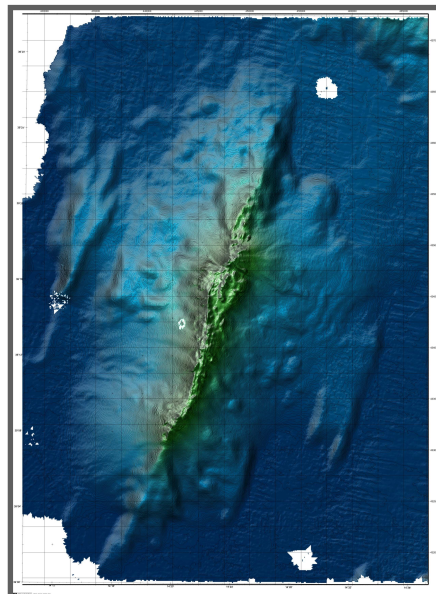


EUROBUILDING SPA

PERMESSO DI RICERCA PER FLUIDI GEOTERMICI "TIRRENO MERIDIONALE 1"

Pozzo esplorativo offshore
" MARSILI 1 "

STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE



SETTEMBRE 2013

INDICE

1	PREMESSA	3
1.1	Regime vincolistico dell'area interessata dal Progetto.....	5
1.2	Caratteristiche batimetriche e geomorfologiche del mar Tirreno.....	5
1.3	Inquadramento geologico-morfologico del Marsili.....	12
1.4	Inquadramento geochimico-ambientale dell'area del Marsili.....	20
1.5	Geochimica ed idrotermalismo sul Marsili.....	28
1.5.1	Composizione chimica delle lave del vulcano Marsili.....	29
1.6	Programma di monitoraggio ambientale sul vulcano Marsili.....	36
1.7	Valutazione degli Impatti Ambientali.....	37
1.7.1	Impatti potenziali delle attività di esplorazione del campo geotermico.....	37
1.7.2	Impatti potenziali della perforazione geotermica.....	38

1. PREMESSA

La produzione geotermoelettrica è considerata un'alternativa "pulita" alla produzione di energia elettrica da fonti fossili o nucleare; tuttavia il suo impatto su aria, acqua, suolo, flora, fauna e sull'uomo deve essere attentamente controllato, in quanto le attività di perforazione e l'esercizio dell'impianto geotermoelettrico possono apportare modificazioni nelle caratteristiche fisico-chimiche e biologiche (dovuto, per esempio, all'aumento di concentrazione di alcune sostanze potenzialmente pericolose) dell'ambiente circostante. Nel caso, finora unico, di sfruttamento di risorse geotermiche a mare, sono di primaria importanza le possibili ricadute su idrosfera e atmosfera, oltre ai non meno importanti effetti legati a rischio vulcanico, sismicità indotta, rumore e impatto visivo della piattaforma geotermica.

Il punto di partenza della valutazione degli impatti ambientali provocati dallo sfruttamento del campo geotermico del vulcano Marsili è l'identificazione del contesto naturale di riferimento ("punto zero"), cioè l'osservazione dello stato dell'ambiente prima dell'intervento antropico. In questo modo si può capire in quale misura l'attività antropica potrebbe arrecare modificazioni che danneggino l'ecosistema costituito e, di conseguenza, pianificare un piano di contenimento e mitigazione dei rischi connessi. A questo scopo è stato programmato, di concerto con le attività connesse al Permesso di Ricerca, un monitoraggio dei parametri fisico-chimici e biologici dei sedimenti/rocce del vulcano e delle acque marine circostanti, nonché un monitoraggio atmosferico, per caratterizzare la qualità delle rocce/sedimenti, delle acque marine e dell'aria. Su questa base si potranno valutare i potenziali impatti ambientali legati alla perforazione geotermica e all'esercizio dell'impianto geotermoelettrico.

Parametri fisici di interesse sono temperatura, salinità, potenziale redox (Eh), pH, ossigeno disciolto e torbidità. Le analisi chimiche di rocce/sedimenti e delle acque marine saranno utili per determinare le concentrazioni degli elementi maggiori (Silicio, Alluminio, Calcio, Magnesio, Sodio, Potassio, Manganese, Titanio, Ferro), in tracce (Stronzio, Piombo, Bario, Rubidio, Vanadio, Ittrio, Nichel, Cobalto, Rame, Boro, Vanadio) e i gas (H₂S, CO₂, CH₄) di interesse ambientale, che

generalmente sono mobilizzati durante la naturale circolazione di fluidi geotermici nelle rocce e possono essere liberati nelle acque circostanti per mezzo di manifestazioni superficiali tipo *vents* idrotermali. I principali indicatori biologici sono la clorofilla “a” ed eventuali bioaccumuli di sostanze pericolose in matrici biologiche significative. Il monitoraggio atmosferico avrà lo scopo di stabilire gli standards di qualità dell’aria per il controllo delle emissioni derivanti dalla perforazione e dall’esercizio dell’impianto geotermoelettrico.

Di seguito viene proposta una caratterizzazione geochemica ambientale preliminare del vulcano Marsili, che si basa unicamente sulle analisi chimiche disponibili, eseguite sui campioni di lava del vulcano Marsili raccolti durante le prospezioni legate al presente Permesso di Ricerca e su 30 anni di missioni oceanografiche nel Tirreno meridionale (Serri et al. 1977; Savelli e Gasparotto, 1994; Trua et al. 2002). Ad esse si affiancano le analisi chimiche dei campioni idrotermali presenti sulla vetta del vulcano Marsili (Dekov e Savelli, 2004; Dekov et al., 2006).

Questi rappresentano i dati di partenza per la realizzazione del programma di monitoraggio ambientale di rocce/sedimenti, acqua e aria previsto durante le attività connesse al Permesso di Ricerca, che servirà alla caratterizzazione dello stato dell’ambiente del vulcano Marsili (“punto zero”) e, di conseguenza, alla definizione di un programma di controllo dei possibili impatti legati alle attività di perforazione ed esercizio dell’impianto geotermoelettrico.

Tali impatti variano a seconda delle diverse fasi di sviluppo del progetto di sfruttamento geotermico del vulcano sottomarino Marsili, ovvero:

- Esplorazione del campo geotermico;
- Perforazione del pozzo geotermico;
- Sfruttamento dei fluidi geotermici per la produzione di energia elettrica.

I metodi di esplorazione geofisica e geochemica non sono invasivi e non producono effetti sull’ambiente, tanto che lo stesso Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, ha deciso di non applicare le disposizioni sulla Valutazione

di Impatto Ambientale per la fase esplorativa del nostro Permesso “Tirreno Meridionale1”.

La perforazione geotermica a mare comporta produzione di rifiuti solidi e liquidi ed emissioni in atmosfera. L’esercizio dell’impianto geotermoelettrico *offshore* comporta la produzione di rifiuti solidi e liquidi, l’emissione di gas in atmosfera, rumore ed effetti connessi al rischio vulcanico, alla sismicità indotta e all’impatto visivo.

1.1 Regime vincolistico dell’area interessata dal Progetto

Considerato che la struttura di perforazione si trova distante dalle coste (le più prossime sono quelle delle Eolie – Filicudi che si trovano a circa 80 km dalla area oggetto di attivazione del pozzo esplorativo), e che non vi sono interferenze note in merito al traffico marittimo, si riportano di seguito le considerazioni in merito alle possibile vincolistiche presenti :

- *L’area non ricade in zona marina protetta per il ripopolamento ittico (legge 41/1982);*
- *L’area non costituisce parco marino;*
- *L’area non è parte di una zona naturale protetta e non è sottoposta a specifiche misure di salvaguardia (Legge 394/1991);*
- *L’area non rientra nelle zone archeologiche marine tutelate dalla Legge 1089/1939;*
- *L’area non rientra in nessuna zona di tutela biologica (Legge 963 / 1965);*
- *Nell’area non vi sono evidenze di presenza di Posidonia.*

2.2 Caratteristiche batimetriche e geomorfologiche del mar Tirreno

Il Mar Tirreno è un profondo bacino di forma asimmetrica che si estende nella porzione orientale del Mar Mediterraneo occidentale. E' delimitato, ad ovest, dalle isole di Corsica e Sardegna, a nord, dall'Arcipelago toscano, ad est, dalla penisola italiana e, a sud, dalla costa siciliana settentrionale. Da un punto di vista morfologico il Mar Tirreno può essere diviso in quattro zone principali (figura 1.0; Marani e Gamberi, 2004a): il Tirreno settentrionale; il margine della Sardegna orientale; il margine Tirrenico orientale dell'Italia peninsulare e della Sicilia; le piane abissali del Tirreno centrale e sud-orientale. Questa prima classificazione morfologica è avvalorata dalle informazioni geologiche e geofisiche che caratterizzano ogni zona.

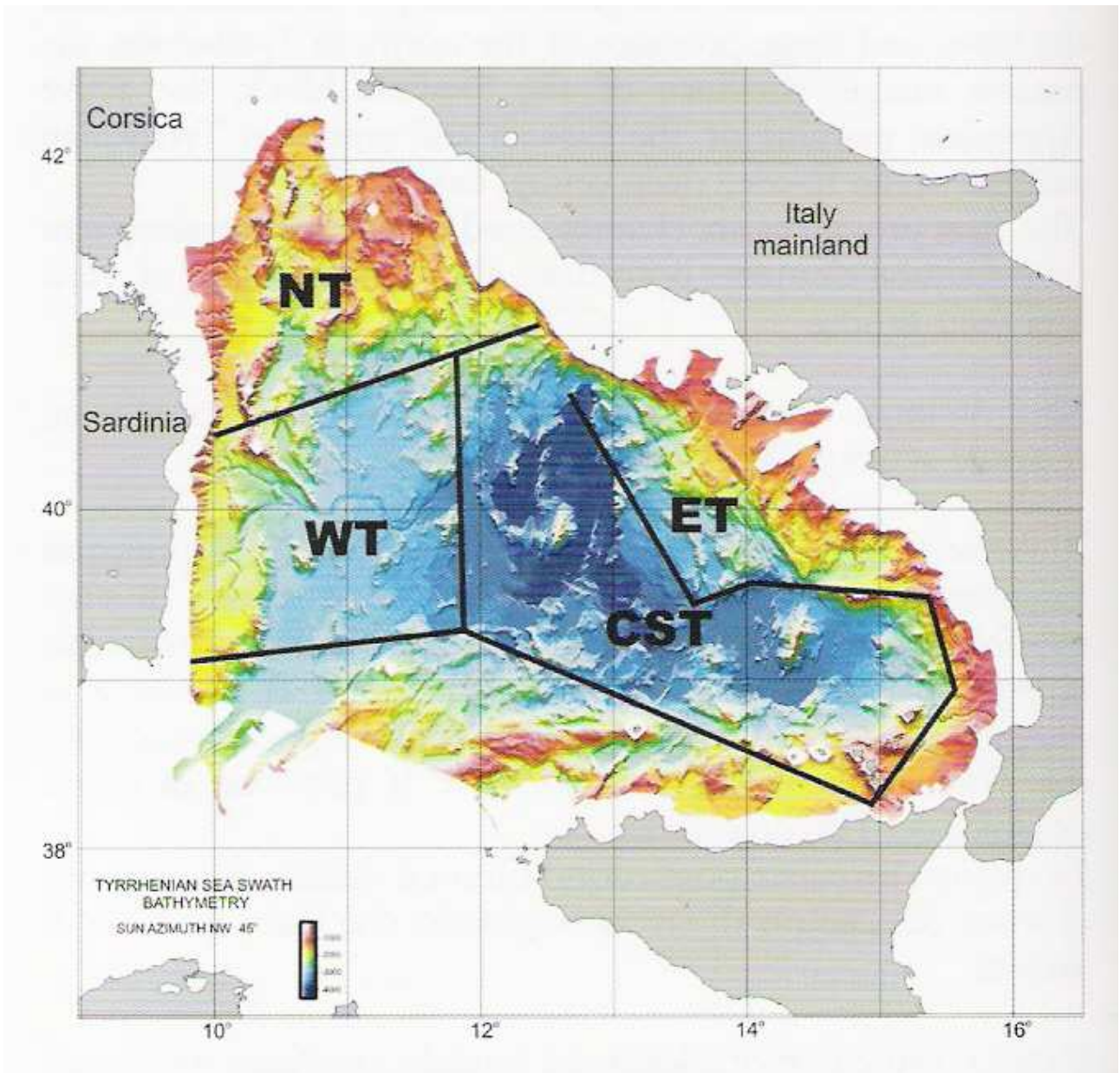


Figura 1.0 : mappa batimetrica del Mar Tirreno. Le profondità sono indicate in una scala di colori dal rosso al blu. Le linee nere indicano quattro zone principali: NT, *Northern Tyrrhenian*; WT, *Western Tyrrhenian*; ET, *Eastern Tyrrhenian*; CST, *Central and Southern Tyrrhenian* (tratta da Marani e Gamberi, 2004a).

Il Tirreno settentrionale. E' circondato a nord dall'Arcipelago Toscano e a sud dalla congiunzione del rilievo sottomarino delle Baronie con le Isole Pontine, estendendosi tra 42°N e 40°30'N. I primi lavori in questa regione, basati su profili di sismica a riflessione a canale singolo, hanno mostrato la natura estensionale di quest'area (Bartole, 1995), composta da una serie di faglie normali rotazionali che hanno dato luogo ad un assetto tettonico di blocchi inclinati e strutture *horst e*

graben. L'assottigliamento estensionale della crosta ispessita dai processi di collisione Alpino-Appenninica, è cominciata nel Miocene Inferiore-Medio ed è stata accompagnata da attività magmatica. Essa risulta più giovane da ovest verso est, dal Bacino della Corsica, di età compresa tra 15-20 Ma, e le faglie normali attualmente attive negli Appennini settentrionali. La batimetria del Tirreno settentrionale è caratterizzata da una serie di alti strutturali orientati N-S e NNW-SSE e piatti bacini adiacenti (Marani e Gamberi, 2004a), i quali raggiungono una profondità di circa 1500 m. nella porzione settentrionale e 2000 m solo nella parte più meridionale.

Il margine della Sardegna orientale (Tirreno Occidentale). Si estende dal *seamount* delle Baronie, a 40°30'N, fino a 39°N, coprendo l'area marina ad ovest di 11° 30'E. Il rilievo delle Baronie, il più esteso alto strutturale del Mar Tirreno, con una lunghezza di più di 120 Km, è il collegamento morfologico tra il bacino Tirrenico settentrionale e il margine passivo della Sardegna orientale.

Inoltre, da un punto di vista geodinamico, il rilievo delle Baronie rappresenta il confine tettonico tra le due province, essendo costituito da unità alpine, analoghe a quelle affioranti nella Corsica orientale, e da unità di avampaese alpino, presenti nella maggior parte delle isole di Corsica e Sardegna. La morfologia dell'area è il risultato di episodi di estensione tettonica che hanno portato alla formazione del profondo bacino Tirrenico centrale a crosta oceanica. Lo spessore della crosta è una chiara testimonianza di questo processo, essendo spessa circa 30 Km sotto la Sardegna e meno di 10 km nel bacino di Vavilov, nel Tirreno centrale. In generale, il margine è formato da due fasce fisiografiche distinte, parallele alla costa sarda e con profondità crescente. Alla profondità di 1000-1500 m è presente una scarpata superiore, ampia circa 50 Km, chiamata bacino di Sardegna. La seconda fascia è chiamata Terrazzo di Cornaglia ed è costituita da una piana relativamente piatta di acqua profonda (circa 2500-2800 m di profondità), che si estende per circa 70 Km. La piana è limitata ad est da una scarpata di faglia orientata NE-SW, la Linea Selli, che separa il margine della Sardegna dalla piana abissale a crosta oceanica del vulcano Vavilov.

Il Margine Tirrenico orientale. E' descrivibile come un'estesa scarpata continentale tra le Isole Pontine e il vulcano Palinuro (figura 1.1). Ha un'ampiezza variabile da un minimo di pochi Km fino a circa 60 Km e corre parallela all'Italia peninsulare, in direzione NW-SE. La catena degli Appennini meridionali rappresenta l'area emersa ad est del margine.

Morfologicamente, i limiti dell' area sono ben riconoscibili. A nord, una serie di scarpate di faglia lunghe circa 25 Km, che si sviluppano in direzione NE-SW ad ovest e a sud dell'Isola di Ponza, separano i trend strutturali del margine tirrenico orientale dalle porzioni settentrionali delle piane abissali. I limiti occidentali dell'area sono le piane abissali di Vavilov e Marsili. Sulla base della sua morfologia, il margine del Tirreno orientale può essere suddiviso in due settori corrispondenti ad una scarpata superiore, con profondità minori di 2000 m, e una inferiore, con profondità maggiori di 2000 m.

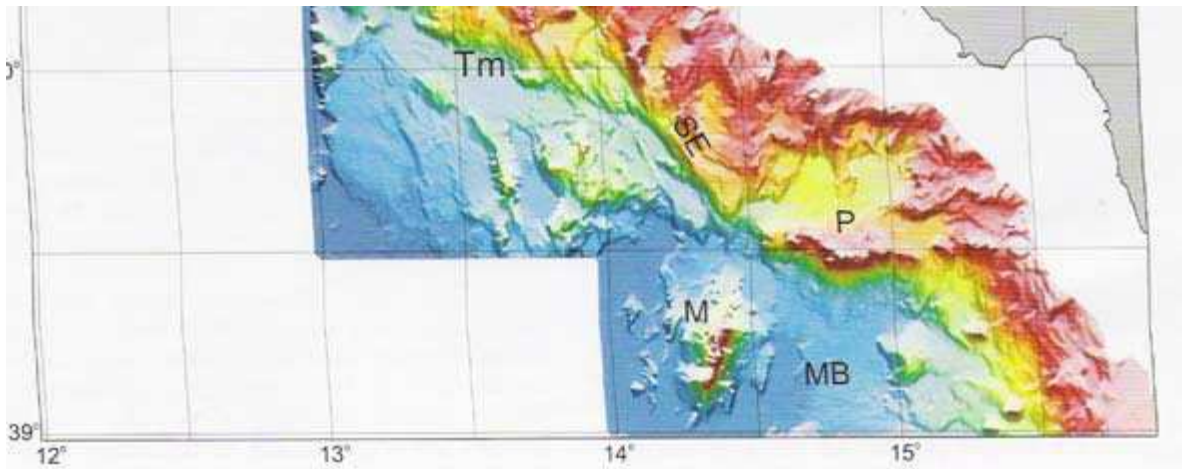


Figura 1.1 : mappa batimetrica del Mar Tirreno orientale. Le profondità sono indicate in una scala di colori dal rosso al blu. SE: Scarpata di Sartori, che separa il margine appenninico da quello Tirrenico (Tm); P: vulcano Palinuro; M: vulcano Marsili; MB: Bacino del Marsili; VB: Bacino di Vavilov (tratta da Marani e Gamberi, 2004a).

I bacini di arco e retro-arco del Tirreno centro-meridionale. Le porzioni centrale e sudorientale del Mar Tirreno sono costituite da crosta oceanica prodotta durante due episodi distinti di accrezione: il primo nel Tirreno centrale

nel bacino di Vavilov, il secondo nella porzione sud-orientale, nel bacino del Marsili. La formazione di questi bacini è datata 4,3-2,6 Ma e meno di 2 Ma, rispettivamente. I più importanti elementi morfologici di queste piane abissali piuttosto piatte e riempite di sedimenti torbiditici sono i grandi apparati vulcanici che ne occupano le parti centrali: il vulcano Vavilov e il vulcano Marsili.

Associato allo sviluppo del bacino del Marsili è la porzione sommersa dell'arco vulcanico delle Isole Eolie, ben sviluppato sia ad ovest che ad est dell'arcipelago. La piana di Vavilov ha una forma piuttosto triangolare, delimitata, a nord, da una ripida scarpata a sud delle Isole Pontine, ad ovest, dalla Linea Selli e, ad est, dalla scarpata del margine attivo del Tirreno sud-orientale e dal bacino del Marsili.

Il confine meridionale del bacino si trova in una regione dalla morfologia complessa a nord della Sicilia orientale. La morfologia del bacino è complicata anche da diversi vulcani sottomarini e scarpate di faglia lineari. L'elemento principale è il vulcano Vavilov, localizzato nella parte centrale. Esso è un edificio allungato in direzione NNE-SSW per 40 km, ha un'ampiezza media di circa 10 km e si trova ad una profondità di 2800 m con la sommità che raggiunge i 730 m di profondità. Un altro grande vulcano, il Magnaghi, domina la parte occidentale del bacino di Vavilov, in prossimità della Linea Selli. Ha approssimativamente lo stesso trend del vulcano Vavilov, con una lunghezza di 25 km e un'altezza di 1470 m. Entrambi i vulcani sono costituiti da basalti alcalini e toleitici.

A sud-est, attraverso una regione dalla topografia attenuata corrispondente ad una "sella" di crosta spessa circa 15 Km, il bacino di Vavilov passa al più recente bacino del Marsili, dove lo spessore costale ritorna a meno di 10 Km. Questo piccolo bacino dalla forma quasi circolare si trova a 3500 m di profondità. Scarpate di faglia a scala chilometrica che si sviluppano nella parte meridionale delimitano l'area dell'arco vulcanico delle Isole Eolie. A nord, il bacino è limitato dal complesso vulcanico di Palinuro. Una topografia più attenuata caratterizza, infine, il confine orientale in corrispondenza della confluenza del Canyon di

Stromboli. Il bacino del Marsili è occupato dall'omonimo vulcano, che è praticamente l'unico elemento morfologico di rilevanza.

Esso risale per circa 3000 m dalla piana abissale fino ad una profondità minima di 489 m ed è allungato in direzione NNE-SSW, con una lunghezza dell'ordine di 50 Km ed un'ampiezza media di 16 Km. Lungo i suoi fianchi si trova una serie di scarpate di faglia lineari che formano una struttura simmetrica *horst e graben*. Nell'area sommitale il vulcano è caratterizzato da una marcata linearità formata da coni uniti o allungati singolarmente. Campi di piccoli vulcani con cime piatte e, pochi, di forma conica caratterizzano i fianchi meridionali del vulcano.

Le isole e i vulcani sottomarini che formano l'arco vulcanico attivo associato al bacino del Marsili occupano la parte superiore del Mar Tirreno sud-orientale (Figura 1.3). L'arco è ben delimitato, a nord, dallo sviluppo del vulcano Palinuro. A sud di esso tre vulcani sottomarini formano la prosecuzione orientale dell'arco Eoliano: il vulcano Alcione e i coni gemelli del vulcano Lametini. La prosecuzione occidentale sommersa dell'arco Eoliano è formata dall'allineamento dei vulcani Eolo, Enarete e Sisifo.

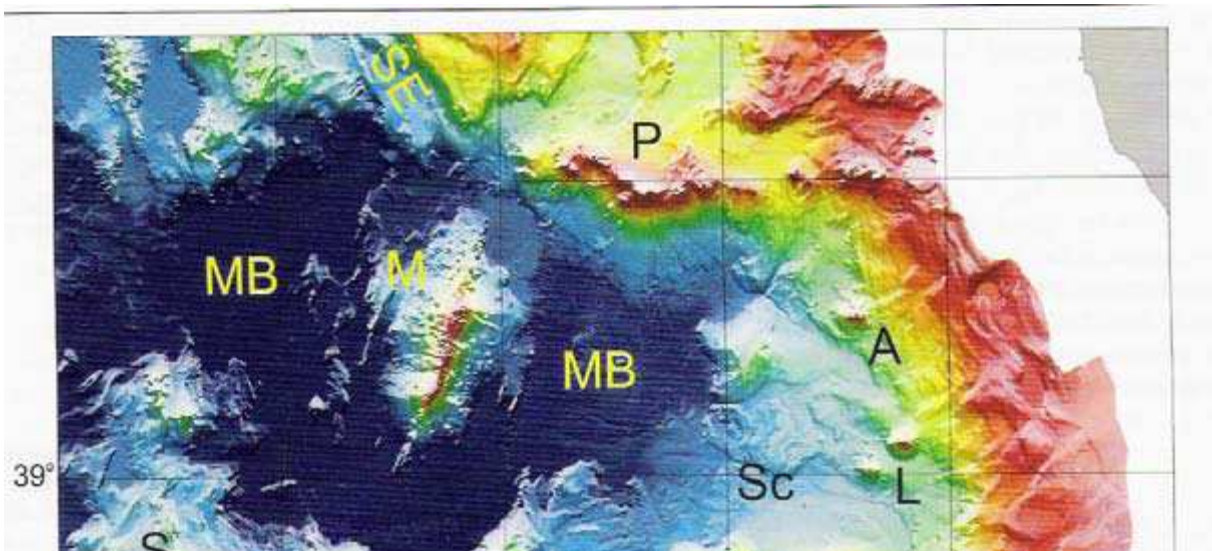


Figura 1.3 : mappa batimetrica del Mar Tirreno sud-orientale. Le profondità sono indicate in una scala di colori dal rosso al blu. MB: Bacino del Marsili; M: vulcano Marsili; P: vulcano Palinuro; Sc: *canyon* di Stromboli; A:

vulcano Alcione; L: *seamount* Lametini; Eo: vulcano Eolo; En: vulcano Enarete; S: vulcano Sisifo (tratta da Marani e Gamberi, 2004a)

1.3 Inquadramento geologico-morfologico del Marsili

L'area oggetto della presente Studio delimita per intero l'apparato vulcanico del Marsili. Tale struttura risale per 3500 metri dal fondo dell'omonimo bacino fino ad una profondità minima di 489 m sotto il livello del mare ed è allungata per circa 60 Km in direzione NNE-SSW, con un'ampiezza media di 16 Km. In generale, dalle Figure 1.4 e 1.5 si distinguono:

- una zona sommitale, lunga circa 20 Km ed ampia 1 Km, di basso gradiente batimetrico, individuabile in prima approssimazione sopra l'isobata che segna i 1000 m di profondità (Figura 1.4; Marani, 2004c);
- una regione di grande acclività (maggiore di 20°; Figura 1.5; Marani e Gamberi, 2004b) dove sono presenti le maggiori scarpate (circa 10° di acclività) che fiancheggiano la struttura.
- gruppi di singoli coni circolari nella regione nord-occidentale della struttura (Figura 1.5).

L'area dell'adiacente bacino del Marsili è caratterizzata da grandi scarpate di faglia a scala chilometrica, che corrono parallele all'asse del vulcano e ne fiancheggiano la base. I rigetti sono dell'ordine di 200-400 m e, in alcune parti delle scarpate, si nota la presenza (Figura 1.5), soprattutto nel blocco di tetto, di piccoli coni allungati. Marani (2004c) ha individuato lungo la cresta centrale strutture lineari arrangiate in segmenti, generati soprattutto dall'allineamento di coni vulcanici contigui, allungati lungo l'asse del vulcano, che formano strette dorsali di coni (Figura 1.4), e un arrangiamento lineare di diversi coni a base circolare.

Secondo Marani e Trua (2002) la posizione dei segmenti lascerebbe intendere che la porzione centrale del vulcano è il principale luogo di rilascio di stress e risultante attività vulcanica. Questi aspetti, insieme ad altre caratteristiche morfologiche, hanno portato gli Autori ad interpretare il vulcano Marsili come un

centro di espansione dilatato, costruito da episodi di robusto vulcanismo durante gli ultimi 0.8 Ma

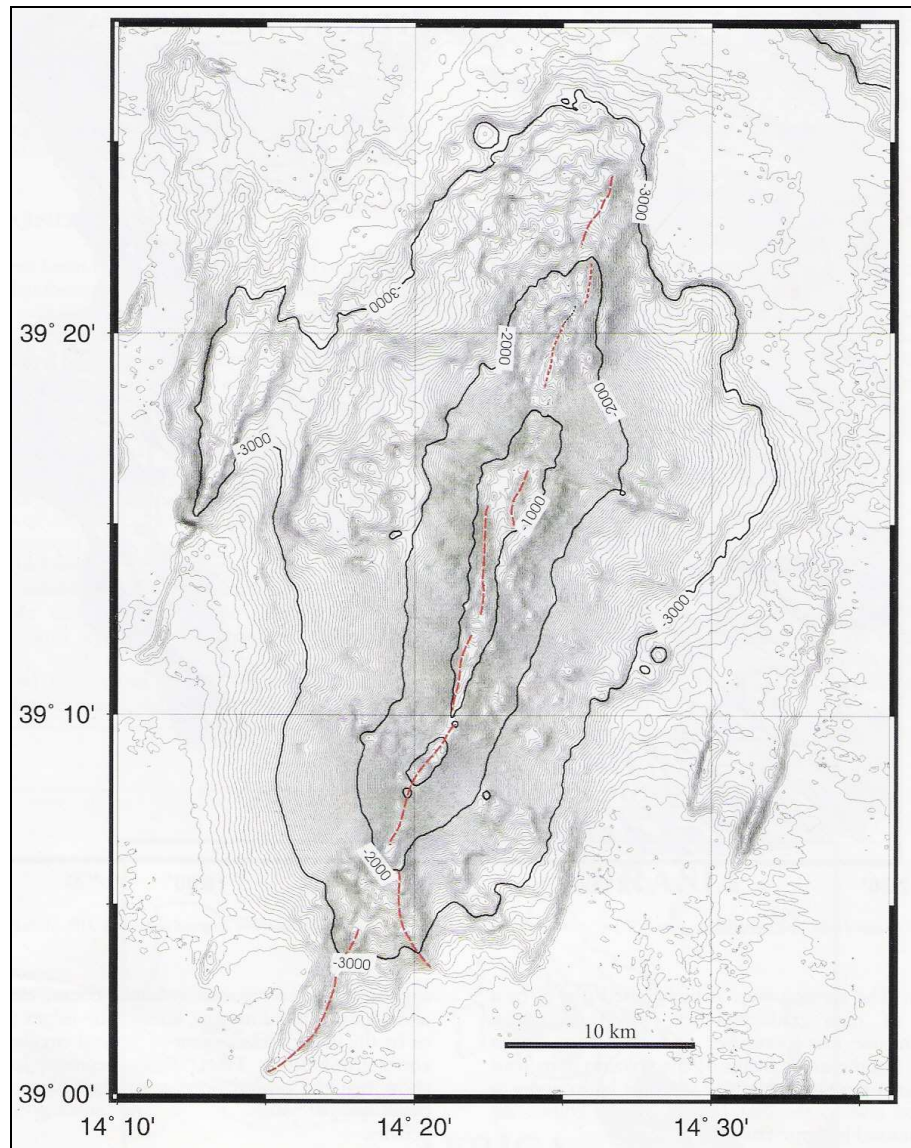


Figura 1.4 : batimetria del vulcano Marsili. La spaziatura tra le isolinee è di 25 m. In rosso sono segnati gli elementi lineari che caratterizzano la porzione assiale del vulcano (tratta da Marani, 2004c).

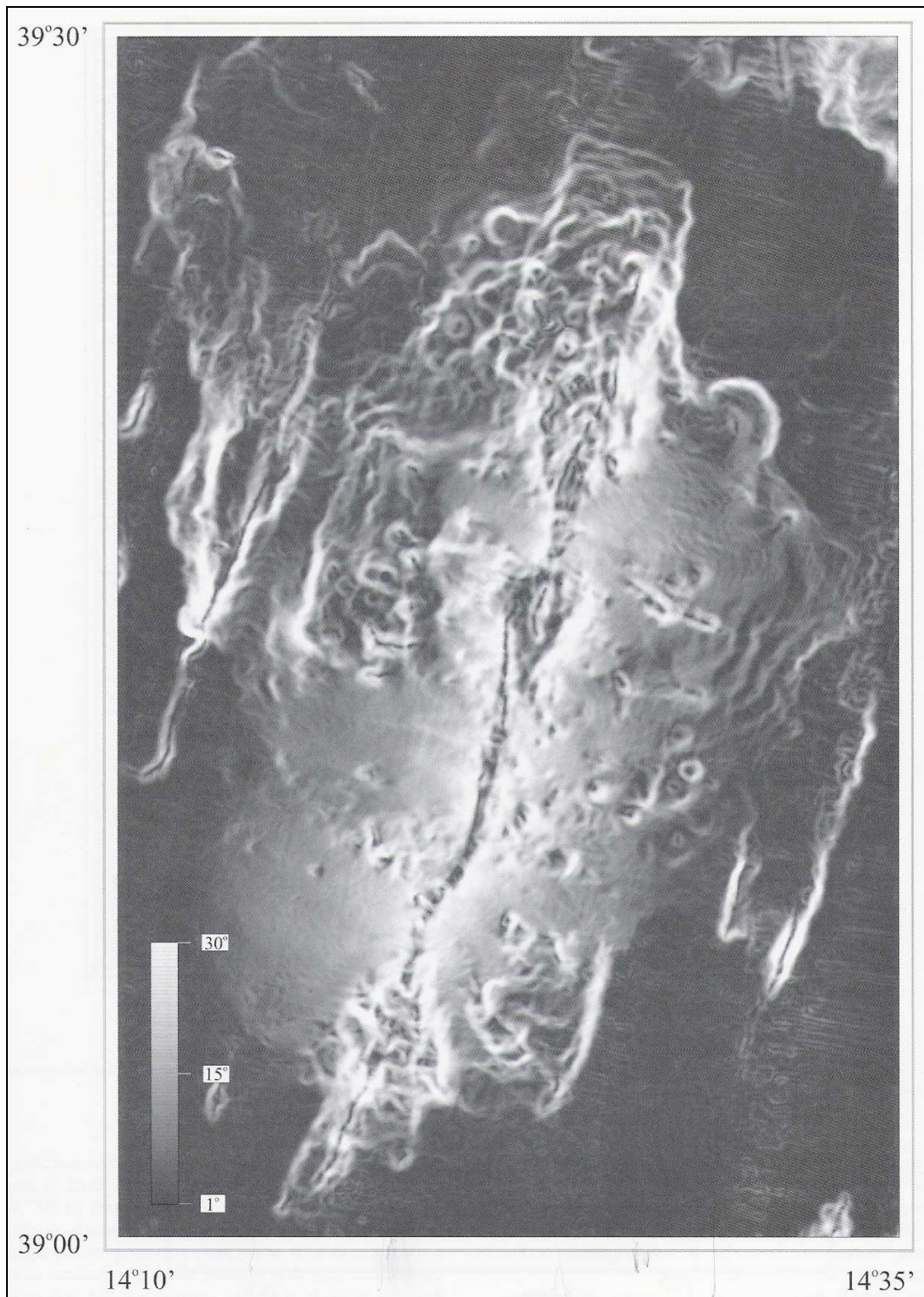


Figura 1.5 : mappa dei gradienti batimetrici (in scala di grigi) del vulcano Marsili. Le pendenze maggiori sono in bianco, le aree prevalentemente piatte sono in nero. Si noti lo sviluppo di numerosi coni sul fianco NW del vulcano (tratta da Marani e Gamberi, 2004b).

Sui fianchi della struttura del Marsili sono cresciuti numerosi coni vulcanici, soprattutto lungo l'estremità nord-occidentale (Figura 1.5). I coni hanno basi

circolari con diametri maggiori di 1500 m e altezze superiori a 300 m. Molti sono caratterizzati da gradienti topografici molto bassi e cime piatte, mentre pochi mostrano crateri sommitali. In aggiunta, sono presenti costruzioni vulcaniche che formano terrazzi semicircolari dalla cima piatta (Figura 1.6). I primi si svilupperebbero in settori di gradiente topografico minore mentre i secondi caratterizzerebbero le porzioni del vulcano Marsili a gradiente maggiore.

Le diverse zone morfologiche così identificate nel vulcano sembrano riflettere le dinamiche generali della sua crescita, modulate da fattori di controllo come la profondità dell'acqua, i gradienti di versante, le tipologie di lava e gli stili eruttivi.

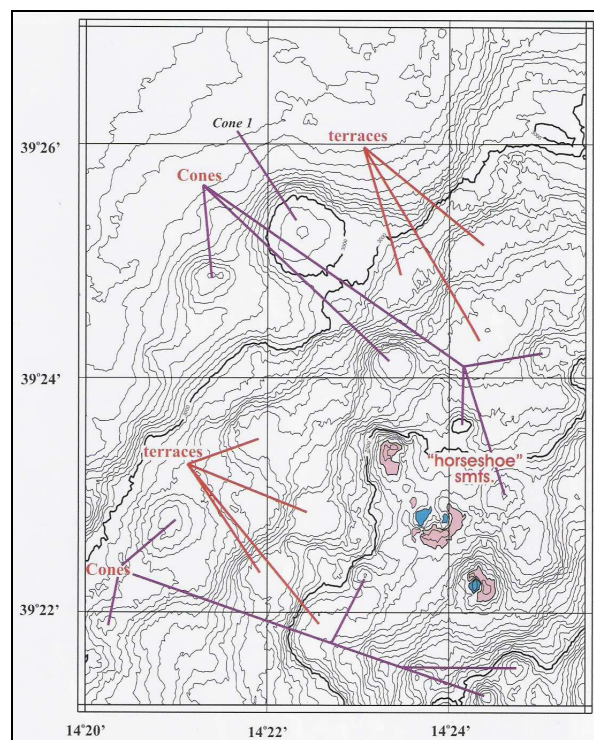


Figura 1.6 : batimetria del fianco nord-occidentale del vulcano Marsili. Si noti la presenza sia di coni che di terrazzi (tratta da Marani eGamberi, 2004b).

Campioni di roccia di crosta oceanica provenienti dal bacino del Marsili e dall'omonimo vulcano sono stati recuperati durante la perforazione del pozzo 650, leg 107, nell'ambito della campagna ODP (Beccaluva et al., 1990; Kastens et al., 1990) e tramite dragaggi e l'uso di un sommergibile (Selli et al., 1977; Savelli e Gasparotto, 1994). Più di recente, sono stati raccolti numerosi campioni di roccia durante la campagna oceanografica MAR-98 (Marani et al., 1999), provenienti da

10 siti che coprono l'intero intervallo di profondità del vulcano Marsili. Durante la perforazione del pozzo ODP 650 sono state recuperate lave basaltiche calcicaline (1,9-1,7 Ma), a circa 4100 m di profondità sotto il livello del mare, nella parte più esterna e, dunque, più vecchia del bacino (Beccaluva et al., 1990; Kastens et al., 1990). Le osservazioni del vulcano Marsili lungo un tracciato percorso con sommergibile indicano che le espressioni eruttive delle rocce vulcaniche a livelli intermedi (profondità maggiori di 1100 m) sono costituite da *pillow lavas*, mentre quelle della sommità mostrano morfologie da filone eruttivo (Savelli, 1992). Durante la campagna MAR-98 sono state dragate rocce vulcaniche soprattutto dall'area sommitale e dal fianco settentrionale del Marsili; il seguente diagramma degli alcali totali rispetto alla silice (Trua et al., 2002) mostra che queste ricadono prevalentemente nell'area dei basalti e delle trachiandesiti.

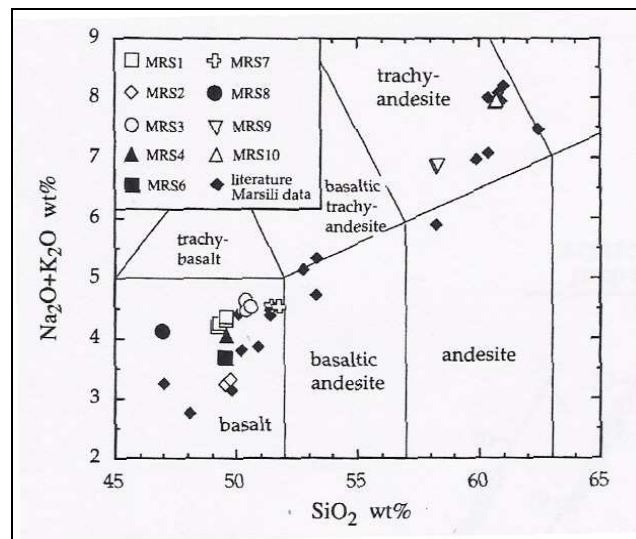


Figura 1.7 : diagramma alcali totali – silice per le rocce campionate del vulcano Marsili (tratto da Trua et al., 2002).

Il successivo diagramma di classificazione del K_2O rispetto alla silice (Trua et al., 2002) mostra che i basalti ricadono soprattutto nella serie calcicalina a medio contenuto di potassio, mentre le trachiandesiti ricadono nel campo delle andesiti calcicaline ad alto contenuto di potassio.

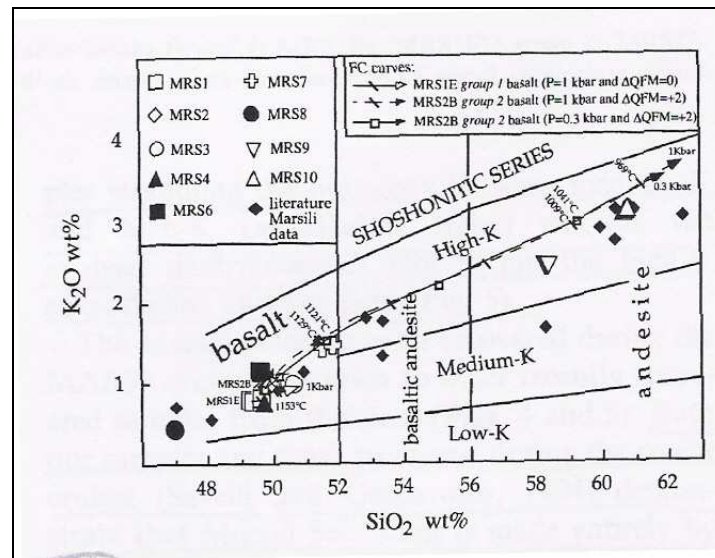


Figura 1.8 : diagramma del K_2O rispetto alla silice per le rocce campionate del vulcano Marsili (tratto da Trua et al., 2002).

Dunque, tutte le rocce campionate sul vulcano Marsili durante le diverse campagne oceanografiche dimostrano che il vulcano è costituito interamente da lave calcicaline. Solo in un caso sono stati riscontrati basalti geochimicamente simili a quelli di tipo OIB (*Ocean Island Basalt*), recuperati nella zona assiale del Marsili da Selli et al. (1977). Tuttavia, secondo Trua et al. (2002), ci sono forti dubbi sull'effettiva localizzazione di questi campioni, visto che nella stessa zona dove si suppone la presenza di questi basalti anomali, sono stati dragati di recente basalti calcicalini. In base alla loro mineralogia, i basalti sono stati distinti in due gruppi (Trua et al., 2002). Il primo è formato da basalti appartenenti ai coni più profondi sul fianco settentrionale del vulcano, composti da plagioclasio e olivina. Il secondo è formato da basalti appartenenti a diversi siti del vulcano, come il fianco settentrionale, la scarpata orientale del vulcano, il campo di coni occidentale e alcuni coni della zona assiale. Essi sono composti da plagioclasio, pirosseno monoclinico, olivina e opachi (che sono assenti nel primo gruppo). I basalti del primo gruppo mostrano un contenuto più basso di Al, Ca, K, Ba, Rb, e Sr, e più alto di Fe, Na, Ti e Zr, rispetto al secondo gruppo. Le andesiti appartengono al cono localizzato nella sommità settentrionale del vulcano, nel suo punto più rilevato.

Tutte le rocce analizzate sono caratterizzate da tessiture vescicolari (Selli et al., 1977; Trua et al., 2002): le andesiti hanno un alto grado di vescicolarità, che varia dal 10 al 30% del volume; i basalti hanno un contenuto totale di vescicoli che va dal 3 al 10%, fino, in alcuni casi, al 20%. Secondo Trua et al. (2002) ciò è dovuto probabilmente all'evoluzione di volatili, come H_2O ma anche CO_2 .

Recenti ricerche (Marani et al., 1999; Dekov e Savelli, 2004) hanno evidenziato la presenza nell'area di una grande quantità di depositi minerali, solfuri e ossidrossidi, che testimoniano lo sviluppo di sistemi di circolazione idrotermale non solo all'interno del vulcano Marsili, ma anche negli altri centri vulcanici del Tirreno meridionale. Tutte queste manifestazioni sono state osservate a profondità molto minori rispetto a quelle presenti nelle dorsali medio-oceaniche. La modesta profondità dei depositi idrotermali insieme alle osservazioni dirette di degassamenti di fluidi (Savelli et al., 1992; Marani et al., 1999) testimoniano fenomeni di ebollizione al di sotto del fondale, con conseguente deposizione di solfuri di Cu e Fe nelle rocce di basamento e nella copertura sedimentaria.

Dai dati cronologici presentati in letteratura sarebbe possibile una parziale ricostruzione dell'attività vulcanica del Marsili. Gli elementi biostratigrafici e magnetostatigrafici indicano che l'inizio dell'espansione del bacino del Marsili occidentale ha avuto luogo tra 1,87 e 1,67 Ma fa (Kastens et al., 1988; Kastens et al., 1990), mentre le lave campionate sulla cima del vulcano forniscono età di 0,1-0,2 Ma (datazione radiometrica tramite rapporto K/Ar ; Selli et al., 1977).

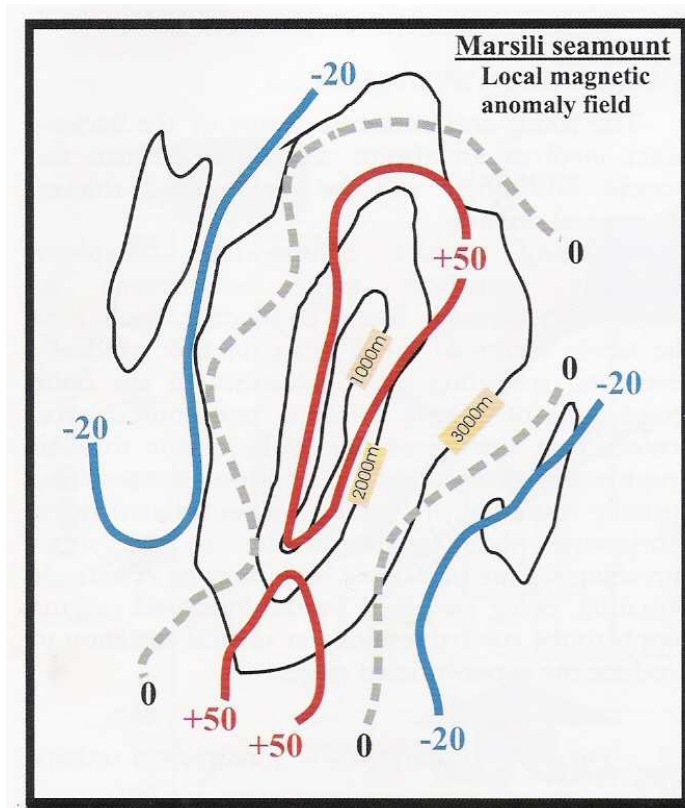


Figura 1.9 : mappa schematica del campo di anomalia magnetica locale centrate sul vulcano Marsili, modificata da Faggioni et al., 1995 (tratta da Marani, 2004c).

L'aggiunta dei dati disponibili di anomalia magnetica della regione (Faggioni et al., 1995; Chiappini, 2000) renderebbe possibile una datazione comparativa. Il corpo del vulcano Marsili è caratterizzato da anomalie magnetiche positive (Figura 1.9), con i valori più alti distribuiti lungo l'asse (Faggioni et al., 1995; Nicolosi et al., 2006).

Localmente, in corrispondenza o in prossimità delle faglie che caratterizzano la base del bacino sono presenti anomalie negative. In questo modo, è possibile correlare l'anomalia magnetica positiva del vulcano al crone geomagnetico attuale a polarità normale C1 (Brunhes, 0,78-0 Ma) (Faggioni et al., 1995), mentre il bacino circostante, inversamente magnetizzato (Figura 1.10), è attribuito al crone post-Olduvai, tardo Matuyama (1,67-0,78 Ma) (Faggioni et al., 1995).

Questi elementi, secondo Trua et al.(2002), supporterebbero la natura di centro di accrezione del vulcano Marsili.

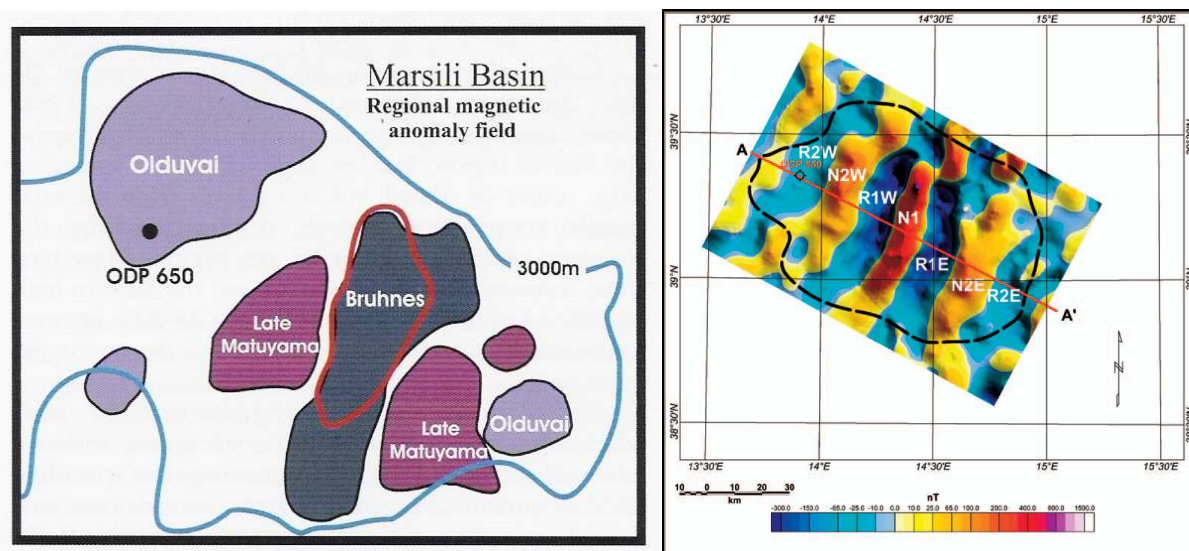


Figura 1.10 : (a sinistra) mappa schematica del campo di anomalia magnetica regionale nel bacino del Marsili (l'area del vulcano Marsili è segnata in rosso), modificata da Faggioni et al., 1995, in cui sono mostrati i croni geomagnetici interpretati (tratta da Marani, 2004c). (a destra) Mappa delle anomalie magnetiche del bacino del Marsili (Chiappini et al., 2000).

1.4 Inquadramento geochimico-ambientale dell'area del Marsili

Vengono di seguito riportati i dati delle caratteristiche geochimiche dei gas disciolti nelle acque di mare circolanti in prossimità della area ristretta sulla sommità del Marsili, di cui al paragrafo 4.3.

Le indagini sono state svolte nel luglio 2011 con una campagna oceanografica a bordo della M/N da ricerca ASTREA (ISPRA). Scopo della campagna era quello di verificare ulteriormente la persistenza di emissioni di fluidi idrotermali nell'area del vulcano sottomarino Marsili.

La presenza di fluidi di origine idrotermale era stata evidenziata con precedenti lavori (Lupton et al., 2008; 2011). L'area di indagine è stata limitata ai siti di

massima anomalia precedentemente riscontrati, non escludendo che altre aree di interesse possano essere identificate con ulteriori indagini mirate. L'area di indagine è costituita da un quadrilatero di lato 10 miglia centrato sul punto di coordinate 39° 27.1', 14° 40.1' nel quale è stata prelevata la carota COR02 oggetto di altri studi specifici riportati nel sottoparagrafo 3.5.4

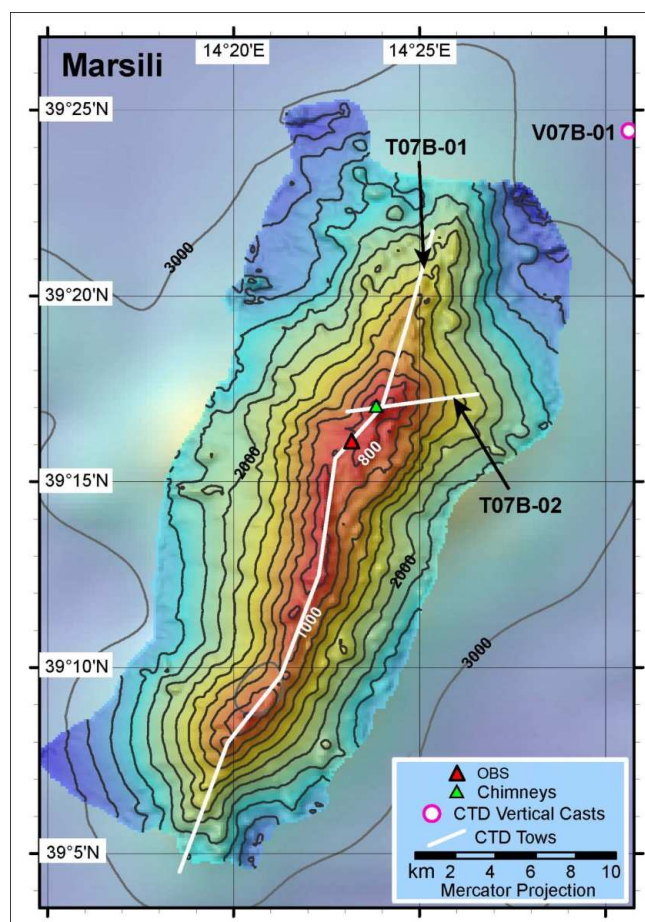


Figura 1.11 – Mappa batimetrica schematica del Marsili. Sono indicati i profili longitudinali e trasversali (CTD tows), i punti di prelievo della carota e deposizione del sismotretro/idrofono (OBS)

Attività di prelievo campioni

La campagna è stata basata sull'esecuzione di profili verticali con sonda CTD installata su rosetta dotata di 12 bottiglie di campionamento acque di tipo Niskin. Il sistema è gestito da un verricello con cavo conduttore che permette la gestione da remoto del sistema con acquisizione dati in continuo e gestione della chiusura delle bottiglie alla profondità voluta.

Sono stati eseguiti 4 profili con il prelievo di 14 campioni. I campioni di acqua sono stati trattati appena a bordo, prelevando aliquote di acqua di mare in apposite bocce in vetro. Particolare cura è stata prestata per evitare la contaminazione da aria dell'acqua di mare durante il trasferimento del campione dalla bottiglia Niskin alle bocce di campionamento.

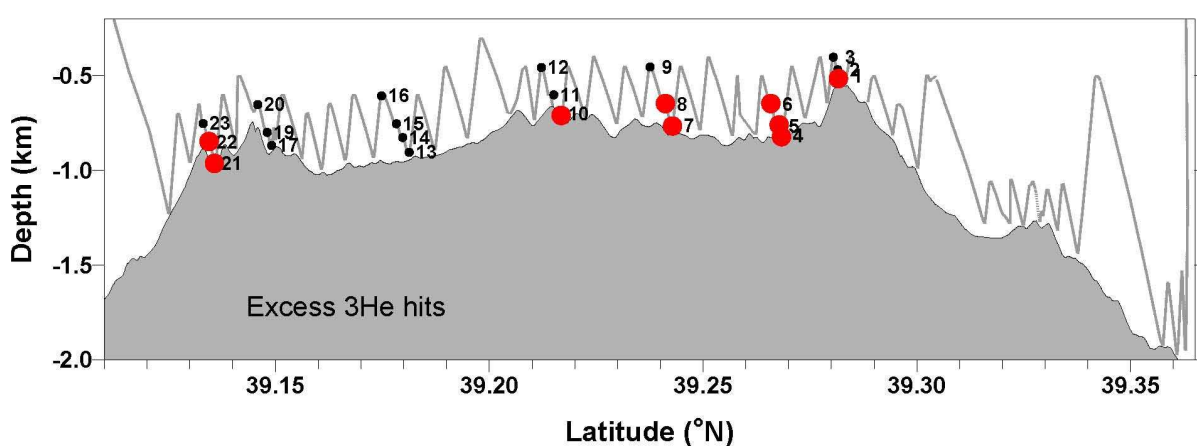


Figura 1.12 – Sezione trasversale del Marsili con indicata la traiettoria (in grigio) del profilo orizzontale-verticale eseguito con rosetta e CTD lungo il quale sono stati prelevati i campioni nella campagna del 2007. In rosso i campioni che hanno presentato anomalie geochimiche nei gas disciolti

Determinazioni analitiche e risultati

I campioni da sottoporre ad analisi della fase gassosa disciolta sono stati prelevati seguendo una speciale procedura che permette l'estrazione del gas in laboratorio in condizioni di equilibrio con la fase liquida e la successiva analisi chimica e isotopica.

I campioni sono stati prelevati in bocce in vetro da 240ml, predisposte per essere sigillate con un setto di silicone e teflon crimpato con una speciale pinza. In laboratorio il campione viene trattato con l'immissione di una quantità nota di

un gas ospite (argon ultrapuro per analisi) introdotto con siringa attraverso il setto ai siliconi mentre con altra siringa si estrae il corrispondente volume d'acqua.. Il campione viene quindi lasciato ad equilibrarsi per 24 ore a temperatura costante e controllata. In queste condizioni i gas disciolti nell'acqua di mare tendono a riequilibrarsi con la fase gassosa presente e si ripartiscono tra fase liquida e fase gassosa in funzione della loro solubilità e della temperatura. Noti i coefficienti di solubilità per ogni specie gassosa la temperatura al momento del prelievo e la temperatura cui si è equilibrato, è possibile ricalcolare la quantità di gas disciolto originariamente nell'acqua.

L'analisi del campione avviene quindi prelevando il gas precedentemente introdotto (reiniiettando il volume d'acqua estratto) e introducendo il campione di gas direttamente nel gas cromatografo (Perkin Elmer 8500) dotato di colonne e detector per l'analisi di O₂, N₂, H₂, , CO₂ e CH₄.

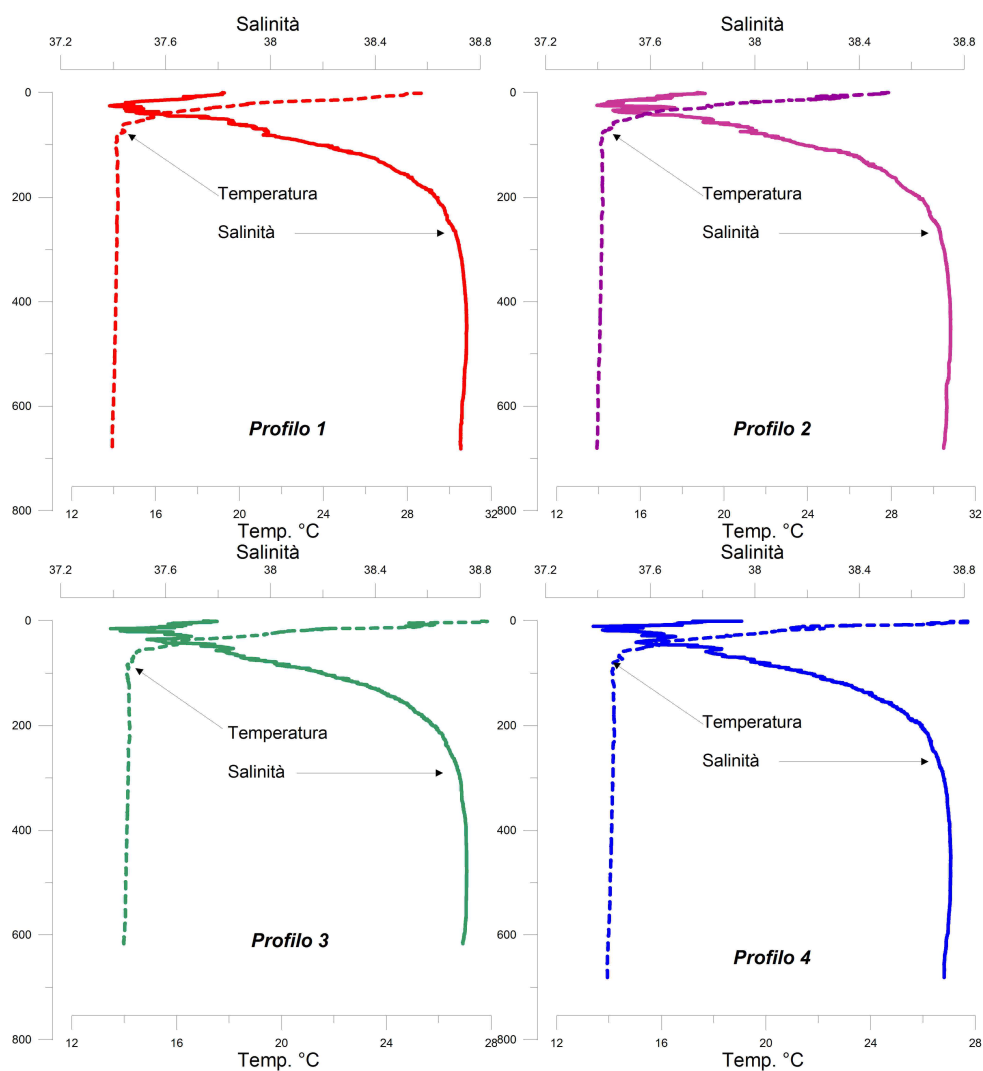


Figura 1.13 – Grafico dei profili verticali dei dati di salinità e temperatura in funzione della profondità acquisiti con sonda CTD durante la campagna del Luglio 2011

Le analisi di laboratorio sono state elaborate tenendo conto dei parametri necessari al ricalcolo del contenuto in gas dell'acqua di mare. In tabella 1 sono riassunti i risultati espressi in ml di gas per litro di acqua di mare in condizioni standard (ccSTP a 0°C e P= 1 bar). E' riportata la composizione del gas disciolto in acqua di mare non interessata da fenomeni di idrotermalismo, quindi semplicemente riequilibrata con l'atmosfera. I risultati mostrano la presenza di significative quantità di gas di origine idrotermale (CO₂, CH₄) oltre ai normali contenuti di gas di origine atmosferica.

Campione	Profondità	Lat.	Lon.g	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂
M1	676	39°16.840	14°23.220	3.5E+00	9.3E+00	9.5E-05	7.7E-01
M1	500	39°16.840	14°23.220	3.6E+00	1.0E+01	5.2E-05	1.1E+00
M1	400	39°16.840	14°23.220	4.0E+00	1.3E+01	1.3E-04	6.0E-01
M1	300	39°16.840	14°23.220	3.0E+00	9.6E+00	1.5E-04	6.3E-01
M2	668	39°17.159	14°23.410	3.2E+00	9.1E+00	3.9E-05	5.3E-01
M2	500	39°17.159	14°23.410	3.4E+00	1.0E+01	1.3E-04	1.3E+00
M2	400	39°17.159	14°23.410	2.8E+00	9.0E+00	2.1E-04	1.9E+00
M2	300	39°17.159	14°23.410	3.3E+00	9.4E+00	1.1E-04	1.7E+00
M3	610	39°16.799	14°23.999	3.1E+00	9.2E+00	5.8E-05	2.7E+00
M3	500	39°16.799	14°23.999	2.7E+00	8.3E+00	1.0E-04	5.7E-01
M3	400	39°16.799	14°23.999	3.3E+00	9.6E+00	1.1E-04	1.7E+00
M4	673	39°16.342	14°23.196	3.0E+00	1.0E+01	9.7E-05	1.3E+00
M4	500	39°16.342	14°23.196	3.3E+00	9.9E+00	9.4E-05	8.0E-01
M4	400	39°16.342	14°23.196	3.5E+00	1.0E+01	8.4E-05	9.8E-01
MARE				4.8E+00	9.6E+00	1.0E-06	.2.4E-01

Tabella 5 – Campioni prelevati tramite rosetta e bottiglie Niskin durante la campagna con nave ASTREA (Luglio 2011). Sono riportati coordinate del punto di prelievo e profondità del campione. Dati espressi in cm³STP per litro di acqua

La presenza di gas di origine idrotermale è consistente con i risultati precedenti che mostravano anomalie di ³He disciolto lungo profili longitudinali e trasversali. Nel confermare che il Marsili è interessato da attività idrotermale sottomarina, si rileva che l'area indagata è solo una delle aree individuate con la campagna del 2007 (Lupton et al., 2011), ma che coincide con l'area indagata per la tipologia dei depositi vulcanici tramite raccolta e analisi di carote. Va inoltre tenuto presente che in tale area è stato anche deposto un OBS/H (Ocean Bottom Seismometer/Hydrophone) che ha registrato attività sismo-acustica riconducibile anche al rilascio di fluidi.

I diagrammi triangolari di figura 30 e 31, mostrano i relativi rapporti di concentrazione per O₂,CH₄ e CO₂ e per O₂, N₂ e CO₂ rispettivamente. E' riportato anche il punto rappresentativo della composizione del gas disciolto in acqua di mare a pressione atmosferica (ASSW, Air-Saturated Sea Water). L'ossigeno è rappresentativo della componente atmosferica mentre metano e anidride carbonica di quella idrotermale. Si vede chiaramente come in tutti i casi esistono concentrazioni anomale sia di metano che di CO₂ e in particolare i

campioni prelevati durante la campagna con M/N Astrea (triangoli blu) sull'area individuata come la più promettente dal punto di vista della produttività di fluidi geotermici, sono quelli con anomalie assolutamente più spiccate. I campioni contrassegnati con croce grigia si riferiscono all'indagine generale del Marsili condotta con la campagna precedente.

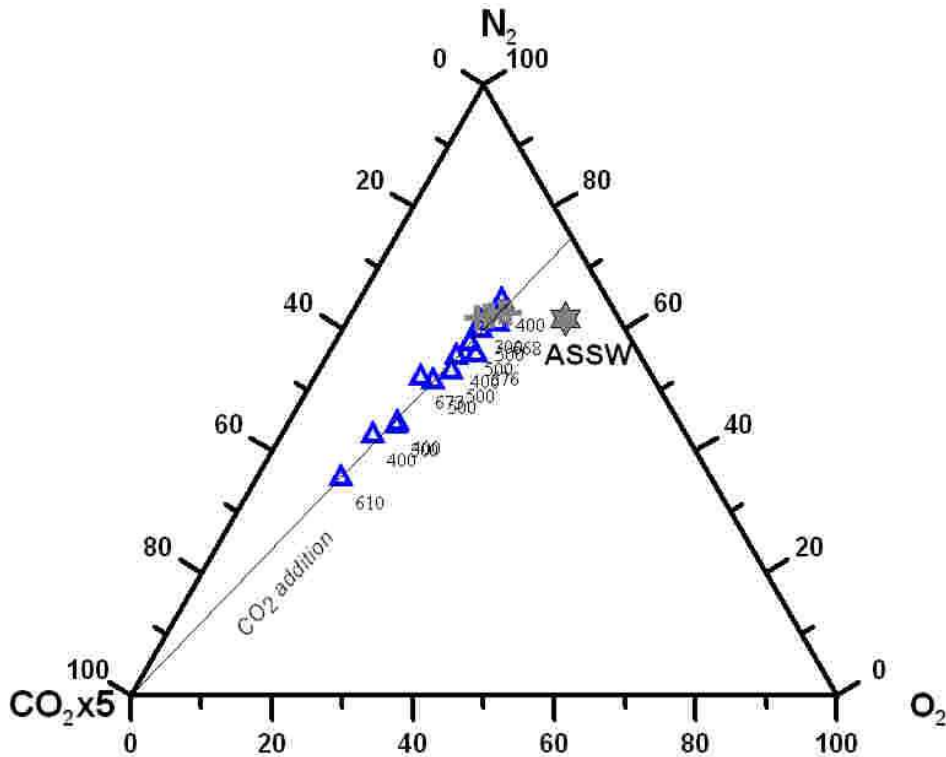


Figura 1.14 – Diagramma ternario O₂-N₂-CO₂. I campioni provenienti dall'area su cui si sono ristrette le indagini (triangoli blu, Astrea, Luglio 2011), si allineano su una retta a rapporto costante CO₂/N₂ nettamente distinta dalla normale composizione di acqua di mare, mostrando una concentrazione crescente della componente idrotermale. I dati dei campioni prelevati durante la campagna del 2007 (croci grigie) sono riportati per mostrare che nonostante si veda chiaramente come anch'essi siano anomali rispetto ad una normale acqua di mare (stella grigia, ASSW), provengono da punti di prelievo distribuiti sul Marsili per una prima indagine conoscitiva.

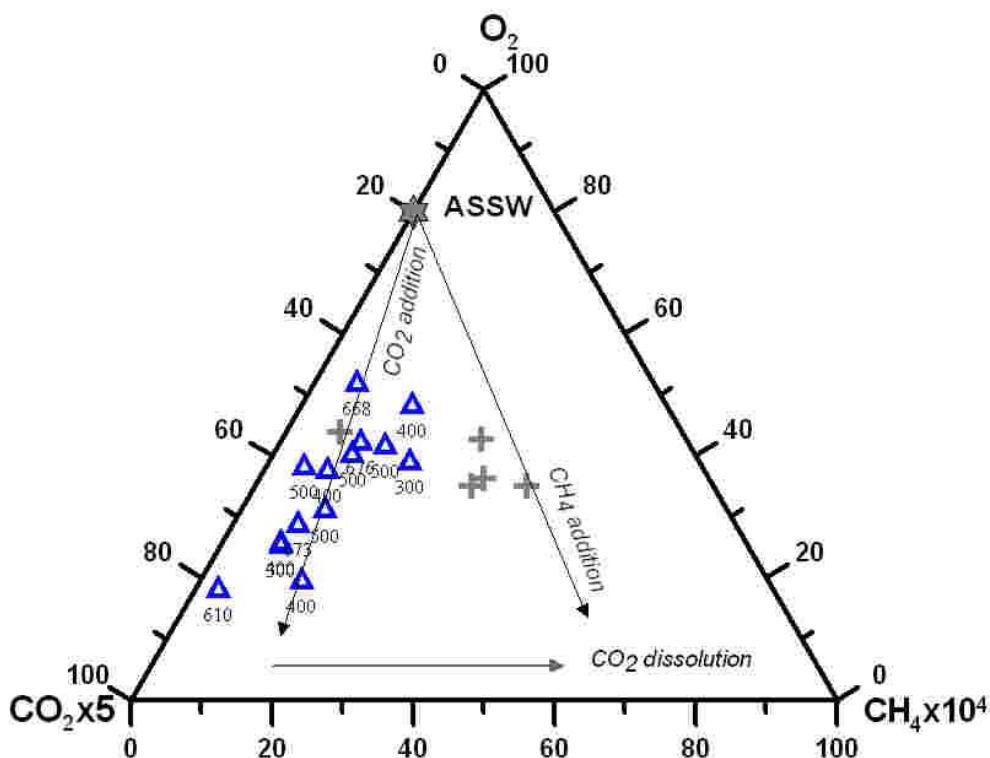


Figura 1.15 – Diagramma triangolare CH₄-O₂-CO₂. Il diagramma mostra le concentrazioni relative tra gas di origine idrotermale (CO₂-CH₄) e la componente atmosferica (rappresentata dall'ossigeno) normalmente disciolta in acqua di mare. E' evidente come rispetto ad una composizione "normale" dei gas disciolti in mare (stella grigia, ASSW) i campioni prelevati sul marsili mostrino significativi arricchimenti sia in CO₂ che in CH₄. Le frecce mostrano i trend di modifica della composizione di una ASSW dovuti all'aggiunta di CO₂ e di CH₄ e all'occorrenza di fenomeni di interazione gas/acqua con dissoluzione della CO₂ in acqua di mare. Significato dei simboli come in figura 1.14

1.5 Geochimica ed idrotermalismo sul Marsili

La geochimica delle interazioni acqua/roccia connesse alla circolazione di fluidi geotermici è importante per comprendere le concentrazioni naturali delle specie chimiche maggiori e in tracce di significato ambientale che possiamo aspettarci nelle rocce/sedimenti e nelle acque del vulcano Marsili.

Le informazioni raccolte e di seguito descritte provengono dalle analisi chimiche dei campioni di lava e di depositi idrotermali in alcuni siti del vulcano Marsili. Considerando le dinamiche di alterazione idrotermale delle rocce basaltiche da parte dell'acqua marina viene descritto uno scenario degli elementi chimici che vengono mobilizzati e possono essere liberati nelle acque marine. Questo studio preliminare è la base essenziale per l'allestimento della prima campagna di indagini ambientali sul vulcano sottomarino Marsili.

Le rocce basaltiche di ambiente sottomarino hanno un'ampia variabilità di concentrazione degli elementi maggiori (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , MnO , Titanio, Ferro) e in tracce (Stronzio, Piombo, Bario, Rubidio, Vanadio, Ittrio, Nichel, Cobalto, Rame, Boro ...), dovuta alla composizione della sorgente dei magmi, al grado di fusione parziale e ai processi di cristallizzazione frazionata del magma prima della fuoriuscita in superficie. L'alterazione idrotermale dovuta alla circolazione di fluidi geotermici nella roccia provoca la lisciviazione di alcuni elementi chimici dal basalto, permettendo la loro conseguente migrazione nel fluido di circolazione (Browne, 1978).

Ciò è in accordo con la composizione dei fluidi geotermici di molti campi geotermici nel mondo dove si produce energia elettrica, come il sito di Reykjanes in Islanda, dove i basalti risultano alterati da un fluido costituito per buona parte da acqua di mare surriscaldata (Arnorsson, 1995; Fridriksson et al., 2006).

Ovviamente, alcuni degli elementi lisciviati possono precipitare nuovamente in fasi minerali secondarie e venire trattenuti all'interno delle rocce incassanti attraversate. L'alterazione idrotermale fornisce un meccanismo per la produzione

di una soluzione arricchita in sostanze che possono essere rilasciate in mare ed è un fenomeno importante nella formazione di sedimenti arricchiti di metalli nei vulcani sottomarini, per esempio in contesti di dorsali oceaniche attive. Osservazioni in numerosi ambienti vulcanici sottomarini hanno rivelato una grande variabilità nella composizione di questi sedimenti, che può essere dovuta in parte alle differenti condizioni ambientali – pH, Eh e rapporti acqua/roccia – incontrate durante la circolazione del fluido (Bonatti, 1975; Humphris, 1976; Spiess et al., 1980; Edmond et al., 1982; Michard et al., 1984; Seyfried, 1987; Dill et al., 1992; Mills, 1995; Kastner, 1999; Shanks e Shanks, 2001; Foustoukos et al., 2007). Le reazioni idrotermali forniscono un meccanismo di concentrazione di questi metalli in tracce nelle fasi solfuri (Hekinian, 1980). Ferro e Manganese generalmente sono i due maggiori componenti di questi sedimenti, ma i loro rapporti sono altamente variabili. I sedimenti tendono ad essere ricchi anche in Cu, Ni, Zn, Ba, V e Hg.

1.5.1 Composizione chimica delle lave del vulcano Marsili

Di seguito vengono descritte le analisi per la determinazione della composizione chimica delle lave del vulcano Marsili, tratte dalle campagne oceanografiche condotte negli ultimi 30 anni dall'Istituto di Geologia Marina del CNR di Bologna (Serri et al., 1977; Savelli e Gasparotto, 1994; Marani et al., 2002; Trua et al., 2002).

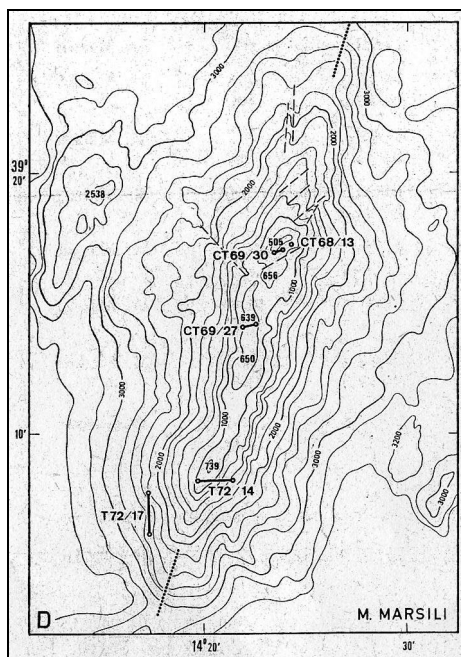


Figura 1.16 : Ubicazione dei campioni di lave raccolti da Serri et al. (1977) sul vulcano Marsili.

La Figura 1.16 mostra l'ubicazione dei siti di campionamento delle lave del vulcano Marsili campionate durante le crociere CST68, CT69 e T72 (Serri et al., 1977). Si tratta di 4 dragaggi, CT69/27, CT69/30, T72/14 e T72/17, e una bennata, CST68/13, che hanno raccolto prevalentemente vulcaniti fresche senza tracce evidenti di alterazione. L'analisi degli elementi maggiori, con l'esclusione di Na_2O e dell'acqua, è stata eseguita mediante fluorescenza di raggi-X (per i dettagli delle tecniche analitiche si veda Serri et al., 1977). Gli elementi in tracce sono stati dosati per fluorescenza di raggi-X. I risultati ottenuti sono mostrati in Tabella 5.1 e 5.2.

Tabella 6 : Analisi chimiche sui campioni di lava del vulcano Marsili tratte da Serri et al. (1977). Sono mostrati anche due campioni provenienti dai vulcani Vavilov (T72/35/1C) e Magnaghi (T73/34/2C).

	M. Magnaghi T73/34/2C	M. Vavilov T72/35/1C	M. Marsili CT69/27/2A	M. Marsili T72/14/2	M. Marsili T72/17/40B	M. Marsili CST68/13/2A	M. Marsili CT69/30/7B
SiO ₂	48,57	47,70	45,73	52,38	56,09	59,77	61,32
TiO ₂	1,94	3,25	2,26	0,97	0,91	1,01	1,00
Al ₂ O ₃	19,60	17,83	15,51	18,45	17,17	18,55	16,93
Fe ₂ O ₃	2,32	3,06	2,01	0,46	0,24	1,43	0,86
FeO	7,72	8,89	9,04	6,49	6,12	4,03	4,70
MnO	0,16	0,17	0,17	0,15	0,16	0,15	0,14
MgO	3,29	4,11	8,65	5,50	2,98	2,09	1,89
CaO	10,58	10,13	11,86	8,85	6,47	4,58	4,30
Na ₂ O	3,29	3,13	2,23	3,31	4,07	4,32	4,38
K ₂ O	0,49	0,58	0,36	1,32	1,60	2,69	2,96
P ₂ O ₅	0,40	0,42	0,25	0,30	0,38	0,28	0,32
P.C.	1,34	1,03	1,81	2,17	4,17	1,47	1,40
Totale	99,70	100,30	99,87	100,35	100,36	100,32	100,20
ppm							
Ni	30	33	184	42	40	10	9
Co	28	35	44	99	210	11	97
Cr	79	30	357	54	28	12	13
V	236	337	321	218	162	119	132
Ni/Co	1,07	0,94	4,18	0,42	0,19	0,91	0,09
V/Ni	7,86	10,21	1,74	5,19	4,05	11,90	14,67
Q	—	—	—	—	5,63	9,99	10,72
Or	2,89	3,45	2,11	7,78	9,45	15,90	17,46
Ab	27,82	26,46	18,86	27,98	34,43	36,52	37,05
An	37,22	32,86	31,22	31,58	24,63	20,86	17,76
C	—	—	—	—	—	0,87	—
Di	5,28	6,08	10,81	4,32	2,07	—	0,60
En	2,43	3,18	6,63	2,37	0,89	—	0,25
Fs	2,79	2,72	3,56	1,78	1,18	—	0,35
Ip	4,95	6,62	0,99	9,88	6,50	5,19	4,43
Fs	5,69	5,67	0,53	7,40	8,67	4,83	6,19
Fo	0,55	0,28	9,69	0,97	—	—	—
Fa	0,69	0,27	5,75	0,81	—	—	—
Mt	3,36	4,45	2,92	0,67	0,35	2,09	1,25
Il	3,69	6,19	4,30	1,84	1,73	1,92	1,90
Ap	0,94	1,01	0,60	0,71	0,91	0,67	0,77

Tabella 7 : Potassio, Titanio ed elementi in tracce (ppm) nei campioni del vulcano Marsili e dei vulcani centro-tirrenici Vavilov (T72/35/1C) e Magnaghi (T73/34/2C).

	K ₂ O	Ti	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	K/Rb	Y/Nb
T73/31/16A	2,15	12300	33	477	34	263	66	541	0,52
T73/34/2A	1,19	13501	21	458	25	212	49	471	0,51
T73/34/2C	0,49	11657	10	295	39	228	16	410	2,44
T72/35/1C	0,58	19472	12	327	38	227	20	400	1,90
CST68/13/2A	2,69	6064	86	361	41	208	27	259	1,52
CT69/27/2A	0,36	13528	9	311	24	139	18	334	1,33
CT69/27/2B	0,28	11795	5	401	22	150	14	461	1,57
CT69/27/6	0,90	8024	22	339	30	138	16	341	1,88
CT69/30/7B	2,96	6016	88	348	39	204	30	279	1,30
T72/14/2	1,32	5839	33	645	24	116	21	333	1,14
T72/17/10A	1,56	5419	35	561	27	153	31	371	0,87
T72/17/40B	1,60	5452	33	562	28	154	31	403	0,90

Tra gli elementi maggiori la Silice presenta un contenuto variabile dal 45.73% del campione CT69/27 al 61.32% del campione CT69/30. La differenza tra i due campioni è evidente anche nei contenuti degli altri elementi, come Calcio (11.86% nel primo e 4.30% nel secondo), Magnesio (8.65% nel primo e 1.89% nel secondo), Sodio (2.23% nel primo e 4.38% nel secondo) e Potassio (0.36% nel primo e 2.96% nel secondo). L'Alluminio ha una concentrazione piuttosto costante in tutti i campioni analizzati, tra 15 e 18%. Il Titanio ha una concentrazione media dell'1%, a parte il campione 69/27 con una concentrazione di 2.26%. Il Manganese ha concentrazioni molto basse, inferiori a 0.20%.

Per quanto riguarda gli elementi in tracce lo Stronzio (Sr) ha una concentrazione nelle rocce molto alta, compresa tra 311 e 645 ppm. Nichel (Ni) e Cobalto (Co) hanno concentrazioni basse: il primo oscilla tra 9 e 42 ppm, raggiungendo un massimo di 184 ppm solo nel campione CT69/27; il secondo ha concentrazione variabile da 13 a 357 ppm. La concentrazione di Rubidio (Rb) varia da 5 a 88 ppm, mentre lo Zirconio (Zr) varia da 116 ppm nel campione CST68/13 a 208 ppm nel campione CT69/30. Il Cromo (Cr) ha concentrazione variabile da 12 a 363 ppm. Ittrio (Y) e Vanadio (V) hanno

concentrazioni piuttosto costanti su tutti i campioni analizzati. Il primo varia da 23 a 41 ppm; il secondo da 119 a 321 ppm.

Sono stati raccolti nove campioni di lave durante due missioni russe: la prima a bordo della nave R/V *Vityaz* (1986, Leg 12); la seconda a bordo della nave R/V *Akademic Mstislav Keldysh* (1988, Leg 16) dell'Accademia delle Scienze dell'URSS (Savelli e Gasparotto, 1994). I siti di campionamento variano da 2590 a 500 m di profondità sotto il livello del mare (la parte basale del vulcano Marsili non è stata considerata perché ricoperta di sedimenti; Tabella 8).

Tabella 8 : Localizzazione dei siti di campionamento e schema degli aspetti petrografici dei campioni del vulcano Marsili (da Savelli e Gasparotto, 1994).

Station	Lat. (°N)	Long. (°E)	Depth (m)	Rocktype	Phenocrysts	Groundmass	Notes
MIR 1-4	39°19.6'	14°24.9'	1500	CA-Basalt	Ol-Pl	Pl-Ol-Gl-Cpx	v.p.
MIR 1-3	39°20.0'	14°26.4'	2010	CA-Basalt	Pl-Cpx-Ol	Pl-Cpx-Ol	vv.
VI-1663 core	39°24.2'	14°20.5'	3080	CA-Basalt	Pl-Ol	Pl-Cpx-Ol-Gl	v.f. (155–164 cm b.sfl.)
M22-103 core	39°04.5'	14°23.2'	3200	CA-Basalt	Ol-Cpx	Gl-Pl-Sp	v.f. corer bottom
MIR 1-1	39°20.3'	14°27.2'	2590	CA-Basalt	Ol-Pl	Pl-Cpx-Ol-Gl	v.p.
MIR 1-2	39°20.2'	14°26.9'	2450	CA-Basalt	Ol-Pl	Pl-Ol-Cpx-Gl	vv.
VI-1661 core	39°17.95'	14°24.0'	920	CA-Basalt	Pl-Cpx-Ol	Pl-Cpx-Gl	v.f. (30–60 cm b. sfl.)
MAC-4D from	39°14.09'	14°22.05'	677	CA-Basalt	mp. Pl-Cpx-Ol	Pl-Cpx-Op-Gl-Ze-Cc	a.v.
to	39°14.09'	14°22.05'	677				
T72-14 from	39°08.1'	14°21.5'	1350	CA-Bas-And.	Pl-Cpx-Ol	Pl-Px-Gl	
to	39°08.4'	14°19.7'	1000				
VI-1691 from	39°12.1'	14°21.1'	1100	HK-Bas-And.	Pl-Cpx-Ol (Opx)	Pl-Cpx-Gl-Sp (Opx)	v.
to	39°12.3'	14°22.3'	760				
MAC-4B from	39°14.09'	14°22.05'	677	HK-Bas-And.	mp. Pl-Cpx-Ol	Gl-Op-Ze-Cc	
to	39°14.09'	14°22.05'	677				
T72-17 from	39°06.3'	14°17.3'	2606	CA-Andesite	Pl-Cpx-Opx-(Amp)-Ol	Pl-Px-Gl-Amp	
to	39°07.7'	14°17.3'	2300			Mt	
VI-1657 from	39°17.0'	14°22.8'	1170	HK-Andesite	Pl-Cpx-Opx-Mt	Pl-CPX-Mt-G	
to	39°16.9'	14°23.6'	1270				
M22-104 core	39°04.8'	14°23.2'	3300	HK-Andesite	Cpx-Pl-Ol-(Sp)	Gl-Pl	v.f. corer bottom
MIR 2-1	39°17.2'	14°23.5'	505	HK-Andesite	Pl-Cpx-Opx-Mt	Pl-Cpx-Mt-Gl	v.pt.
VI-1656 from	39°17.0'	14°23.1'	1000	HK-Andesite	Pl-Cpx-Opx-Mt	Pl-CPX-Mt-G	
to	39°17.0'	14°24.1'	700				
MAC-3 from	39°16.09'	14°24'	750	HK-Andesite	Pl-Cpx-Opx-Amp	Gl-Pl-Cpx-Op-Ap	p.v.
to	39°17.06'	14°24'	772				
MIR 2-3	39°17.2'	14°23.5'	503	HK-Andesite	Pl-Cpx-Opx-Mt	Pl-Cpx-Mt-Gl	p.v. pt.
CST-68-13 core	39°17.2'	14°24.3'	651	HK-Andesite	Pl-Cpx-Opx-(Amp)	Gl-Pl-Px-Op	
CT-69-30 from	39°16.9'	14°23.5'	628	HK-Andesite	Pl-Cpx-Opx-(Amp)-(Ol)	Gl-Pl-Px-Op	v.
to	39°17.0'	14°23.9'	618				
CT69/27/2A from	39°14.2'	14°22.6'	771	WP-basalt	Pl-Ol-(Cpx)-Gl	Gl-Op-Pl-Px	
to	39°14.1'	14°22.0'	760			Mt-Ap	

Samples labelled MIR were recovered by the submersibles *Mir* 1 and 2; asterisk indicates samples from literature. Dredged samples are indicated "from to". CA = calcalkaline; HK = high potassium calcalkaline; OI = ocean island. Ol = olivine; Pl = plagioclase; Cpx = clinopyroxene; Opx = orthopyroxene; Gl = glass; Sp = spinel; Ze = zeolites; Cc = calcite; Amp = amphibole; Mt = magnetite; Ap = apatite; Op = opaques; () = mineral in very small amount; mp. = microphenocrysts; v. = vesicular; vv. = very vesicular; p. = porphyritic; f. = fragments; a. = aphyric; pt. = pilotaxitic texture; b.sfl = below seafloor.

Le analisi mineralogiche sono state effettuate al "Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali" dell'Università di Bologna, con un SEM

Philips 515, equipaggiato con uno spettrometro EDS. Gli elementi maggiori e in tracce sono stati analizzati dal “*Service d’Analyses des Roche set Mineraux du CNRS, Vandoeuvre-les-Nancy*”, Francia, con spettrometria ICP. La Tabella 5.4 mostra le concentrazioni degli elementi maggiori, in tracce e le terre rare nei campioni di basalti (B), andesiti basaltiche (BA) e andesiti (A) raccolti e analizzati.

Tabella 9 : Elementi maggiori, in traccia e terre rare misurate nei campioni del vulcano Marsili (sa Savelli e Gasparoto, 1994).

	B						BA	A				
	M1-4	M1-3	M1-1	1663	M1-2	1661	1691	M2-3	1657	M2-1	1656	Glass
SiO ₂	45.23	47.15	49.40	49.51	50.09	50.84	52.40	59.71	59.95	60.10	60.29	65.0
TiO ₂	0.83	0.61	0.78	1.11	0.78	0.78	1.00	0.96	0.96	0.96	0.96	0.81
Al ₂ O ₃	16.67	18.60	16.53	17.14	16.38	17.71	18.06	16.73	16.76	16.70	16.73	14.8
Fe ₂ O ₃	7.63	7.49	7.51	8.64	7.58	7.55	9.00	6.16	6.23	6.12	6.19	4.1
MnO	0.15	0.12	0.12	0.13	0.12	0.12	0.14	0.17	0.12	0.13	0.12	–
MgO	9.14	7.04	9.14	8.08	8.69	6.05	4.02	2.15	2.00	1.97	1.91	0.54
CaO	13.06	13.98	10.64	9.39	10.50	11.14	9.03	4.60	4.44	4.35	4.37	1.4
Na ₂ O	2.45	2.12	2.74	3.45	2.67	2.83	3.30	4.83	4.82	4.87	4.79	5.1
K ₂ O	0.68	0.56	1.00	0.91	1.12	1.50	1.79	3.06	3.02	3.11	3.07	5.2
P ₂ O ₅	0.26	0.25	0.34	0.34	0.35	0.30	0.40	0.44	0.44	0.44	0.44	–
LOI	3.67	1.84	1.53	0.79	1.40	0.92	0.59	1.36	0.90	0.90	0.81	–
Total	99.77	99.76	99.73	99.49	99.68	99.74	99.73	100.17	99.64	99.65	99.68	96.95
Mg#	75	70	75	70	74	66	53	52	50	50	49	29
Rb	16	13	22	15	35	42	52	82	87	87	83	
Sr	386	597	397	394	458	461	558	385	392	374	387	
Y	21	16	21	23	21	21	26	34	36	35	33	
Zr	61	53	71	97	74	75	101	197	194	197	195	
Nb	6	6	9	12	10	6	14	27	22	25	23	
Ba	329	207	494	274	518	592	569	1171	1167	1175	1170	
Ni	115	77	163	165	163	28	25	18	5	13	5	
Cr	214	129	328	286	318	84	14	7	13	5	10	
Co	52	33	27	36	34	12	20	12	7	13	8	
Cu	58	83	70	133	69	77	103	24	25	25	29	
Ga	24	16	6	14	9	8	13	22	18	27	13	
Sc	37	37	36	28	35	34	25	14	14	14	14	
Th	8	7	11	6	10	9	9	15	17	18	17	
V	196	172	198	162	200	191	249	110	114	124	109	
Zn	56	54	53	71	59	80	71	66	69	66	67	
La	10.60	14.41	20.00	15.67	19.74	19.77	25.47	41.15	43.64	42.45	40.57	
Ce	26.95	30.10	38.63	32.62	36.57	41.28	49.38	76.00	78.47	77.67	73.71	
Nd	12.33	13.95	17.43	14.67	17.40	18.01	21.04	31.18	32.71	32.16	30.46	
Sm	3.34	3.26	4.20	3.71	4.02	4.06	4.74	6.45	6.85	6.67	6.34	
Eu	0.95	0.94	1.09	1.11	1.11	1.14	1.33	1.62	1.73	1.66	1.60	
Dy	3.18	2.47	3.17	3.39	3.07	3.24	3.85	4.80	5.13	5.01	4.73	
Er	1.83	1.37	1.74	1.94	1.71	1.77	2.20	2.82	2.98	2.93	2.77	
Yb	1.65	1.23	1.63	1.82	1.62	1.60	2.09	2.81	2.96	2.91	2.76	
Lu	0.31	0.25	0.36	0.39	0.29	0.28	0.36	0.41	0.61	0.50	0.46	

B=basalt; BA=basaltic andesite; A=andesite. Mg# calculated with Mg/(Mg+Fe)=0.20 (basalts and basaltic andesite) and 0.30 for andesites.

Il Silicio ha una concentrazione del 60% nelle andesiti mentre nei basalti scende tra 45 e il 50%. L'Alluminio ha una concentrazione piuttosto costante tra il 16% nelle andesiti e il 17-18% nei basalti e nelle andesiti basaltiche. Il Ferro trivalente ha una concentrazione più alta nei basalti, 7-8%, rispetto alle andesiti, 6%, così come: il Calcio, che ha una concentrazione tra il 9 e il 13% nei basalti e nelle andesiti basaltiche, e del 4% nelle andesiti; il Magnesio, che ha concentrazioni variabili dal 6 al 9% nei basalti, tra il 2 e il 4% nelle andesiti e nelle andesiti basaltiche. Il Sodio risulta poco presente, 2.45-3.45%, nei basalti rispetto alle andesiti, 4-5%, come il Potassio, che ha concentrazioni anche minori dell'1% nei basalti e intorno al 3% nelle andesiti. Il Titanio ha concentrazioni poco inferiori all'1% mentre il Manganese è sempre minore dello 0.20%.

Lo Sr ha concentrazioni alte e piuttosto costanti dai basalti fino alle andesiti, che vanno da 385 a 597 ppm. Il Ba ha concentrazioni variabili da 207 a 592 ppm nei basalti e nelle andesiti basaltiche, mentre presenta le concentrazioni più alte nelle andesiti, tra 1167 e 1175 ppm. Ni e Co, al contrario, sono molto bassi nelle andesiti, tra 5 e 18 ppm, mentre risultano in concentrazioni più alte nei campioni basaltici, da 20 a 165 ppm. Così come il Rame (Cu) che risulta presente in 24-29 ppm nelle andesiti e da 58 a 133 ppm nei basalti e nelle andesiti basaltiche. Il Vanadio ha concentrazioni piuttosto costanti in tutti i campioni di lave fresche analizzate, tra 109 e 249 ppm, mentre l'Ittrio (Y) ha concentrazioni leggermente più alte nelle andesiti, da 26 a 36 ppm, rispetto ai basalti e ai basalti andesitici, da 16 a 26 ppm. Lo Zirconio (Zr) ha concentrazioni alte nelle andesiti, 195-197 ppm, mentre varia da 53 a 101 ppm nei basalti e andesiti basaltiche.

Le analisi chimiche delle lave e dei depositi idrotermali del vulcano Marsili finora descritte forniscono un quadro preliminare delle concentrazioni chimiche attese in rocce e sedimenti e delle interazioni tra rocce basaltiche e acqua di mare legate alla circolazione di fluidi geotermici. Gli elementi maggiori e in tracce individuati possono essere liberati nell'ambiente marino

circostante. Le attività connesse al Permesso di Ricerca prevedono un monitoraggio delle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche delle rocce/sedimenti, acqua e aria che concorrono alla definizione del punto “zero” per la valutazione degli impatti ambientali connessi alle attività di perforazione e produzione geotermoelettrica.

1.6 Programma di monitoraggio ambientale sul vulcano Marsili.

Le analisi chimiche di letteratura sopra descritte sono la base del programma di indagini ambientali del vulcano Marsili legati al Permesso di Ricerca. Essi sono finalizzati alla definizione dello stato ambientale di rocce/sedimenti, delle acque marine e dell'aria, in previsione dei possibili impatti provocati dalle attività di perforazione e produzione di energia elettrica. Il programma si compone di:

- campionamenti e analisi dei parametri fisico-chimici e biologici delle rocce/sedimenti del vulcano Marsili e delle acque circostanti;
- monitoraggio delle condizioni atmosferiche.

I primi verranno eseguiti in numerosi siti di interesse che offrano un'adeguata copertura dell'edificio vulcanico. Per i campionamenti di acqua si prevedono anche verticali di misura ripetendo i campionamenti a determinati intervalli di profondità. Le analisi chimiche saranno finalizzate alla determinazione delle seguenti specie inquinanti: Idrogeno Solforato (H₂S), Arsenico (As), Piombo (Pb), Mercurio (Hg), Antimonio (Sb), Boro (B), Cloruri, Fluoruri, altri Metalli Pesanti. Verranno determinati temperatura, salinità, Eh, pH, ossigeno disciolto e torbidità delle acque marine.

Le misure delle condizioni atmosferiche verranno effettuate mediante stazioni meteorologiche per la misura di temperatura, umidità, velocità e direzione del vento, radiazione solare e gas come: H₂S, CO₂, NO, NO_x, SO₂, O₃, Hg, As, B, Sb, Rn.

Il programma di monitoraggio delle condizioni atmosferiche sarà anche funzionale alla determinazione delle condizioni di esercizio della piattaforma flottante superficiale di supporto alle operazioni di perforazione geotermica.

1.7 Valutazione degli Impatti Ambientali.

Nell'area di mare interessata dall'Istanza di Permesso di Ricerca non risultano zone soggette a vincoli di tutela biologica, naturalistica e archeologica. Data la distanza dalla costa, l'area non esercita alcuna influenza sul regime dei litorali, né sulla fruizione turistica delle aree costiere, inclusi gli aspetti paesaggistici. L'area è anche sufficientemente lontana dalla costa da non avere interferenze con il traffico costiero e con l'attività dei pescherecci.

1.7.1 Impatti potenziali delle attività di esplorazione del campo geotermico.

Le attività di esplorazione geofisica e geochimica sul vulcano sottomarino Marsili, connesse al Permesso di Ricerca, non sono invasive e non comportano alcun impatto sull'atmosfera e sull'ambiente idrico. In tal senso il Ministero dell'Ambiente non ha ritenuto di procedere alla assoggettabilità alla VIA per la parte esplorativa.

Possono essere considerati (qualora si ritenesse di utilizzarli, ma la prospezione è praticamente terminata senza la necessità di un loro utilizzo) unicamente gli impatti dei cannoni energizzanti (*airguns*) sull'ecosistema e gli organismi marini. I cannoni emettono un getto d'aria ad alta pressione diretta verso il fondo marino, che crea una perturbazione localizzata all'asse dello sparo e circoscritto alla breve durata della prospezione.

Studi sugli impatti delle prospezioni sismiche sui mammiferi marini hanno evidenziato comportamenti diretti ad evitare le navi che conducono le indagini sismiche (Malme et al., 1985; Kosky & Johnson, 1987; Davis et al., 1991; Mate et

al., 1994; Richardson et al., 1995). Saranno ovviamente adottate misure di mitigazione tipo metodo *soft-start* e accertamento della presenza di mammiferi marini tramite MMO (*Marine Mammals Observer*) presenti a bordo della nave. Il metodo *soft-start* consente il raggiungimento dell'intensità di lavoro da parte degli *air-guns*, partendo dal volume minore dei cannoni e aumentando gradualmente l'energizzazione, in un tempo medio di circa 20 minuti durante il quale diminuirà l'intervallo degli spari. Tale operazione sarà ripetuta ogni volta che verrà interrotta la prospezione per più di 5 minuti. Durante i 30 minuti antecedenti l'inizio degli spari è previsto che operatori specializzati (appartenenti ad Enti accreditati o personale specialistico dell'ICRAM) nell'avvistamento di cetacei si accertino dell'assenza anche di piccoli individui nel raggio di 500 m dalla sorgente.

La nave sarà dotata di una strumentazione avanzata di *survey* acustico, a disposizione degli esperti a bordo, per consentire l'accertamento dell'eventuale presenza di cetacei anche sotto la superficie marina. I rilevatori di emissioni acustiche tipiche dei cetacei saranno costituiti da idrofoni trainati dall'imbarcazione, che permettono, attraverso l'ascolto in cuffia delle vocalizzazioni emesse, la stima della distanza e della direzione degli animali. Nel caso di avvistamento di mammiferi marini, le attività saranno interrotte fino all'allontanamento degli animali.

1.7.2 Impatti potenziali della perforazione geotermica.

Le attività di perforazione geotermica avranno una durata di circa 3 mesi durante i quali non si prevedono impatti tali da modificare l'ambiente, considerata anche la breve durata delle operazioni. I principali effetti potenziali sono attesi, in primo luogo, sull'atmosfera e l'idrosfera e, in secondo luogo, sull'ecosistema marino e sul paesaggio.

Impatti potenziali sull'atmosfera.

Impatti potenziali sull'atmosfera sono rappresentati, in primo luogo, dalle emissioni in aria dei motori dell'impianto di perforazione e dei mezzi di supporto (SO_2 , NO_x , CO, idrocarburi, polveri totali) e, in secondo luogo, dai gas incondensabili contenuti nel fluido geotermico portato in superficie (H_2S , As, Rn, Sb, Hg). Tali emissioni saranno disperse in aria. Le strutture di perforazione sono dotate, in prossimità della testa rotante, all'uscita del fango dai vibrovagli, al piano sonda, ai *preventers*, alle vasche di raccolta e lungo tutto il circuito fango di sensori di gas collegati con sistemi di allarme acustico che si azionano quando viene superata la concentrazione di 10 ppm per H_2S , per esempio. Questo è un limite di soglia stabilito dall'ACGIH (*American Conference of Governmental and Industrial Hygienist*) e rappresenta una concentrazione media ponderata (per una giornata di 8 ore per 40 ore settimanali) a cui i lavoratori possono essere esposti giornalmente senza effetti negativi. Segnalatori visivi del tipo a luci lampeggianti ed indicatori della direzione del vento sono presenti sulla piattaforma per meglio localizzare, nel caso ci sia la necessità, la via da seguire per l'abbandono immediato.

I "gas serra", come CO_2 e NO_x , avranno un contributo estremamente piccolo.

Emissioni da serbatoi non sigillati, operazioni di manutenzione, test dei sistemi antincendio e altre pratiche di gestione delle attività di perforazione *offshore* avranno importanza trascurabile.

Per il controllo delle emissioni in atmosfera e il mantenimento degli standards di qualità dell'aria si prevede un monitoraggio delle concentrazioni atmosferiche delle sostanze inquinanti e la realizzazione di modelli di trasporto atmosferico degli stessi.

Impatti potenziali sull'idrosfera.

I maggiori impatti potenziali sull'idrosfera provocati dalle attività di perforazione geotermica sul vulcano sottomarino Marsili sono legati all'impiego delle seguenti sostanze:

- acque sanitarie;
- acque di raffreddamento;

- fluidi per il controllo solidi (*cuttings*);
- fluidi di perforazione;
- malte cementizie.

Gli scarichi idrici possono essere ricondotti ad attività legate alla gestione dell'impianto navale o della piattaforma semisommersibile, in quanto, durante tutte le fasi della perforazione non vengono scaricati a mare né fanghi né acque di strato, che vengono trasportate a terra per il trattamento e il successivo smaltimento in discarica. L'impianto di perforazione *offshore* è dotato di un sistema di drenaggio e contenimento onde per impedire qualsiasi sversamento in mare di acque piovane contaminate e fluidi di perforazione. Questi rifiuti vengono raccolti in cassonetti e trasferiti a terra per il successivo smaltimento finale. I detriti di perforazione sono anch'essi raccolti in cassonetti e trasferiti a terra per il trattamento e lo smaltimento finale.

I reflui civili, prima di essere scaricati in mare, vengono trattati chimicamente.

La testa pozzo, montata a fondo mare, è dotata di apparecchiature di sicurezza (BOP) per prevenire eruzioni improvvise di fluidi di strato. Queste apparecchiature vengono montate in numero e tipo tali da garantire la tenuta idraulica sulla pressione esercitata dai fluidi di strato con tutta l'attrezzatura che si può avere in pozzo al momento dell'eruzione ed anche con pozzo senza attrezzatura. Il loro numero e la sequenza di montaggio sono tali da consentire in caso di malfunzionamento di una di queste, di poter impiegare quella montata in successione.

Gli elementi e i composti chimici contenuti nei fluidi portati in superficie a seguito dell'estrazione di fluidi geotermici, siano essi costituenti maggiori o minori e in tracce, non vengono in alcun modo scaricati a mare ma vengono rimossi sia dalla reiniezione dei fluidi nel sottosuolo sia dalla diluizione in atmosfera dei reflui gassosi.

L'impianto di perforazione *offshore* sarà ovviamente dotato delle seguenti misure di prevenzione degli impatti:

- tutti i piani di lavoro sono provvisti di drenaggi che impediscono qualsiasi fuoriuscita in mare e raccolgono le acque piovane, di lavaggio impianto e gli eventuali sversamenti di fluidi di perforazione in apposite vasche;
- tutte le vasche sono periodicamente svuotate e i rifiuti trasportati a terra agli idonei recapiti per lo smaltimento;
- sala macchine, zona pompe, zona motori e tutte le zone in cui sono possibili sversamenti di oli lubrificanti sono dotate di sentina per la raccolta di liquidi oleosi;
- i detriti perforati sono separati dal fluido di perforazione ai vibrovagli, raccolti in una coclea ed inviati a cassonetto di raccolta da rimpiazzare quando pieno, per essere poi inviati a terra;
- i rifiuti a bordo sono raccolti in cassonetti e periodicamente trasportati a terra.

Impatti potenziali sugli organismi e sugli ecosistemi marini.

La perforazione può provocare un incremento di rumore. Le campagne sperimentali in mare hanno evidenziato che il rumore che si determina nelle vicinanze di un impianto di perforazione è pari a 98 dB a fronte di un valore medio in assenza di sorgenti sonore pari a 76 dB. Il limite normativo è fissato in 114 dB (D.M. 588/1987), per cui l'incremento di rumore, considerata la limitata durata delle operazioni di perforazione e la modesta estensione dell'area interessata, non dovrebbe causare effetti significativi sulla fauna marina.

Impatti potenziali sul paesaggio.

Le strutture localizzate al largo non sono visibili dalla costa e risultano poco percepibili in mare aperto.

La Tabella 10 riassume gli elementi presi in considerazione per una valutazione di impatto ambientale preliminare delle operazioni di perforazione sul vulcano

sottomarino Marsili. Nella Tabella 11 sono espresse le principali voci di impatto ambientale.

Tabella 10 : Criteri per la valutazione degli impatti potenziali legati all'attività di perforazione geotermica sul vulcano sottomarino Marsili.

ATTIVITA'		
Breve descrizione della tipologia di attività		
IMPATTO		
Ambito	Area geografica interessata	Locale, regionale, continentale (L, R, C)
Persistenza temporale dell'impatto	Durata dell'impatto	Breve (minuti-ore), media (giorni-settimane), lunga (mesi-anni), permanente, sconosciuta (B, M, L, P, S)
Intensità dell'impatto	Severità dell'impatto	Bassa, media, alta (B, M, A)
Probabilità di accadimento		Bassa (<25%), Media (25-75%), Alta (>75%) (B, M, A)
Importanza dell'impatto		Bassa, media, alta (B, M, A)
EFFETTI		
Diretto	Descrizione qualitativa degli impatti diretti, indiretti e cumulati dell'attività di perforazione geotermica sul vulcano sottomarino Marsili	
Indiretto		

Tabella 11 : principali impatti ambientali delle attività di perforazione geotermica *offshore*.

Attività	Impatti					Descrizione degli Impatti		
	Ambit o L R C	Persis t. B M L P	Inten s. B M A	Probab · B M A	Import · B M A	Effetti Diretti	Effetti Indiretti	Effetti Cumulat i
IMPATTI POTENZIALI SULL'ATMOSFERA								
Emissioni dell'impianto di perforazione	L - R	M -L	B	A	M	Inquinament o, emissione di "gas serra" e particolati	Inquinamento dell'ecosistem a; impatti sulla salute umana	Contribut o all'inquin amento atmosferi co regionale
Perforazione	L - R	M -L	B	A	M			
Utilizzo delle strutture flottanti di supporto	L -R	M -L	B	A	M			
Rumore	L	M -L	B	A	B	Disturbo alla fauna	Effetti sulla salute umana	Perdita di biodiversità
IMPATTI POTENZIALI SULL'IDROSFERA								
Uso di acque sanitarie	L	M - L	B	A	B	Livelli bassi di rilascio di agenti chimici	Inquinamento dell'ecosistema	Perdita di biodiversità
Scarico di acque di raffreddamento	L	M -L	B	A	B	Limitato incremento di temperatura	Cambiamenti localizzati della vita marina	Trascurabile
Scarichi di acque per il controllo solidi	L	M - L	B	A	B	Piccoli livelli di rilascio di agenti chimici	Cambiamenti localizzati all'ecosistema	Perdita di biodiversità
Fluidi di perforazione	L	M -L	B	A	B			
Recupero dei cuttings	L	M -L	A	A	M - A	Aumento di torbidità; Diminuzione di ossigeno nei sedimenti superficiali	Inquinamento dell'ecosistema; perdita di habitat sottomarini	Perdita di biodiversità
Cementazione	L	M -L	M	A	B			
Perdita di materiale a mare	L	M -L	B - M	B	B	Inquinamento localizzato	Inquinamento dell'ecosistema	Perdita di biodiversità
Rumore	L -R	M -L	B	A	B	Disturbo alla fauna in prossimità del pozzo	Effetti sul comportamento dei mammiferi marini	Aumento del rumore di fondo sottomarino

PRESENZA FISICA DELL'IMPIANTO DI PERFORAZIONE								
Interferenza con altre imbarcazioni	L -R	M	B	B	B	Pericolo per i pescatori e disturbo alle rotte navali	Effetti economici per la pesca e i trasporti	Trascurabili
Disturbo sul fondale	L	M - L	M	A	M	Danneggiamento degli abitat sottomarini	Incremento di torbidità dell'acqua	Perdita di biodiversità