO	493829	4207252	Raccuja	Buculica	Mt. Peloritani	BAT	s	1002	11,2	7,8	408	224,9	327	65,5	6,4	8,0	0,8	220	11	10			5,64	-8,23	-47,00	-0,52
120	MO	491495	4221587	Gioiosa Mare	San Francesco 2	Mt. Peloritani	CSAT	p	293	14,4	7,4	568	164,5	384	51,9	20,5	25,1	4,0	159	37	78	0,94		8,31	-7,33	-40,00	0,22
121	MO	545875	4221435	Messina	Sanderson	Mt. Peloritani	BAT	p	61	17,8	7,1	713	280,0	603	87,4	21,1	45,5	7,9	226	45	111	0,88		58,09	-6,24	-34,00	0,04
122	MO	548906	4229323	Messina	Garibaldi	Mt. Peloritani	CSAT	p	28	18,6	7,1	1191	-45,0	918	131,7	36,0	94,5	6,7	351	255	35	0,58		8,12	-7,03	-39,00	-0,10
123	MO	493034	4218244	Montagnareale	Colella	Mt. Peloritani	BAT	s	752	12,4	7,4	206	212,7	120	7,7	8,3	14,8	1,9	54	21	10			1,40	-7,95	-42,00	1,08
124	MO	486912	4220511	Brolo	Sellica	Mt. Peloritani	BAT	s	725	13,9	7,9	629	237,8	437	50,1	28,9	26,7	7,8	183	47	77			16,49	-7,12	-39,00	0,34
125	MO	484508	4221948	Brolo	Mincica	Mt. Peloritani	BAT	s	62	15,3	7,3	748	236,0	582	83,6	27,1	37,9	5,7	256	60	108			3,88	-7,05	-37,00	-0,06
126	MO	492950	4216339	Sant' Angelo di Brolo	Verni	Mt. Peloritani	CA	s	893	12,3	7,5	143	198,2	74	5,2	3,0	13,4	1,0	27	18	7			<1	-8,22	-45,00	1,31
127	MO	504700	4212054	Basico'	Acqua Bianca	Mt. Peloritani	BAT	s	522	14,9	7,7	742	214,8	617	92,6	27,5	27,8	2,8	397	26	37			7,63	-6,99	-41,00	0,33

ID	Ref	Utm-E	Utm-N	Località	Sito	Area	Famiglia	Tipo	Quota	T	pH	CND	Eh	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Alk	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	δ ¹⁸ O-H ₂ O	δD-H ₂ O	(Δ)
		WGS84 Fuso 33N					geochimica		m slm	°C		μS/cm	mV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	V-SMOW	V-SMOW	meq/L (%)
128	MO	503259	4211473	Montalbano Elicona	Muscarello	Mt. Peloritani	BAT	s	604	14,5	7,6	813	210,0	580	105,6	16,4	30,6	3,2	275	61	89			<1	-7,46	-42,00	-0,19
129	MO	508096	4209206	Tripi	Bamina	Mt. Peloritani	BAT	s	539	15,1	7,6	615	251,1	516	99,6	12,5	14,4	2,1	336	24	20			7,38	-6,53	-38,00	-0,23
130	MO	501720	4204678	Montalbano Elicona	Fontalba	Mt. Peloritani	BAT	s	1083	9,8	7,4	255	187,0	153	21,2	7,3	11,4	1,5	68	19	23			1,11	-8,20	-45,00	0,56
131	MO	491116	4208236	Ucria	Cademi	Mt. Peloritani	BAT	s	785	11,4	8,1	355	215,7	236	30,5	9,4	20,5	1,5	124	23	27			<1	-8,42	-33,00	-0,55
132	MO	505646	4198723	Malvagna	Grasciarone	Mt. Peloritani	BAT	s	836	12,8	7,8	477	203,0	329	45,5	17,9	13,7	1,6	211	17	23			<1	-7,44	-41,00	-0,33
133	MO	505416	4197300	Malvagna	Scriccio	Mt. Peloritani	BAT	s	583	16,4	7,3	826	172,0	595	70,7	38,5	26,4	2,6	366	20	71	0,56		<1	-6,92	-38,00	-0,90
134	MO	518592	4197018	Motta Camastra	Piraino	Mt. Peloritani	BAT	s	1005	11,0	6,7	150	292,4	127	15,9	5,4	10,2	0,9	72	13	7			2,75	-7,40	-37,00	0,89
135	MO	464320	4211766	Acquedolci	Favara Acquedolci	Mt. Peloritani	BAT	s	84	17,4	7,5	554	264,7	470	62,7	28,6	18,6	1,6	302	33	15			8,00	-6,98	-38,00	0,05
136	MO	468905	4210698	Sant'Agata di Militello	Quaranta	Mt. Peloritani	BA	p	604	16,5	7,5	1263	109,0	1112	42,5	39,6	208,5	13,0	598	62	146	0,37		2,48	-7,05	-40,00	0,49
137	MO	517282	4218554	Castroreale	Siragusa	Mt. Peloritani	BAT	p	168	16,5	7,4	808	202,0	695	81,6	45,4	49,2	4,6	317	111	68			17,55	-5,91	-33,00	0,17
138	MO	516050	4220037	Terme Vigliatore	Torre	Mt. Peloritani	BAT	p	146	15,3	7,4	827	234,0	783	87,4	60,9	29,7	8,1	403	28	154			12,71	-5,43	-38,00	0,29
139	MO	532510	4222935	San Pier Niceto	Baronello	Mt. Peloritani	BAT	p	139	14,9	7,6	357	168,0	288	47,1	9,4	16,1	4,9	134	19	55	0,78		2,08	-6,49	-35,00	-0,03
140	MO	518616	4219460	Barcellona Pozzo di Gotto	Gurafi	Mt. Peloritani	BAT	p	154	19,5	7,6	890	87,0	745	83,8	52,5	37,0	4,2	421	60	85	1,59		<1	-5,94	-34,00	-1,11
141	MO	479887	4205580	Galati Mamertino	San Pietro	Mt. Peloritani	BAT	s	857	14,2	7,5	435	173,7	349	59,7	12,8	10,5	1,0	238	12	14			<1	-7,75	-44,00	-0,43
142	MO	472217	4209871	Sant'Agata di Militello	Valerio	Mt. Peloritani	BAT	s	207	14,9	7,9	383	242,4	308	47,3	15,2	9,3	1,0	201	15	14			5,59	-7,30	-43,00	-0,67
143	MO	471622	4215349	Torrenova	Favara Torrenova	Mt. Peloritani	BAT	s	34	16,2	7,4	542	161,2	467	71,9	22,2	17,4	2,4	287	24	37	0,40		4,96	-7,74	-42,00	-0,12
144	MO	485915	4204380	Tortorici	Tassita	Mt. Peloritani	BAT	s	1082	9,6	8,1	456	251,0	358	55,3	19,0	6,4	1,0	250	9	16			1,38	-8,77	-49,00	-0,78
145	MO	512720	4206098	Novara di Sicilia	Ladone	Mt. Peloritani	BAT	s	988	10,4	8,0	289	219,0	229	45,3	5,3	7,0	0,6	140	11	10			9,36	-7,50	-41,00	0,80
146	MO	510796	4207354	Novara di Sicilia	Greco	Mt. Peloritani	BAT	s	639	12,9	8,1	303	234,2	252	50,5	4,9	8,0	1,1	149	13	10			15,69	-7,41	-40,00	0,54
147	MO	539753	4222309	Rometta	Brignoli	Mt. Peloritani	CSAT	s	653	9,8	7,6	161	262,0	98	7,4	5,6	12,8	3,6	20	20	26			4,27	-6,83	-35,00	-0,11
148	MO	537319	4206873	Ali' Terme	Scullica	Mt. Peloritani	CSAT	p	20	15,5	7,7	971	-67,0	810	101,0	40,6	72,6	5,8	272	70	221	0,87		26,47	-5,94	-32,00	0,79
149	MO	526546	4201786	Casalvecchio Siculo	Panausto	Mt. Peloritani	BAT	s	399	17,3	7,8	903	201,0	662	79,2	21,5	50,6	37,8	244	44	126			59,77	-6,49	-32,00	0,39
150	MO	527311	4218380	San Filippo del Mela	Portato	Mt. Peloritani	BAT	s	399	16,2	7,6	465	240,0	400	85,6	6,9	14,3	1,7	195	18	77			2,18	-6,73	-37,00	1,59
151	MO	538314	4223834	Rometta	Tracanale	Mt. Peloritani	CSAT	gd	385	10,8	7,5	238	231,7	143	13,2	9,7	13,7	4,3	34	20	49			<1	-6,83	-35,00	1,37
152	MO	531291	4217647	San Pier Niceto	Veni	Mt. Peloritani	BAT	s	657	10,9	7,9	271	219,6	222	44,7	3,6	8,7	1,9	119	13	28			3,41	-7,42	-40,00	0,09
153	MO	520481	4213912	Castroreale	Pumia	Mt. Peloritani	BAT	s	678	12,4	7,9	519	231,4	387	75,8	7,7	13,8	3,1	220	21	46			<1		-38,00	-0,49

ID	Ref	Utm-E	Utm-N	Località	Sito	Area	Famiglia	Tipo	Quota	T	pH	CND	Eh	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Alk	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	δ ¹⁸ O-H ₂ O	δD-H ₂ O	(Δ)
		WGS84 Fuso 33N					geochimica		m slm	°C		μS/cm	mV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	V-SMOW	V-SMOW	meq/L (%)
154	MO	522601	4197483	Mongiuffi Melia	Carpani	Mt. Peloritani	BAT	s	780	14,5	7,8	472	189,0	332	46,1	20,2	10,9	1,2	201	15	36	0,00		1,87	-6,47	-32,00	-0,36
155	MO	533479	4202878	Pagliara	Marisca	Mt. Peloritani	CA	p	52	16,4	6,1	345	153,0	194	10,1	11,6	33,1	2,3	31	42	44	1,00		18,79	-6,44	-33,00	-0,16
156	MO	534399	4203252	Roccalumera	Nicotina	Mt. Peloritani	BAT	p	43	14,9	7,8	565	269,0	504	80,4	22,6	20,5	4,7	229	18	120	1,15		8,12	-6,64	-35,00	-0,36
157	MO	494827	4189677	Randazzo	Santa Caterina	Mt. Etna	BAT	p	895	8,2	6,9	589	144,0	572	65,1	28,6	45,3	8,6	311	32	81	0,41		<1	-8,01	-47,00	0,50
158	MO	508132	4193483	Castiglione Di Sicilia	Bragaseggi	Mt. Etna	BAT	p	464	12,1	7,0	1111	187,1	1194	37,5	99,1	127,4	19,4	824	49	30	0,47		7,07	-8,21	-49,00	1,30
159	MO	499096	4192052	Randazzo	Fisauri	Mt. Etna	BAT	p	739	10,2	6,9	503	199,7	501	43,1	24,8	47,4	9,5	305	23	43	0,42		4,90	-8,27	-48,00	-1,13
160	MO	503433	4194192	Castiglione Di Sicilia	17 Salme	Mt. Etna	BAT	p	553	11,3	6,9	624	240,0	633	58,5	31,2	58,4	11,6	378	30	49	0,36		15,13	-8,15	-48,00	-0,02
161	MO	484880	4180332	Bronte	Ciapparazzo	Mt. Etna	CSAT	gd	758,6	11,7	7,6	1128	168,0	1066	27,5	75,9	161,6	20,1	455	102	223	0,56		<1	-8,68	-53,00	0,51
162	MO	488975	4183604	Bronte	Musa	Mt. Etna	BAT	p	1006,1	10,5	7,6	725	130,0	679	35,7	49,5	72,9	14,9	336	46	124	0,54		<1	-8,37	-57,00	-0,04
163	DO	488117	4199294	Tortorici	Santuario	Mt. Nebrodi	BA	s	1304	14,8	8,7	1803	102,0	1946	6,3	1,4	526,0	4,3	1354	28	18	7,00	0,18	0,44	-8,11	-48,37	-0,66
164	MO	465709	4191201	Monte Ambola	Acqua Fredda	M. Nebrodi	BAT	s	1283	10,4	7,6	443	166,9	430	77,4	15,3	11,2	0,9	299	16	10			<1	-8,49	-48,00	0,59
165	MO	475263	4188401	Cesarò	Pitirro	M. Nebrodi	CSAT	s	1050	15,0	7,3	456	211,0	372	53,9	9,2	32,4	7,7	143	36	67			21,82	-8,01	-46,00	-0,70
166	MO	435904	4206522	Tusa	Fiumara Tusa	M. Nebrodi	BAT	p	22	17,6	7,3	813	299,7	728	101,6	28,6	60,0	3,7	311	45	175	0,42		2,39	-6,69	-38,00	0,21
167	MO	445397	4203088	Santo Stefano di Camastra	Vegna	M. Nebrodi	BAT	p	670	15,4	7,3	1002	216,0	917	69,7	55,8	91,7	6,7	558	42	92	0,38		<1	-7,61	-42,00	-0,16
168	MO	446018	4204221	Santo Stefano di Camastra	Raria	M. Nebrodi	BAT	gd	601	12,3	8,1	759	210,0	608	80,0	40,2	20,4	1,7	391	31	40			3,60	-7,42	-41,00	0,35
169	MO	442369	4199832	Motta D'Affermo	Cicè	M. Nebrodi	BAT	gd	826	12,4	8,5	775	167,5	545	61,3	33,7	31,0	2,0	351	23	39			4,74	-7,71	-45,00	-0,40
170	MO	443401	4197839	Mistretta	Neviera	M. Nebrodi	BAT	s	934	12,2	6,8	242	95,0	171	23,4	4,7	16,9	0,9	88	16	20	0,34		<1	-8,10	-44,00	-0,50
171	MO	445817	4192289	Mistretta	Ramata	M. Nebrodi	BAT	s	1044	11,3	7,1	596	32,0	446	75,4	18,2	18,3	2,5	189	14	127	0,31		<1	-8,41	-46,00	-0,43
172	MO	447352	4195075	Mistretta	Raiano	M. Nebrodi	CA	s	1075	11,7	6,5	189	284,0	112	9,3	3,2	10,9	12,1	26	13	22			16,00	-8,08	-45,00	0,54
173	MO	442144	4208000	Santo Stefano di Camastra	Campo Sportivo	M. Nebrodi	BAT	p	18	17,4	7,2	812	249,0	745	98,2	36,7	53,1	4,7	351	49	147	0,42		4,22	-7,11	-40,00	0,23
174	MO	459780	4193847	Capizzi	Nocita	M. Nebrodi	CSAT	s	1447	9,2	7,0	108	160,4	51	5,2	1,9	7,0	0,6	21	9	6			<1	-8,51	-48,00	-0,48
175	MO	482573	4204227	Galati Mamertino	Fossa Neve	M. Nebrodi	BAT	s	1231	9,2	7,4	252	162,3	91	17,3	2,1	4,4	0,5	49	8	9			<1	-8,48	-49,00	0,63
176	MO	478936	4199684	Longi	Balestra	M. Nebrodi	BAT	s	1536	8,3	7,3	253	160,0	156	30,3	3,0	5,2	0,8	99	8	10			<1	-8,56	-47,00	-0,83
177	MO	469057	4209130	Sant'Agata di Militello	Priola	M. Nebrodi	BAT	s	676	11,5	8,2	418	224,2	310	48,1	13,9	11,4	1,5	192	14	23			5,89	-7,28	-39,00	-0,55
178	MO	450461	4208062	Caronia	Mannarano	M. Nebrodi	CSAT	p	65	17,5	7,2	695	123,0	591	86,0	18,5	54,0	3,5	232	43	154	0,32		<1	-6,76	-37,00	0,06
179	MO	455485	4193330	Capizzi	Pomiere	M. Nebrodi	BAT	s	1280	11,0	8,0	545	232,6	417	84,0	9,1	7,7	0,6	293	14	8			1,02	-8,85	-47,00	-0,85

ID	Ref	Utm-E	Utm-N	Località	Sito	Area	Famiglia	Tipo	Quota	T	pH	CND	Eh	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Alk	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	δ ¹⁸ O-H ₂ O	δD-H ₂ O	(Δ)
WGS84 Fuso 33N							geochimica		m slm	°C		μS/cm	mV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	V-SMOW	V-SMOW	meq/L (%)
180	AT	400703	4187307	Sclafani B.	Sclafani Bagni	Mt. Madonie	CA	s	450	34,0	7,2	33500	-	10426	265,0	203,0	3139,0	32,4	439	6145	28		169,00	5,36	-4,32	-40,60	-4,57
181	DO	419852	4198556	Castelbuono	Quattro Cannoli	Mt. Madonie	BAT	s	420	14,3	7,6	80	602,0	308	42,3	18,1	7,5	1,0	215	12	10	0,10	0,04	1,78	-8,74	-53,00	-1,93
182	DO	383562	4194367	Montemaggiore B.	Favara	Mt. Madonie	BAT	s	514	21,8	7,7	122	463,0	462	76,8	14,0	16,7	2,7	283	18	48	0,33	0,16	2,78	-5,97	-36,20	-3,58
183	DO	429371	4184641	Gangi	Acquanuova	Mt. Madonie	BAT	s	817	18,8	7,6	104	66,9	517	79,7	23,8	19,6	1,3	320	32	36	0,12	0,08	4,86	-7,53	-44,00	-1,11
184	MO	405327	4198481	Collesano	Favara di Collesano	Mt. Madonie	BAT	gd	431	16,8	7,5	454	232,0	422	58,9	25,5	11,6	1,5	281	14	29			1,14	-7,82	-44,00	-0,34
185	MO	407089	4198193	Collesano	Pozzi Mora	Mt. Madonie	BAT	p	452	14,7	7,5	455	262,0	428	62,3	24,5	11,1	1,4	281	15	33			<1	-8,18	-46,00	-0,55
186	MO	406291	4196804	Collesano	Pozzi Pigno	Mt. Madonie	BAT	p	618	13,4	7,6	437	472,2	410	52,7	29,2	10,0	1,0	275	16	26			1,52	-8,27	-47,00	-0,11
187	MO	404521	4191263	Scillato	Scillato	Mt. Madonie	BAT	gd	379	12,7	7,8	340	223,0	311	46,7	17,6	6,8	0,8	214	9	16			<1	-8,76	-51,00	-0,01
188	MO	407215	4189128	Scillato	Sausa	Mt. Madonie	BAT	p	476	16,5	7,3	532	30,1	495	76,2	12,1	36,3	3,3	308	24	32			2,24	-7,80	-45,00	0,42
189	MO	418806	4192657	Petralia Sottana	Canna	Mt. Madonie	BAT	s	941	9,8	7,6	370	295,6	348	47,3	22,8	6,3	0,7	244	9	16			1,33	-8,74	-51,00	-0,75
190	MO	413098	4188417	Polizzi Generosa	Pietà Alta	Mt. Madonie	BAT	gd	1025	8,4	7,8	262	259,7	237	42,3	9,2	4,7	0,7	153	8	19			1,09	-8,95	-51,00	-0,78
191	MO	413417	4187126	Polizzi Generosa	Pietra Ardica	Mt. Madonie	BAT	s	900	10,5	7,6	317	254,6	278	47,7	12,3	6,6	1,2	159	9	42			1,01	-9,17	-51,00	-0,38
192	MO	412161	4190350	Polizzi Generosa	Grotticelli	Mt. Madonie	BAT	gd	1092	10,1	7,7	317	277,3	295	40,3	19,8	4,8	0,6	214	6	7			2,52	-9,28	-53,00	-0,04
193	MO	415382	4191400	Petralia Sottana	Faguara	Mt. Madonie	BAT	s	1460	9,5	7,5	401	312,0	390	52,5	28,4	4,0	0,2	293	7	5			<1	-9,21	-54,00	0,43
194	MO	418210	4187251	Petralia Sottana	Cateratti	Mt. Madonie	BAT	s	1179	9,3	7,7	400	262,1	368	53,7	22,5	5,2	0,9	244	7	34			<1	-9,03	-53,00	-1,36
195	MO	411999	4196894	Isnello	Favara di Isnello	Mt. Madonie	BAT	s	831	10,7	7,4	273	330,8	248	52,5	3,9	6,1	0,4	162	11	9			4,14	-8,47	-49,00	0,28
196	MO	411038	4202596	Gratteri	Capo d'Acqua Tribuna	Mt. Madonie	BAT	s	841	13,8	7,4	421	286,6	430	100,0	2,3	6,9	0,5	299	11	7			2,59	-7,67	-43,00	0,88
197	MO	408985	4201261	Gratteri	San Giorgio	Mt. Madonie	BAT	s	663	13,6	7,2	531	264,4	510	99,6	14,0	11,0	1,1	348	19	13			5,02	-7,72	-44,00	0,47
198	MO	412828	4192655	Isnello	Bevaio del Faggio	Mt. Madonie	BAT	s	1355	9,3	7,3	458	317,7	452	65,1	26,1	8,6	0,9	333	8	11			<1	-8,79	-52,00	-0,91
199	MO	424844	4188853	Geraci Siculo	Piano Lana	Mt. Madonie	CSAT	s	1309	10,5	5,8	59	330,0	36	3,0	1,5	5,7	0,5	6	9	7			2,87	-8,72	-49,00	-0,19
200	MO	366175	4199055	Cefalà Diana	Chiarastella	Mt. Palermo	BAT	p	433	30,4	8,0	464	187,2	479	68,7	18,6	34,9	5,3	259	38	52			1,08	-7,37	-44,00	1,37
201	DO	424229	4148931	Pietraperzia	Capodarso	Bacino Caltanissetta	CSAT	s	334	17,2	7,4	407	43,0	1508	205,0	82,1	130,7	4,0	460	80	506	0,93	0,47	39,26	-6,86	-41,30	3,99
202	DO	417013	4160414	S. Caterina Villamosa	Hotel2000	Bacino Caltanissetta	BAT	s	643	18,9	8,0	79	130,0	329	51,6	16,0	5,6	0,8	224	8	23	0,06	0,03	0,62	-8,85	-52,80	-2,73
203	DO	380518	4141780	Comitini	Comitini	Bacino Caltanissetta	CSAT	s	235	22,7	7,9	2811	-25,8	2948	653,0	48,0	92,0	15,0	183	133	1820	2,00	0,80	0,06	-5,87	-33,60	-4,44
204	DO	414628	4149726	Caltanissetta	P. Lopez	Bacino Caltanissetta	CSAT	p	-	15,2	7,2	1545	2,6	1788	325,0	66,2	99,8	4,8	317	148	823	2,70	0,56	0,85	-6,34	-37,12	-1,06
205	DO	417392	4151779	Caltanissetta	P. Lopez 2	Bacino Caltanissetta	BAT	p	681	16,5	7,8	294	25,5	244	43,7	9,1	10,4	2,2	140	15	24	0,07	0,23	0,01	-8,31	-49,14	3,38

ID	Ref	Utm-E	Utm-N	Località	Sito	Area	Famiglia	Tipo	Quota	T	pH	CND	Eh	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Alk	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	δ ¹⁸ O-H ₂ O	δD-H ₂ O	(Δ)
WGS84 Fuso 33N							geochimica		m slm	°C		μS/cm	mV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	V-SMOW	V-SMOW	meq/L (%)
206	DO	412493	4148479	Caltanissetta	P. Lopez 3	Bacino Caltanissetta	CSAT	p	-	15,9	7,2	1591	38,0	1869	383,0	46,4	128,0	9,0	323	193	773	1,36	0,87	11,20	-5,83	-34,44	2,90
207	DO	402724	4150447	Caltanissetta	Borgo Palo	Bacino Caltanissetta	CSAT	p	-	16,7	7,7	2100	27,4	3277	714,7	133,3	39,4	9,5	214	62	2042	2,80	0,32	60,00	-5,46	-32,35	-0,32
208	DO	356494	4149729	Cianciana	Macalube di Bissana	Bacino Caltanissetta	CA	mv	177	-	7,8	26500	-398,0	28024	275,0	293,0	9233,0	56,0	1431	7780	8906	3,37	13,40	1,50	12,73	-13,25	1,58
209	AT	419617	4150341	Caltanissetta	Macalube di Terrapelata	Bacino Caltanissetta	CA	mv	524	-	7,5	30200	-	28759	240,9	227,4	10260,3	120,0	311	17539	61				10,10	-7,00	-2,14
210	LE (1)	376052	4137574	Aragona	Macalube di Aragona	Bacino Caltanissetta	CA	mv	280	-	8,5	-	66,0	15710	15,4	15,0	5661,0	8,2	3009	6845	134		22,00				0,60
211	LE (1)	380751	4144856	Comitini	Macalube di Comitini	Bacino Caltanissetta	CA	mv	-	-	8,0	-	-	14941	41,1	51,0	5456,0	23,6	1272	8055	8		33,50				-0,91
212	DO	335101	4154016	Sciacca	Fontana Calda (2)	Piana di Sciacca	CSAT	s	104	27,7	7,7	1076	102,5	923	116,1	38,0	103,0	0,0	360	134	144	0,34	0,50	27,45	-5,12	-31,43	1,01
213	MO	335159	4154196	Sciacca	Fontana Calda	Piana di Sciacca	CSAT	s	118	31,0	7,8	1223	219,0	903	112,0	35,0	102,8	15,6	354	141	143				-5,02	-30,00	2,24
214	DO	331428	4152946	Sciacca	T. Selinuntine	Piana di Sciacca	CA	s	17	54,8	5,6	43900	-331,0	23194	1333,0	431,0	6799,0	435,0	516	12720	803	7,50	108,60	2,80	-1,99	-22,79	3,16
215	DO	332169	4152525	Sciacca	Molinelli	Piana di Sciacca	CA	p	37	31,2	6,3	17420	-114,0	9380	630,1	186,0	2502,0	208,0	433	4853	489	11,90	41,00	16,20	-4,01	-28,01	1,84
216	LE (2)	331535	4154483	Sciacca	Casa Cutrone	Piana di Sciacca	BAT	s	120	27,5		715	-	532	98,4	10,9	32,2	1,9	311	67	10	0,20	0,00		-4,69		0,35
217	LE (2)	331381	4152945	Sciacca	Acqua Santa	Piana di Sciacca	CA	s	25	26,5	6,7	-	-	12844	818,6	321,3	3300,0	200,5	372	7292	538	1,00					-1,62
218	LE (3)	332085	4152499	Sciacca	Vallone River	Piana di Sciacca	CSAT	s	-	22,0	7,1	-	-	1154	120,2	52,0	148,0	13,0	395	135	280	1,00	2,20	3,20			3,12
219	DO	317620	4173872	Montevago	S. Vuturo	Mt. Sicani	CSAT	s	55	29,2	6,8	1720	123,0	1510	152,3	66,9	232,0	20,6	351	398	283	1,37	2,80	1,20	-6,39	-35,61	1,66
220	LE (4)	318150	4174594	Montevago	Acqua Pia	Mt. Sicani	CSAT	s	162	39,2	6,9	1700	-	1539	189,4	84,1	179,0	15,0	275	312	480	3,20	1,00		-6,70	-35,00	2,19
221	AT	383737	4166690	S. Giovanni G.	Acqua Fitusa	Mt. Sicani	CA	s	375	24,0	7,3	7820	-337,0	2161	102,0	9,6	617,0	19,0	543	558	292	3,20	13,00	4,62	-3,25	-32,10	3,22
222	DO	383650	4166752	S. Giovanni G.	Vasca	Mt. Sicani	CA	s	375	21,1	7,7	2518	-	2326	63,8	24,0	624,5	15,5	562	508	517	3,58	2,43	4,85	-4,73	-33,70	-2,81
223	DO	321632	4170549	S. Giovanni G.	GrLago	Mt. Sicani	CA	s	375	21,3	7,4	2524	-	2299	76,4	23,5	620,5	18,6	561	489	502	3,45	2,38	1,46	-4,96	-33,90	-0,73
224	DO	357322	4171350	Palazzo Adriano	Lavatoio	Mt. Sicani	BAT	s	735	12,4	7,6	377	196,0	373	74,1	10,4	8,2	1,4	248	16	14	0,34	0,30		-7,38	-42,56	1,65
225	DO	347721	4160515	Villafranca Sicula	Sulfurea Villafranca	Mt. Sicani	CA	s	222	21,3	8,5	1945	-288,0	1377	4,7	2,7	467,0	12,0	465	346	67	10,40	0,63	0,08	-6,52	-38,96	4,45
226	DO	361494	4175345	Prizzi	S. Prizzi	Mt. Sicani	BAT	s	601	14,5	7,3	573	178,0	569	115,0	3,8	27,3	10,4	320	32	47	0,56	0,06	12,38	-7,14	-42,24	0,99
227	DO	326867	4172123	S. Margherita Bel.	S. Gulfa	Mt. Sicani	CSAT	s	332	11,7	7,3	1820	79,0	1173	177,0	34,0	97,0	64,0	398	154	243	0,43	0,64	4,30	-5,89	-35,10	4,42
228	DO	364871	4172553	Filaga	S. Filaga	Mt. Sicani	BAT	s	825	11,1	7,7	677	137,0	498	76,8	34,0	8,9	1,3	311	14	41	0,13	0,03	10,65	-7,25	-43,05	3,89
229	MO	335172	4171302	Sambuca di Sicilia	Cannella	Mt. Sicani	BAT	s	506	16,0	7,1	648	142,0	544	116,2	5,5	21,0	4,9	330	37	29				-6,68	-37,00	1,70
230	MO	335436	4171707	Sambuca di Sicilia	Castellana	Mt. Sicani	BAT	s	554	15,5	7,3	611	202,6	515	111,0	5,3	19,0	2,9	317	33	26				-6,52	-36,00	1,47
231	MO	332644	4167466	Sambuca di Sicilia	S. Giovanni	Mt. Sicani	BAT	p	204	18,0	7,7	441	189,0	371	71,3	11,4	10,3	1,3	250	18	8				-6,65	-37,00	2,12

ID	Ref	Utm-E	Utm-N	Località	Sito	Area	Famiglia	Tipo	Quota	T	pH	CND	Eh	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Alk	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	δ ¹⁸ O-H ₂ O	δD-H ₂ O	(Δ)
WGS84 Fuso 33N							geochimica		m slm	°C		μS/cm	mV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	V-SMOW	V-SMOW	meq/L (%)
232	MO	343592	4177732	Bisacquino	Alvano	Mt. Sicani	BAT	s	449	14,2	7,2	601	148,8	510	114,4	3,9	16,5	1,6	333	25	16				-6,55	-37,00	2,23
233	MO	342214	4177198	Bisacquino	Battellaro	Mt. Sicani	BAT	s	567	13,9	7,3	585	137,7	521	112,0	3,4	15,2	1,5	348	20	21				-6,86	-37,00	-0,95
234	MO	344746	4163063	Caltabellotta	Favara Alta	Mt. Sicani	BAT	p	212	17,2	7,6	456	190,3	354	48,1	23,7	12,4	1,7	232	17	19				-6,88	-38,00	2,71
235	MO	340175	4160320	Caltabellotta	S. Marco Sicani	Mt. Sicani	BAT	s	655	16,5	7,7	539	158,4	443	73,5	18,0	22,1	1,6	250	35	43				-6,64	-34,00	1,38
236	MO	335587	4163813	Caltabellotta	Vento	Mt. Sicani	BAT	s	795	15,4	7,9	519	163,3	440	93,8	3,5	19,1	0,4	272	37	15				-6,72	-36,00	0,01
237	MO	336989	4175038	Contessa Entellina	Genuardo	Mt. Sicani	BAT	s	735	16,9	7,0	656	209,3	597	128,9	4,8	22,8	1,8	391	28	20				-6,83	-38,00	1,57
238	MO	362883	4172144	Palazzo Adriano	Monte Scuro	Mt. Sicani	BAT	gd	668	13,9	7,6	500	140,0	424	65,7	23,0	9,5	1,4	287	13	24				-7,21	-41,00	0,44
239	MO	363458	4172137	Palazzo Adriano	S. Cristoforo	Mt. Sicani	BAT	gd	675	13,8	7,6	513	207,7	443	70,1	22,4	11,2	1,6	293	15	30				-7,17	-40,00	0,24
240	MO	363304	4172370	Prizzi	Vigna Sparacio	Mt. Sicani	BAT	gd	675	14,4	7,4	609	147,1	521	85,4	25,9	11,6	1,8	348	18	31				-7,14	-41,00	0,69
241	MO	362573	4175937	Prizzi	Catusi	Mt. Sicani	BAT	s	883	16,8	7,1	916	213,5	749	152,5	5,3	34,7	21,3	384	35	115				-6,99	-41,00	2,07
242	MO	367647	4164687	S. Stefano Quisquina	Prisa	Mt. Sicani	BAT	s	801	12,8	7,3	566	187,7	486	97,8	12,1	13,0	2,1	293	16	52				-7,08	-39,00	1,21
243	MO	362957	4168241	Bivona	Spagnolo	Mt. Sicani	BAT	s	1084	14,9	7,3	502	135,6	422	79,8	15,7	7,1	0,7	293	17	9				-7,35	-42,00	1,06
244	MO	363747	4169057	Bivona	Valle D'Oro	Mt. Sicani	BAT	s	1012	16,6	8,0	467	133,4	422	89,8	5,1	9,7	0,5	287	13	17				-7,10	-39,00	-0,80
245	MO	334272	4166130	Sambuca di Sicilia	Figarella	Mt. Sicani	BAT	gd	455	16,3	7,1	912	219,2	726	150,3	16,5	32,7	2,6	397	59	68				-6,19	-34,00	3,85
246	MO	335030	4160882	Sciacca	Catafaldi	Mt. Sicani	BAT	s	647	18,5	7,5	557	174,3	450	74,3	20,9	19,5	2,2	265	46	21				-6,21	-33,00	1,95
247	MO	322686	4166436	Menfi	Feudotto	Mt. Sicani	BAT	p	250	20,5	7,7	737	185,7	552	58,5	38,4	41,8	3,3	284	67	59				-6,31	-35,00	1,34
248	MO	327644	4163996	Sciacca	Carboj	Mt. Sicani	BAT	p	91	17,1	7,7	463	154,4	378	41,9	29,4	14,2	1,7	259	23	9				-6,56	-36,00	0,97
249	MO	331847	4163274	Sciacca	Grattavoli	Mt. Sicani	BAT	p	314	18,5	7,8	427	161,6	353	42,3	25,4	12,0	1,8	244	20	7				-6,68	-36,00	0,57
250	MO	362805	4165987	Bivona	S. Rosalia	Mt. Sicani	BAT	s	687	14,5	7,7	444	138,5	387	60,3	20,4	8,8	1,3	262	13	20				-7,20	-40,00	0,04
251	MO	356689	4165942	Palazzo Adriano	Gebbia1	Mt. Sicani	BAT	s	606	16,5	8,3	664	138,4	561	64,7	26,3	49,6	2,2	320	52	46				-7,16	-40,00	-0,37
252	MO	318694	4168878	Menfi	Stoccatello	Mt. Sicani	CSAT	s	208	20,6	7,2	1474	167,2	980	186,2	27,0	98,2	14,2	299	207	149				-5,29	-29,00	7,67
253	MO	348784	4174687	Bisacquino	Galvagno	Mt. Sicani	BAT	s	736	17,0	7,7	654	165,9	524	117,0	6,7	19,2	12,6	256	31	81				-7,11	-39,00	5,43
254	MO	321800	4166778	Menfi	Feudotto2	Mt. Sicani	BAT	p	234	21,1	7,4	702	135,6	584	61,5	39,7	41,8	4,5	323	63	50				-6,63	-35,00	0,92
255	MO	320564	4175074	Montevago	Grancio1	Mt. Sicani	BAT	gd	286	18,4	7,5	643	234,7	575	118,4	7,5	26,7	4,0	275	43	63	0,19		37,63	-5,76	-34,00	0,92
256	MO	324437	4169534	Sambuca di Sicilia	Feudo Arancio	Mt. Sicani	BAT	p	365	18,4	7,7	482	216,0	408	55,1	20,9	21,6	2,2	241	37	13			17,61	-5,78	-32,00	-0,68
257	MO	332817	4159860	Sciacca	Salto	Mt. Sicani	BAT	s	253	17,7	7,3	599	325,0	536	92,8	10,1	34,7	4,1	302	53	26			13,02	-5,93	-33,00	-0,85

ID	Ref	Utm-E	Utm-N	Località	Sito	Area	Famiglia	Tipo	Quota	T	pH	CND	Eh	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Alk	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	δ ¹⁸ O-H ₂ O	δD-H ₂ O	(Δ)
WGS84 Fuso 33N							geochimica		m slm	°C		μS/cm	mV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	V-SMOW	V-SMOW	meq/L (%)
258	MO	344007	4159559	Caltabellotta	S. Anna Alta	Mt. Sicani	BAT	s	507	16,8	7,7	790	219,5	645	129,5	8,8	32,0	1,7	336	62	43	0,32		31,31	-5,97	-32,00	-0,38
259	MO	362530	4165981	Bivona	Capo D' Acqua	Mt. Sicani	BAT	gd	690	13,0	7,7	455	252,0	372	56,9	20,3	8,1	1,3	247	15	20			3,70	-7,31	-41,00	-0,48
260	MO	361153	4166023	Bivona	S. Matteo	Mt. Sicani	BAT	gd	695	12,0	8,0	406	116,3	309	48,9	17,3	7,4	0,8	189	19	26			<1	-7,64	-42,00	0,25
261	MO	357442	4173226	Palazzo Adriano	Pigno	Mt. Sicani	BAT	s	535	14,2	7,4	621	113,4	568	80,8	38,8	11,3	1,6	369	23	41			2,08	-7,05	-39,00	1,12
262	MO	357431	4171495	Palazzo Adriano	Fontana Grande	Mt. Sicani	BAT	s	731	12,2	7,6	424	282,3	377	76,4	9,7	6,8	0,8	247	13	18			5,08	-7,61	-42,00	0,48
263	MO	352787	4167427	Burgio	Casale	Mt. Sicani	BAT	gd	721	12,6	7,3	432	301,6	409	72,9	16,0	9,3	0,9	275	21	11			2,96	-7,28	-40,00	0,19
264	MO	343585	4171491	Giuliana	Fico Bassa	Mt. Sicani	BAT	s	522	15,3	7,1	691	233,0	684	151,3	6,2	21,5	3,2	378	32	61	0,17		30,94	-6,76	-37,00	1,10
265	MO	344689	4168119	Chiusa Sclafani	Oliveto	Mt. Sicani	BAT	s	358	17,2	7,4	541	216,7	539	106,0	9,8	18,9	4,4	305	34	26	0,22		34,16	-6,12	-34,00	-0,24
266	MO	351305	4163775	Burgio	Chiabbarè	Mt. Sicani	BAT	p	500	16,3	7,4	531	250,8	510	63,1	34,3	19,7	3,2	317	25	47			<1	-6,83	-36,00	0,20
267	MO	351265	4164623	Burgio	Gallina	Mt. Sicani	BAT	gd	724	14,2	7,4	565	237,5	499	97,4	15,6	15,3	1,1	299	50	17			3,26	-7,02	-39,00	0,70
268	MO	355148	4168712	Palazzo Adriano	Pietra Fucile	Mt. Sicani	BAT	s	725	12,1	7,8	414	99,0	324	50,3	15,1	12,2	2,0	201	17	23			3,22	-7,26	-39,00	0,26
269	MO	348873	4171602	Chiusa Sclafani	Trullo	Mt. Sicani	BAT	gd	664	14,2	7,3	569	156,0	507	111,2	4,0	15,7	2,2	323	25	21			4,75	-6,86	-37,00	0,74
270	MO	349282	4170642	Chiusa Sclafani	Gurra	Mt. Sicani	BAT	s	701	12,8	7,2	581	278,2	580	125,7	4,9	19,4	1,4	366	22	23	0,24		16,74	-6,59	-36,00	0,99
271	MO	377416	4170119	Castronuovo di Sicilia	Liste di Sciacca	Mt. Sicani	BAT	gd	458	15,9	7,5	536	264,2	457	71,1	26,0	10,4	1,5	275	14	56			3,07	-7,68	-41,00	0,52
272	MO	377299	4162255	Cammarata	Chirumbo	Mt. Sicani	BAT	gd	762	13,3	7,8	424	60,0	323	48,9	18,3	9,7	1,4	174	13	58			<1	-7,50	-40,00	-0,22
273	MO	374672	4170872	Castronuovo di Sicilia	S. Andrea	Mt. Sicani	BAT	gd	552	14,0	7,5	622	230,9	592	96,2	29,3	16,4	3,0	317	20	87			21,82	-7,05	-39,00	0,36
274	MO	369476	4164175	Santo Stefano Quisquina	Margimunto	Mt. Sicani	BAT	p	983	14,7	7,6	447	138,7	386	63,5	19,3	7,1	1,3	262	14	16			2,48	-7,37	-41,00	0,42
275	MO	367649	4168612	Santo Stefano Quisquina	Leone	Mt. Sicani	BAT	s	963	14,0	7,3	661	213,0	570	111,2	15,4	12,6	0,8	336	11	50	0,19		33,23	-7,11	-41,00	0,01
276	MO	367197	4164970	Santo Stefano Quisquina	Capo Favara	Mt. Sicani	BAT	p	781	14,1	7,5	479	268,2	409	61,3	23,9	8,1	1,1	275	14	20			5,39	-7,54	-42,00	-0,03
277	MO	365108	4174666	Prizzi	Martino	Mt. Sicani	BAT	s	796	13,4	7,2	706	221,7	620	143,9	3,2	23,7	0,7	326	75	31			16,49	-6,95	-40,00	0,70
278	MO	345607	4177112	Bisacquino	Martinazzo	Mt. Sicani	BAT	s	580	13,8	7,1	538	272,9	539	124,0	4,6	13,8	1,0	296	33	49			17,11	-6,90	-38,00	0,81
279	MO	357513	4174887	Prizzi	Madonna delle Scale	Mt. Sicani	BAT	gd	586	14,2	7,6	507	240,1	463	85,6	14,5	14,0	1,3	290	23	32			2,33	-7,09	-39,00	-0,06
280	MO	355420	4178303	Palazzo Adriano	Gibilcanna1	Mt. Sicani	BAT	s	1096	11,6	7,6	330	273,2	355	81,8	1,5	6,0	0,2	244	9	6			6,57	-7,88	-43,00	-0,19
281	MO	349371	4175060	Bisacquino	Besi	Mt. Sicani	BAT	s	775	13,7	7,1	716	250,5	690	158,1	6,6	17,5	3,2	326	43	105			30,44	-7,03	-39,00	0,17
282	MO	351291	4174894	Chiusa Sclafani	S. Venere	Mt. Sicani	BAT	s	667	13,5	7,3	535	226,8	522	95,0	19,7	13,0	1,5	336	30	26			1,54	-7,43	-41,00	0,41
283	MO	351935	4177067	Corleone	Lucia	Mt. Sicani	BAT	s	957	11,9	7,3	509	249,0	508	115,6	3,3	9,9	1,9	336	21	18			3,42	-7,06	-40,00	0,14

ID	Ref	Utm-E	Utm-N	Località	Sito	Area	Famiglia	Tipo	Quota	T	pH	CND	Eh	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Alk	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	δ ¹⁸ O-H ₂ O	δD-H ₂ O	(Δ)
WGS84 Fuso 33N							geochimica		m slm	°C		μS/cm	mV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	V-SMOW	V-SMOW	meq/L (%)
284	MO	349531	4177874	Corleone	Giumente	Mt. Sicani	BAT	s	964	9,6	7,4	547	284,1	530	120,0	3,2	10,3	0,8	363	24	8	0,00		1,07	-7,13	-40,00	-0,66
285	MO	348185	4179983	Corleone	Scorciavacche	Mt. Sicani	BAT	s	718	10,4	7,7	376	214,5	362	79,8	3,0	10,0	0,8	217	18	9	0,00		25,05	-6,83	-39,00	0,46
286	MO	354397	4176461	Palazzo Adriano	Gibilcanna2	Mt. Sicani	BAT	s	921	10,5	7,4	481	218,6	431	94,2	3,4	11,5	1,0	262	14	11	0,14		33,60	-7,48	-42,00	0,23
287	MO	357382	4178106	Palazzo Adriano	Raia	Mt. Sicani	BAT	s	774	11,9	7,4	409	230,2	389	87,8	3,3	8,9	0,7	256	19	9	0,00		3,60	-7,29	-41,00	0,65
288	MO	361547	4175533	Prizzi	Grande	Mt. Sicani	BAT	s	785	13,4	7,3	691	229,8	649	136,5	4,6	27,4	8,6	348	32	60	0,16		33,11	-7,15	-41,00	1,30
289	MO	299574	4168458	Campobello di Mazara	Pozzo Gorga	Piana di Castelvetro	CSAT	p	92	21,4	7,1	1468	109,0	1202	162,3	43,4	141,8	5,7	348	246	233	0,51		21,45	-5,39	-27,00	0,36
290	MO	298886	4163204	Campobello di Mazara	Pozzo Tre Fontane	Piana di Castelvetro	CSAT	p	33	19,6	7,3	1031	116,2	781	83,0	47,5	73,8	3,9	317	116	114	1,20		23,62	-5,67	-30,00	0,28
291	MO	306997	4170458	Castelvetro	Pozzo Vanico	Piana di Castelvetro	BAT	p	134	19,6	7,1	868	46,0	887	172,9	14,6	44,6	1,9	394	81	117	0,16		60,95	-5,65	-31,00	-1,47
292	MO	298339	4164824	Campobello di Mazara	Pantaleo	Piana di Castelvetro	CSAT	p	41	19,9	7,2	1212	40,3	1021	120,0	53,3	100,5	8,1	400	174	158	0,82		6,51	-5,35	-29,00	0,15
293	MO	306324	4171487	Castelvetro	Venezia	Piana di Castelvetro	CSAT	p	141	18,2	7,1	1106	169,6	1003	186,4	16,3	66,9	10,2	293	116	171	0,15		143,22	-5,24	-30,00	-0,50
294	MO	292364	4163609	Mazara del Vallo	Soprano	Piana di Castelvetro	BAT	p	22	20,1	7,6	765	125,1	584	79,0	17,7	69,2	2,3	226	117	15	0,27		57,66	-5,06	-27,00	1,22
295	MO	296255	4162151	Campobello di Mazara	Balabelle	Piana di Castelvetro	CSAT	p	19	20,0	7,2	1003	212,3	788	105,4	37,2	66,4	7,0	314	113	117	0,76		26,16	-5,13	-28,00	0,71
296	MO	303698	4166772	Castelvetro	B9	Piana di Castelvetro	BAT	p	65	22,4	7,7	793	-139,4	670	57,7	53,5	49,2	4,8	333	71	99	1,18		<1	-5,52	-31,00	-0,21
297	MO	303097	4165936	Castelvetro	B10	Piana di Castelvetro	BAT	p	56	21,2	7,7	761	34,2	648	67,1	46,8	44,6	4,2	317	65	102	1,23		<1	-5,53	-30,00	0,20
298	MO	307784	4173773	Castelvetro	Clemente	Piana di Castelvetro	BAT	p	187	20,9	7,7	693	-160,0	626	54,9	37,4	62,1	7,8	336	60	67	0,48		<1	-5,66	-31,00	0,92
299	MO	308876	4172849	Partanna	Staglio 7	Piana di Castelvetro	BAT	p	164	18,9	7,4	811	53,1	752	84,2	45,2	53,3	2,9	409	77	80	0,77		<1	-5,64	-32,00	-1,27
300	MO	310329	4174053	Partanna	Magaggiaro 2 EAS	Piana di Castelvetro	BAT	p	199	18,7	7,4	607	-1,4	548	81,4	28,2	26,7	3,2	256	50	102	0,45		<1	-5,69	-32,00	-0,80
301	MO	294331	4164100	Mazara del Vallo	S. Nicola1	Piana di Castelvetro	BAT	p	41	21,2	7,6	546	209,7	474	72,5	9,8	47,4	2,2	198	73	17	0,17		53,44	-5,41	-30,00	-0,07
302	DO	334556	4189752	Roccamena	P. Calatrasi	Roccabusambra	CA	p	213	22,6	7,3	4350	-221,0	3649	123,0	147,0	819,0	25,0	113	1316	1075	0,44	5,70	0,81	-5,56	-33,15	-4,81
303	LE (5)	334407	4189855	Roccamena	A. Calda di S. Lorenzo	Roccabusambra	BAT	s		31,0	7,3	760	-	564	72,2	32,8	32,1	3,9	262	42	115	3,80					-1,72
304	MO	359955	4192106	Godrano	Alpe Cucco	Roccabusambra	BAT	s	1017	9,7	7,7	397	296,5	344	70,5	3,1	16,1	0,5	207	31	15			<1	-7,95	-42,00	-1,10
305	MO	360699	4188868	Godrano	Marosa	Roccabusambra	BAT	gd	840	13,1	7,8	375	316,0	316	65,5	4,4	10,9	1,4	195	20	11			7,94	-7,91	-43,00	0,38
306	MO	356577	4192812	Monreale	Ramusa	Roccabusambra	BAT	s	832	12,5	7,5	671	71,1	572	85,4	17,0	50,3	2,6	296	88	33	0,33		<1	-7,94	-43,00	-0,69
307	MO	350798	4191948	Corleone	Drago	Roccabusambra	BAT	s	375	16,5	7,8	569	261,7	512	82,4	18,3	29,0	3,5	265	41	61			11,47	-7,09	-42,00	0,10
308	MO	359124	4189873	Godrano	Barone	Roccabusambra	BAT	s	952	15,1	7,5	367	215,3	373	83,8	2,5	9,1	0,4	247	15	9			5,45	-7,82	-45,00	0,30
309	MO	342951	4192366	Monreale	Malvello	Roccabusambra	BAT	s	343	22,5	7,4	346	203,9	418	50,7	29,5	16,0	2,1	275	18	25			1,64	-7,75	-44,00	1,30

ID	Ref	Utm-E	Utm-N	Località	Sito	Area	Famiglia	Tipo	Quota	T	pH	CND	Eh	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Alk	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	δ ¹⁸ O-H ₂ O	δD-H ₂ O	(Δ)
		WGS84 Fuso 33N					geochimica		m slm	°C		μS/cm	mV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	V-SMOW	V-SMOW	meq/L (%)
310	MO	349524	4192620	Corleone	Magione	Roccabusambra	CSAT	s	527	17,7	8,1	1158	236,6	1120	167,5	18,8	59,5	80,9	238	111	121	0,28		323,02	-6,31	-35,00	-0,67

Famiglia geochimica: BAT= bicarbonato alcalino-terrosa; BA= bicarbonato alcalina; CSAT= clorurato-solfato alcalino-terrosa; CA: clorurato alcalina.

Tipo: S= sorgente; gd= galleria drenante; p= pozzo; pg= polla gorgogliante; mv= vulcano di fango.

*Ref.:*DO= dati ottenuti da questo lavoro; MO= dati forniti da INGV; AT= dati forniti dal Progetto Atlante; LE= dati di letteratura: (1) Heller, 2011; (2) Alaimo 1987; (3) Capaccioni et al., 2011; (4) Grassa et al., 2006; (5) Dall'Aglio, 1966.

Tabella a2 – Concentrazione delle specie in traccia delle acque. Quota in m (slm). Temperatura in °C. Eh in mV. Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, NH₄, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sr, Tl, U, V e Zn in µg/L.

ID	Ref	Località	Sito	Area	Tipo	Quota	T	pH	Eh	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Li ⁺	Mn	NH ₄	Ni	Pb	Rb	Sb	Se	Sr	Tl	U	V	Zn
						m slm	°C			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	
1	DO	Gioiosa M.	Santa Margherita	Mt. Peloritani	s	250	15,9	6,69	54,9					84,55							140,40		20,00	0,89	170,00										176,50
2	DO	Gioiosa M.	Barone Calcagno	Mt. Peloritani	s	38	16,9	7,46	116,9					36,35							0,37			0,24	120,00										424,00
3	DO	Gioiosa M.	Campogrande 2	Mt. Peloritani	s	297	16	7,18	129,5					64,40							2,19			0,12	120,00										502,50
4	DO	Gioiosa M.	Sorgente Villa Antica	Mt. Peloritani	s	152	17,4	7,97	54,8					89,30							5,35			10,83	80,00										633,50
5	DO	Gioiosa M.	Galleria Villa Ridente	Mt. Peloritani	gd	48	18,4	7,77	102,5					52,00							1,34		60,00	0,01	130,00										273,50
6	DO	Gioiosa M.	Pozzo Pino	Mt. Peloritani	p	48	18,8	6,74	106,9					39,20							0,99		180,00	0,80	200,00										310,00
7	DO	Gioiosa M.	Sorgente Fetente	Mt. Peloritani	s	34	14,2	7,34	51,4					44,35							0,20		110,00	0,00	80,00										441,00
8	MO	Gioiosa M.	A. Amanti	Mt. Peloritani	s	342	16,9	6,73	307,2																										34,70
9	MO	Gioiosa M.	Balsima	Mt. Peloritani	s	410	17,1	7,71	230,9																										48,58
10	MO	Gioiosa M.	C. Piana	Mt. Peloritani	s	107	16,6	7,32	251,9																										27,76
13	MO	Gioiosa M.	Pileci	Mt. Peloritani	s	412	15,6	7,39	216,3																										48,58
15	MO	Gioiosa M.	Russa	Mt. Peloritani	s	454	14,9	7,38	81,4																										360,88
16	MO	Gioiosa M.	S. Febronia	Mt. Peloritani	s	198	18,1	7,59	199,5																										20,82
18	DO	Gioiosa M.	Pozzo Napoli	Mt. Peloritani	p	19	18,7	6,58	-56,4					22,60											169,20	640,00									4510,00
19	DO	Campogrande	Borgo Abacena	Mt. Peloritani	gd	243	14,5	7,36	133,2												1,22			0,92	150,00										488,00
20	DO	Campogrande	San Fantino	Mt. Peloritani	s	366	16,9	7,02	153,5					98,35							1,66		60,00	0,11	70,00										572,50
21	MO	Librizzi	Rinazzo	Mt. Peloritani	p	243	22	7,89	-1,0																										41,64
22	MO	Librizzi	Fraiale	Mt. Peloritani	s	576	15	7,65	196,4																										41,64
24	MO	Librizzi	P. Biondo	Mt. Peloritani	p	326	15,1	8,59	-																										34,70
27	MO	Patti	Timeto	Mt. Peloritani	p	35	16,4	7,48	201,0	<0,1	1,02	0,23	115,00	51,70	<0,1	<0,05	<0,05	0,15	0,12	0,89	3,01	<0,1	10,50	<0,1		2,06	<0,05	0,14	<0,05	0,82	675,00	<0,1	2,20	0,53	0,97
28	MO	Naso	Feudo	Mt. Peloritani	s	397	15,8	7,20	168,5	<0,1	0,38	<0,1	24,90	37,70	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,26	3,92	<0,1	4,73	<0,1		<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	1,52	586,00	<0,1	1,32	1,56	0,33
29	MO	Sant'Agata di Militello	Papa	Mt. Peloritani	p	17	18,3	7,24	167,6	<0,1	0,68	0,25	86,60	57,50	<0,1	<0,05	<0,05	0,16	<0,1	0,96	2,66	<0,1	13,40	<0,1		2,47	0,07	0,33	<0,05	7,32	444,00	<0,1	0,62	0,35	1,21
30	MO	Capo D'Orlando	Masseria	Mt. Peloritani	p	12	16,9	7,50	101,0	<0,1	1,51	<0,1	51,00	66,70	<0,1	<0,05	<0,05	0,12	0,11	0,87	10,00	<0,1	7,53	0,96		2,58	0,06	0,17	<0,05	0,49	256,00	<0,1	0,71	0,12	14,30
31	MO	Floresta	San Giacomo	Mt. Peloritani	s	1073	7,9	8,42	204,7	<0,1	3,45	0,65	15,90	43,20	<0,1	<0,05	<0,05	0,22	0,18	0,43	1,83	<0,1	1,92	0,95		1,27	<0,05	1,18	0,06	0,47	189,00	<0,1	0,45	0,51	0,95

ID	Ref	Località	Sito	Area	Tipo	Quota	T	pH	Eh	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Li ⁺	Mn	NH ₄	Ni	Pb	Rb	Sb	Se	Sr	Tl	U	V	Zn		
						m slm	°C		mV	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l		
32	DO	T. Vigliatore	Terme Augusto	Mt. Peloritani	p	41	30,2	6,71	-309,0					283,50							29,16		1280,00	65,90	1340,00									20700,00			
33	DO	T. Vigliatore	Pozzo Isgrò	Mt. Peloritani	p	25	14,8	7,59	264,7					48,00							0,15		10,00		10,00										257,00		
34	DO	T. Vigliatore	Pozzo Isgrò 2	Mt. Peloritani	p	27	17,5	7,50	130,0					33,60							2,37			2,74	140,00										1130,00		
35	DO	T. Vigliatore	Contrada Mendola	Mt. Peloritani	p	50	16,1	7,28	124,0					68,95							21,59			0,01											595,50		
36	DO	T. Vigliatore	Pozzo Nino	Mt. Peloritani	p	36	19,8	7,35	122,2					111,00							1,56		238,00	0,44											4915,00		
37	DO	Rodi Milici	Trifilò	Mt. Peloritani	pg	97	20,7	9,02	-12,0					15,05							25,64			25,05	400,00										85,10		
38	DO	Furnari	C. San Filippo	Mt. Peloritani	s	25	18,9	8,60	-257,0					15,00							5,05			3,81	600,00										99,70		
39	DO	Furnari	La Palmara	Mt. Peloritani	p	10	21,3	6,98	-1,4					58,70							137,15		60,00	53,16	290,00										2540,00		
40	DO	Furnari	Pozzo Giambò V.	Mt. Peloritani	p	11	19,6	7,02	73,8					60,55							3,33			0,02	280,00										3415,00		
41	DO	Furnari	C. Marulli	Mt. Peloritani	s	16	18,4	7,22	93,3					45,75							0,08			0,58											2490,00		
42	DO	Furnari	Pozzo Ventura	Mt. Peloritani	p	24	23,9	7,70	67,0					75,55							1,67		65,00	86,55	34,00										648,50		
43	DO	Milazzo	Pozzo di Perla	Mt. Peloritani	p	31	17,4	7,56	101,0					68,40							2,87			0,11											724,50		
44	DO	Milazzo	C. Faraone	Mt. Peloritani	p	49	20,3	7,64	103,7					68,70									15,00		30,00										2350,00		
45	DO	Castroreale	C. Pilato	Mt. Peloritani	p	140	19,5	9,01	14,2					27,75							2,76			1,96											64,75		
46	DO	Barcellona	Pozzo Praga	Mt. Peloritani	p	435	21,3	7,45	-31,0					30,20							925,10			74,21	234,00										1715,00		
47	DO	Barcellona	Pozzo Cavallaro	Mt. Peloritani	p	44	22	7,26	128,8					92,50									20,00		76,00										4285,00		
48	DO	Barcellona	Pozzo Puliafita	Mt. Peloritani	p	13	25,8	7,40	-181,2					189,50							380,30		20,00	422,65	1140,00										2660,00		
49	DO	Alì Terme	Terme Marino 1	Mt. Peloritani	p	32	31,7	6,05	-248,2					57,85							1588,50		1920,00	381,90	630,00										7520,00		
51	DO	Alì Terme	Terme Granata	Mt. Peloritani	p	0	21,6	6,03	-179,1					56,25							1693,50		3600,00	166,80	2200,00										10450,00		
52	DO	Alì Terme	V10	Mt. Peloritani	p	0	17,6	6,40	-225,0					73,65							67,44		5400,00	49,29	9300,00										27200,00		
53	DO	Alì Terme	Hotel Terme Grazia	Mt. Peloritani	p	10	31,8	5,87	-294,1					69,70							85,77		5000,00	160,90	11300,00										21950,00		
55	MO	Alì Terme	Berlingheri	Mt. Peloritani	p	11	24,1	7,59	64,3														347,00														
56	DO	Alcara Li Fusi	Contura	Mt. Peloritani	s	232	16,6	7,14	144,2		0,31	0,38	55,73	43,74	<0,01		<0,01	0,21	0,25	<0,5	1,41		5,19	<0,1	0,00	0,24	<0,1	0,72	<0,02	0,63	268,90	<0,01	1,44	0,97	<0,5		
57	DO	Militello Rosmarino	Astasi	Mt. Peloritani	s	212	15,6	7,53	94,9		0,85	0,31	49,40	38,18	<0,01		<0,01	0,20	0,13	<0,5	1,41		8,70	<0,1		0,47	<0,1	0,64	0,07	1,52	287,43	<0,01	1,07	0,28	<0,5		
58	MO	Alcara Li Fusi	Fonatana Abate	Mt. Peloritani	s	405	14,5	7,74	130,0	<0,1	1,18	<0,1	24,10	39,90	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,20	0,19	1,94	<0,1	2,51	<0,1		<0,1	<0,05	0,40	<0,05	0,28	131,00	<0,1	0,17	0,79	0,73		
59	DO	Alcara Li Fusi	Mangalaviti	Mt. Peloritani	s	1261	17,3	7,18	92,7		4,74	<0,1	15,80	32,96	<0,01		<0,01	0,06	0,05	<0,5	4,11		0,74	0,32			0,16	<0,1	0,38	<0,02	0,18	72,87	<0,01	0,01	0,05	<0,5	

ID	Ref	Località	Sito	Area	Tipo	Quota	T	pH	Eh	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Li ⁺	Mn	NH ₄	Ni	Pb	Rb	Sb	Se	Sr	Tl	U	V	Zn
						m slm	°C		mV	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
60	DO	Alcara Li Fusi	Acqua Fridda	Mt. Peloritani	s	1257	13	6,47	124,9		9,74	<0,1	20,90	32,85	<0,01	<0,01	0,03	0,09	0,42	6,71		1,52	0,20		0,94	<0,1	0,64	<0,02	0,14	81,27	<0,01	0,00	0,06	<0,5	
61	MO	Montagnareale	Montagnareale	Mt. Peloritani	s	350	16,9	6,85	151,4	<0,1	2,25	1,15	27,30	42,60	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	2,51	5,43	<0,1	14,60	0,31		<0,1	0,13	0,28	0,33	0,82	212,00	<0,1	<0,1	0,26	3,86
62	DO	Raccuja	Fontana Trono	Mt. Peloritani	s	698	12,6	7,50	122,0		0,63	0,05	16,72	4,20	<0,01	<0,01	0,06	0,05	<0,5	0,92		12,21	<0,1		0,09	<0,1	0,18	<0,02	0,38	118,48	<0,01	0,10	0,26	<0,5	
63	MO	Moio Alcantara	Passo Moio	Mt. Peloritani	p	543	13,3	7,77	154,0	<0,1	1,26	<0,1	63,80	59,30	<0,1	<0,05	<0,05	0,11	<0,1	0,72	9,74	<0,1	5,24	1,06	16,04	2,49	0,07	0,65	<0,05	0,50	307,00	<0,1	0,51	0,42	25,70
64	MO	Terme Vigliatore	Bonomo	Mt. Peloritani	p	5	14	7,24	239,0	<0,1	5,60	<0,1	108,00	49,80	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,29	0,74	6,51	<0,1	19,20	0,16		0,87	0,20	0,15	<0,05	0,92	384,00	<0,1	2,57	0,14	44,90
65	MO	Tripi	Palombaro	Mt. Peloritani	p	307	16,4	7,78	209,8	<0,1	0,59	0,17	63,90	38,40	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	<0,1	1,57	5,21	<0,1	9,81	0,17	9,00	1,42	0,05	0,66	0,06	0,31	257,00	<0,1	0,92	0,35	13,10
66	MO	Fondachelli-Fantina	Bocca di Cane	Mt. Peloritani	p	544	12,4	7,11	220,0	<0,1	0,77	<0,1	17,10	77,50	<0,1	<0,05	<0,05	0,57	<0,1	0,34	12,30	<0,1	7,19	254,00		2,27	<0,05	1,38	<0,05	0,32	286,00	<0,1	0,39	<0,1	4,71
67	MO	Pace del Mela	Tagliatore	Mt. Peloritani	p	35	15,7	7,40	174,7	<0,1	1,01	<0,1	139,00	50,70	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,29	0,97	16,70	<0,1	15,80	<0,1	16,85	0,94	<0,05	0,27	<0,05	0,67	2670,00	<0,1	2,39	0,81	2,62
68	MO	Barcellona Pozzo di Gotto	Isonzo	Mt. Peloritani	p	83	16,2	7,67	114,8	<0,1	0,65	0,61	68,30	72,70	<0,1	<0,05	<0,05	0,20	0,33	1,36	19,80	<0,1	7,29	0,63	12,00	4,67	0,07	0,32	0,07	0,88	3030,00	<0,1	3,08	1,40	12,90
69	MO	Spadafora	Vena	Mt. Peloritani	p	177	14,1	7,33	233,0	<0,1	2,29	0,24	23,71	38,74	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,23	0,97	7,23	<0,1	2,65	0,13	14,30	1,16	0,08	1,43	<0,05	0,57	991,74	<0,1	0,87	1,19	1,33
70	MO	Falcone	Filiti A.	Mt. Peloritani	p	3	17,3	7,09	170,0	<0,1	6,22	0,10	240,00	114,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,44	0,14	1,18	24,00	<0,1	10,70	362,00	139,70	2,22	0,05	0,27	0,06	1,57	966,00	<0,1	6,05	1,43	47,10
71	MO	Falcone	Filiti P.	Mt. Peloritani	p	5	18,7	7,44	-14,0	<0,1	1,02	1,37	113,00	54,50	<0,1	<0,05	<0,05	0,37	<0,1	0,76	124,00	<0,1	9,73	504,00	11,34	4,88	0,12	1,30	<0,05	0,56	449,00	<0,1	1,00	0,86	15,40
72	MO	Falcone	Foti	Mt. Peloritani	p	12	18,5	7,31	304,0	<0,1	0,97	0,12	124,00	49,60	<0,1	<0,05	<0,05	0,19	0,13	12,90	5,93	<0,1	14,80	<0,1	11,57	3,13	0,51	0,24	<0,05	1,18	719,00	<0,1	3,60	0,69	17,20
73	MO	Furnari	Torre G.	Mt. Peloritani	p	6	16,1	7,52	97,0	<0,1	7,64	<0,1	59,50	60,80	<0,1	<0,05	<0,05	0,18	0,12	1,92	88,40	<0,1	12,20	3,80	11,27	2,25	0,17	0,13	<0,05	0,76	523,00	<0,1	3,23	0,16	38,60
74	MO	Terme Vigliatore	Edil Mare	Mt. Peloritani	p	3	12	7,41	203,0	<0,1	2,25	<0,1	54,70	54,80	<0,1	<0,05	<0,05	0,17	0,18	6,63	10,60	<0,1	10,40	0,30	8,63	2,43	0,20	0,14	<0,05	0,90	348,00	<0,1	2,32	0,10	111,00
75	MO	Terme Vigliatore	Calabrò	Mt. Peloritani	p	3	16,8	7,09	154,0	<0,1	16,60	<0,1	61,00	63,60	<0,1	<0,05	<0,05	0,16	0,28	0,71	32,10	<0,1	9,55	0,69	13,17	2,13	0,11	0,14	<0,05	1,18	461,00	<0,1	3,89	0,16	25,20
76	MO	Terme Vigliatore	Scilipoti	Mt. Peloritani	p	21	14,1	7,73	166,0	<0,1	2,05	<0,1	62,80	64,40	<0,1	<0,05	<0,05	0,11	0,18	2,10	8,81	<0,1	10,70	0,21	0,00	2,11	0,11	0,18	0,05	1,57	819,00	<0,1	3,21	0,13	86,10
77	MO	Terme Vigliatore	Siracusa	Mt. Peloritani	p	14	16,7	7,21	151,0	<0,1	0,83	<0,1	64,60	59,50	<0,1	<0,05	<0,05	0,14	0,26	0,59	13,90	<0,1	8,81	0,33	8,51	2,56	0,29	0,07	<0,05	0,93	572,00	<0,1	4,47	0,14	30,70
78	MO	Terme Vigliatore	Squadrito	Mt. Peloritani	p	10	16,4	7,23	81,0	<0,1	5,31	<0,1	42,50	60,30	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,43	2,97	38,30	<0,1	9,22	2,18	16,24	2,34	0,21	0,36	0,14	1,69	806,00	<0,1	2,77	0,27	9,80
79	MO	Milazzo	Amalfa	Mt. Peloritani	p	30	17,3	7,29	89,0	<0,1	1,53	0,98	30,60	56,90	<0,1	<0,05	<0,05	0,14	0,50	0,63	15,50	<0,1	4,98	0,89	9,38	1,58	<0,05	0,16	0,14	1,06	832,00	<0,1	2,99	1,24	3,31
80	MO	Terme Vigliatore	Scilipoti A.	Mt. Peloritani	p	10	16,5	7,35	184,0	<0,1	2,39	<0,1	50,30	57,60	<0,1	<0,05	<0,05	0,11	0,27	0,55	5,65	<0,1	10,90	1,00	32,02	1,96	0,05	0,25	<0,05	0,70	498,00	<0,1	2,34	0,13	3,19
81	MO	Milazzo	Gitto M.	Mt. Peloritani	p	18	17,1	7,37	108,0	<0,1	0,70	0,85	31,80	61,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,17	0,83	0,40	4,05	<0,1	5,65	0,30	15,47	2,31	0,07	0,06	<0,05	1,18	875,00	<0,1	4,04	1,03	28,30
82	MO	Milazzo	Picciolo	Mt. Peloritani	p	22	18	7,25	112,5	<0,1	0,99	0,50	18,80	80,40	<0,1	<0,05	<0,05	0,19	0,58	0,39	8,09	<0,1	3,40	2,89	11,79	10,60	0,63	0,27	0,06	1,13	980,00	<0,1	7,30	0,67	74,70
83	MO	Milazzo	Sicil Flora	Mt. Peloritani	p	13	17,2	7,36	127,5	<0,1	1,31	0,53	27,80	62,70	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,39	0,28	7,20	<0,1	5,42	0,14	0,00	1,98	<0,05	0,17	0,14	1,26	865,00	<0,1	3,27	0,87	1,64
84	MO	Milazzo	Fiumarella	Mt. Peloritani	p	35	15,8	7,46	226,0	<0,1	1,03	1,46	25,10	43,30	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	0,35	0,36	7,33	<0,1	6,60	<0,1	16,58	2,34	<0,05	0,14	0,20	1,06	681,00	<0,1	2,36	0,98	8,27
85	MO	Milazzo	Zerilli	Mt. Peloritani	p	21	17,6	7,30	155,0	<0,1	1,35	0,43	40,30	74,20	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,66	0,66	14,30	<0,1	6,96	0,20	41,26	2,49	0,09	0,42	0,09	1,75	1100,00	<0,1	3,73	0,93	3,67

ID	Ref	Località	Sito	Area	Tipo	Quota	T	pH	Eh	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Li ⁺	Mn	NH ₄	Ni	Pb	Rb	Sb	Se	Sr	Tl	U	V	Zn
						m slm	°C		mV	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
86	MO	Milazzo	D'Amico	Mt. Peloritani	p	10	17,4	7,20	83,0	<0,1	0,92	1,48	53,10	122,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,17	0,56	0,71	29,50	<0,1	5,79	63,00	117,97	2,83	<0,05	0,54	0,10	2,06	1340,00	<0,1	5,72	1,43	32,60
87	MO	Milazzo	Formica P.	Mt. Peloritani	p	6	17	7,20	94,0	<0,1	1,74	0,74	34,30	76,30	<0,1	<0,05	<0,05	0,20	0,36	0,31	11,10	<0,1	5,07	1,05	10,50	3,67	0,22	0,24	0,09	1,15	1180,00	<0,1	4,32	1,27	64,70
88	MO	Barcellona Pozzo di Gotto	Aia Scarpaci	Mt. Peloritani	p	30	18,7	7,41	208,0	<0,1	1,43	0,67	67,50	71,70	<0,1	<0,05	<0,05	0,21	0,48	1,20	5,54	<0,1	7,44	0,31	95,74	3,35	0,15	0,20	<0,05	1,20	2985,00	<0,1	3,80	1,14	4,79
89	MO	Milazzo	Formica G.	Mt. Peloritani	p	6	17,6	7,35	54,0	<0,1	9,59	0,11	25,30	52,40	<0,1	<0,05	<0,05	0,16	0,23	0,46	38,50	<0,1	4,49	2,75	16,50	2,37	0,07	0,18	0,08	1,00	856,00	<0,1	3,39	0,63	179,00
90	MO	Barcellona Pozzo di Gotto	2 Mulini	Mt. Peloritani	p	94	15,8	7,46	166,0	<0,1	13,30	0,70	71,50	79,20	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	0,48	3,18	37,50	<0,1	8,02	0,84	0,00	2,84	0,59	0,72	0,13	1,06	2930,00	<0,1	2,55	1,50	54,50
91	MO	Barcellona Pozzo di Gotto	S. Venera	Mt. Peloritani	p	68	16,6	7,25	143,0	<0,1	4,71	0,38	67,70	61,90	<0,1	<0,05	<0,05	0,16	0,29	1,36	19,30	<0,1	7,60	0,42	0,00	2,53	0,20	0,47	0,05	0,92	2580,00	<0,1	2,40	1,38	16,70
92	MO	Barcellona Pozzo di Gotto	S. Andrea	Mt. Peloritani	p	32	18,1	7,08	151,0	<0,1	4,38	2,21	68,20	79,90	<0,1	<0,05	<0,05	0,24	0,76	1,83	12,80	<0,1	7,67	0,21	17,05	3,92	0,18	0,17	<0,05	1,31	2340,00	<0,1	2,95	2,27	2,98
93	MO	Barcellona Pozzo di Gotto	Dal Contres	Mt. Peloritani	p	55	17,9	7,31	98,0	<0,1	4,97	<0,1	192,00	91,40	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,48	0,99	5,46	<0,1	19,70	<0,1	47,18	1,31	<0,05	0,06	<0,05	0,95	3160,00	<0,1	3,94	0,96	3,71
94	MO	Terme Vigliatore	Milone	Mt. Peloritani	p	14	18,8	7,17	122,0	<0,1	5,37	<0,1	206,00	125,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,28	0,47	4,36	14,60	<0,1	33,60	2,04	8,23	3,73	0,12	0,06	0,10	1,87	1400,00	<0,1	5,01	0,55	164,00
95	MO	Terme Vigliatore	Catena	Mt. Peloritani	p	30	18,6	7,25	197,2	<0,1	1,13	0,52	118,00	46,80	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,29	1,30	6,69	<0,1	29,60	0,66	8,59	1,44	0,44	0,81	<0,05	1,11	2930,00	<0,1	1,82	0,51	143,00
96	MO	Terme Vigliatore	Perdichizzi	Mt. Peloritani	p	8	18,7	7,22	175,0	<0,1	1,21	<0,1	78,60	71,60	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	0,26	1,48	4,41	<0,1	11,10	0,10	16,74	2,39	0,12	0,08	<0,05	0,68	452,00	<0,1	4,62	0,21	6,68
97	MO	Terme Vigliatore	Cambria	Mt. Peloritani	p	19	13,9	7,44	218,0	<0,1	97,70	<0,1	45,20	49,10	<0,1	<0,05	<0,05	0,18	0,33	0,64	83,60	<0,1	8,11	2,17	5,93	1,59	0,16	0,15	<0,05	0,63	294,00	<0,1	3,41	0,41	30,90
98	MO	Terme Vigliatore	Giambò T.	Mt. Peloritani	p	8	16,2	7,33	127,0	<0,1	17,60	<0,1	55,50	44,80	<0,1	<0,05	<0,05	0,14	0,33	1,95	60,70	<0,1	9,69	1,94	0,00	2,68	0,37	0,42	<0,05	0,60	318,00	<0,1	3,67	0,46	112,00
99	MO	Furnari	Mazzeo	Mt. Peloritani	p	5	17	7,27	162,0	<0,1	0,86	<0,1	59,30	61,30	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	0,23	2,11	4,46	<0,1	10,10	0,22	0,00	4,01	0,18	0,16	0,05	1,54	777,00	<0,1	3,11	0,14	29,50
100	MO	Barcellona Pozzo di Gotto	Giorgianni	Mt. Peloritani	p	15	17	6,87	37,0	<0,1	1,15	0,18	77,40	135,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,29	0,27	1,62	20,00	<0,1	10,10	65,50	3067,00	3,38	<0,05	0,30	<0,05	2,09	2940,00	<0,1	3,63	0,47	6,43
101	MO	Barcellona Pozzo di Gotto	Chiesa S. Andrea	Mt. Peloritani	p	38	16,9	7,41	164,0	<0,1	5,53	0,48	89,10	74,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,18	0,63	0,95	13,50	<0,1	8,42	0,31	0,00	2,59	0,07	0,14	<0,05	1,19	2350,00	<0,1	2,76	1,03	3,01
102	MO	Barcellona Pozzo di Gotto	CasaBianca	Mt. Peloritani	p	30	16,5	7,28	27,0	<0,1	0,70	0,14	45,00	84,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,12	0,62	0,79	14,50	<0,1	10,80	0,54	11,26	1,82	0,19	0,09	0,15	1,66	756,00	<0,1	2,84	0,29	54,40
103	MO	Barcellona Pozzo di Gotto	Petraro	Mt. Peloritani	p	60	17,9	7,26	112,0	<0,1	2,17	0,31	81,80	92,40	<0,1	<0,05	<0,05	0,17	0,51	0,95	10,40	<0,1	8,31	0,31	10,36	2,87	0,11	0,12	<0,05	1,15	3580,00	<0,1	3,66	1,00	21,40
104	MO	Mazzarra' Sant' Andrea	Alosi2	Mt. Peloritani	p	91	15,1	7,24	156,0	<0,1	2,09	<0,1	48,90	40,80	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	0,11	0,31	7,43	<0,1	8,95	0,12	9,15	1,50	0,25	0,08	<0,05	0,72	287,00	<0,1	3,46	0,12	58,20
105	MO	Terme Vigliatore	Alosi1	Mt. Peloritani	p	17	16	7,46	151,0	<0,1	1,61	0,11	71,00	67,70	<0,1	<0,05	<0,05	0,11	0,34	0,81	7,47	<0,1	11,90	0,25		2,87	0,69	0,10	0,06	0,69	633,00	<0,1	2,51	0,28	38,50
106	MO	Mazzarra' Sant' Andrea	Badia	Mt. Peloritani	p	111	14,3	7,47	124,0	<0,1	2,87	<0,1	49,50	39,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,12	0,10	1,53	7,83	<0,1	9,35	0,25	62,30	1,57	0,14	0,09	<0,05	0,63	291,00	<0,1	2,92	0,15	59,00
107	MO	San Filippo del Mela	Sorgente	Mt. Peloritani	p	84	17,8	7,12	124,0	<0,1	1,09	<0,1	41,10	52,60	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,35	2,66	4,99	<0,1	7,83	2,00	12,56	1,15	0,06	0,67	<0,05	0,85	603,00	<0,1	0,39	1,95	158,00
108	MO	Monforte San Giorgio	Benefizio	Mt. Peloritani	p	43	15,7	7,56	300,6	<0,1	0,32	<0,1	40,60	41,80	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,20	1,06	2,67	<0,1	3,02	<0,1		1,10	<0,05	0,11	<0,05	0,59	795,00	<0,1	1,06	1,28	42,80
109	MO	Mazzarra' Sant' Andrea	Lionti	Mt. Peloritani	p	89	16	7,27	133,0	<0,1	2,84	<0,1	47,30	38,90	<0,1	<0,05	<0,05	0,12	<0,1	1,43	6,17	<0,1	9,58	0,12		1,66	<0,05	0,27	<0,05	0,59	279,00	<0,1	4,92	0,21	6,49
110	MO	Mazzarra' Sant' Andrea	Ca.Rot.	Mt. Peloritani	p	70	15,5	7,38	173,0	<0,1	21,40	0,79	28,10	37,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,12	0,17	1,01	35,80	<0,1	4,69	1,50	18,11	1,98	0,13	0,32	1,21	0,38	365,00	<0,1	5,57	0,92	50,80
111	MO	Mazzarra' Sant' Andrea	Cons. Mazzarrà	Mt. Peloritani	p	112	13,9	8,39	148,0	<0,1	1,07	<0,1	55,90	41,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	<0,1	0,47	2,17	<0,1	10,80	0,33		1,44	<0,05	0,71	0,06	0,43	259,00	<0,1	1,56	0,19	0,25

ID	Ref	Località	Sito	Area	Tipo	Quota	T	pH	Eh	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Li ⁺	Mn	NH ₄	Ni	Pb	Rb	Sb	Se	Sr	Tl	U	V	Zn
						m slm	°C		mV	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
112	MO	Rodi' Milici	Arcoraci	Mt. Peloritani	p	127	17,7	6,66	85,0	<0,1	0,65	0,32	99,10	42,80	<0,1	<0,05	<0,05	0,27	0,34	0,89	51,80	<0,1	42,90	3,16	91,50	4,29	<0,05	0,48	<0,05	1,98	1960,00	<0,1	0,78	0,87	1,29
113	MO	Villafranca Tirrena	Casazza	Mt. Peloritani	p	13	12,9	7,72	236,6	<0,1	5,51	<0,1	17,50	15,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	1,91	20,40	<0,1	1,13	1,48	13,31	1,04	0,18	1,26	<0,05	0,26	193,00	<0,1	<0,1	0,67	4,30
114	MO	Barcellona Pozzo di Gotto	Cavilla	Mt. Peloritani	p	24	17	7,12	180,0	<0,1	0,90	<0,1	36,00	73,50	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	0,35	3,52	40,20	<0,1	9,72	0,62		2,03	0,15	0,12	0,14	1,70	725,00	<0,1	2,70	0,14	58,70
115	MO	Barcellona Pozzo di Gotto	Caliri	Mt. Peloritani	p	22	17,5	7,19	139,0	<0,1	2,42	0,41	85,20	93,70	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	0,72	0,69	7,19	<0,1	8,68	0,16	12,83	1,92	<0,05	0,14	<0,05	1,29	2580,00	<0,1	3,13	2,85	0,72
116	MO	Pace del Mela	Laino	Mt. Peloritani	p	50	16,5	7,33	176,0	<0,1	0,57	0,12	66,00	60,30	<0,1	<0,05	<0,05	0,11	0,22	0,77	14,50	<0,1	7,29	<0,1		2,10	<0,05	0,07	<0,05	1,07	2080,00	<0,1	2,10	0,66	6,73
117	MO	Sinagra	Solicchiata	Mt. Peloritani	p	87	17,7	7,18	158,1	<0,1	1,38	0,18	54,50	31,70	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	<0,1	1,11	8,09	<0,1	6,62	0,46	13,74	1,58	<0,05	0,11	<0,05	0,41	313,00	<0,1	1,58	0,27	0,84
118	MO	Piraino	Campo Piraino	Mt. Peloritani	p	30	15,8	7,10	162,0	<0,1	1,13	0,35	42,20	62,30	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,12	3,58	9,19	<0,1	5,34	0,30		1,86	0,30	0,09	0,17	0,72	259,00	<0,1	4,11	0,57	17,10
119	MO	Raccuja	Buculica	Mt. Peloritani	s	1002	11,2	7,81	224,9	<0,1	0,97	<0,1	17,00	31,40	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,19	0,18	2,59	<0,1	3,05	<0,1		<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	0,82	401,00	<0,1	0,26	0,93	0,13
120	MO	Gioiosa Marea	San Francesco 2	Mt. Peloritani	p	293	14,4	7,40	164,5	<0,1	1,03	0,26	25,90	36,90	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,11	0,80	2,96	<0,1	6,49	0,11		1,10	<0,05	0,27	0,12	0,47	220,00	<0,1	1,75	0,45	1,02
121	MO	Messina	Sanderson	Mt. Peloritani	p	61	17,8	7,14	280,0	<0,1	4,94	<0,1	55,70	62,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,14	0,31	1,98	4,78	<0,1	12,10	0,22		4,26	0,46	0,31	<0,05	1,32	542,00	<0,1	4,58	1,55	11,00
122	MO	Messina	Garibaldi	Mt. Peloritani	p	28	18,6	7,12	-45,0	<0,1	1,95	5,37	94,50	30,90	<0,1	<0,05	<0,05	0,99	0,56	3,73	326,00	<0,1	12,30	41,30	11,07	7,73	0,42	1,02	<0,05	1,33	686,00	<0,1	3,63	5,19	175,00
123	MO	Montagnareale	Colella	Mt. Peloritani	s	752	12,4	7,36	212,7	<0,1	2,58	0,51	12,00	10,40	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,27	2,42	<0,1	2,81	0,31	8,00	0,48	<0,05	0,40	<0,05	0,34	36,90	<0,1	0,27	0,99	0,51
124	MO	Brolo	Sellica	Mt. Peloritani	s	725	13,9	7,91	237,8	<0,1	2,25	10,30	63,20	25,70	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,56	2,31	<0,1	11,90	<0,1		0,97	<0,05	0,70	<0,05	1,22	135,00	<0,1	10,80	1,24	1,40
125	MO	Brolo	Mincica	Mt. Peloritani	s	62	15,3	7,28	236,0	<0,1	2,06	0,39	47,50	42,50	<0,1	<0,05	<0,05	0,11	<0,1	0,52	1,93	<0,1	9,10	0,16		1,79	<0,05	0,47	0,08	0,71	303,00	<0,1	4,19	0,45	0,99
126	MO	Sant' Angelo di Brolo	Verni	Mt. Peloritani	s	893	12,3	7,48	198,2	<0,1	2,74	0,25	8,80	5,56	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,24	0,63	<0,1	5,73	0,13	15,00	0,41	<0,05	0,13	<0,05	0,13	27,30	<0,1	<0,1	0,27	<0,1
127	MO	Basico'	Acqua Bianca	Mt. Peloritani	s	522	14,9	7,68	214,8	<0,1	0,98	0,14	78,20	72,80	<0,1	<0,05	<0,05	0,11	<0,1	0,30	2,69	<0,1	18,40	<0,1	43,66	1,86	<0,05	0,39	<0,05	0,66	1470,00	<0,1	0,86	0,31	<0,1
128	MO	Montalbano Elicona	Muscarello	Mt. Peloritani	s	604	14,5	7,58	210,0	<0,1	4,18	0,15	37,30	57,50	<0,1	<0,05	<0,05	0,14	<0,1	0,47	4,93	<0,1	61,90	24,40	10,00	2,49	<0,05	1,74	<0,05	0,40	316,00	<0,1	0,21	0,34	0,39
129	MO	Tripi	Bammia	Mt. Peloritani	s	539	15,1	7,55	251,1	<0,1	0,68	0,12	33,00	62,10	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	0,10	0,14	1,33	<0,1	8,93	<0,1	18,88	1,91	0,12	0,23	<0,05	0,72	597,00	<0,1	0,71	0,40	0,14
130	MO	Montalbano Elicona	Fontalba	Mt. Peloritani	s	1083	9,8	7,43	187,0	<0,1	0,95	<0,1	17,30	7,73	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,10	0,70	<0,1	12,30	<0,1		0,88	<0,05	0,05	<0,05	0,11	77,90	<0,1	<0,1	0,21	0,17
131	MO	Ucria	Cademi	Mt. Peloritani	s	785	11,4	8,11	215,7	<0,1	2,21	0,18	22,50	9,11	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,22	1,39	<0,1	18,20	<0,1		0,73	<0,05	0,15	<0,05	0,14	135,00	<0,1	0,16	0,33	0,59
132	MO	Malvagna	Grasciarone	Mt. Peloritani	s	836	12,8	7,75	203,0	<0,1	5,83	0,17	15,40	37,10	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	4,51	7,56	<0,1	4,91	0,26	40,01	1,53	0,17	0,44	<0,05	0,20	121,00	<0,1	0,23	0,32	4,12
133	MO	Malvagna	Scriccio	Mt. Peloritani	s	583	16,4	7,31	172,0	<0,1	0,45	2,91	74,10	46,70	<0,1	<0,05	<0,05	0,20	0,82	0,28	2,20	<0,1	17,10	<0,1	11,47	2,50	<0,05	1,69	0,14	0,39	837,00	<0,1	0,66	5,44	1,29
134	MO	Motta Camastra	Piraino	Mt. Peloritani	s	1005	11	6,65	292,4	<0,1	0,27	<0,1	3,61	18,80	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,12	0,31	<0,1	4,89	<0,1	104,06	0,34	<0,05	<0,05	<0,05	0,24	46,90	<0,1	<0,1	0,16	0,65
135	MO	Acquedolci	Favara Acquedolci	Mt. Peloritani	s	84	17,4	7,50	264,7	<0,1	5,16	0,26	32,30	33,90	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,25	2,49	3,34	<0,1	3,20	0,34	6,63	1,58	0,21	0,57	<0,05	0,43	135,00	<0,1	0,27	0,66	6,26
136	MO	Sant' Agata di Militello	Quaranta	Mt. Peloritani	p	604	16,5	7,49	109,0	<0,1	2,86	0,45	1060,00	34,30	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	1,05	25,60	<0,1	123,00	3,14	118,24	1,51	0,08	10,20	0,21	0,13	2390,00	<0,1	0,21	0,20	2,53
137	MO	Castroreale	Siragusa	Mt. Peloritani	p	168	16,5	7,39	202,0	<0,1	6,46	0,54	66,00	78,40	<0,1	<0,05	<0,05	0,10	0,95	2,89	9,02	<0,1	10,10	0,34	20,69	3,46	0,15	0,25	<0,05	4,06	2010,00	<0,1	3,15	2,14	19,60

ID	Ref	Località	Sito	Area	Tipo	Quota	T	pH	Eh	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Li ⁺	Mn	NH ₄	Ni	Pb	Rb	Sb	Se	Sr	Tl	U	V	Zn
						m slm	°C		mV	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
138	MO	Terme Vigliatore	Torre	Mt. Peloritani	p	146	15,3	7,41	234,0	<0,1	0,68	0,27	49,60	42,30	<0,1	<0,05	<0,05	0,16	0,52	0,60	32,10	<0,1	9,59	0,96	0,00	2,30	0,18	0,14	0,13	1,46	1380,00	<0,1	4,57	1,35	313,00
139	MO	San Pier Niceto	Baronello	Mt. Peloritani	p	139	14,9	7,60	168,0	<0,1	1,03	0,12	22,20	34,20	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,11	0,53	9,18	<0,1	1,14	1,52	15,10	0,80	<0,05	0,20	<0,05	0,38	468,00	<0,1	0,76	1,26	4,99
140	MO	Barcellona Pozzo di Gotto	Gurafi	Mt. Peloritani	p	154	19,5	7,61	87,0	<0,1	6,64	0,79	85,70	73,40	<0,1	<0,05	<0,05	0,16	0,17	2,03	61,90	<0,1	16,00	2,48	17,00	1,60	0,60	0,54	<0,05	0,85	3430,00	<0,1	1,38	1,61	196,00
141	MO	Galati Mamertino	San Pietro	Mt. Peloritani	s	857	14,2	7,51	173,7	<0,1	0,70	<0,1	26,30	33,40	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,21	1,69	<0,1	1,13	<0,1	17,00	<0,1	<0,05	0,35	<0,05	0,21	167,00	<0,1	0,39	0,38	1,54
142	MO	Sant'Agata di Militello	Valerio	Mt. Peloritani	s	207	14,9	7,93	242,4	<0,1	1,26	0,40	20,20	27,50	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,13	0,11	0,98	<0,1	1,82	<0,1		0,91	<0,05	0,50	<0,05	0,31	107,00	<0,1	0,15	0,39	<0,1
143	MO	Torrenova	Favara Torrenova	Mt. Peloritani	s	34	16,2	7,42	161,2	<0,1	1,18	0,32	56,40	70,70	<0,1	<0,05	<0,05	0,10	<0,1	0,28	4,75	<0,1	6,44	<0,1		1,28	<0,05	1,06	0,06	0,64	275,00	<0,1	0,28	0,22	0,26
144	MO	Tortorici	Tassita	Mt. Peloritani	s	1082	9,6	8,13	251,0	<0,1	13,90	0,88	19,60	42,30	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,34	1,29	16,50	<0,1	6,73	0,38	15,81	<0,1	0,35	0,60	<0,05	1,21	148,00	<0,1	0,44	0,68	2,29
145	MO	Novara di Sicilia	Ladone	Mt. Peloritani	s	988	10,4	8,02	219,0	<0,1	1,07	2,00	12,00	15,70	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,68	0,83	<0,1	1,11	<0,1	6,48	0,47	<0,05	0,46	<0,05	0,31	41,40	<0,1	0,42	1,27	0,32
146	MO	Novara di Sicilia	Greco	Mt. Peloritani	s	639	12,9	8,14	234,2	<0,1	2,49	0,55	10,20	27,50	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,13	5,21	1,73	<0,1	1,10	<0,1	10,43	0,45	<0,05	0,59	<0,05	0,22	62,20	<0,1	0,42	1,54	0,66
147	MO	Rometta	Brignoli	Mt. Peloritani	s	653	9,8	7,59	262,0	<0,1	1,21	<0,1	4,10	13,10	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,31	1,55	<0,1	11,80	<0,1		0,15	<0,05	2,13	<0,05	0,17	40,40	<0,1	<0,1	1,09	0,52
148	MO	Ali' Terme	Scullica	Mt. Peloritani	p	20	15,5	7,70	-67,0	<0,1	2,74	1,92	120,00	24,20	<0,1	<0,05	<0,05	0,18	1,06	2,35	27,60	<0,1	12,80	10,40	15,38	3,61	0,07	1,60	2,75	1,11	541,00	<0,1	2,09	0,73	71,40
149	MO	Casalvecchio Siculo	Panausto	Mt. Peloritani	s	399	17,3	7,75	201,0	<0,1	1,07	3,15	112,00	23,50	<0,1	<0,05	<0,05	0,19	0,32	0,84	2,94	<0,1	7,36	<0,1	9,54	1,93	0,06	10,90	<0,05	1,54	331,00	<0,1	1,64	0,38	0,96
150	MO	San Filippo del Mela	Portato	Mt. Peloritani	s	399	16,2	7,58	240,0	<0,1	2,01	<0,1	23,50	13,20	<0,1	<0,05	<0,05	0,10	<0,1	0,37	4,58	<0,1	2,96	<0,1		1,28	<0,05	0,98	<0,05	2,77	1690,00	<0,1	8,38	0,21	1,21
151	MO	Rometta	Tracanalè	Mt. Peloritani	gd	385	10,8	7,45	231,7	<0,1	8,06	<0,1	13,00	19,30	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,45	0,87	6,18	<0,1	0,99	0,63	10,43	0,43	<0,05	1,28	<0,05	0,24	63,10	<0,1	<0,1	2,33	7,34
152	MO	San Pier Niceto	Veni	Mt. Peloritani	s	657	10,9	7,91	219,6	<0,1	1,78	0,34	9,71	12,53	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,10	0,15	1,70	<0,1	2,02	<0,1	25,24	0,92	<0,05	0,38	<0,05	0,77	400,12	<0,1	1,15	0,64	0,47
153	MO	Castroreale	Pumia	Mt. Peloritani	s	678	12,4	7,86	231,4	<0,1	1,85	3,49	12,30	55,90	<0,1	<0,05	<0,05	0,11	0,10	0,85	3,24	<0,1	1,82	<0,1	18,00	1,66	<0,05	1,31	0,18	0,75	690,00	<0,1	2,49	0,80	0,50
154	MO	Mongiuffi Melia	Carpani	Mt. Peloritani	s	780	14,5	7,81	189,0	<0,1	1,00	0,15	10,30	51,50	<0,1	<0,05	<0,05	0,16	<0,1	0,23	5,50	<0,1	3,88	0,13		1,51	<0,05	0,70	<0,05	0,35	346,00	<0,1	0,57	0,22	3,25
155	MO	Pagliara	Marisca	Mt. Peloritani	p	52	16,4	6,06	153,0	<0,1	0,36	<0,1	35,30	225,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,19	0,93	1,63	<0,1	3,60	<0,1		0,89	<0,05	0,73	<0,05	0,82	350,00	<0,1	0,16	1,21	0,39
156	MO	Roccalumera	Nicotina	Mt. Peloritani	p	43	14,9	7,81	269,0	<0,1	1,01	0,90	29,20	35,90	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,26	0,40	7,89	<0,1	4,31	0,73	8,42	1,57	<0,05	0,49	0,14	1,08	592,00	<0,1	3,94	0,46	8,49
157	MO	Randazzo	Santa Caterina	Mt. Etna	p	895	8,2	6,90	144,0	<0,1	0,28	0,11	145,00	6,73	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,28	2,05	2,62	<0,1	3,43	0,14	48,12	<0,1	0,12	14,20	0,06	0,89	210,00	<0,1	3,25	24,20	3,83
158	MO	Castiglione Di Sicilia	Bragaseggi	Mt. Etna	p	464	12,1	7,00	187,1	<0,1	<0,1	0,90	346,00	16,40	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,44	1,79	<0,1	<0,1	13,70	<0,1	0,00	<0,1	<0,05	38,80	0,07	2,05	256,00	<0,1	7,94	53,10	1,44
159	MO	Randazzo	Fisauri	Mt. Etna	p	739	10,2	6,85	199,7	<0,1	0,52	2,30	120,00	7,31	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,30	3,13	0,88	<0,1	3,71	<0,1	7,29	<0,1	0,10	14,90	0,08	1,40	144,00	<0,1	1,84	24,90	3,61
160	MO	Castiglione Di Sicilia	17 Salme	Mt. Etna	p	553	11,3	6,87	240,0	<0,1	0,54	0,88	130,00	14,70	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,44	1,31	1,52	<0,1	4,46	<0,1	13,83	<0,1	<0,05	18,00	0,07	2,51	196,00	<0,1	3,05	24,90	1,12
161	MO	Bronte	Ciapparazzo	Mt. Etna	gd	758,6	11,7	7,60	168,0	<0,1	0,24	6,02	373,00	12,70	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	1,02	1,74	1,01	<0,1	10,40	0,40	38,66	<0,1	<0,05	34,00	0,14	1,71	245,00	<0,1	4,39	208,00	1,43
162	MO	Bronte	Musa	Mt. Etna	p	1006,1	10,5	7,60	130,0	<0,1	0,38	2,33	153,00	6,52	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,49	1,35	2,51	<0,1	3,21	0,13	34,07	<0,1	0,12	22,60	0,09	0,93	186,00	<0,1	4,55	88,30	44,50
163	DO	Tortorici	Santuario	Mt. Nebrodi	s	1304	14,8	8,71	102,0					204,00									0,00	23,25	270,00					89,15					

ID	Ref	Località	Sito	Area	Tipo	Quota	T	pH	Eh	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Li ⁺	Mn	NH ₄	Ni	Pb	Rb	Sb	Se	Sr	Tl	U	V	Zn
						m slm	°C		mV	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
164	MO	Monte Ambola	Acqua Fredda	M. Nebrodi	s	1283	10,4	7,61	166,9		1,12					<0,05					13,80		5,95	<0,1	6,87		0,41		243,00	<0,1	0,21	0,32			
165	MO	Cesarò	Pitirro	M. Nebrodi	s	1050	15	7,30	211,0		0,41					<0,05					1,51		11,60	0,06	5,74		0,94		177,00	<0,1	<0,1	0,31			
166	MO	Tusa	Fiumara Tusa	M. Nebrodi	p	22	17,6	7,32	299,7	<0,1	1,15	<0,1	139,00	35,20	<0,1	<0,05	<0,05	0,20	0,26	0,71	7,74	<0,1	18,40	0,20	7,39	0,24	0,09	0,59	<0,05	1,20	641,00	<0,1	0,54	0,48	4,67
167	MO	Santo Stefano di Camastra	Vegna	M. Nebrodi	p	670	15,4	7,32	216,0	<0,1	1,21	<0,1	209,00	57,70	<0,1	<0,05	<0,05	0,27	0,15	0,44	900,00	<0,1	55,40	54,90	66,01	1,10	0,09	4,14	0,30	0,34	2460,00	<0,1	0,14	0,31	5,14
168	MO	Santo Stefano di Camastra	Raria	M. Nebrodi	gd	601	12,3	8,11	210,0	<0,1	2,74	0,17	36,70	64,90	<0,1	<0,05	<0,05	0,12	<0,1	0,18	3,87	<0,1	17,60	0,53	8,62	1,77	<0,05	0,51	0,07	0,67	307,00	<0,1	0,58	0,23	<0,1
169	MO	Motta D'Affermo	Cicè	M. Nebrodi	gd	826	12,4	8,49	167,5	<0,1	1,11	<0,1	89,60	76,60	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,11	0,42	1,74	<0,1	15,40	<0,1	7,48	1,25	<0,05	0,88	<0,05	0,50	491,00	<0,1	0,52	0,25	0,18
170	MO	Mistretta	Neviera	M. Nebrodi	s	934	12,2	6,78	95,0	<0,1	0,71	0,11	39,50	77,70	<0,1	<0,05	<0,05	1,81	<0,1	<0,1	564,00	<0,1	7,04	397,00		3,88	<0,05	0,75	<0,05	0,13	160,00	<0,1	<0,1	<0,1	0,78
171	MO	Mistretta	Ramata	M. Nebrodi	s	1044	11,3	7,12	32,0	<0,1	3,30	0,12	114,00	42,60	<0,1	<0,05	<0,05	0,20	<0,1	0,77	687,00	<0,1	15,80	71,80	106,40	2,15	0,17	0,86	<0,05	0,26	402,00	<0,1	<0,1	<0,1	14,80
172	MO	Mistretta	Raiano	M. Nebrodi	s	1075	11,7	6,50	284,0	<0,1	10,40	0,17	40,60	78,70	<0,1	<0,05	0,07	<0,1	<0,1	0,63	5,88	<0,1	3,21	0,76	14,08	4,25	<0,05	0,89	<0,05	0,18	49,00	<0,1	<0,1	<0,1	1,92
173	MO	Santo Stefano di Camastra	Campo Sportivo	M. Nebrodi	p	18	17,4	7,21	249,0	<0,1	1,16	0,14	185,00	50,60	<0,1	<0,05	<0,05	0,14	<0,1	0,48	9,06	<0,1	23,40	0,21	13,91	2,03	0,16	0,79	<0,05	0,42	597,00	<0,1	0,74	0,24	5,49
174	MO	Capizzi	Nocita	M. Nebrodi	s	1447	9,2	7,04	160,4	<0,1	4,52	<0,1	9,69	12,70	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,92	2,58	<0,1	0,50	0,61		0,60	0,11	0,28	0,17	0,12	23,00	<0,1	<0,1	<0,1	2,20
175	MO	Galati Mamertino	Fossa Neve	M. Nebrodi	s	1231	9,2	7,36	162,3	<0,1	4,39	<0,1	8,73	15,50	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,12	0,92	18,00	<0,1	0,97	0,65		0,60	2,87	0,17	<0,05	<0,1	39,40	<0,1	<0,1	<0,1	1,11
176	MO	Longi	Balestra	M. Nebrodi	s	1536	8,3	7,30	160,0	<0,1	1,36	<0,1	13,90	45,20	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	0,94	<0,1	2,59	0,48		0,61	<0,05	0,50	<0,05	0,18	85,20	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
177	MO	Sant'Agata di Militello	Priola	M. Nebrodi	s	676	11,5	8,20	224,2	<0,1	1,16	0,20	23,90	58,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,70	0,96	<0,1	4,53	<0,1	6,16	1,87	<0,05	0,73	0,06	0,65	124,00	<0,1	0,29	0,41	0,37
178	MO	Caronia	Mannarano	M. Nebrodi	p	65	17,5	7,20	123,0	<0,1	0,80	0,42	136,00	60,40	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	<0,1	0,28	20,50	<0,1	27,50	34,60	23,41	1,75	<0,05	2,13	<0,05	0,32	433,00	<0,1	0,15	0,13	0,49
179	MO	Capizzi	Pomiere	M. Nebrodi	s	1280	11	8,02	232,6	<0,1	3,38	<0,1	13,70	24,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,12	0,14	0,76	6,41	<0,1	1,67	0,22	10,62	2,01	0,09	0,42	<0,05	0,34	140,00	<0,1	0,15	0,19	2,07
180	AT	Sclafani B.	Sclafani Bagni	Mt. Madonie	s	450	34	7,20	-		12,60	<2	15980,00	6185,00			<0,6	0,20	1,50	<2	23,20		5833,00	10,60		<2	<0,8	64,70	<1,5	31,70	166762,00	<1	0,09	<2	7,26
181	DO	Castelbuono	Quattro Cannoli	Mt. Madonie	s	420	14,3	7,58	602,0		50,39	0,48	17,57	165,30	0,02		0,04	0,62	0,19	0,21	1,45		3,62	5,26		1,76	<0,1	1,13	<0,02	0,25	84,27	0,14	0,30	0,39	3,99
182	DO	Montemaggiore B.	Favara	Mt. Madonie	s	514	21,8	7,72	463,0		46,47	0,16	53,89	73,57	<0,01		<0,01	0,16	0,03	<0,5	1,53		8,07	0,44		1,48	<0,1	0,92	0,02	0,64	424,00	<0,01	0,68	0,26	0,51
183	DO	Gangi	Acquanuova	Mt. Madonie	s	817	18,8	7,58	66,9		1,46	0,10	26,84	8,39	<0,01		<0,01	0,13	0,17	<0,5	1,07		7,64	<0,1	0,00	0,18	<0,1	0,23	<0,02	0,78	499,46	<0,01	0,83	0,24	<0,5
184	MO	Collesano	Favara di Collesano	Mt. Madonie	gd	431	16,8	7,50	232,0	<0,1	0,88	<0,1	32,50	49,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,37	15,00	<0,1	3,34	0,30	30,60	0,95	<0,05	0,88	<0,05	3,05	550,00	<0,1	0,58	0,13	0,60
185	MO	Collesano	Pozzi Mora	Mt. Madonie	p	452	14,7	7,45	262,0	<0,1	0,82	<0,1	37,70	49,90	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,53	2,23	<0,1	4,33	0,59	22,50	<0,1	<0,05	0,69	<0,05	0,64	552,00	<0,1	0,90	0,22	1,43
186	MO	Collesano	Pozzi Pigno	Mt. Madonie	p	618	13,4	7,56	472,2	<0,1	0,33	<0,1	24,10	26,50	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,11	2,50	<0,1	2,24	<0,1	6,43	<0,1	<0,05	0,54	<0,05	0,93	200,00	<0,1	0,72	<0,1	0,99
187	MO	Scillato	Scillato	Mt. Madonie	gd	379	12,7	7,83	223,0	<0,1	0,67	<0,1	29,61	27,87	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,11	0,27	1,67	<0,1	4,11	<0,1	21,61	0,96	<0,05	0,46	<0,05	1,09	422,45	<0,1	0,36	<0,1	0,93
188	MO	Scillato	Sausa	Mt. Madonie	p	476	16,5	7,33	30,1	<0,1	0,75	8,89	251,00	110,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,66	76,00	<0,1	21,50	52,50	465,00	1,24	<0,05	1,54	<0,05	0,43	1580,00	<0,1	0,24	0,23	17,20
189	MO	Petralia Sottana	Canna	Mt. Madonie	s	941	9,8	7,55	295,6	<0,1	1,21	1,31	20,50	246,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,43	0,25	3,25	<0,1	2,50	<0,1	267,00	<0,1	<0,05	0,47	<0,05	0,85	143,00	0,11	0,62	1,58	0,84

ID	Ref	Località	Sito	Area	Tipo	Quota	T	pH	Eh	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Li ⁺	Mn	NH ₄	Ni	Pb	Rb	Sb	Se	Sr	Tl	U	V	Zn
						m slm	°C		mV	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
190	MO	Polizzi Generosa	Pietà Alta	Mt. Madonie	gd	1025	8,4	7,81	259,7	<0,1	3,13	9,38	21,60	110,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,14	0,12	2,53	<0,1	3,64	<0,1	7,11	0,50	0,13	0,71	<0,05	0,22	54,10	<0,1	0,21	0,19	0,22
191	MO	Polizzi Generosa	Pietra Ardica	Mt. Madonie	s	900	10,5	7,57	254,6	<0,1	1,08	9,31	38,10	69,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,11	0,12	1,73	<0,1	6,84	<0,1	8,19	0,64	0,31	0,97	<0,05	0,33	104,00	<0,1	0,36	0,15	0,28
192	MO	Polizzi Generosa	Grotticelli	Mt. Madonie	gd	1092	10,1	7,70	277,3	<0,1	3,50	7,60	11,00	41,20	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,13	0,38	1,71	<0,1	0,84	<0,1	48,18	0,45	<0,05	0,19	<0,05	0,17	71,40	<0,1	0,23	0,51	1,51
193	MO	Petralia Sottana	Faguara	Mt. Madonie	s	1460	9,5	7,46	312,0	<0,1	0,62	<0,1	5,21	49,50	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,28	1,05	<0,1	0,00	<0,1	13,00	<0,1	<0,05	0,07	<0,05	0,14	34,50	<0,1	0,37	0,54	0,51
194	MO	Petralia Sottana	Cateratti	Mt. Madonie	s	1179	9,3	7,67	262,1	<0,1	0,25	1,08	21,00	89,60	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,11	<0,1	4,16	<0,1	3,11	<0,1	27,60	<0,1	<0,05	0,41	<0,05	1,35	240,00	0,17	1,39	0,29	0,61
195	MO	Isnello	Favara di Isnello	Mt. Madonie	s	831	10,7	7,40	330,8	<0,1	1,49	<0,1	7,16	22,70	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,22	0,26	1,72	<0,1	0,00	<0,1	32,05	<0,1	<0,05	0,25	<0,05	0,17	44,20	<0,1	0,11	0,54	0,43
196	MO	Gratteri	Capo d'Acqua Tribuna	Mt. Madonie	s	841	13,8	7,41	286,6	<0,1	1,45	0,17	13,80	64,50	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	1,11	0,17	4,75	<0,1	0,17	<0,1	115,00	<0,1	<0,05	0,29	<0,05	0,65	111,00	<0,1	0,27	3,04	0,31
197	MO	Gratteri	San Giorgio	Mt. Madonie	s	663	13,6	7,24	264,4	<0,1	0,25	<0,1	13,70	248,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,47	0,57	3,12	<0,1	1,69	<0,1	144,00	<0,1	<0,05	0,46	<0,05	1,25	97,90	<0,1	0,19	0,67	0,55
198	MO	Isnello	Bevaio del Faggio	Mt. Madonie	s	1355	9,3	7,25	317,7	<0,1	0,40	<0,1	11,10	59,20	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,15	0,38	1,30	<0,1	2,31	<0,1	11,29	<0,1	<0,05	0,26	<0,05	0,44	303,00	<0,1	0,31	0,77	<0,1
199	MO	Geraci Siculo	Piano Lana	Mt. Madonie	s	1309	10,5	5,84	330,0	<0,1	5,50	<0,1	15,20	51,80	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,17	1,90	<0,1	2,26	0,84	13,00	<0,1	<0,05	0,70	<0,05	0,18	20,30	<0,1	<0,1	0,14	3,98
200	MO	Cefalà Diana	Chiarastella	Mt. Palermo	p	433	30,4	8,03	187,2	<0,1	1,06	14,40	78,70	73,40	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,12	2,22	2,95	<0,1	14,60	0,68	53,60	15,50	0,24	3,58	<0,05	0,61	720,00	<0,1	0,16	0,33	107,00
201	DO	Pietraperzia	Capodarso	Bacino Caltanissetta	s	334	17,2	7,37	43,0		0,41	0,29	378,46	17,90	<0,01		<0,01	0,29	0,07	<0,5	1,74		59,99	0,11		0,49	<0,1	0,26	<0,02	1,15	4196,18	<0,01	4,75	0,71	2,80
202	DO	S. Caterina Villarmosa	Hotel2000	Bacino Caltanissetta	s	643	18,9	8,00	130,0		14,28	0,36	20,81	104,82	<0,01		0,01	0,09	0,19	0,19	1,36		3,97	<0,1		0,32	<0,1	0,78	<0,02	0,26	85,62	<0,01	0,26	0,16	1,77
203	DO	Comitini	Comitini	Bacino Caltanissetta	s	235	22,7	7,85	-25,8					12,50							22,74		509,10	1000,00						8765,00					
204	DO	Caltanissetta	P. Lopez	Bacino Caltanissetta	p	-	15,2	7,15	2,6					38,85							312,65		110,00	29,45						5850,00					
205	DO	Caltanissetta	P. Lopez 2	Bacino Caltanissetta	p	681	16,5	7,82	25,5					58,15							76,97		30,00	1,81						197,50					
206	DO	Caltanissetta	P. Lopez 3	Bacino Caltanissetta	p	-	15,9	7,22	38,0					25,00							13,12		160,00	6,36						8105,00					
207	DO	Caltanissetta	Borgo Palo	Bacino Caltanissetta	p	-	16,7	7,68	27,4					14,35							569,60		120,00	110,25						5715,00					
208	DO	Cianciana	Macalube di Bissana	Bacino Caltanissetta	mv	177	20,5	7,80	-398,0					10,30							19,05		275,20	31000,00						6600,00					
212	DO	Sciacca	Fontana Calda (2)	Piana di Sciacca	s	104	27,7	7,66	102,5					83,85							3,37		0,03							1300,00					
213	MO	Sciacca	Fontana Calda	Piana di Sciacca	s	118	31	7,83	219,0	<0,1	0,68	0,37	138,20	70,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,12	<0,1	0,65	2,14	<0,1	16,60	<0,1	0,00	2,34	<0,05	4,24	<0,05	1,76	958,00	<0,1	1,15	0,84	0,73
214	DO	Sciacca	T. Selinuntine	Piana di Sciacca	s	17	54,8	5,61	-331,0					282,00							142,15		7,74	38400,00						48000,00					
215	DO	Sciacca	Molinelli	Piana di Sciacca	p	37	31,2	6,30	-114,0					136,50							30,82		15,70	9400,00						21550,00					
218	LE (1)	Sciacca	Vallone River	Piana di Sciacca	s	-	22	7,11	-													50,00		4400,00											
219	DO	Montevago	S. Vuturo	Mt. Sicani	s	55	29,2	6,81	123,0					30,95							9,73		2,41							1875,00					
221	AT	S. Giovanni G.	Acqua Fitusa	Mt. Sicani	s	375	24	7,30	-337,0		14,90	3,62	22173,00	56,00		<0,2	<0,5	1,14	<0,5	10,10		244,00	25,60			<0,5	0,09	14,00	<0,3	38,90	1290,00	<0,3	0,08	<0,5	4,87

ID	Ref	Località	Sito	Area	Tipo	Quota	T	pH	Eh	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Li ⁺	Mn	NH ₄	Ni	Pb	Rb	Sb	Se	Sr	Tl	U	V	Zn	
						m slm	°C		mV	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	
224	DO	Palazzo Adriano	Lavatoio	Mt. Sicani	s	735	12,4	7,60	196,0					5,54							4,47		0,05												102,50	
225	DO	Villafranca Sicula	Sulfurea Villafranca	Mt. Sicani	s	222	21,3	8,48	-288,0					15,80							5,77		0,24													128,50
226	DO	Prizzi	S. Prizzi	Mt. Sicani	s	601	14,5	7,30	178,0					94,35							4,37		0,07	90,00											414,50	
227	DO	S. Margherita Bel.	S. Gulfa	Mt. Sicani	s	332	11,7	7,25	79,0					59,55							5,32		3,42	500,00											1105,00	
228	DO	Filaga	S. Filaga	Mt. Sicani	s	825	11,1	7,71	137,0					13,15							20,15		0,30	30,00											82,00	
229	MO	Sambuca di Sicilia	Cannella	Mt. Sicani	s	506	16	7,12	142,0	<0,1	0,73	4,04	35,00	196,60	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	0,18	0,97	5,34	<0,1	5,22	0,15	72,04	2,94	1,63	1,55	0,05	0,58	396,00	<0,1	0,24	1,66	1,63	
230	MO	Sambuca di Sicilia	Castellana	Mt. Sicani	s	554	15,5	7,25	202,6	<0,1	0,74	6,65	27,80	208,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,14	0,13	1,28	14,00	<0,1	4,72	0,10	22,59	3,63	1,13	1,72	0,09	0,62	379,00	<0,1	0,23	1,01	1,94	
231	MO	Sambuca di Sicilia	S. Giovanni	Mt. Sicani	p	204	18	7,71	189,0	<0,1	0,77	3,26	19,70	18,60	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,18	1,84	11,30	<0,1	1,32	0,12	21,88	1,60	0,49	0,52	0,07	0,44	149,00	<0,1	0,25	1,20	6,51	
232	MO	Bisacquino	Alvano	Mt. Sicani	s	449	14,2	7,20	148,8	<0,1	0,54	5,91	30,00	213,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,12	0,19	0,60	12,50	<0,1	4,47	<0,1	6,78	2,24	<0,05	0,82	0,05	0,57	520,00	<0,1	0,24	1,28	0,12	
233	MO	Bisacquino	Battellaro	Mt. Sicani	s	567	13,9	7,31	137,7	<0,1	0,34	3,33	25,90	236,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,12	0,11	0,83	12,90	<0,1	2,45	<0,1	10,65	2,39	<0,05	0,70	<0,05	0,42	316,00	<0,1	0,16	1,00	0,10	
234	MO	Caltabellotta	Favara Alta	Mt. Sicani	p	212	17,2	7,62	190,3	<0,1	0,75	0,47	32,40	13,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,16	2,52	2,24	<0,1	2,11	<0,1	7,95	1,40	0,16	0,77	<0,05	0,27	122,00	<0,1	0,31	1,22	6,28	
235	MO	Caltabellotta	S. Marco Sicani	Mt. Sicani	s	655	16,5	7,74	158,4	<0,1	0,45	0,16	42,80	74,20	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,19	0,30	2,63	<0,1	4,90	0,69	0,00	2,72	<0,05	0,51	<0,05	0,67	183,00	<0,1	1,13	1,15	0,41	
236	MO	Caltabellotta	Vento	Mt. Sicani	s	795	15,4	7,88	163,3	<0,1	0,75	0,24	15,20	10,40	<0,1	<0,05	<0,05	0,11	<0,1	0,43	3,80	<0,1	0,69	<0,1	0,00	2,73	0,10	0,15	<0,05	0,33	106,00	<0,1	0,59	1,46	42,30	
237	MO	Contessa Entellina	Genuardo	Mt. Sicani	s	735	16,9	6,98	209,3	<0,1	0,37	0,62	17,70	42,50	<0,1	<0,05	<0,05	0,18	0,13	1,45	4,03	<0,1	2,27	<0,1	15,37	3,46	0,06	0,79	<0,05	1,42	117,00	<0,1	0,27	1,09	1,00	
238	MO	Palazzo Adriano	Monte Scuro	Mt. Sicani	gd	668	13,9	7,59	140,0	<0,1	0,69	0,20	23,00	24,90	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,86	2,27	<0,1	2,93	<0,1	8,43	2,68	0,09	1,07	<0,05	0,87	114,00	<0,1	0,36	0,21	1,22	
239	MO	Palazzo Adriano	S. Cristoforo	Mt. Sicani	gd	675	13,8	7,60	207,7	<0,1	0,59	0,20	31,50	40,90	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,46	1,99	<0,1	3,75	<0,1	0,00	1,90	0,12	1,06	<0,05	0,91	143,00	<0,1	0,34	0,17	1,25	
240	MO	Prizzi	Vigna Sparacio	Mt. Sicani	gd	675	14,4	7,41	147,1	<0,1	1,17	0,27	30,10	96,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,12	<0,1	0,40	2,08	<0,1	2,57	<0,1	28,43	2,29	0,07	1,05	<0,05	1,08	124,00	<0,1	0,34	0,41	0,67	
241	MO	Prizzi	Catusi	Mt. Sicani	s	883	16,8	7,11	213,5	<0,1	1,50	0,37	115,40	83,20	<0,1	<0,05	<0,05	0,38	0,18	1,58	4,00	<0,1	9,50	0,15	11,12	5,28	0,13	2,76	0,08	1,64	544,00	<0,1	0,88	0,50	8,66	
242	MO	S. Stefano Quisquina	Prisa	Mt. Sicani	s	801	12,8	7,33	187,7	<0,1	0,57	0,22	27,30	50,60	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	0,29	0,47	2,42	<0,1	2,94	<0,1	11,12	2,65	<0,05	0,79	<0,05	1,22	152,00	<0,1	0,57	0,41	0,65	
243	MO	Bivona	Spagnolo	Mt. Sicani	s	1084	14,9	7,31	135,6	<0,1	0,59	0,22	16,10	102,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,11	0,14	0,68	2,27	<0,1	1,43	0,10	6,64	2,58	<0,05	0,37	<0,05	0,65	112,00	<0,1	0,20	1,55	0,39	
244	MO	Bivona	Valle D' Oro	Mt. Sicani	s	1012	16,6	7,98	133,4	<0,1	0,37	0,35	16,70	22,50	<0,1	<0,05	<0,05	0,12	<0,1	0,64	2,48	<0,1	2,51	0,57	10,76	2,26	0,13	0,28	<0,05	0,68	187,00	<0,1	0,24	0,75	12,70	
245	MO	Sambuca di Sicilia	Figarella	Mt. Sicani	gd	455	16,3	7,12	219,2	<0,1	0,46	0,59	46,00	77,50	<0,1	<0,05	<0,05	0,19	0,20	0,63	3,41	<0,1	5,62	<0,1	11,48	3,44	0,05	0,39	<0,05	1,74	695,00	<0,1	0,91	1,63	0,69	
246	MO	Sciacca	Catafaldi	Mt. Sicani	s	647	18,5	7,50	174,3	<0,1	0,43	0,39	23,30	19,20	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	1,03	0,40	1,60	<0,1	1,46	<0,1	6,02	1,63	<0,05	0,42	<0,05	1,24	127,00	<0,1	0,16	1,24	0,42	
247	MO	Menfi	Feudotto	Mt. Sicani	p	250	20,5	7,72	185,7	<0,1	0,53	1,36	64,40	104,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,17	0,61	5,77	<0,1	6,16	0,26	0,00	1,99	<0,05	2,28	0,10	1,25	307,00	<0,1	1,44	0,67	8,89	
248	MO	Sciacca	Carboj	Mt. Sicani	p	91	17,1	7,66	154,4	<0,1	0,78	0,57	23,20	21,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,29	0,22	1,36	<0,1	1,36	<0,1	0,00	1,50	<0,05	0,75	<0,05	0,63	102,00	<0,1	0,37	1,32	1,75	
249	MO	Sciacca	Grattavoli	Mt. Sicani	p	314	18,5	7,78	161,6	<0,1	1,26	0,38	19,40	15,50	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,26	1,26	1,25	<0,1	0,93	<0,1	6,64	1,04	0,17	0,62	<0,05	0,59	116,00	<0,1	0,23	1,38	21,50	

ID	Ref	Località	Sito	Area	Tipo	Quota	T	pH	Eh	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Li ⁺	Mn	NH ₄	Ni	Pb	Rb	Sb	Se	Sr	Tl	U	V	Zn
						m slm	°C		mV	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	
250	MO	Bivona	S. Rosalia	Mt. Sicani	s	687	14,5	7,65	138,5	<0,1	0,57	0,22	38,00	38,60	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	<0,1	0,43	2,00	<0,1	3,01	<0,1	11,70	3,45	0,10	0,84	<0,05	0,53	202,00	<0,1	0,24	0,30	2,65
251	MO	Palazzo Adriano	Gebbia1	Mt. Sicani	s	606	16,5	8,27	138,4	<0,1	3,78	0,31	2310,00	12,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	<0,1	0,56	3,00	<0,1	18,80	0,20	13,57	3,31	0,06	1,86	<0,05	0,51	213,00	<0,1	0,31	0,21	0,74
252	MO	Menfi	Stoccatello	Mt. Sicani	s	208	20,6	7,16	167,2	<0,1	0,78	1,52	84,10	97,20	<0,1	<0,05	<0,05	0,41	0,20	1,16	10,00	<0,1	4,77	1,30	10,37	10,00	0,30	2,12	0,08	3,24	689,00	<0,1	3,75	0,82	2,93
253	MO	Bisacchino	Galvagno	Mt. Sicani	s	736	17	7,70	165,9	<0,1	0,47	0,47	32,30	139,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,14	0,35	1,23	2,23	<0,1	5,56	0,17	0,00	2,86	<0,05	2,03	<0,05	0,93	319,00	<0,1	0,35	0,99	1,32
254	MO	Menfi	Feudotto2	Mt. Sicani	p	234	21,1	7,35	135,6	<0,1	0,60	1,35	62,40	71,70	<0,1	<0,05	<0,05	0,15	<0,1	0,63	2,42	<0,1	6,55	<0,1	0,00	1,81	0,07	2,56	0,10	1,34	368,00	<0,1	1,14	0,63	4,16
255	MO	Montevago	Grancio1	Mt. Sicani	gd	286	18,4	7,46	234,7	<0,1	0,46	0,77	44,40	65,60	<0,1	<0,05	<0,05	0,17	0,11	0,39	3,65	<0,1	1,95	<0,1	23,26	2,70	<0,05	0,59	<0,05	1,16	449,00	<0,1	1,12	1,15	1,23
256	MO	Sambuca di Sicilia	Feudo Arancio	Mt. Sicani	p	365	18,4	7,66	216,0	<0,1	0,59	1,14	27,50	16,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,31	0,47	3,58	<0,1	1,28	0,20	26,43	1,83	0,06	0,68	0,13	0,97	762,00	<0,1	13,50	3,26	3,60
257	MO	Sciacca	Salto	Mt. Sicani	s	253	17,7	7,27	325,0	<0,1	2,04	0,48	36,40	149,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,15	1,17	3,68	<0,1	3,79	0,24	29,93	2,15	0,15	2,05	0,06	1,12	733,00	<0,1	0,92	3,27	1,30
258	MO	Caltabellotta	S. Anna Alta	Mt. Sicani	s	507	16,8	7,71	219,5	<0,1	3,21	11,10	62,30	116,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,27	0,44	5,18	<0,1	7,03	<0,1	22,00	2,10	0,05	0,51	<0,05	0,96	833,00	<0,1	0,85	2,09	0,92
259	MO	Bivona	Capo D'Acqua	Mt. Sicani	gd	690	13	7,74	252,0	<0,1	0,60	<0,1	19,60	15,90	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,39	1,17	<0,1	1,95	<0,1	0,00	1,11	<0,05	0,84	<0,05	0,62	137,00	<0,1	0,31	0,20	5,52
260	MO	Bivona	S. Matteo	Mt. Sicani	gd	695	12	8,04	116,3	<0,1	1,40	<0,1	39,10	10,30	<0,1	<0,05	0,08	<0,1	<0,1	0,46	25,10	<0,1	4,91	4,33	37,39	<0,1	0,77	0,90	0,14	0,32	111,00	<0,1	0,37	0,18	183,00
261	MO	Palazzo Adriano	Pigno	Mt. Sicani	s	535	14,2	7,39	113,4	<0,1	0,58	<0,1	25,00	24,90	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,29	3,42	<0,1	4,52	0,12	9,66	2,23	0,25	1,34	<0,05	0,26	146,00	<0,1	0,30	0,14	0,51
262	MO	Palazzo Adriano	Fontana Grande	Mt. Sicani	s	731	12,2	7,60	282,3	<0,1	0,51	0,12	16,30	7,98	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,13	0,17	3,20	<0,1	0,91	<0,1	16,88	1,53	0,19	0,37	<0,05	0,44	93,20	<0,1	0,20	0,34	0,24
263	MO	Burgio	Casale	Mt. Sicani	gd	721	12,6	7,32	301,6	<0,1	0,90	<0,1	14,20	8,08	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,27	1,41	<0,1	1,00	<0,1	8,06	1,44	<0,05	0,64	<0,05	0,43	82,50	<0,1	0,31	0,41	0,39
264	MO	Giuliana	Fico Bassa	Mt. Sicani	s	522	15,3	7,08	233,0	<0,1	0,33	0,12	36,80	192,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,22	0,36	0,71	2,79	<0,1	3,80	<0,1	94,33	2,94	<0,05	0,86	<0,05	0,97	476,00	<0,1	0,33	1,64	0,56
265	MO	Chiusa Sclafani	Oliveto	Mt. Sicani	s	358	17,2	7,35	216,7	<0,1	0,24	0,63	18,60	29,90	<0,1	<0,05	<0,05	0,15	0,33	0,83	3,54	<0,1	4,09	<0,1	12,56	2,67	0,06	1,98	<0,05	0,64	370,00	<0,1	0,29	2,87	0,54
266	MO	Burgio	Chiabbarè	Mt. Sicani	p	500	16,3	7,39	250,8	<0,1	0,70	<0,1	223,00	18,20	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,89	1,04	<0,1	13,10	<0,1	0,00	<0,1	<0,05	2,05	<0,05	0,68	209,00	<0,1	0,77	0,25	1,74
267	MO	Burgio	Gallina	Mt. Sicani	gd	724	14,2	7,40	237,5	<0,1	0,41	<0,1	34,30	12,50	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	<0,1	0,48	1,93	<0,1	1,92	<0,1	0,00	1,65	<0,05	0,46	<0,05	0,41	168,00	<0,1	0,36	1,05	0,43
268	MO	Palazzo Adriano	Pietra Fucile	Mt. Sicani	s	725	12,1	7,79	99,0	<0,1	0,68	<0,1	29,10	6,79	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,37	2,24	<0,1	5,24	<0,1	0,00	1,27	<0,05	0,72	<0,05	0,28	243,00	<0,1	0,23	0,17	0,27
269	MO	Chiusa Sclafani	Trullo	Mt. Sicani	gd	664	14,2	7,27	156,0	<0,1	0,83	<0,1	53,70	161,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,19	0,97	1,88	<0,1	14,40	<0,1	28,15	2,27	0,16	1,08	<0,05	0,70	650,00	<0,1	0,24	1,00	57,70
270	MO	Chiusa Sclafani	Gurra	Mt. Sicani	s	701	12,8	7,15	278,2	<0,1	0,11	0,71	14,40	71,40	<0,1	<0,05	<0,05	0,16	0,12	1,29	4,41	<0,1	2,94	0,38	23,44	2,60	<0,05	0,43	<0,05	1,11	290,00	<0,1	0,41	2,21	<0,1
271	MO	Castronuovo di Sicilia	Liste di Sciacca	Mt. Sicani	gd	458	15,9	7,49	264,2	<0,1	0,22	<0,1	25,30	14,40	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,14	1,95	<0,1	2,28	<0,1	11,96	1,00	<0,05	0,49	<0,05	0,59	135,00	<0,1	0,15	<0,1	0,63
272	MO	Cammarata	Chirumbo	Mt. Sicani	gd	762	13,3	7,83	60,0	<0,1	0,95	<0,1	99,40	21,30	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,34	1,41	<0,1	7,91	<0,1	21,18	0,37	<0,05	0,72	<0,05	0,36	129,00	<0,1	0,31	<0,1	1,14
273	MO	Castronuovo di Sicilia	S. Andrea	Mt. Sicani	gd	552	14	7,46	230,9	<0,1	6,65	0,12	65,50	45,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	<0,1	2,64	8,41	<0,1	5,34	1,71	10,97	6,70	<0,05	1,56	0,08	3,46	340,00	<0,1	2,46	0,92	1,40
274	MO	Santo Stefano Quisquina	Margimunto	Mt. Sicani	p	983	14,7	7,59	138,7	<0,1	1,18	<0,1	17,80	45,20	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,31	1,39	<0,1	1,22	0,39	8,03	1,21	0,07	0,75	<0,05	0,54	147,00	<0,1	0,25	0,42	0,55
275	MO	Santo Stefano Quisquina	Leone	Mt. Sicani	s	963	14	7,30	213,0	<0,1	0,22	0,16	18,90	46,97	<0,1	<0,05	<0,05	0,15	0,25	0,42	4,59	<0,1	4,30	<0,1	48,00	2,56	<0,05	0,37	<0,05	1,71	230,00	<0,1	0,71	0,54	1,21

ID	Ref	Località	Sito	Area	Tipo	Quota	T	pH	Eh	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Li ⁺	Mn	NH ₄	Ni	Pb	Rb	Sb	Se	Sr	Tl	U	V	Zn
						m slm	°C		mV	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	
276	MO	Santo Stefano Quisquina	Capo Favara	Mt. Sicani	p	781	14,1	7,52	268,2	<0,1	0,17	<0,1	21,50	29,60	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,76	1,61	<0,1	1,93	<0,1	27,54	1,69	<0,05	0,83	<0,05	0,77	141,00	<0,1	0,31	0,25	2,16
277	MO	Prizzi	Martino	Mt. Sicani	s	796	13,4	7,17	221,7	<0,1	0,53	0,14	12,60	216,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,21	<0,1	1,07	5,67	<0,1	1,84	<0,1	16,37	3,51	<0,05	0,54	<0,05	0,36	394,00	<0,1	0,20	0,76	0,46
278	MO	Bisacchino	Martinazzo	Mt. Sicani	s	580	13,8	7,06	272,9	<0,1	1,31	<0,1	30,90	41,60	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,32	0,32	1,99	<0,1	1,89	<0,1	0,00	0,86	<0,05	0,27	<0,05	0,93	159,00	<0,1	0,31	0,76	0,74
279	MO	Prizzi	Madonna delle Scale	Mt. Sicani	gd	586	14,2	7,59	240,1	<0,1	0,89	0,18	26,50	67,42	<0,1	<0,05	<0,05	0,11	<0,1	0,36	2,60	<0,1	3,17	<0,1	29,26	1,86	0,12	0,69	<0,05	0,92	178,60	<0,1	0,37	0,27	0,61
280	MO	Palazzo Adriano	Gibilcanna1	Mt. Sicani	s	1096	11,6	7,57	273,2	<0,1	0,52	<0,1	7,42	350,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,11	0,11	1,43	2,56	<0,1	0,91	<0,1	0,00	1,84	<0,05	0,11	<0,05	0,45	197,00	<0,1	<0,1	0,52	0,19
281	MO	Bisacchino	Besi	Mt. Sicani	s	775	13,7	7,11	250,5	<0,1	0,83	<0,1	53,30	97,60	<0,1	<0,05	<0,05	0,11	0,11	1,26	4,44	<0,1	19,70	<0,1	15,94	3,05	<0,05	2,20	0,06	1,58	694,00	<0,1	2,44	0,47	1,07
282	MO	Chiusa Sclafani	S. Venere	Mt. Sicani	s	667	13,5	7,33	226,8	<0,1	0,63	0,12	24,70	38,30	<0,1	<0,05	<0,05	0,12	<0,1	0,53	4,07	<0,1	2,81	<0,1	13,88	2,38	<0,05	1,06	<0,05	0,85	164,00	<0,1	0,38	0,16	0,78
283	MO	Corleone	Lucia	Mt. Sicani	s	957	11,9	7,28	249,0	<0,1	0,29	0,13	13,50	88,10	<0,1	<0,05	<0,05	0,16	<0,1	0,64	3,81	<0,1	2,41	<0,1	0,00	2,80	<0,05	1,21	<0,05	1,30	316,00	<0,1	1,26	0,22	<0,1
284	MO	Corleone	Giumente	Mt. Sicani	s	964	9,6	7,38	284,1	<0,1	0,48	<0,1	18,80	58,80	<0,1	<0,05	<0,05	0,11	<0,1	1,89	2,02	<0,1	1,28	<0,1	5,35	2,67	<0,05	0,47	<0,05	0,33	255,00	<0,1	0,15	0,83	0,72
285	MO	Corleone	Scorciavacche	Mt. Sicani	s	718	10,4	7,65	214,5	<0,1	2,72	<0,1	26,80	333,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,15	1,63	1,32	<0,1	1,54	<0,1	27,65	1,57	<0,05	0,33	<0,05	0,49	420,00	<0,1	0,11	1,34	0,91
286	MO	Palazzo Adriano	Gibilcanna2	Mt. Sicani	s	921	10,5	7,42	218,6	<0,1	0,46	<0,1	20,60	65,70	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	0,11	0,55	3,43	<0,1	1,62	0,11	15,46	2,24	<0,05	0,36	<0,05	0,64	214,00	<0,1	0,20	0,54	<0,1
287	MO	Palazzo Adriano	Raia	Mt. Sicani	s	774	11,9	7,37	230,2	<0,1	0,49	<0,1	15,00	319,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,12	0,16	1,13	3,24	<0,1	1,95	<0,1	0,00	2,27	<0,05	0,20	<0,05	0,66	267,00	<0,1	<0,1	0,48	0,66
288	MO	Prizzi	Grande	Mt. Sicani	s	785	13,4	7,26	229,8	<0,1	1,42	<0,1	98,30	80,10	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,20	2,04	2,46	<0,1	9,11	<0,1	45,51	1,57	0,06	1,85	<0,05	0,93	535,00	<0,1	0,19	1,88	0,90
289	MO	Campobello di Mazara	Pozzo Gorga	Piana di Castelvetro	p	92	21,4	7,07	109,0	<0,1	<0,1	0,54	151,00	55,80	<0,1	<0,05	<0,05	0,17	0,85	2,69	18,60	<0,1	14,70	<0,1	11,32	1,17	0,14	1,83	<0,05	3,23	3730,00	<0,1	4,52	4,09	9,17
290	MO	Campobello di Mazara	Pozzo Tre Fontane	Piana di Castelvetro	p	33	19,6	7,31	116,2	<0,1	0,25	2,08	163,00	101,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,44	1,08	11,60	<0,1	17,80	0,34	0,00	<0,1	<0,05	2,07	<0,05	1,27	4960,00	<0,1	1,66	2,16	15,00
291	MO	Castelvetro	Pozzo Vanico	Piana di Castelvetro	p	134	19,6	7,09	46,0	<0,1	0,74	10,10	119,00	66,60	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,12	1,61	23,80	<0,1	4,87	1,20	51,40	2,28	0,15	1,22	<0,05	1,17	1480,00	<0,1	0,44	0,62	292,00
292	MO	Campobello di Mazara	Pantaleo	Piana di Castelvetro	p	41	19,9	7,19	40,3	<0,1	1,38	0,53	143,00	82,40	<0,1	<0,05	<0,05	0,22	0,18	1,00	94,60	<0,1	7,25	1,51	25,34	3,05	0,15	2,44	<0,05	2,19	4220,00	<0,1	0,97	0,92	16,30
293	MO	Castelvetro	Venezia	Piana di Castelvetro	p	141	18,2	7,08	169,6	<0,1	0,46	1,04	169,00	59,50	<0,1	<0,05	<0,05	0,33	0,20	0,61	27,10	<0,1	2,25	2,54	30,00	3,53	0,13	1,42	<0,05	1,17	702,00	<0,1	0,61	1,16	107,00
294	MO	Mazara del Vallo	Soprano	Piana di Castelvetro	p	22	20,1	7,59	125,1	<0,1	2,91	1,15	47,40	44,50	<0,1	<0,05	<0,05	0,15	0,94	0,89	9,81	<0,1	1,97	6,55	56,53	2,07	0,07	0,67	<0,05	2,36	1260,00	<0,1	1,50	1,73	2,44
295	MO	Campobello di Mazara	Balatelle	Piana di Castelvetro	p	19	20	7,19	212,3	<0,1	0,75	1,00	114,00	109,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,14	1,15	2,31	4,37	<0,1	11,40	0,48	284,06	1,18	0,43	2,52	0,30	2,57	4140,00	<0,1	1,99	5,23	8,21
296	MO	Castelvetro	B9	Piana di Castelvetro	p	65	22,4	7,72	-139,4	<0,1	0,15	<0,1	167,00	95,30	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,10	0,63	221,00	<0,1	19,50	1,93	236,47	<0,1	<0,05	4,39	<0,05	0,53	6960,00	<0,1	<0,1	0,54	9,05
297	MO	Castelvetro	B10	Piana di Castelvetro	p	56	21,2	7,70	34,2	<0,1	<0,1	1,92	129,00	76,50	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,10	0,28	203,00	<0,1	17,70	1,12	129,19	<0,1	<0,05	3,54	<0,05	3,49	6770,00	<0,1	0,36	0,76	3,25
298	MO	Castelvetro	Clemente	Piana di Castelvetro	p	187	20,9	7,69	-160,0	<0,1	1,45	<0,1	132,00	50,80	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,40	70,50	<0,1	8,29	1,94	885,34	1,33	<0,05	2,15	<0,05	0,92	1100,00	<0,1	<0,1	0,20	0,95
299	MO	Partanna	Staglio 7	Piana di Castelvetro	p	164	18,9	7,39	53,1	<0,1	0,30	0,14	83,60	85,40	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	0,47	89,80	<0,1	4,13	1,05	67,60	1,50	<0,05	1,16	<0,05	0,58	2270,00	<0,1	<0,1	0,28	24,90
300	MO	Partanna	Magaggiaro 2 EAS	Piana di Castelvetro	p	199	18,7	7,40	-1,4	<0,1	0,90	0,23	30,10	36,20	<0,1	<0,05	<0,05	0,11	<0,1	0,22	74,40	<0,1	2,96	1,12	35,00	2,04	<0,05	1,31	<0,05	0,81	1440,00	<0,1	1,55	0,12	4,00
301	MO	Mazara del Vallo	S. Nicola1	Piana di Castelvetro	p	41	21,2	7,63	209,7	<0,1	0,58	0,50	54,00	46,30	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,63	1,66	6,00	<0,1	1,60	<0,1	25,82	12,80	0,20	0,60	<0,05	1,53	580,00	<0,1	0,88	2,05	11,30

ID	Ref	Località	Sito	Area	Tipo	Quota	T	pH	Eh	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Li ⁺	Mn	NH ₄	Ni	Pb	Rb	Sb	Se	Sr	Tl	U	V	Zn
						m slm	°C		mV	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	
302	DO	Roccamena	P. Calatrasi	Roccabusambra	p	213	22,6	7,30	-221,0				22,00								18505,00	0,00	4456,50	24000,00					1535,00						
304	MO	Godrano	Alpe Cucco	Roccabusambra	s	1017	9,7	7,67	296,5	<0,1	1,68	<0,1	11,50	47,20	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,14	0,93	3,66	<0,1	0,74	<0,1	0,00	<0,1	1,21	0,19	<0,05	0,24	83,40	<0,1	<0,1	0,70	1,06
305	MO	Godrano	Marosa	Roccabusambra	gd	840	13,1	7,82	316,0	<0,1	1,67	9,21	48,00	321,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,26	1,48	3,85	<0,1	5,40	<0,1	12,32	1,18	0,08	0,35	<0,05	0,36	575,00	<0,1	0,11	0,86	1,11
306	MO	Monreale	Ramusa	Roccabusambra	s	832	12,5	7,45	71,1	<0,1	4,27	10,30	159,00	119,00	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	<0,1	0,60	75,80	<0,1	28,00	36,70	93,12	1,77	0,29	1,37	<0,05	0,51	433,00	<0,1	<0,1	0,28	0,53
307	MO	Corleone	Drago	Roccabusambra	s	375	16,5	7,84	261,7	<0,1	0,73	1,67	38,00	76,50	<0,1	<0,05	<0,05	0,13	0,11	0,71	4,56	<0,1	4,42	35,70	27,66	1,86	<0,05	1,11	0,06	0,85	352,00	<0,1	0,46	0,76	0,30
308	MO	Godrano	Barone	Roccabusambra	s	952	15,1	7,48	215,3	<0,1	1,17	26,70	24,80	283,00	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,59	0,39	3,10	<0,1	2,68	<0,1	9,33	1,42	<0,05	0,33	0,36	0,36	241,00	<0,1	0,12	4,56	0,18
309	MO	Monreale	Malvello	Roccabusambra	s	343	22,5	7,40	203,9	<0,1	1,12	11,90	42,70	73,20	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,17	0,22	2,10	<0,1	7,46	<0,1	19,70	1,63	<0,05	1,28	0,09	0,27	432,00	<0,1	0,54	0,91	0,46
310	MO	Corleone	Magione	Roccabusambra	s	527	17,7	8,10	236,6	<0,1	1,15	11,90	109,00	51,20	<0,1	<0,05	<0,05	0,45	0,34	3,27	5,66	<0,1	21,50	<0,1	26,11	3,15	<0,05	6,01	0,09	1,63	509,00	<0,1	0,35	2,78	0,14

Tipo: s= sorgente; gd= galleria drenante; p= pozzo; pg= polla gorgogliante.

Ref.: DO= dati ottenuti da questo lavoro; MO= dati forniti da INGV; AT= dati forniti dal Progetto Atlante; LE= dati di letteratura: (4) Grassa et al., 2006.

ID	Ref	Utm-E	Utm-N	Località	Sito	Tipo	Quota	T	CO ₂	N ₂	CH ₄	Ar	O ₂	Ne	H ₂	He	CO	δ ¹³ C-CO ₂	R/Ra	He/Ne	R/Ra c	error	A	M	C
WGS84 Fuso 33N							m slm	°C	perc										V-PDB				%	%	%
208	DO	356494	4149729	Cianciana	Macalube di Bissana	gl	177	20,5	4,0	6,8	88,2000		0,0			0,03960	0,00001	-21,1	1,31	4350,95	1,31	0,010033855	0,00	20,04	79,96
209	AT	419617	4150341	Caltanissetta	Macalube Terrapelata	gl	524	14,7	0,7	4,5	88,4100		0,8	0,00009		0,00820		-9,57	0,45	108,54	0,44	0	0,22	6,63	93,15
210	LE (1)	376052	4137574	Aragona	Macalube Aragona	gl	280		1,4	1,0	97,5000	0,0240	0,1			0,00110		-2,44	0,65	>3000	0,65		0,00	9,90	90,10
211	LE (2)	380751	4144856	Comitini	Macalube Comitini	gl			0,7	5,5	91,6200		2,1												
212	DO	335101	4154016	Sciacca	Fontana Calda 2	gd	104	27,7	14,1	74,8	0,0012	1,7334	9,4	0,00087		0,00163		-14,64							
214	DO	331428	4152946	Sciacca	T. Selinuntine	gd	17	54,8	69,1	29,6	0,0056	0,7407	0,5	0,00037		0,00630		-5,61	2,68	287	2,68		0,07	41,19	58,75
215	DO	332169	4152525	Sciacca	S. Molinelli	gd	37	31,2	24,9	65,2	0,0050	1,6606	8,2	0,00095		0,00214		-8,97							
219	DO	317620	4173872	Montevago	S. Vuturo	gd	55	29,2	14,3	73,7	0,0015	1,9024	10,1	0,00107		0,00166		-8,22							
220	LE (3)	318150	4174594	Montevago	Acqua Pia	gd	162	39,2	52,9	45,0	0,0350		2,1		0,0010	0,01100		-6,5	1,36	16	1,4		1,65	20,68	77,67
221	DO	383737	4166690	S. Giovanni G.	Acqua Fitusa	gd	375	20,7	38,1	49,0	8,3700	1,1900	3,4	0,07000		0,02720		-3,3	0,42	37,27	0,41	0,005	0,69	6,12	93,19
224	DO	357322	4171350	Palazzo Adriano	Lavatoio	gd	735	12,4	6,5	81,2	0,0004	2,0562	10,3	0,00097		0,00076		-19,47							
225	DO	347721	4160515	Villafranca Sicula	Sulfurea Villafranca	gd	222	21,3	14,2	75,7	0,0025	1,8934	8,2	0,00095		0,00107		-11,79							
226	DO	361494	4175345	Prizzi	S. Prizzi	gd	601	14,5	66,7	31,7	0,1203	0,7658	0,7	0,00044		0,00230		-10,55							
227	DO	326867	4172123	S. Margherita Bel.	S. Gulfa	gd	332	11,7	21,8	70,1	0,0031	1,8136	6,3	0,00109		0,00375		-18,98							
228	DO	364871	4172553	Filaga	S. Filaga	gd	825	11,1	12,9	76,1	0,0018	1,8734	9,1	0,00094		0,00269		-19,6							
232	DO	343490	4177861	Contessa Entellina	S. Alvano	gd	408	13,9	16,5	77,9	0,0018	1,6465	4,0	0,00099		0,00231		-20,97							
302	DO	334556	4189752	Roccamena	P. Calatrasi	gd	213	22,6	66,4	31,6	0,1531	0,7146	1,1	0,00041		0,00174		-26,52							
311	LE (4)	357656	4165464	Palazzo Adriano	Fuoco di Genso	gl	732	-	2,2	9,7	86,0000					0,03670									

Tipo: gd= gas disciolti; gl= gas liberi.

Ref.: DO= dati ottenuti da questo lavoro; MO= dati forniti da INGV; AT= dati forniti dal Progetto Atlante; LE= dati di letteratura: (1) Tassi et al. 2012; (2) Heller, 2011; (3) Grassa et al., 2006; (4) Martinelli et al., 2011.

Tabella a4 - Valori di pressione parziale di CO₂ e indici di saturazione di aragonite, anidrite, calcite, dolomite, fluorite, gesso e halite delle acque. I calcoli sono stati eseguiti utilizzando il software PHREEQC (Parkhurst & Appelo, 1999).

ID	Sito	pH	T	pCO ₂	Aragonite	Anhydrite	Calcite	Dolomite	Dolomite		Fluorite	Gypsum	Halite
									disordered	ordered			
			°C	log									
1	S. Margherita	6,69	15,9	-1,95	-1,93	-2,66	-1,73	-4,08	-3,49			-2,36	-7,51
2	B. Calcagno	7,46	16,9	-2,21	-0,22	-2,00	-0,02	-0,78	-0,19		-1,18	-1,71	-7,11
3	Campogrande 2	7,18	16,1	-1,70	-0,01	-1,98	0,19	-1,00	-0,42		-0,88	-1,68	-7,38
4	S. Villa Antica	7,97	17,4	-2,45	0,76	-1,85	0,96	1,16	1,74		-1,02	-1,56	-7,24
5	G. Villa Ridente	7,77	18,4	-2,65	-0,21	-2,04	-0,01	-0,38	0,20		-1,41	-1,75	-6,05
6	Pozzo Pino	6,74	18,8	-1,55	-1,16	-1,92	-0,97	-2,24	-1,66		-1,43	-1,64	-5,94
7	S. Fetente	7,34	14,2	-1,91	-0,15	-1,49	0,06	-0,20	0,39		-0,67	-1,18	-6,09
8	Amanti	6,73	16,9	-2,04	-2,02	-2,78	-1,82	-4,26	-3,68			-2,49	-7,52
9	Balsima	7,71	17,1	-2,30	0,15	-2,03	0,35	0,26	0,85		-1,27	-1,74	-7,00
10	C. Piana	7,32	16,6	-2,31	-0,89	-2,56	-0,69	-1,93	-1,35		-1,43	-2,26	-7,40
11	Fontane	7,52	15,5	-2,09	0,18	-1,81	0,38	-0,20	0,39		-1,00	-1,52	-7,84
12	Lavatoio	7,15	16,2	-1,57	-0,06	-2,00	0,14	-0,35	0,24			-1,70	-7,29
13	Pileci	7,39	15,6	-2,25	-0,61	-2,45	-0,41	-1,46	-0,87			-2,16	-8,12
14	Acqua Poma	6,2	16,8	-1,37	-2,22	-2,38	-2,02	-4,63	-4,05		-1,47	-2,09	-6,87
15	Russa	7,38	14,9	-2,22	-0,59	-2,44	-0,39	-1,45	-0,85			-2,14	-8,09
16	S. Febronia	7,59	18,1	-3,00	-1,32	-3,08	-1,12	-2,81	-2,23		-1,69	-2,80	-7,50
17	S. Filippo (Gaiezza)	7,99	17,5	-2,84	0,23	-2,41	0,43	-0,56	0,02			-2,12	-7,80
18	P. Napoli	6,58	18,7	-0,27	0,26	-2,31	0,46	0,90	1,47		-1,43	-2,03	-4,22
19	B. Abacena	7,36	14,5	-1,88	0,19	-1,99	0,39	-0,74	-0,15		-0,85	-1,69	-7,33
20	S. Fantino	7,02	16,9	-1,45	0,03	-1,64	0,23	-1,06	-0,47		-0,81	-1,35	-6,83
21	Rinazzo	7,89	22	-2,70	-0,02	-2,34	0,17	-0,38	0,18		-0,43	-2,08	-7,00
22	Fraiale	7,65	15	-2,59	-0,37	-2,76	-0,16	-1,42	-0,83		-0,63	-2,46	-7,89
23	Porta dei Leoni	7,09	9,5	-2,33	-1,73	-3,13	-1,51	-3,70	-3,08			-2,80	-7,60

ID	Sito	pH	T	pCO ₂	Aragonite	Anhydrite	Calcite	Dolomite	Dolomite		Fluorite	Gypsum	Halite
									disordered	ordered			
			°C	log									
24	P. Biondo	8,59	15,1	-3,37	0,38	-2,98	0,59	0,54	1,13		-2,68	-6,94	
25	Forzano	9,45	17	-4,39	1,36	-2,80	1,56	2,36	2,95		-2,51	-7,81	
26	P. Pintaudi	7,93	18,2	-2,48	0,49	-0,98	0,69	0,83	1,41	-1,29	-0,70	-4,91	
27	Timeto	7,48	16,4	-2,05	0,15	-1,73	0,35	-0,32	0,26	-1,00	-1,44	-7,31	
28	Feudo	7,2	15,8	-1,76	-0,05	-2,26	0,15	-1,22	-0,63		-1,96	-7,67	
29	Papa	7,24	18,3	-1,73	0,10	-1,57	0,30	-0,39	0,19		-1,29	-6,89	
30	Masseria	7,5	16,9	-2,05	0,10	-2,13	0,30	-0,16	0,42		-1,84	-7,77	
31	S. Giacomo	8,42	7,9	-3,20	0,55	-2,90	0,77	0,53	1,15		-2,56	-8,62	
32	T. Augusto	6,71	30,2	-0,15	0,63	-2,18	0,80	1,49	2,02	-0,42	-1,96	-5,53	
33	P. Isgrò	7,6	14,8	-2,15	0,02	-2,14	0,23	-0,12	0,46		-1,84	-7,65	
34	P. Isgrò 2	7,5	17,5	-1,92	0,33	-1,48	0,53	0,32	0,90	-0,46	-1,19	-6,38	
35	C. Mendola	7,28	16,1	-1,79	-0,06	-1,74	0,14	-0,35	0,23		-1,44	-7,73	
36	P. Nino	7,35	19,8	-1,55	0,20	-2,04	0,39	0,41	0,98	-0,71	-1,77	-6,58	
37	Trifilò	9,02	20,7	-3,63	0,15	-2,82	0,34	-0,17	0,40	-2,53	-2,55	-6,02	
38	C. San Filippo	8,6	18,9	-2,86	-0,03	-3,42	0,17	-0,13	0,45	-0,62	-3,14	-5,90	
39	La Palmara	6,98	21,3	-1,35	0,00	-1,13	0,19	-0,32	0,25	-1,02	-0,86	-6,13	
40	Pozzo Giambò V.	6,88	20,2	-1,23	-0,06	-1,37	0,12	-0,47	0,10	-0,99	-1,10	-6,28	
41	C. Marulli	7,22	18,4	-1,70	-0,01	-1,45	0,19	-0,24	0,34	-1,10	-1,17	-6,25	
42	P. Ventura	7,7	23,9	-1,96	0,54	-1,82	0,73	0,76	1,32	-0,06	-1,57	-6,26	
43	P. di Perla	7,56	17,4	-2,24	0,09	-1,85	0,29	-0,67	-0,09		-1,56	-7,85	
44	C. Faraone	7,64	20,3	-2,30	0,24	-1,77	0,43	-0,36	0,21		-1,50	-7,67	
45	C. Pilato	9,01	19,5	-3,41								-6,08	
46	P. Praga	7,45	21,3	-1,88	0,45	-1,45	0,64	0,15	0,72	-0,29	-1,18	-7,66	
47	P. Cavallaro	7,26	22	-1,73	0,16	-1,55	0,35	-0,33	0,23	-0,97	-1,29	-7,09	
48	P. Puliafita	7,4	25,8	-1,78	0,42	-1,51	0,60	0,30	0,85	-1,00	-1,26	-7,00	

ID	Sito	pH	T	pCO ₂	Aragonite	Anhydrite	Calcite	Dolomite	Dolomite		Fluorite	Gypsum	Halite
									disordered	ordered			
			°C	log									
49	T. Marino 1	6,05	31,7	-0,11	-0,20	-0,61	-0,04	-0,59	-0,07	-0,07	-0,40	-3,91	
50	T. Marino 2	6,13	25	-0,16	-0,29	-1,21	-0,11	-0,80	-0,25	-0,96	-0,96	-5,97	
51	T. Granata	6,03	21,6	-0,33	-0,54	-0,69	-0,35	-1,31	-0,75	0,39	-0,43	-3,33	
52	V10	6,4	17,6	-0,53	0,38	-0,19	0,57	0,58	1,16	0,66	0,08	-2,34	
53	T. Grazia	5,87	31,8	0,03	-0,32	-0,43	-0,15	-0,40	0,13		-0,22	-2,53	
54	P. Giochi	8,51	18,2	-3,22	1,10	-1,46	1,29	1,88	2,46		-1,17	-6,67	
55	Berlingheri	7,59	24,1	-2,18	0,21	-1,57	0,39	0,03	0,59	-1,17	-1,31	-6,54	
56	Contura	7,14	16,6	-1,57	0,03	-1,98	0,23	-0,50	0,08		-1,69	-7,14	
57	Astasi	7,53	15,6	-1,98	0,35	-1,88	0,56	0,23	0,82		-1,58	-7,16	
58	F. Abate	7,74	14,5	-2,46	0,06	-2,82	0,27	-0,50	0,09		-2,52	-8,55	
59	Mangalaviti	7,18	17,3	-2,18	-1,00	-3,27	-0,80	-3,10	-2,51		-2,99	-8,86	
60	A. Fridda	6,47	13	-1,59	-2,00	-3,34	-1,79	-4,84	-4,24		-3,03	-8,73	
61	Montagnareale	6,85	16,9	-1,75	-1,26	-2,60	-1,06	-2,67	-2,09		-2,31	-7,68	
62	F. Trono	7,5	12,6	-2,46	-0,61	-2,53	-0,40	-1,80	-1,20		-2,22	-7,98	
63	Passo Moio	7,77	13,3	-2,43	0,22	-2,21	0,42	-0,35	0,25		-1,91	-7,89	
64	Bonomo	7,24	14	-1,75	-0,17	-2,04	0,04	-0,57	0,03		-1,73	-7,68	
65	Palombaro	7,78	16,4	-2,39	0,34	-1,90	0,54	0,09	0,68		-1,61	-7,59	
66	Bocca di Cane	7,11	12,4	-1,41	-0,49	-2,66	-0,28	-0,44	0,17		-2,34	-8,32	
67	Tagliatore	7,4	15,7	-2,01	0,01	-1,76	0,21	-0,68	-0,09	-1,00	-1,47	-7,55	
68	Isonzo	7,67	16,2	-2,26	0,34	-1,71	0,54	-0,07	0,52	-0,97	-1,41	-7,46	
69	Vena	7,33	14,1	-2,32	-0,79	-2,10	-0,58	-1,96	-1,36	-1,29	-1,80	-7,89	
70	Filiti A.	7,09	17,3	-1,47	0,12	-1,30	0,32	-0,35	0,23	-0,30	-1,02	-6,36	
71	Filiti P.	7,44	18,7	-1,96	0,15	-1,88	0,34	-0,30	0,27	-1,04	-1,60	-7,09	
72	Foti	7,31	18,5	-1,77	0,17	-1,77	0,36	-0,33	0,25	-0,96	-1,49	-7,06	
73	Torre G.	7,52	16,1	-2,02	0,14	-1,99	0,34	0,09	0,68		-1,69	-7,63	

ID	Sito	pH	T	pCO ₂	Aragonite	Anhydrite	Calcite	Dolomite	Dolomite	Fluorite	Gypsum	Halite
			°C	log				disordered	ordered			
74	Edil Mare	7,41	12	-1,94	-0,04	-2,04	0,17	-0,34	0,27		-1,72	-7,62
75	Calabrò	7,09	16,8	-1,55	-0,16	-1,85	0,04	-0,64	-0,05		-1,56	-7,51
76	Scilipoti	7,73	14,1	-2,22	0,39	-1,86	0,59	0,54	1,13		-1,56	-7,50
77	Siracusa	7,21	16,7	-1,69	-0,06	-1,93	0,14	-0,46	0,12		-1,64	-7,58
78	Squadrito	7,23	16,4	-1,68	-0,08	-1,72	0,12	-0,24	0,34		-1,43	-7,73
79	Amalfa	7,29	17,3	-1,94	-0,09	-1,78	0,11	-1,05	-0,47		-1,49	-7,93
80	Scilipoti A.	7,35	16,5	-1,83	0,01	-2,00	0,21	-0,19	0,40		-1,71	-7,69
81	Gitto M.	7,37	17,1	-1,97	0,07	-1,75	0,27	-0,71	-0,13		-1,47	-7,89
82	Picciolo	7,25	18	-2,08	-0,26	-1,49	-0,06	-1,30	-0,72		-1,21	-7,59
83	Sicil Flora	7,36	17,2	-2,03	-0,02	-1,72	0,18	-0,92	-0,34		-1,44	-7,86
84	Fiumarella	7,46	15,8	-2,20	-0,10	-1,88	0,10	-1,05	-0,46		-1,58	-8,03
85	Zerilli	7,3	17,6	-1,98	-0,06	-1,65	0,13	-0,82	-0,24		-1,36	-6,68
86	D'Amico	7,2	17,4	-1,73	0,09	-1,47	0,28	-0,70	-0,12		-1,18	-7,37
87	Formica G.	7,35	17,6	-2,02	-0,02	-1,70	0,18	-0,92	-0,34		-1,41	-7,81
88	Aia Scarpaci	7,41	18,7	-1,92	0,25	-1,60	0,45	-0,24	0,33	-0,92	-1,32	-7,31
89	Formica P.	7,2	17	-1,83	-0,06	-1,56	0,14	-1,03	-0,45		-1,27	-7,64
90	2Mulini	7,46	15,8	-2,09	0,07	-1,75	0,27	-0,66	-0,07	-0,98	-1,46	-7,53
91	S. Venera	7,25	16,6	-1,84	-0,08	-1,72	0,12	-0,88	-0,30	-0,97	-1,43	-7,42
92	S. Andrea	7,08	18,1	-1,66	-0,14	-1,64	0,06	-1,02	-0,44	-0,94	-1,36	-7,38
93	Dal Contres	7,31	17,9	-1,80	0,17	-1,56	0,37	-0,35	0,23	-0,93	-1,27	-7,02
94	Milone	7,17	18,8	-1,46	0,09	-1,64	0,29	0,11	0,68		-1,36	-6,63
95	Catena	7,25	18,6	-1,72	-0,02	-1,80	0,18	-0,27	0,31	-1,13	-1,52	-6,83
96	Perdichizzi	7,22	18,7	-1,66	0,00	-1,92	0,20	-0,27	0,30		-1,64	-7,56
97	Cambria	7,44	13,9	-1,98	-0,04	-2,11	0,16	-0,32	0,28		-1,81	-7,75
98	Giambò T.	7,33	16,2	-1,83	-0,07	-2,05	0,13	-0,33	0,26		-1,76	-7,70

ID	Sito	pH	T	pCO ₂	Aragonite	Anhydrite	Calcite	Dolomite	Dolomite	Fluorite	Gypsum	Halite
			°C	log			disordered	ordered				
99	Mazzeo	7,27	17	-1,73	-0,01	-1,88	0,19	-0,22	0,36		-1,59	-7,54
100	Giorgianni	6,87	17	-1,31	-0,19	-1,58	0,01	-1,11	-0,53	-0,88	-1,29	-7,17
101	Chiesa S. Andrea	7,41	16,9	-1,99	0,10	-1,70	0,30	-0,56	0,02	-0,97	-1,41	-7,45
102	CasaBianca	7,28	16,5	-1,70	0,08	-1,74	0,28	-0,07	0,51		-1,45	-7,96
103	Petraro	7,26	17,9	-1,79	0,07	-1,56	0,26	-0,58	0,00	-0,94	-1,27	-7,10
104	Alosi2	7,24	15,1	-1,73	-0,17	-2,07	0,03	-0,52	0,07		-1,77	-7,73
105	Alosi1	7,46	16	-1,95	0,08	-2,01	0,28	-0,04	0,55		-1,72	-7,51
106	Badia	7,47	14,3	-2,00	0,00	-2,09	0,20	-0,19	0,40		-1,78	-7,76
107	Sorgente	7,12	17,8	-1,89	-0,67	-2,14	-0,47	-1,86	-1,28	-1,24	-1,86	-7,54
108	Benefizio	7,56	15,7	-2,37	-0,20	-2,05	0,00	-1,10	-0,51		-1,76	-7,87
109	Lionti	7,27	16	-1,77	-0,15	-2,09	0,05	-0,45	0,13		-1,80	-7,73
110	Ca. Rot.	7,38	15,5	-2,03	-0,13	-2,07	0,07	-0,89	-0,30		-1,77	-7,78
111	Cons. Mazzarrà	8,39	13,9	-2,96	0,78	-2,15	0,99	1,48	2,07		-1,85	-7,77
112	Arconaci	6,66	17,7	-1,06	-0,30	-1,32	-0,11	-1,15	-0,57	-0,89	-1,03	-6,34
113	Casazza	7,72	12,9	-3,27	-1,41	-2,75	-1,20	-2,99	-2,39		-2,44	-8,09
114	Cavilla	7,12	17	-1,55	-0,08	-1,70	0,12	-0,38	0,20		-1,42	-8,01
115	Caliri	7,19	17,5	-1,71	-0,01	-1,66	0,19	-0,77	-0,19	-0,93	-1,37	-7,41
116	Laino	7,33	16,5	-1,95	-0,09	-1,80	0,11	-0,86	-0,28	-1,03	-1,51	-7,58
117	Solicchiata	7,18	17,7	-1,86	-0,36	-1,95	-0,16	-1,30	-0,72		-1,66	-7,59
118	C. Piraino	7,1	15,8	-1,79	-0,50	-1,99	-0,30	-1,45	-0,86		-1,69	-7,60
119	Buculica	7,81	11,2	-2,57	0,11	-2,85	0,33	-0,83	-0,22		-2,53	-8,61
120	S. Francesco 2	7,4	14,4	-2,28	-0,53	-2,10	-0,32	-1,44	-0,84		-1,80	-7,61
121	Sanderson	7,14	17,8	-1,86	-0,41	-1,81	-0,21	-1,36	-0,78		-1,52	-7,29
122	Garibaldi	7,12	18,6	-1,66	-0,07	-2,20	0,12	-0,62	-0,05		-1,92	-6,24
123	Colella	7,36	12,4	-2,70	-1,81	-3,65	-1,60	-3,58	-2,97		-3,34	-8,06

ID	Sito	pH	T	pCO ₂	Aragonite	Anhydrite	Calcite	Dolomite	Dolomite	Fluorite	Gypsum	Halite
			°C	log				disordered	ordered			
124	Sellica	7,91	13,9	-2,74	0,01	-2,15	0,21	-0,22	0,38		-1,84	-7,49
125	Mincica	7,28	15,3	-1,96	-0,26	-1,83	-0,06	-0,97	-0,38		-1,53	-7,24
126	Verni	7,48	12,3	-3,12	-2,11	-3,90	-1,90	-4,46	-3,86		-3,59	-8,15
127	Acqua Bianca	7,68	14,9	-2,17	0,38	-2,25	0,58	0,25	0,84		-1,95	-7,74
128	Muscarello	7,58	14,5	-2,24	0,16	-1,82	0,37	-0,47	0,13		-1,51	-7,32
129	Bammia	7,55	15,1	-2,11	0,23	-2,45	0,44	-0,42	0,18		-2,15	-8,05
130	Fontalba	7,43	9,8	-2,69	-1,23	-2,87	-1,01	-2,99	-2,38		-2,54	-8,21
131	Cademi	8,11	11,4	-3,11	-0,15	-2,69	0,07	-0,84	-0,23		-2,37	-7,88
132	Grasciarone	7,75	12,8	-2,52	-0,10	-2,64	0,11	-0,63	-0,03		-2,33	-8,21
133	Scriccio	7,31	16,4	-1,83	-0,13	-2,08	0,08	-0,46	0,12		-1,79	-7,87
134	Piraino	6,65	11	-1,88	-2,09	-3,49	-1,87	-4,69	-4,08		-3,17	-8,41
135	F. Acquedolci	7,5	17,4	-2,09	-0,02	-2,75	0,18	-0,32	0,26		-2,46	-7,81
136	Quaranta	7,49	16,5	-1,80	-0,03	-2,07	0,17	-0,03	0,55		-1,78	-6,50
137	Siragusa	7,39	16,5	-1,98	-0,06	-2,08	0,14	-0,33	0,25		-1,79	-6,86
139	Baronello	7,6	14,9	-2,55	-0,39	-2,23	-0,19	-1,48	-0,89		-1,93	-8,08
140	Gurafi	7,61	19,5	-2,06	0,32	-1,98	0,51	0,54	1,11	-1,19	-1,70	-7,26
141	S. Pietro	7,51	14,2	-2,22	-0,15	-2,74	0,06	-0,97	-0,37		-2,44	-8,48
142	Valerio	7,93	14,9	-2,71	0,11	-2,82	0,32	-0,24	0,35		-2,52	-8,43
143	F. Torrenova	7,42	16,2	-2,04	-0,08	-2,30	0,12	-0,63	-0,04		-2,01	-7,97
144	Tassita	8,13	9,6	-2,85	0,37	-2,74	0,59	0,23	0,85		-2,42	-8,82
145	Ladone	8,02	10,4	-2,98	-0,02	-2,96	0,20	-1,03	-0,42		-2,63	-8,66
146	Greco	8,14	12,9	-3,06	0,20	-2,92	0,41	-0,70	-0,09		-2,61	-8,53
147	Brignoli	7,59	9,8	-3,38	-2,06	-3,24	-1,84	-4,32	-3,70		-2,92	-8,14
148	Scullica	7,7	15,5	-2,36	0,20	-1,53	0,41	0,05	0,64		-1,23	-6,90
149	Panausto	7,75	17,3	-2,44	0,17	-1,80	0,37	-0,16	0,42		-1,52	-7,26

ID	Sito	pH	T	pCO ₂	Aragonite	Anhydrite	Calcite	Dolomite	Dolomite		Fluorite	Gypsum	Halite
									disordered	ordered			
			°C	log									
150	Portato	7,58	16,2	-2,37	-0,01	-1,89	0,19	-1,13	-0,54		-1,60	-8,17	
151	Tracanale	7,45	10,8	-3,01	-1,72	-2,75	-1,50	-3,63	-3,01		-2,43	-8,12	
152	Veni	7,91	10,9	-2,93	-0,20	-2,51	0,01	-1,60	-0,99		-2,19	-8,53	
153	Pumia	7,86	12,4	-2,62	0,22	-2,16	0,43	-0,60	0,00		-1,85	-8,13	
154	Carpani	7,81	14,5	-2,59	-0,03	-2,45	0,17	-0,41	0,18		-2,14	-8,39	
155	Marisca	6,06	16,4	-1,62	-3,18	-2,92	-2,98	-6,28	-5,70	-1,86	-2,63	-7,42	
156	Nicotina	7,81	14,9	-2,54	0,20	-1,79	0,41	-0,13	0,46	-1,08	-1,49	-8,03	
157	S. Caterina	6,9	8,2	-1,54	-0,76	-2,06	-0,54	-1,96	-1,34		-1,72	-7,41	
158	Bragaseggi	7	12,1	-1,21	-0,50	-2,87	-0,29	-0,58	0,02		-2,55	-6,81	
159	Fisauri	6,85	10,2	-1,48	-0,94	-2,46	-0,72	-2,17	-1,56		-2,13	-7,53	
160	17 Salme	6,87	11,3	-1,40	-0,71	-2,32	-0,49	-1,71	-1,10		-2,00	-7,34	
161	Ciapparazzo	7,6	11,7	-2,06	-0,32	-2,13	-0,11	-0,21	0,39		-1,81	-6,39	
162	Musa	7,6	10,5	-2,19	-0,29	-2,17	-0,08	-0,47	0,14		-1,85	-7,06	
163	Santuario	8,71	14,8	-2,71	0,53	-3,93	0,74	0,35	0,94	-0,68	-3,63	-6,46	
164	Acqua Fredda	7,61	10,4	-2,25	0,08	-2,83	0,30	-0,58	0,03		-2,51	-8,32	
165	Piturro	7,3	15	-2,22	-0,64	-2,13	-0,43	-2,02	-1,42		-1,83	-7,51	
166	Fiumara Tusa	7,32	17,6	-1,91	-0,05	-1,59	0,14	-0,59	-0,01		-1,30	-7,17	
167	Vegna	7,32	15,4	-1,67	0,00	-2,05	0,20	-0,07	0,52		-1,75	-7,02	
168	Raria	8,11	12,3	-2,64	0,68	-2,29	0,89	1,06	1,66		-1,98	-7,79	
169	Cicè	8,49	12,4	-3,07	0,90	-2,39	1,11	1,52	2,13		-2,08	-7,72	
170	Neviera	6,78	12,2	-1,91	-1,69	-2,88	-1,48	-4,15	-3,55		-2,57	-8,13	
171	Ramata	7,12	11,3	-1,95	-0,64	-1,78	-0,43	-1,92	-1,31		-1,46	-8,17	
172	Raiano	6,5	11,7	-2,16	-2,90	-3,21	-2,69	-6,30	-5,69		-2,89	-8,42	
173	C. Sportivo	7,21	17,4	-1,74	-0,13	-1,68	0,07	-0,62	-0,03		-1,39	-7,19	
174	Nocita	7,04	9,2	-2,80	-2,70	-3,95	-2,48	-6,15	-5,53		-3,62	-8,71	

ID	Sito	pH	T	pCO ₂	Aragonite	Anhydrite	Calcite	Dolomite	Dolomite		Fluorite	Gypsum	Halite
									disordered	ordered			
			°C	log									
175	Fossa Neve	7,36	9,2	-2,76	-1,51	-3,31	-1,29	-4,01	-3,39			-2,98	-9,01
176	Balestra	7,3	8,3	-2,41	-1,06	-3,08	-0,84	-3,20	-2,58			-2,74	-8,92
177	Priola	8,2	11,5	-3,02	0,31	-2,61	0,52	0,03	0,64			-2,29	-8,37
178	Mannarano	7,2	17,5	-1,91	-0,34	-1,66	-0,15	-1,30	-0,72			-1,37	-7,23
179	Pomiere	8,02	11	-2,67	0,53	-2,88	0,74	0,06	0,67			-2,56	-8,57
180	Sclafani Bagni	7,2	34	-1,65	0,27	-2,55	0,43	0,71	1,23			-2,34	-3,50
181	Quattro Cannoli	7,58	14,3	-2,33	-0,26	-3,01	-0,05	-0,86	-0,27			-2,71	-8,64
182	Favara	7,72	21,8	-2,31	0,32	-2,14	0,51	0,03	0,60			-1,87	-8,13
183	Acquanuova	7,58	18,8	-2,14	0,20	-2,28	0,39	-0,06	0,52			-2,00	-7,81
184	Favara Collesano	7,5	16,8	-2,12	-0,08	-2,47	0,12	-0,47	0,12			-2,18	-8,39
185	Pozzi Mora	7,45	14,7	-2,09	-0,14	-2,40	0,07	-0,66	-0,06			-2,10	-8,35
186	Pozzi Pigno	7,56	13,4	-2,21	-0,13	-2,57	0,08	-0,50	0,10			-2,27	-8,36
187	Scillato	7,83	12,7	-2,59	0,00	-2,78	0,21	-0,44	0,16			-2,47	-8,82
188	Sausa	7,33	16,5	-1,91	-0,11	-2,33	0,09	-0,96	-0,38			-2,04	-7,64
189	Canna	7,55	9,8	-2,27	-0,27	-2,80	-0,05	-0,92	-0,30			-2,48	-8,82
190	Pietà Alta	7,81	8,4	-2,74	-0,25	-2,72	-0,03	-1,25	-0,63			-2,39	-9,03
191	Pietra Ardica	7,57	10,5	-2,47	-0,42	-2,36	-0,20	-1,46	-0,85			-2,03	-8,82
192	Grotticelli	7,7	10,1	-2,48	-0,23	-3,20	-0,01	-0,82	-0,20			-2,87	-9,17
193	Faguarà	7,46	9,5	-2,11	-0,25	-3,29	-0,03	-0,82	-0,21			-2,96	-9,11
194	Cateratti	7,67	9,3	-2,40	-0,12	-2,44	0,10	-0,67	-0,06			-2,11	-9,01
195	Favara Isnello	7,4	10,7	-2,29	-0,50	-2,94	-0,29	-2,28	-1,67			-2,62	-8,72
196	Acqua Tribuna	7,41	13,8	-2,02	0,05	-2,86	0,26	-1,58	-0,98			-2,56	-8,75
197	S. Giorgio	7,24	13,6	-1,79	-0,08	-2,64	0,13	-1,00	-0,40			-2,33	-8,26
198	Bevaio Faggio	7,25	9,3	-1,85	-0,32	-2,87	-0,11	-1,10	-0,49			-2,54	-8,75
199	Piano Lana	5,84	10,5	-2,13	-4,62	-4,08	-4,41	-9,77	-9,16			-3,76	-8,85

ID	Sito	pH	T	pCO ₂	Aragonite	Anhydrite	Calcite	Dolomite	Dolomite		Fluorite	Gypsum	Halite
									disordered	ordered			
			°C	log									
200	Chiarastella	8,03	30,4	-2,62	0,65	-2,14	0,82	0,97	1,50		-1,91	-7,50	
201	Capodarso	7,37	17,2	-1,82	0,32	-1,05	0,52	0,32	0,90		-0,76	-6,63	
202	Hotel2000	8	18,9	-2,71	0,32	-2,57	0,51	0,22	0,79		-2,29	-8,97	
203	Comitini	7,85	22,7	-2,71	0,78	-0,24	0,97	0,60	1,15	-0,05	0,02	-6,61	
204	P. Lopez	7,15	15,2	-1,78	0,06	-0,72	0,27	-0,52	0,07	-0,18	-0,42	-6,48	
205	P. Lopez 2	7,82	16,5	-2,74	-0,15	-2,59	0,05	-0,93	-0,34		-2,30	-8,38	
206	P. Lopez 3	7,22	15,9	-1,84	0,22	-0,68	0,42	-0,42	0,17	-0,70	-0,39	-6,26	
207	Borgo Palo	7,68	16,7	-2,51	0,62	-0,22	0,82	0,58	1,17	-0,07	0,07	-7,31	
208	M. Bissana	7,8	20,5	-1,87	0,81	-0,50	1,00	1,80	2,37	-0,62	-0,23	-2,96	
209	M. Terrapelata	7,47	26,8	-2,17	0,15	-2,45	0,33	0,47	1,01		-2,22	-2,53	
210	M. Aragona	8,5	25	-2,22	0,82	-3,28	1,00	1,86	2,41		-3,03	-3,20	
211	M. Comitini	8		-2,05	0,53	-3,97	0,71	1,33	1,88		-3,73	-3,14	
212	F. Calda 2	7,66	27,7	-2,14	0,52	-1,64	0,70	0,78	1,32		-1,40	-6,50	
213	F. Calda	7,83	31	-2,30	0,72	-1,64	0,88	1,19	1,72		-1,42	-6,48	
214	T. Selinuntine	5,61	54,8	0,00	-0,49	-0,66	-0,37	-0,93	-0,49	0,44	-0,55	-2,93	
215	Molinelli	6,3	31,2	-0,78	-0,32	-0,99	-0,16	-0,93	-0,41	1,11	-0,77	-3,70	
216	Casa Cutrone	7	27,5	-1,52	-0,16	-2,72	0,01	-1,11	-0,57		-2,48	-7,28	
217	Acqua Santa	6,7	26,5	-1,30	0,01	-0,93	0,19	-0,20	0,35	-0,97	-0,69	-3,40	
218	Vallone R.	7,11	22	-1,58	-0,09	-1,41	0,10	-0,41	0,15	-1,13	-1,15	-6,33	
219	S. Vuturo	6,81	29,2	-1,30	-0,27	-1,35	-0,10	-0,67	-0,13	-1,14	-1,12	-5,70	
220	Acqua Pia	6,89	39,2	-1,43	-0,11	-1,06	0,04	-0,20	0,29	-0,23	-0,88	-5,95	
221	A. Fitusa	7,3	24	-1,63	0,13	-1,53	0,31	-0,63	-0,07	-0,27	-1,28	-5,13	
222	Vasca	7,73	21,1	-2,06	0,28	-1,54	0,46	0,26	0,83	-0,53	-1,27	-5,17	
223	GrLago	7,4	21,3	-1,73	0,04	-1,47	0,23	-0,31	0,25	-0,44	-1,20	-5,19	
224	Lavatoio	7,6	12,4	-2,30	0,02	-2,67	0,23	-0,84	-0,24		-2,36	-8,45	

ID	Sito	pH	T	pCO ₂	Aragonite	Anhydrite	Calcite	Dolomite	Dolomite		Fluorite	Gypsum	Halite
									disordered	ordered			
			°C	log									
225	S. Villafranca	8,48	21,3	-2,89	-0,13	-3,41	0,06	-0,44	0,13	-0,49	-3,14	-5,42	
226	S. Prizzi	7,3	14,5	-1,89	0,01	-2,03	0,21	-1,55	-0,95		-1,73	-7,65	
227	S. Gulfa	7,25	11,7	-1,78	0,07	-1,33	0,28	-0,59	0,02		-1,02	-6,44	
228	S. Filaga	7,71	11,1	-2,33	0,17	-2,28	0,39	-0,03	0,58		-1,96	-8,52	
229	Cannella	7,12	16	-1,68	-0,12	-2,23	0,08	-1,57	-0,98		-1,93	-7,69	
230	Castellana	7,25	15,5	-1,83	-0,03	-2,28	0,17	-1,37	-0,78		-1,99	-7,78	
231	S. Giovanni	7,71	18	-2,37	0,20	-2,91	0,40	-0,33	0,25		-2,63	-8,32	
232	Alvano	7,2	14,2	-1,98	0,13	-2,41	0,34	-1,20	-0,61		-2,10	-7,95	
233	Battellaro	7,31	13,9	-1,86	0,05	-2,37	0,26	-1,46	-0,86		-2,07	-8,10	
234	Favara Alta	7,62	17,2	-2,32	-0,10	-2,70	0,10	-0,46	0,12		-2,42	-8,26	
235	S. Marco Sicani	7,74	16,5	-2,42	0,19	-2,22	0,39	-0,17	0,41		-1,93	-7,69	
236	Vento	7,88	15,4	-2,54	0,47	-2,56	0,67	-0,52	0,07		-2,26	-7,73	
237	Genuardo	6,98	16,9	-1,46	-0,14	-2,36	0,06	-1,73	-1,14		-2,07	-7,80	
238	Monte Scuro	7,59	13,9	-2,22	0,02	-2,52	0,23	-0,39	0,21		-2,21	-8,50	
239	S. Cristoforo	7,6	13,8	-2,22	0,07	-2,40	0,27	-0,36	0,24		-2,09	-8,35	
240	Vigna Sparacio	7,41	14,4	-1,96	0,03	-2,33	0,24	-0,45	0,14		-2,03	-8,28	
241	Catusi	7,11	16,8	-1,61	0,01	-1,59	0,21	-1,41	-0,83		-1,30	-7,52	
242	Prisa	7,33	12,8	-1,96	-0,09	-2,05	0,12	-1,09	-0,49		-1,73	-8,25	
243	Spagnolo	7,31	14,9	-1,93	-0,14	-2,85	0,07	-0,97	-0,38		-2,55	-8,50	
244	Valle D'Oro	7,98	16,6	-2,60	0,59	-2,52	0,79	-0,02	0,57		-2,22	-8,51	
245	Figarella	7,12	16,3	-1,61	0,03	-1,83	0,23	-0,87	-0,28		-1,53	-7,32	
246	Catafaldi	7,5	18,5	-2,14	0,02	-2,52	0,22	-0,44	0,13		-2,23	-7,64	
247	Feudotto	7,72	20,5	-2,32	0,16	-2,21	0,35	0,25	0,82		-1,94	-7,16	
248	Carboj	7,66	17,1	-2,31	-0,08	-3,10	0,11	-0,26	0,32		-2,81	-8,07	
249	Grattavoli	7,78	18,5	-2,45	0,05	-3,18	0,24	-0,05	0,52		-2,90	-8,19	

ID	Sito	pH	T	pCO ₂	Aragonite	Anhydrite	Calcite	Dolomite	Dolomite	Fluorite	Gypsum	Halite
			°C	log				disordered	ordered			
250	S. Rosalia	7,65	14,5	-2,32	0,03	-2,61	0,24	-0,40	0,20		-2,31	-8,55
251	Gebbia1	8,27	16,5	-2,86	0,73	-2,28	0,93	1,13	1,72		-1,99	-7,18
252	Stoccatello	7,16	20,6	-1,76	0,05	-1,47	0,24	-0,63	-0,07		-1,20	-6,32
253	Galvagno	7,7	17	-2,37	0,35	-1,79	0,55	-0,54	0,05		-1,50	-7,82
254	Feudotto2	7,35	21,1	-1,89	-0,12	-2,27	0,07	-0,32	0,25		-2,00	-7,19
255	Grancio1	7,46	18,4	-2,09	0,16	-1,91	0,35	-0,84	-0,26		-1,62	-7,55
256	Feudo Arancio	7,66	18,4	-2,34	0,02	-2,83	0,22	-0,32	0,26		-2,54	-7,69
257	Salto	7,27	17,7	-1,86	-0,08	-2,36	0,11	-1,06	-0,48		-2,07	-7,33
258	S. Anna Alta	7,71	16,8	-2,27	0,50	-2,05	0,70	-0,16	0,43		-1,76	-7,30
259	Capo d'Acqua	7,74	13	-2,44	0,04	-2,64	0,25	-0,36	0,24		-2,33	-8,48
260	S. Matteo	8,04	12	-2,86	0,15	-2,56	0,36	-0,16	0,44		-2,25	-8,43
261	Pigno	7,39	14,2	-1,92	-0,01	-2,26	0,20	-0,32	0,27		-1,96	-8,18
262	F. Grande	7,6	12,2	-2,31	0,02	-2,56	0,24	-0,89	-0,29		-2,24	-8,67
263	Casale	7,32	12,6	-1,98	-0,23	-2,80	-0,02	-1,12	-0,52		-2,49	-8,29
264	Fico Bassa	7,08	15,3	-1,60	-0,04	-1,86	0,16	-1,45	-0,86		-1,56	-7,77
265	Oliveto	7,35	17,2	-1,94	0,04	-2,31	0,24	-0,92	-0,34		-2,03	-7,80
266	Chiabbarè	7,39	16,3	-1,97	-0,13	-2,27	0,07	-0,49	0,10		-1,98	-7,91
267	Gallina	7,4	14,2	-2,02	0,02	-2,53	0,22	-0,76	-0,17		-2,22	-7,70
268	Pietra Fucile	7,79	12,1	-2,58	-0,05	-2,60	0,16	-0,63	-0,03		-2,29	-8,25
269	Trullo	7,27	14,2	-1,85	-0,02	-2,38	0,18	-1,47	-0,87		-2,07	-8,00
270	Gurra	7,15	12,8	-1,69	-0,07	-2,32	0,14	-1,65	-1,04		-2,01	-7,96
271	Liste Sciacca	7,49	15,9	-2,13	-0,04	-2,13	0,16	-0,48	0,11		-1,84	-8,43
272	Chirumbo	7,83	13,3	-2,68	-0,08	-2,23	0,12	-0,59	0,01		-1,92	-8,49
273	S. Andrea	7,46	14	0,05	-1,88	0,26	-2,06	-0,40	0,20		-1,58	-8,08
274	Margimunto	7,59	14,7	-2,25	0,00	-2,68	0,20	-0,51	0,09		-2,38	-8,58

ID	Sito	pH	T	pCO ₂	Aragonite	Anhydrite	Calcite	Dolomite	Dolomite	Fluorite	Gypsum	Halite
			°C	log				disordered	ordered			
275	Leone	7,3	14	-1,87	-0,01	-2,04	0,20	-0,87	-0,27		-1,74	-8,46
276	Capo Favara	7,52	14,1	-2,17	-0,08	-2,62	0,12	-0,58	0,02		-2,31	-8,52
277	Martino	7,17	13,4	-1,76	-0,05	-2,15	0,16	-1,77	-1,17		-1,85	-7,35
278	Martinazzo	7,06	13,8	-1,68	-0,25	-1,99	-0,04	-1,97	-1,37		-1,68	-7,95
279	Madonna delle Scale	7,59	14,2	-2,22	0,14	-2,29	0,35	-0,49	0,11		-1,99	-8,07
280	Gibilcanna1	7,57	11,6	-2,28	0,02	-2,99	0,23	-1,89	-1,29		-2,67	-8,82
281	Besi	7,11	13,7	-1,70	-0,09	-1,62	0,11	-1,59	-1,00		-1,32	-7,73
282	S. Venere	7,33	13,5	-1,90	-0,03	-2,36	0,18	-0,75	-0,15		-2,06	-7,99
283	Lucia	7,28	11,9	-1,86	-0,01	-2,43	0,20	-1,63	-1,02		-2,12	-8,29
284	Giumente	7,38	9,6	-1,94	0,10	-2,78	0,32	-1,46	-0,84		-2,45	-8,19
285	Scorciavacche	7,65	10,4	-2,42	0,01	-2,84	0,22	-1,45	-0,83		-2,52	-8,30
286	Gibilcanna2	7,42	10,5	-2,11	-0,08	-2,71	0,13	-1,70	-1,08		-2,39	-8,38
287	Raia	7,37	11,9	-2,06	-0,13	-2,80	0,08	-1,75	-1,14		-2,48	-8,38
288	Grande	7,26	13,4	-1,82	0,03	-1,90	0,24	-1,46	-0,86		-1,59	-7,65
289	P. Gorga	7,07	21,4	-1,60	-0,06	-1,37	0,13	-0,57	-0,01		-1,11	-6,10
290	P. Tre Fontane	7,31	19,6	-1,88	-0,11	-1,86	0,08	-0,37	0,20	-1,19	-1,59	-6,68
291	P. Vanico	7,09	19,6	-1,57	0,06	-1,58	0,25	-0,87	-0,30		-1,30	-7,07
292	Pantaleo	7,19	19,9	-1,66	0,00	-1,63	0,19	-0,25	0,32		-1,35	-6,38
293	Venezia	7,08	18,2	-1,70	-0,10	-1,43	0,10	-1,18	-0,60		-1,15	-6,74
294	Soprano	7,59	20,1	-2,30	0,06	-2,68	0,25	-0,44	0,13		-2,40	-6,69
295	Balatelle	7,19	20	-1,76	-0,13	-1,75	0,06	-0,60	-0,03		-1,48	-6,74
296	B9	7,72	22,4	-2,25	0,22	-2,04	0,40	0,54	1,10	-1,37	-1,78	-7,07
297	B10	7,7	21,2	-2,26	0,23	-1,96	0,42	0,42	0,99	-1,27	-1,69	-7,15
298	Clemente	7,69	20,9	-2,22	0,17	-2,20	0,36	0,29	0,86		-1,93	-7,03
299	Staglio7	7,39	18,9	-1,85	0,09	-1,99	0,28	0,00	0,57		-1,71	-6,99

ID	Sito	pH	T	pCO ₂	Aragonite	Anhydrite	Calcite	Dolomite	Dolomite	Fluorite	Gypsum	Halite
			°C	log				disordered	ordered			
300	Magaggiaro 2 Eas	7,4	18,7	-2,06	-0,09	-1,85	0,10	-0,56	0,01		-1,57	-7,48
301	S. Nicola 1	7,63	21,2	-2,38	0,04	-2,62	0,23	-0,70	-0,13		-2,35	-7,06
302	P. Calatrasi	7,3	22,6	-2,35	-0,64	-1,13	-0,45	-1,05	-0,49		-0,87	-4,68
303	A. San Lorenzo	7,3	31	-1,87	-0,06	-1,82	0,10	-0,23	0,30	-0,31	-1,60	-7,49
304	Alpe Cucco	7,67	9,7	-2,47	-0,05	-2,65	0,17	-1,51	-0,89		-2,32	-7,86
305	Marosa	7,82	13,1	-2,62	0,11	-2,80	0,31	-1,00	-0,40		-2,49	-8,26
306	Ramusa	7,45	12,5	-2,08	-0,04	-2,31	0,17	-0,78	-0,18		-2,00	-6,93
307	Drago	7,84	16,5	-2,50	0,35	-2,05	0,55	0,09	0,67		-1,76	-7,51
308	Barone	7,48	15,1	-2,17	-0,01	-2,80	0,20	-1,60	-1,01		-2,50	-8,44
309	Malvello	7,4	22,5	-2,00	-0,16	-2,58	0,02	-0,43	0,13		-2,32	-8,13
310	Magione	8,1	17,7	-2,83	0,74	-1,66	0,94	0,59	1,17		-1,37	-6,82

Figura a1 – Distribuzione areale dei campioni a) Settore occidentale e centrale dell'area di studio.

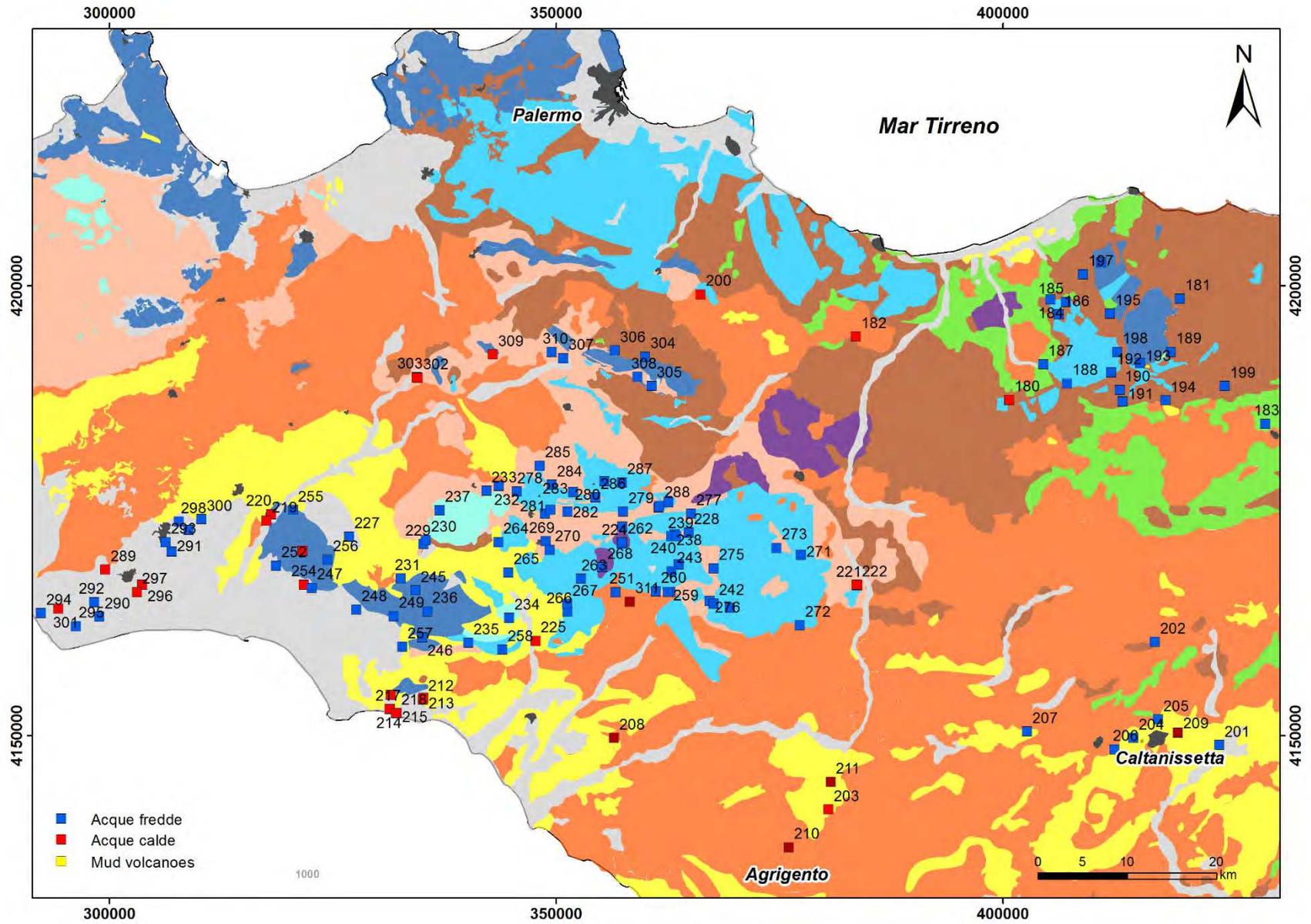


Figura a1 – Distribuzione areale dei campioni b) Settore orientale dell'area di studio.

