

CAMPO GEOTERMICO EOLIANO

Legge Regionale 3 luglio 2000 n°14

CENTRO GEOTERMICO SICILIANO



CGS – Centro Geotermico Siciliano

Via Barletta 7, 95125 Catania — Tel. 095 2868924

www.centrogeotermicosiciliano.eu info@centrogeotermicosiciliano.eu

Cod. Fisc.: 9318740871

INDICE

1	PREMESSA	4
2	STATO DELLE CONOSCENZE	10
2.1	Inquadramento regionale.....	10
2.2	Riassunto dei dati preesistenti.....	17
2.3	ISOLA DI VULCANO	18
2.3.1	Geologia ed evoluzione strutturale.....	19
2.3.2	Dati di perforazione	22
2.3.3	Dati idrotermali	26
2.3.4	Dati ed interpretazioni geofisiche Sismica.....	29
2.3.5	Gravimetria	30
2.3.6	Aeromagnetometria	33
2.3.7	Interpretazione dati di sismicità.....	36
2.3.8	Rilievi geoelettrici	40
2.3.9	Analisi comparata.....	40
2.4	ISOLA DI LIPARI.....	41
2.4.1	Geologia ed evoluzione strutturale.....	42
2.4.2	Dati di perforazione	42
2.4.3	Dati idrotermali	42
2.4.4	Dati e interpretazioni geofisiche.....	42
2.5	ISOLA DI SALINA	43
2.5.1	Geologia ed evoluzione strutturale.....	43
2.5.2	Dati di perforazione	43
2.5.3	Dati idrotermali	44
2.5.4	Dati e interpretazioni geofisiche.....	44
2.6	CONCLUSIONI	44
3	SICUREZZA E SALVAGUARDIA AMBIENTALE.....	45
3.1	Stima degli Impatti e Misure di Mitigazione.....	45
3.1.1	Fase di esplorazione in superficie	45
3.1.2	Fase di perforazione	45

3.1.3	Fase di coltivazione.....	46
3.1.4	Fase di esplorazione in superficie	47
3.1.5	Fase di perforazione	47
3.1.6	Fase di coltivazione.....	48

1 PREMESSA

Ai sensi del Titolo III, art. 18 coma 2, e art. 19, della Legge Regionale 3 luglio 2000 n°14, **Il Centro Geotermico Siciliano** ha elaborato il presente rapporto ai sensi e nei termini giuridico, tecnici della superiore Legge per il rilascio del permesso ad eseguire ricerche di risorse geotermiche in un'area di estensione pari a 10.240 ettari (102,40 km²), che interessa l'intero territorio delle isole di Panarea - Basiluzzo, Stromboli, Salina, Vulcano e Lipari, in territorio della provincia di Messina, da denominarsi convenzionalmente "**CAMPO GEOTERMICO EOLIANO**".

La richiesta del permesso di ricerca di risorse geotermiche nasce dalla considerazione che l'area in oggetto, alla luce dei numerosi studi e lavori pubblicati in merito alla vulcanologia ed alla geologia delle isole Eolie, presenta prospettive sicuramente positive per sviluppare il progetto di un impianto di produzione di energia elettrica, di tipo modulare, utilizzando il calore della terra a media entalpia, con tecnologie basate su cicli binari ampiamente collaudate.

Altra considerazione di non secondaria importanza, la possibilità di distribuire l'energia elettrica prodotta su una delle tre isole più grandi - Lipari, Salina e Vulcano - nelle altre due. Ciò grazie alla presenza di un elettrodotto, in parte interrato ed in parte sottomarino, tra le isole di Vulcano e di Salina, che passa per Lipari a qualche decina di metri dallo stabilimento della Società Elettrica Liparese, la quale, comunque, non utilizza l'energia prodotta da ENEL sulle altre due isole.

Quindi l'interesse primario dell'iniziativa è quello di individuare risorse geotermiche sulla superficie di queste tre isole, per le quali trova maggiore giustificazione l'impegno di risorse tecniche ed economiche rispetto alle rimanenti isole di Panarea-Basiluzzo e di Stromboli. Anche e soprattutto se si considerano i

valori dei consumi minimi notturni di energia elettrica per i quali è opportuno dimensionare l'impianto.

In prospettiva, su Panarea e Stromboli, dove le utenze attive in inverno sono solo qualche centinaio, potranno essere valutate iniziative di più modesto impegno.

In conclusione, è sulle isole di Vulcano, Lipari e Salina che si è concentrata la nostra attenzione.

In particolare, il nostro primo sito di ricerca è stato individuato sull'isola di Vulcano. Vulcano, tra le isole dell'arcipelago eoliano, è quella che nel corso degli ultimi decenni è stata più monitorata dal punto di vista sismico e delle emissioni di gas, e ciò ci consente di avere una innumerevole serie di dati.

La lettura analitica dei dati geofisici rappresenta un grande valore aggiunto nel programmare le fasi e le tecniche di ricerca.

Il quadro complessivo si presenta pertanto favorevole allo sfruttamento sostenibile della risorsa geotermica.

L'assetto geologico strutturale del sottosuolo deve tuttavia essere indagato con esplorazioni di superficie, prima, e con la perforazione di pozzi esplorativi poi.

Il rinvenimento della risorsa, alla luce dei miglioramenti dei rendimenti recentemente ottenuti dai costruttori di impianti a fluido intermedio (Ciclo Rankine - ORC) permetteranno la produzione di energia elettrica con l'estrazione di calore dal fluido geotermico, e la successiva reiniezione, a costi accettabili.

L'idea che sottende il presente progetto è pertanto quella di identificare, attraverso la ricerca, la localizzazione in aree ristrette di siti potenzialmente adatti ad uno sfruttamento di risorse geotermiche a media entalpia.

Quindi, l'obiettivo minerario consiste nel: perforare pozzi produttivi a profondità

comprese tra 400 e 1000 m dal piano campagna, con obiettivo di reperire acqua calda a circa 160 - 220°C; o rocce con temperature elevate sfruttare il calore del fluido in un ciclo Rankine per produrre energia elettrica; reiniettare il fluido geotermico nel sottosuolo attraverso pozzi di reiniezione.

La quantificazione delle risorse che si andranno a reperire, in termini di portata e di temperatura del fluido, e quindi di potenza termica disponibile, sarà determinata a seguito delle prove in situ nei pozzi esplorativi che si realizzeranno.

La presente iniziativa di ricerca mira, comunque, ad accrescere le conoscenze pregresse attraverso prospezioni geofisiche, valutazioni geochemiche e geologiche strutturali. Il proponente, fin da ora, si impegna a fornire alla comunità scientifica tutti i dati della ricerca sia in progress che nell'eventuale fase di operatività dell'impianto.

Successivamente, in caso di esito positivo della ricerca, il progetto proseguirà con la fase di richiesta di concessione dell'utilizzo delle risorse geotermiche ai fini di produzione di energia elettrica.

L'obiettivo finale è rappresentato dalla realizzazione di una centrale di produzione di energia elettrica, modulare, a ciclo binario, di potenza non superiore a quella necessaria a coprire i consumi di energia elettrica del giorno dell'anno di minor consumo, nelle isole di Vulcano, Lipari e Salina, quantificata pari complessivamente a circa 5 MW.

Questo tipo di impianto sarà costituito da 1-2 pozzi di produzione e da 1-2 pozzi di reiniezione.

La tecnologia impiegata, essenzialmente a circuito chiuso, evita l'immissione in atmosfera ed in idrosfera di qualsiasi inquinante gassoso o liquido, mantenendo il fluido geotermico sempre isolato dall'esterno durante tutto il ciclo produttivo.

Infatti, il fluido geotermico viene prelevato dall'acquifero mediante una pompa di estrazione, fatto passare in uno scambiatore di calore e reimpresso nel sottosuolo senza alcuna altra variazione, salvo l'estrazione di parte del calore in esso contenuto.

Il calore del fluido geotermico viene utilizzato per scaldare un altro liquido, chiamato fluido di lavoro, che possiede una temperatura di ebollizione più bassa dell'acqua.

In seguito al riscaldamento ricevuto, il fluido di lavoro vaporizza e la forza di espansione del vapore fa muovere le turbine che alimentano i generatori di corrente elettrica.

I fluidi geotermici, quindi, non entrano mai in contatto con l'atmosfera e vengono reiniettati nel sottosuolo al 100%.

In maniera schematica, la fig.1 mostra la tipica disposizione e le fasi di un impianto a ciclo binario.

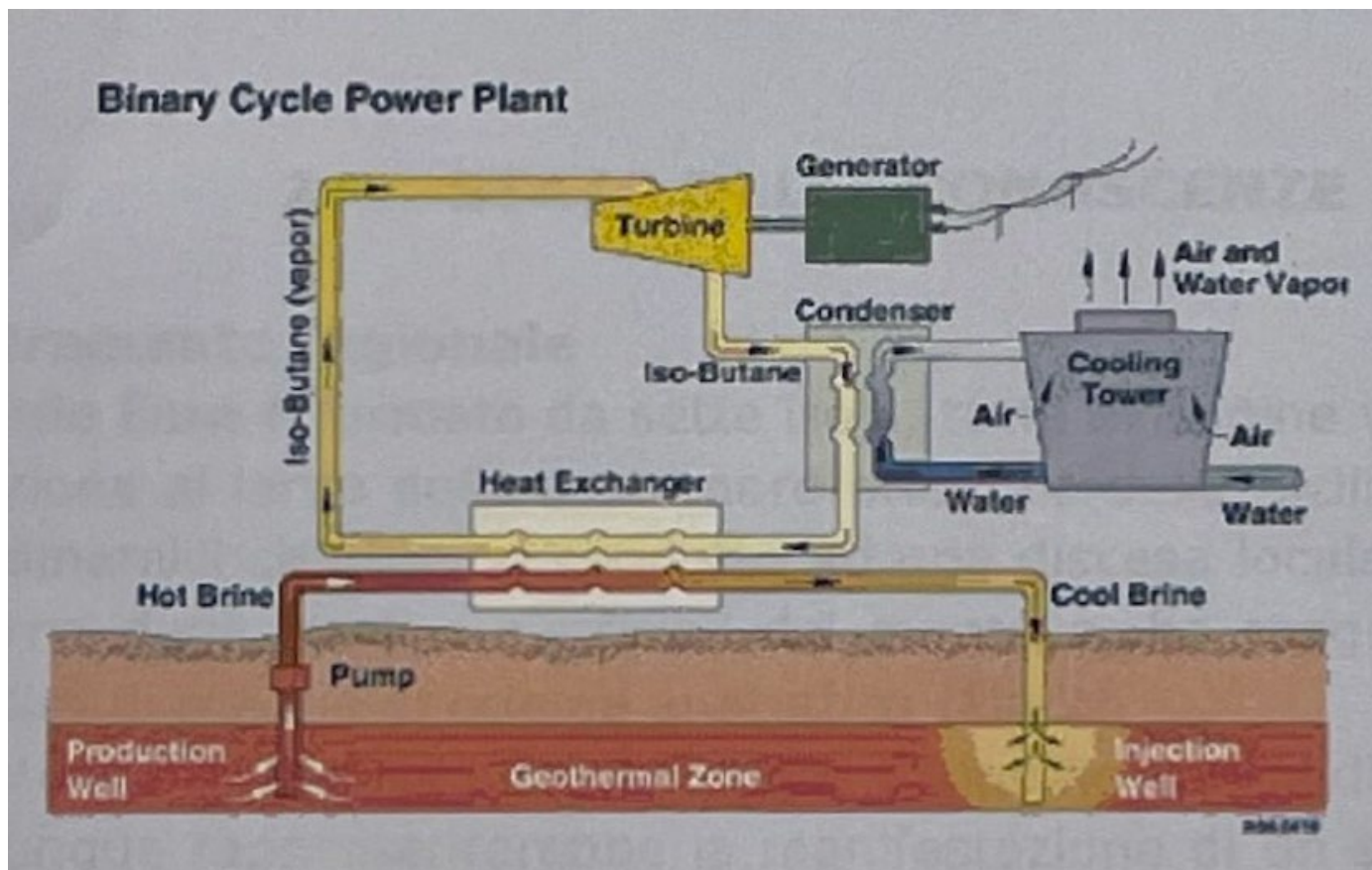


Fig. 1

Questo sistema a doppio circuito chiuso presenta il duplice beneficio di ridurre le emissioni praticamente a zero e di mantenere costante la ricarica del serbatoio geotermico dal punto di vista idraulico, condizione fondamentale per la corretta gestione della risorsa geotermica a lunghissimo termine, e per la sostenibilità finanziaria dell'investimento.

Se pur monitorato continuativamente in tutti i suoi parametri fondamentali, anche da remoto, il funzionamento e la gestione diretta dell'impianto produrrà la creazione di nuove professionalità e maestranze locali, concorrendo allo sviluppo

socio-economico delle Eolie.

Infine, il fatto che le Eolie siano inserite nella lista World Heritage dell'Unesco rafforza l'obiettivo di concorrere alla tutela ambientale di questi luoghi eliminando l'inquinamento diretto ed indiretto dovuto all'approvvigionamento ed alla combustione del gasolio nei gruppi elettrogeni delle tre isole maggiori.

In termini di CO₂, bisogna considerare che per produrre un kWh elettrico vengono bruciati, mediamente, l'equivalente di 2,56 kWh sotto forma di combustibili fossili, e di conseguenza vengono emessi nell'aria circa 0,53 kg di CO₂.

Pertanto, ogni kWh prodotto da un sistema geotermico evita l'emissione di 0,53 kg di CO₂.

Quindi, ipotizzando 8.000 ore all'anno di funzionamento regolare dell'impianto, al netto delle ore di fermo per le attività manutentive, la produzione di 5.000 kW di energia elettrica da fonte geotermica significa evitare, ogni anno, una emissione di CO₂ pari a: $(5.000 \times 8.000 \times 0,53) / 1000 = 21.200$ tonnellate di CO₂

Un impianto fotovoltaico costituito da pannelli piani su terreno, per raggiungere questo valore di CO₂ evitata, dovrebbe avere una potenza installata di circa 27 MW ed impegnare una superficie di circa 500.000 mq.

L'eventuale impianto geotermico da 5 MW, invece, impegnerà una superficie di circa 2.000 mq.

2 STATO DELLE CONOSCENZE

2.1 Inquadramento regionale

L'arcipelago delle Eolie è formato da sette isole, tutte di origine vulcanica. La loro formazione al largo della costa nord-orientale della Sicilia è legata a complessi fenomeni geodinamici che hanno condotto ad una discesa locale di crosta oceanica, la quale, all'interno degli strati superficiali del mantello, ha raggiunto la fusione dando luogo alla risalita di magmi di origine anatettica (Fig. 2).

Questa è una delle ipotesi più recenti circa il significato geodinamico dell'Arcipelago Eoliano che dunque rappresenterebbe la manifestazione di un sistema tipo arco-fossa con subduzione del fondo del Mar Tirreno, in oceanizzazione, al di sotto di una delle microplacche continentali che costituiscono un complicato intreccio nel Mediterraneo Centrale.

Come si nota in Fig.4, le isole Eolie costituiscono la parte sopra il livello del mare di un vasto sistema di vulcani sommersi, tuttora in parte in attività, il .così detto arco eoliano sommerso, con un caratteristico vulcanismo sottomarino.

Tali magmi, per le condizioni tettoniche dell'area in cui sono risaliti, e per le loro peculiari qualità fisico-chimiche, hanno dato luogo alla formazione di isole vulcaniche.

Recentemente, ai movimenti orogenetici di tipo normale, si è sovrapposta una tettonica di rottura con direzione delle fratture più o meno perpendicolari all'incurvatura dell'arco insulare.

Le fratture, o meglio le zone fratturate, causate da questa tettonica più recente, sono servite come via di ascesa a magmi più o meno profondi che hanno dato luogo a diversi vulcani recenti: Stromboli (Sciara del Fuoco), Lipari (Monte Pelato - eruzione del VI secolo), Vulcano (eruzioni relativamente frequenti - ultima nel 1888) e Vulcanello (ultima eruzione nel XVI secolo).

Questi vulcani, da considerarsi ancora attivi, presentano, nella maggior parte dei casi, dei magmi particolari di tipo shoshonitico.

Essi, che con molta probabilità hanno subito, durante la loro risalita, dei processi di differenziazione, contaminazione, etc., mostrano caratteristiche differenti da quelle tipicamente cratoniche (di tipo basico più o meno alcalino) dell'Etna, di Ustica e dei Monti Iblei, ma anche da quelle tipicamente orogeniche di tipo cale-alcalino dei primi magmi eoliani.

Secondo alcuni autori la tendenza shoshonitica dei prodotti vulcanici più recenti di Stromboli e Vulcano, rispetto alle vulcaniti più antiche delle altre isole, potrebbe essere causata da un incremento dell'inclinazione del piano di Benioff.

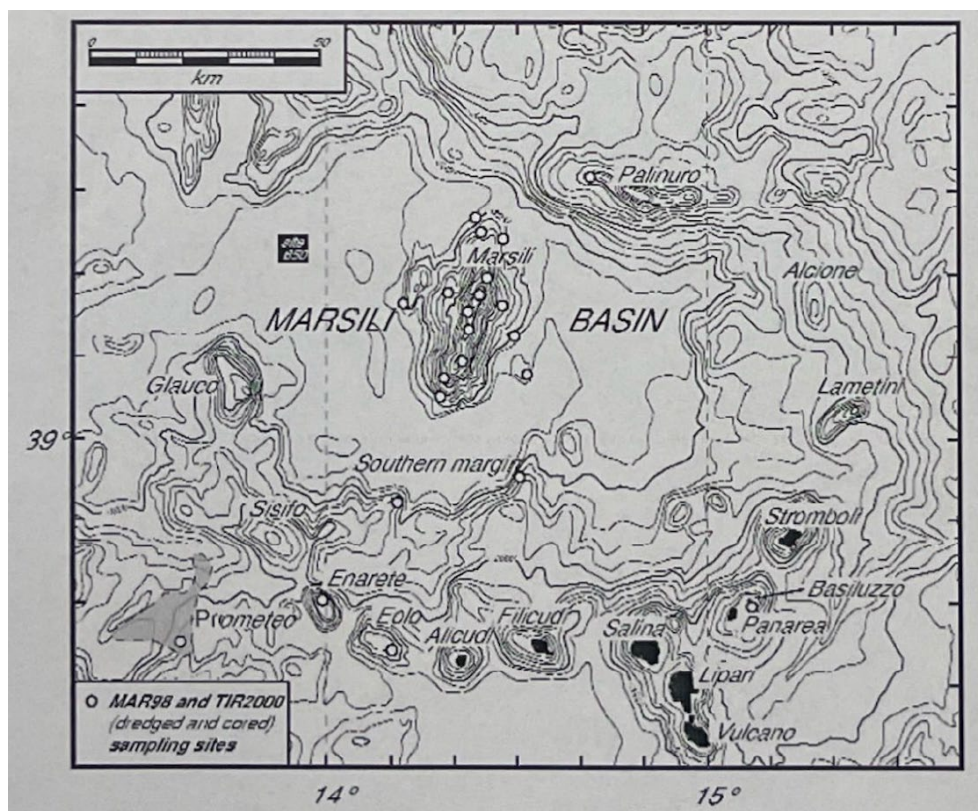


Fig. 2 Rappresentazione dei fondali del Mar Tirreno, Isobate 200 m.

Da un altro canto, il contenuto relativamente anomalo di potassio dei magmi tipicamente calcalcalini dell'arco insulare eoliano può essere spiegato pensando che nella fusione di porzioni inferiori della crosta continentale siano state coinvolte parti più o meno cospicue di sedimenti e/o di frammenti di crosta.

Il minor tenore di potassio che si nota negli archi insulari circum-pacifici, rispetto all'arco insulare eoliano, viene spiegato con il fatto che i primi sono privi della parte superficiale, ricca di sedimenti, della crosta continentale.

È interessante come la zona fratturata su cui sono impiantati i centri eruttivi di Lipari recente, Vulcano e Vulcanello, sembra estendersi fino alla Sicilia settentrionale, con una struttura denominata "faglia di Tindari - Letojanni", dove sono state riscontrate delle manifestazioni gassose (Capo Calavà). A questo proposito bisogna rilevare che le manifestazioni fumaroliche che si riscontrano nella parte occidentale dell'isola di Lipari, si trovano lungo una fessura che presenta un andamento identico.

Lungo questo allineamento si nota una forte alterazione delle rocce (caolinizzazione) e si riscontrano depositi di zolfo ed altri sublimati fumarolici oltre a temperature relativamente elevate.

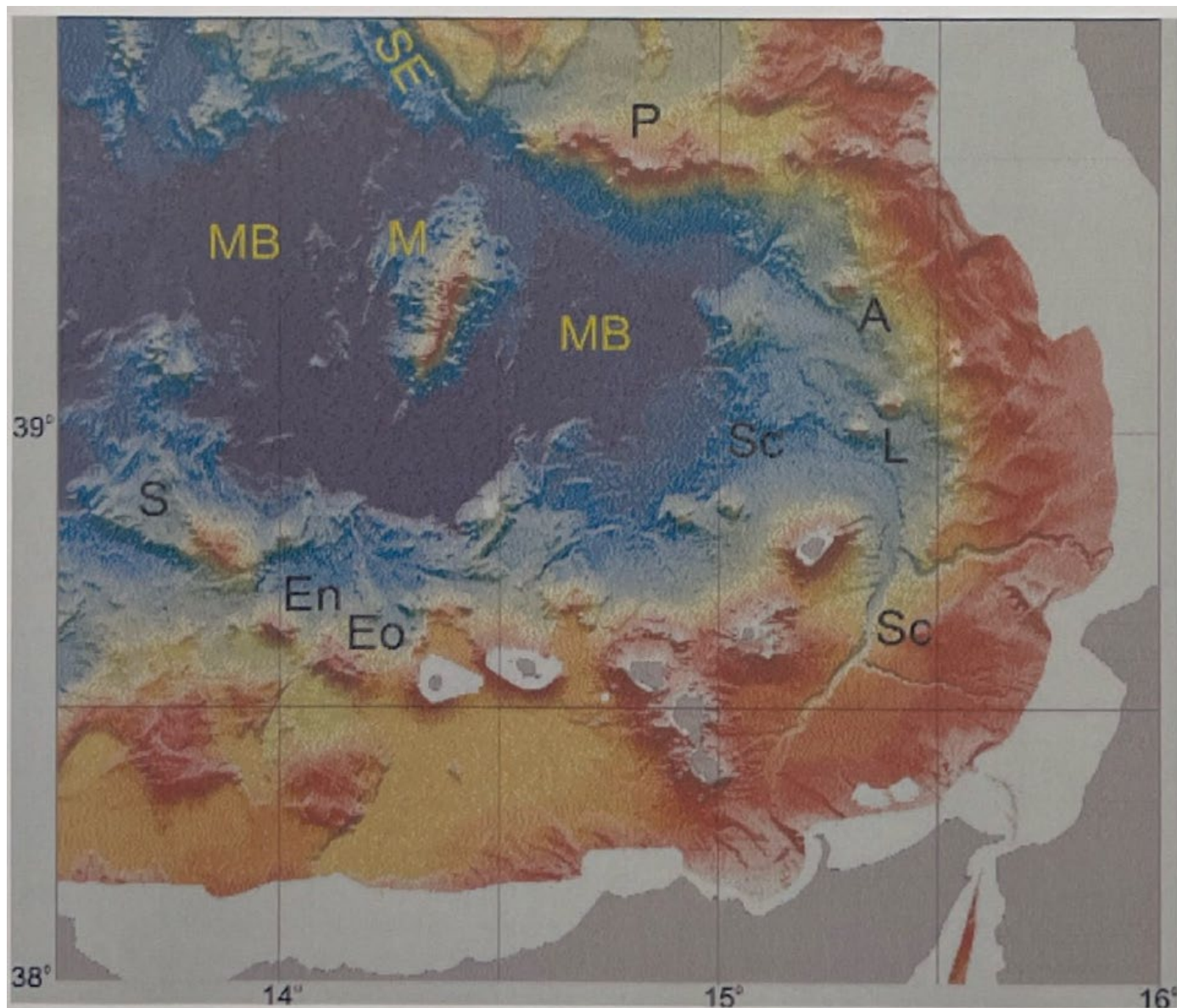


Fig. 3 Rappresentazione strutturale dell'arcipelago eoliano

Bisogna notare, infine, che in genere molte delle fratture e delle faglie che si rinvencono nelle isole Eolie hanno direzioni molto simili tra di loro e sono sempre più o meno ricollegabili alle direttrici summenzionate.

La complessa storia geodinamica dell'area tirrenica, in continua e recente

evoluzione tettonica, è messa in evidenza nella Fig. 3: l'arcipelago eoliano si trova a margine di un complesso sistema vulcanico che interessa l'Italia centro meridionale, di vulcani attivi o considerati tali, Fig. 4.

Recentemente è stata prodotta una mappa dei flussi di calore che comprende l'Italia meridionale. È ben visibile nella Fig. 5 la identificazione di un picco in sovrapposizione con l'arcipelago eoliano.

È per questo motivo che l'arcipelago eoliano riveste particolare interesse per la ricerca di risorse geotermiche.

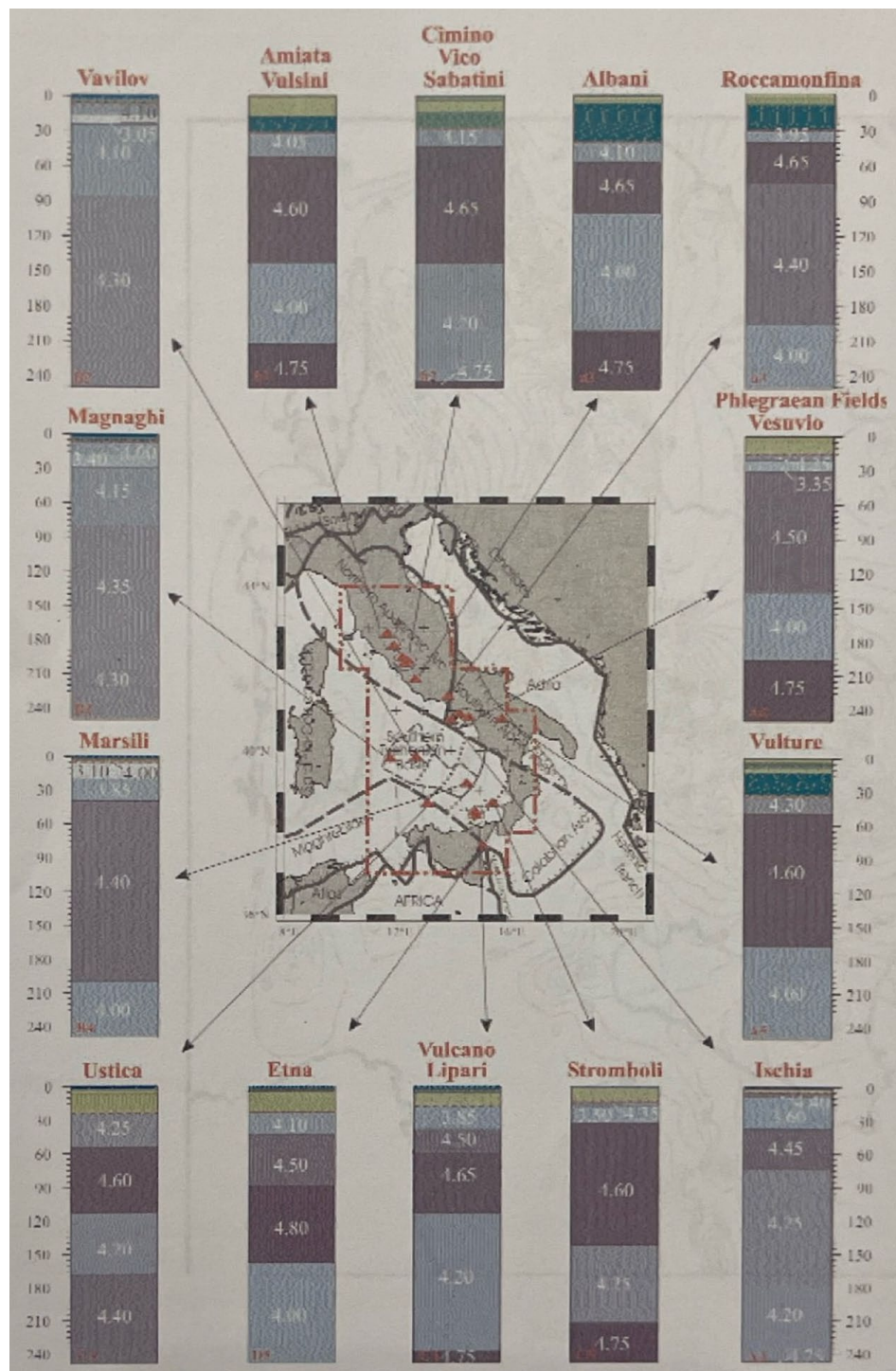


Fig. 4 Vulcani e datazione delle manifestazioni (In verde manifestazioni recenti e

storiche)

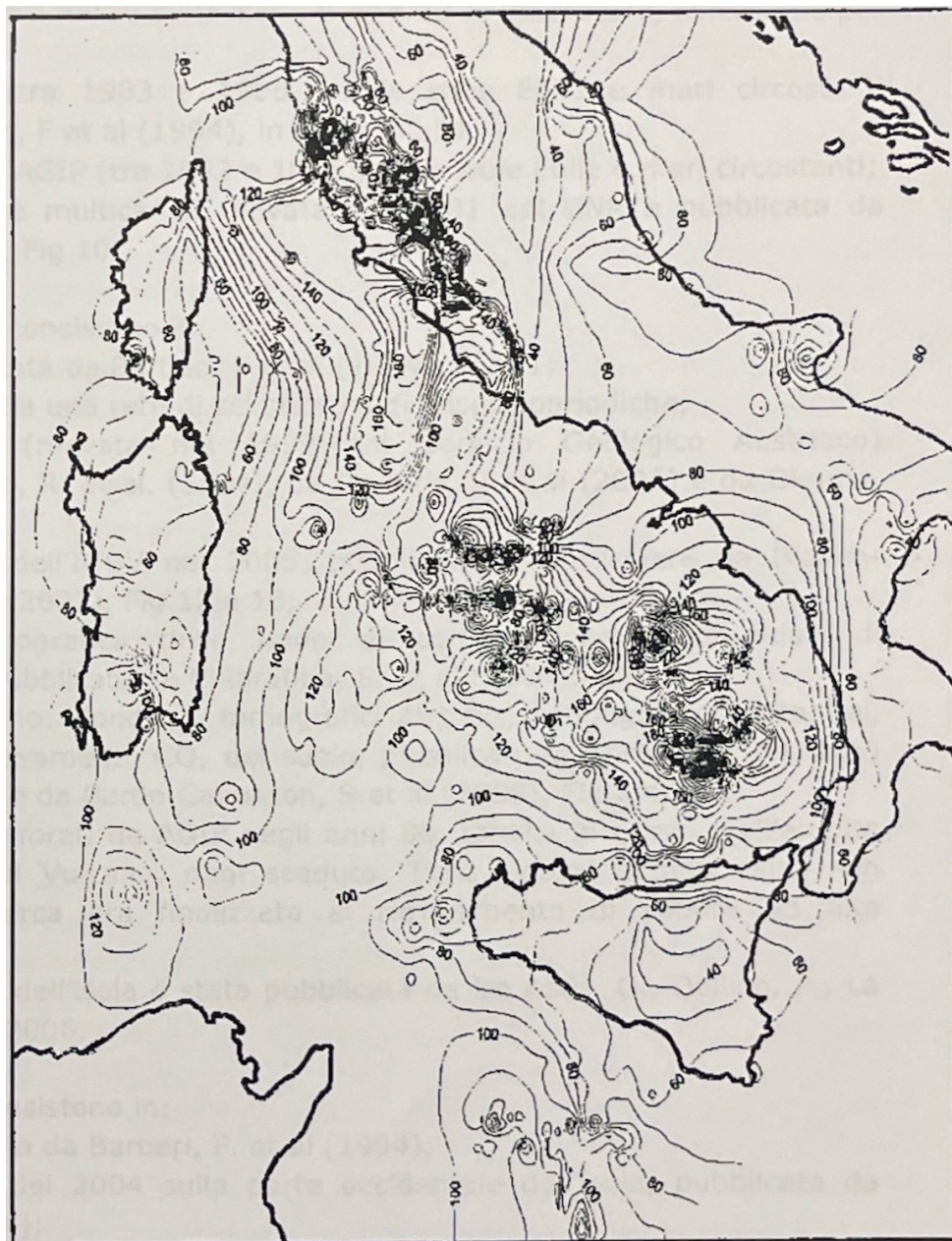


Fig. 5 Mappa interpretazione geodinamica del flusso di calore in (m W m^{-2}) - Valore dell'equidistanza (10 mW m^{-2})

2.2 Riassunto dei dati preesistenti

In aggiunta ai dati di carattere regionale relativi alla zona del Tirreno Meridionale, i dati geofisici principali recenti mirati sulle isole, e ricavati in letteratura, consistono per le Isole Eolie in: Gravimetria, AGIP (tra 1983 e 1986), delle isole Eolie e mari circostanti pubblicata da Barberi, F et al (1994), in parte Fig. 11 Aeromagnetometria, AGIP (tra 1983 e 1986), delle isole Eolie e mari circostanti; Sismica di riflessione multicanali rilevata nel 2001 dal CNR e pubblicata da Argnani et al (2007), Fig. 10.

I dati geofisici per Vulcano consistono in:

- Gravimetria ripubblicata da Barberi, F et al (1994), Fig. 11; Gravimetria: l'INGV ha una rete di sei stazioni di misure periodiche;
- Aeromagnetometria (rilevata nel 1999 dal Servizio Geologico Austriaco) pubblicata da Supper, R. et al. (2004), da De Ritis, R et al (2005) e da Okuma, S. et al (2006);
- Aeromagnetometria dell'INGV nel 2005, pubblicata in particolare da Bianco- Montenegro, I. et al (2007), Fig. 12 e 13;
- Interpretazione tomografica delle onde di compressione P dai dati di sismometria locale pubblicata da Chiarabba, S. et al (2004), Fig. 14;
- Sulla Fossa di Vulcano: Sondaggi tomografici elettrici, sondaggi self-potential, temperatura e degassamento CO₂ del suolo, pubblicati da Camarda, M (2005) Revil, A et al (2008) e da Barde-Cabusson, S et al (2009), Fig. 8 e 9.
- Cinque pozzi sono stati perforati da AGIP negli anni 80, tabella in basso, nell'ambito del permesso di ricerca di Vulcano, oggi scaduto. Tutti i pozzi

ebbero esito non produttivo, perché la ricerca era finalizzata al ritrovamento di vapore ad alta pressione.

- Una nuova carta geologica dell'isola è stata pubblicata da De Astis, G., Dellino, P., La Volpe, L., Tranne, C.A. nel 2006.

I dati geofisici per Lipari consistono in:

- Gravimetria pubblicata da Barberi, F. et al (1994);
- Aeromagnetometria del 2004 sulla parte occidentale dell'isola, pubblicata da Supper, R et al (2004);
- Microgravimetria, geoelettrica, sismica di riflessione e di rifrazione, da Bruno,
- P.P.G. (2000), alla Fossa di Fuardo e alla Terme di San Calogero.

I dati geofisici per Salina consistono in:

- Gravimetria pubblicata da Barberi, F. et al (1994);
- Dati aeromagnetici dell'INGV del 2003 e 2005 pubblicati da De Ritis, R et al (2007).
- Elementi strutturali

L'allineamento Vulcano-Lipari-Salina è una dorsale vulcanica sottomarina di 1000 m di dislivello, di orientamento NNW-SSE sullo slope della crosta continentale. L'attività vulcanica si è mossa da Salina (430-13 ka), a Lipari (223 ka - 580 della nostra era) e Vulcano (113 ka a 1890 d.C.) (Ventura, G. et al, 1999).

2.3 ISOLA DI VULCANO

L'isola di Vulcano è la più meridionale delle sette isole Eolie, con una superficie

di 22 km² ed è un vulcano attivo insieme allo Stromboli. Si compone interamente di colate di lava e di piroclastici con quattro centri vulcanici da sud a nord (Keller, 1980): la caldera del Piano; il centro di Lentia, la Caldera della Fossa; la Fossa di Vulcano; il centro di Vulcanello. I materiali dell'isola sono potassici con una mineralogia della serie magmatica shoshonitica {Faraone, D et al, 1986}.

2.3.1 Geologia ed evoluzione strutturale

L'origine dell'isola è costituita dallo sviluppo subaereo del cosiddetto stratovulcano primordiale (da 120 a 98 ka) con affioramenti di lave di trachandesiti e trachibasalti nella parte meridionale dell'isola, Fig. 6.

Il crollo del vulcano fu seguito dallo sviluppo, all'interno della caldera, del vulcano del Piano (99 - 20 ka) con colate laviche di 150 - 170 m nella vecchia caldera, seguite da piroclastiti e scorie (Bianco-Montenegro, I. et al., 2007). Questi prodotti sono essenzialmente basalti shoshonitici e tefrite a leucite.

Tra SO e 20 ka l'attività tettonica formò la parte meridionale della caldera della Fossa. Il periodo da 78 a 15,5 ka è caratterizzato da una fase di piroclastiti trachibasaltici nell'area della caldera della Fossa e di Vulcanello. I prodotti sono scorie e depositi idromagmatici intercalati con depositi di cenere idromagmatiche e lapilli.

Il complesso di Lentia testimonia di un'attività vulcanica nel nord-ovest dell'isola, tra 24 e 15 ka con lave riolitiche e trachitiche e il crollo tra 15,5 e 7,3 ka della caldera della Fossa. Questa fu riempita da una spessa serie di piroclastiti e di lave erette da 15 e 8 ka (le colonne litografiche dei margini ovest e nord della caldera sono descritte nei pozzi IV1 e VP1).

Negli ultimi 5,5 ka si è creato nel centro della depressione il cono di 391 m della Fossa composto da prodotti piroclastici e poche lave. In affioramento si trovano

trachite e riolite. Il cono è tuttora attivo.

All'estremo nord dell'isola, nel 183 d.C. si formò Vulcanello, costituito da lave tefritiche.

Tre sistemi di faglie caratterizzano l'isola: la direzione trascorrente NW-SE, connessa all'allineamento regionale di Tindari-Letojanni), faglie normali N-S e NE-SW fiancheggiano le depressioni delle caldere. Questi orientamenti e l'analisi del regime di stress suggeriscono una struttura in pull-apart insieme all'isola di Lipari (Ventura, G et al, 1999).

Le direzioni strutturali hanno controllato la migrazione dell'attività vulcanica dal SE al NW con le fase corrispondenti al vulcano Primordiale, le caldere di Piano e della Fossa e degli ultimi 2000 anni una direzione N-S con spostamenti del cratere della Fossa e Vulcanello.

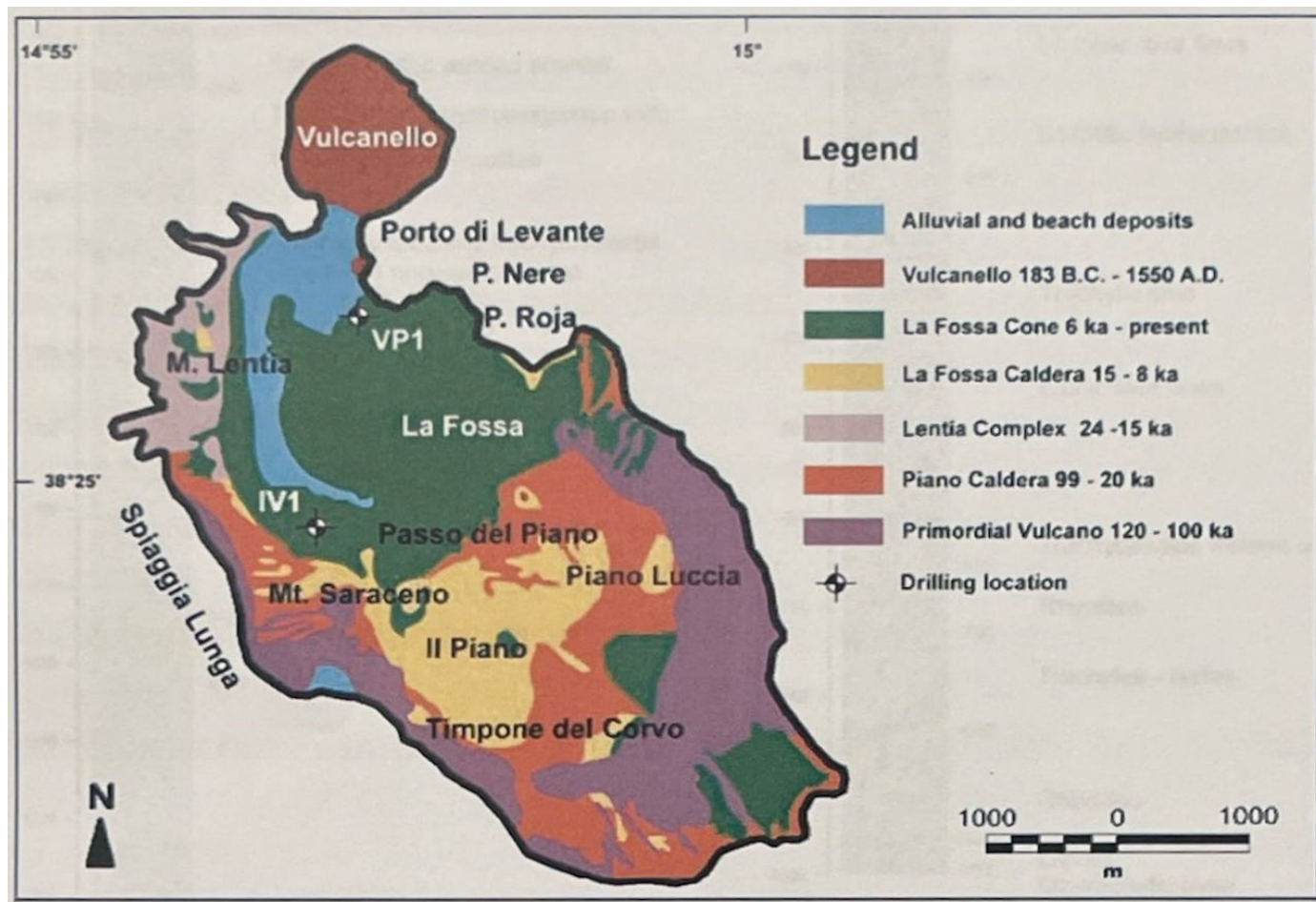


Fig. 6: Carta geologica semplificata dell'isola di Vulcano con l'ubicazione dei prodotti vulcanici delle fasi descritte nel testo e l'ubicazione dei pozzi VP1 e IV1 (Bianco-Montenegro, I. et al., 2007)

2.3.2 Dati di perforazione



Fig. 7: Ubicazione dei pozzi AGIP

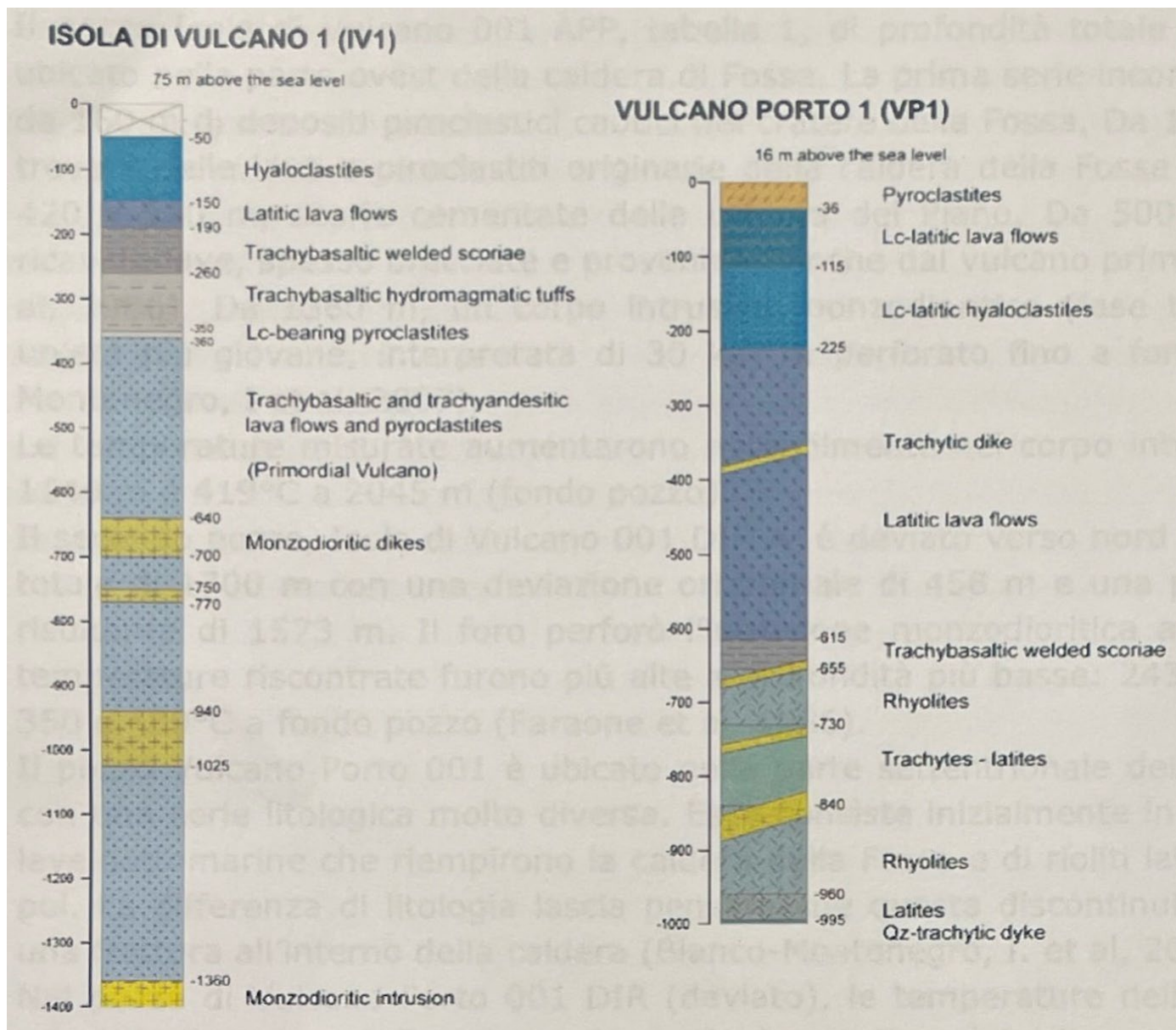


Fig. 8: Colonna litologica nei pozzi AGIP dell'isola di Vulcano IVI e Porto di Vulcano PVI, perforati sui margini rispettivamente ovest e nord della caldera della Fossa (Bianco-Montenegro, I. et al., 2007).

Solo due colonne litologiche sono state trovate, Fig. 8. I logs non sono disponibili. L'ubicazione dei pozzi è indicata in Fig. 7.

Pozzi AGIP	Isola di Vulcano			Vulcano Porto	
	001	001 APP	001 DIR A	001	001 DIR A
Abbreviazione	IV1			VP1	
Codice	349	350	351	943	944
Anno	1983	1984	1984	1987	1987
Fondo foro tot. (m)	1 443	2 045	1 700	994	427
Deviazione or. (m)			458		
Fondo foro vert. (m)			1573		
Longitudine (E)		02°30'17,00"(*)	02°30'26,00"		02°30'26,00'
Latitudine (N)		38°24'46,00"(*)	38°24'46,00"		38°24'46,00"
Colonna	Fig 8			Fig 8	
Stratigrafica					

Tabella 1: Dati sui 5 pozzi AGLP(*) Faraone, D et al (1986)

Il pozzo Isola di Vulcano 001 APP, tabella 1, di profondità totale pari a 2045 m, fu ubicato nella parte ovest della caldera di Fossa. La prima serie incontrata era costituita da 160 m di depositi piroclastici caotici del cratere della Fossa. Da 160 a 420 m furono trovate delle lave e piroclastiti originarie della caldera della Fossa (78-15,5 ka) e da 420 a 500 m, scorie cementate della caldera del Piano. Da 500 a 1360 m furono ricavate lave, spesso brecciate e provenienti anche dal vulcano primordiale (Faraone et al, 1986). Da 1360 m, un corpo intrusivo monzodioritico (fase trachibasaltica, con un'età più giovane, interpretata di 30 ka) fu perforato fino a fondo pozzo (Bianco- Montenegro, I et al, 2007).

Le temperature misurate aumentarono notevolmente nel corpo intrusivo, da 112°C a 1140 m a 419°C a 2045 m (fondo pozzo).

Il secondo pozzo, Isola di Vulcano 001 DIR A, è deviato verso nord con una

profondità totale di 1700 m con una deviazione orizzontale di 458 m e una profondità verticale risultante di 1573 m. Il foro perforò l'intrusione monzodioritica a circa 1160 m. Le temperature riscontrate furono più alte a profondità più basse: 243°C a 1338 m e tra 350 e 400°C a fondo pozzo (Faraone et al. 1986).

Il pozzo Vulcano Porto 001 è ubicato nella parte settentrionale della caldera di Fossa con una serie litologica molto diversa. Essa consiste inizialmente in 500 m di clastiti e lave sottomarine che riempiono la caldera della Fossa e di rioliti latitiche da 640 m in poi. La differenza di litologia lascia pensare che questa discontinuità sia originata da una frattura all'interno della caldera (Bianco-Montenegro, I. et al, 2007).

Nel pozzo di Vulcano Porto 001 DIR (deviato), le temperature della Tabella 2 furono misurate dopo tempi di sosta molto corti ad eccezione del primo. Le temperature sono notevolmente più alte di quelle misurate nei pozzi IV 001 e IV 001 DIR A.

Profondità (Metri)	Litologia	Temperatura (°C)	Tempo di misura (ore)
77	Lava compatta	46	
95	Ceneri	128	17
150	Tufi Compatti	68	2
185	Tufi	81	2
192	Lave	113	3
204	Sabbie Vulcaniche	120	4
211,40	Lave	139	4
230	Lave	194	3

Tabella 2: Temperature riscontrate nel pozzo Vulcano Porto 001 DIR A

I valori delle temperature nei pozzi rimangono incerte: le loro condizioni di misura non sono conosciute o sono state eseguite dopo tempi di sosta troppo brevi. In tal caso, i valori possono essere sottostimati del 20-30% rispetto a quelli delle falde, a causa dei fanghi di circolazione delle cementazioni provvisorie per la tenuta del foro, e a causa dei rivestimenti metallici di contenimento della perforazione.

2.3.3 Dati idrotermali

L'origine delle acque idrotermali sull'isola è interpretata come magmatica e marina da Paonita, A. et al (2002) e (Capasso, G. et al, 2001). Secondo l'interpretazione di dati geochimici e geofisici, al di sopra del magma, un sistema idrotermale attivo è presente a 500 - 1000 m di profondità slm, sotto la caldera della Fossa (Chiodini et al., 1992 e Berrino, 2000).

Alla Baia di Levante, a nord del cono e sul bordo della caldera, le fumarole hanno una temperatura più bassa, di 100°C o meno (Bianco-Montenegro, I. et al, 2007). L'analisi dei gas dissolti in campioni di acqua intorno a Vulcano Porto indica la presenza di un secondo acquifero sotto la baia di Levante con una temperatura di 195°C (Capasso, G. et al, 2001).

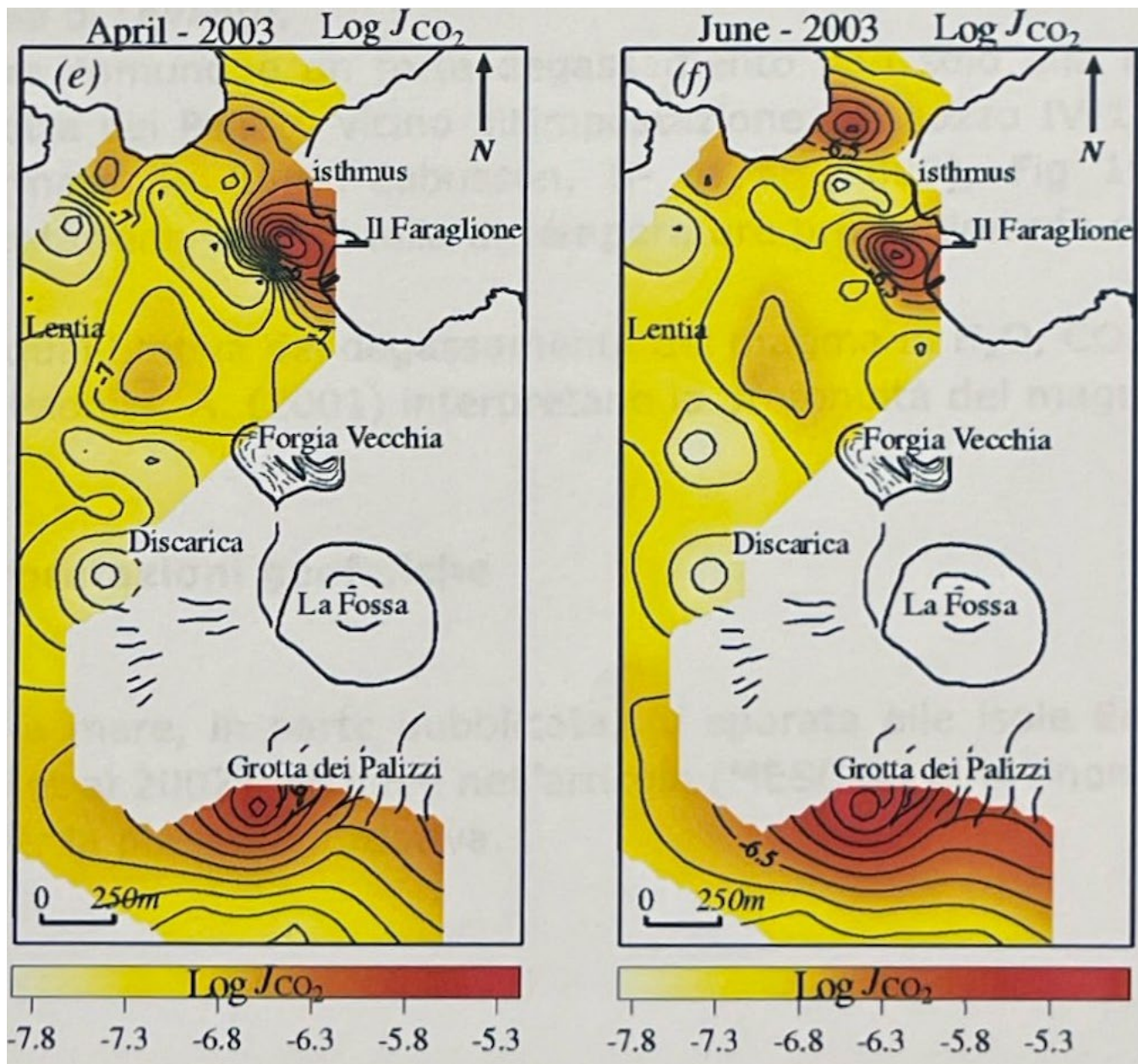


Fig. 9: Degassamento di CO₂ del suolo intorno al cono della

All'interno del cono della Fossa, l'attività di fumarole è alta dall'ultima eruzione nel 1888-1890, particolarmente negli anni 1920 e dal 1978 a oggi (Barberi et al., 1991).

Le loro temperature sono di oltre 400°C.

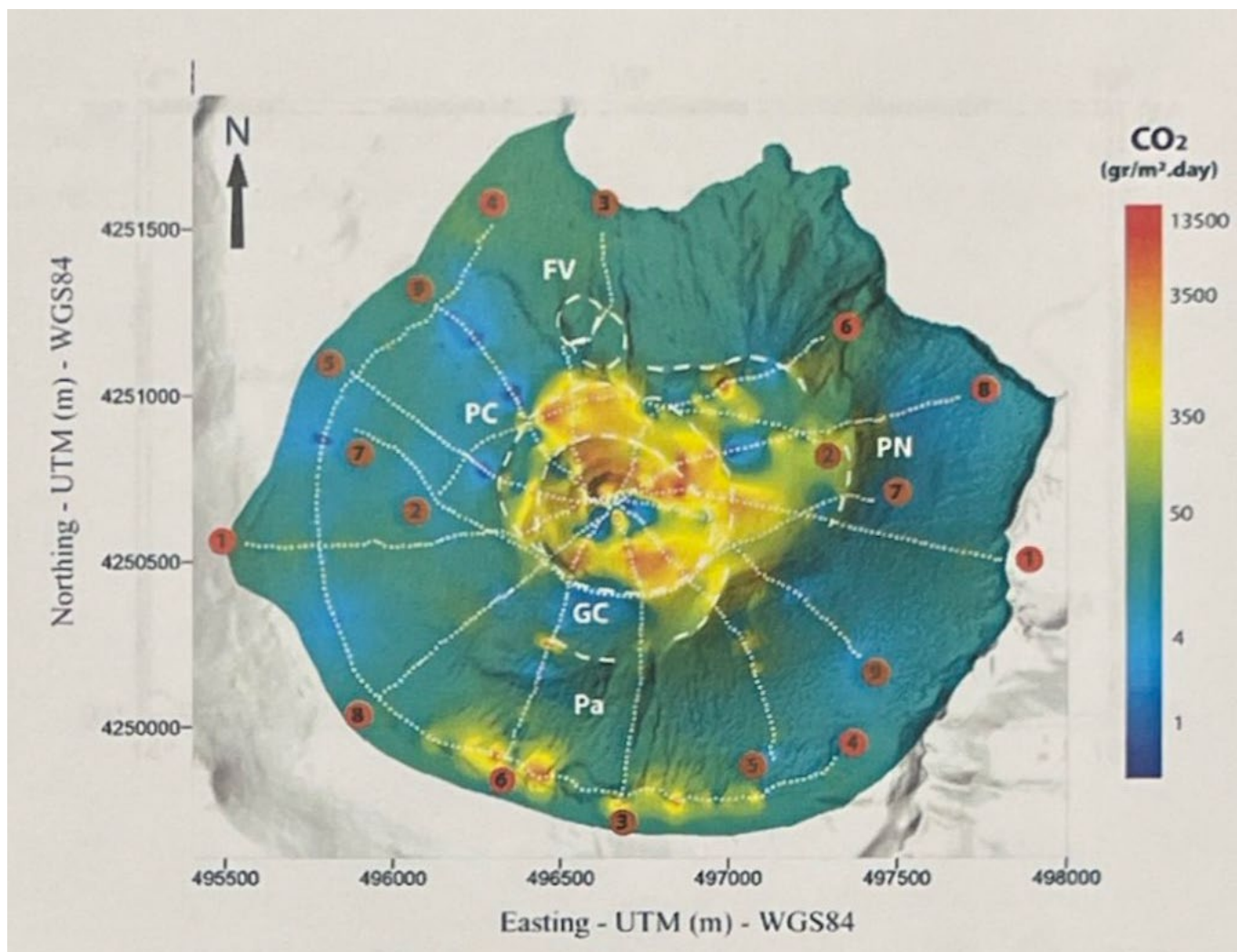


Fig. 10: Degassamento di CO₂ del suolo sul cono della Fossa (Barde-Cabusson, S. et al,

La maggioranza dei dati geochimici coincide con la presenza di fumarole all'interno del cono della Fossa e della Baia di Levante.

Camarda, M (2005) mostra comunque un forte degassamento non solo alla Baia di Levante ma anche alla Grotta dei Palizzi, vicino all'impostazione del pozzo IV-

1, Fig. 9 Questo risultato è confermato da Barde-Cabusson, S- et al (2009), Fig. 10, che identificano in questa impostazione un'anomalia di temperature probabilmente causata da una faglia.

Infine, dalla modellazione quantitativa del degassamento del magma in H_2O , CO_2 , gas nobili e N_2 , Nuccio, P.M. e Paonita, A. (2001) interpretano la profondità del magma a intorno a 2.5 km.

2.3.4 Dati ed interpretazioni geofisiche Sismica

Una sismica di riflessione a mare, in parte pubblicata, fu sparata alle isole Eolie dal CNR nel 2001 (Argnani, A. et al 2007). Le linee nell'articolo (MESC 39 e 40) non danno informazioni di interesse per la presente iniziativa.

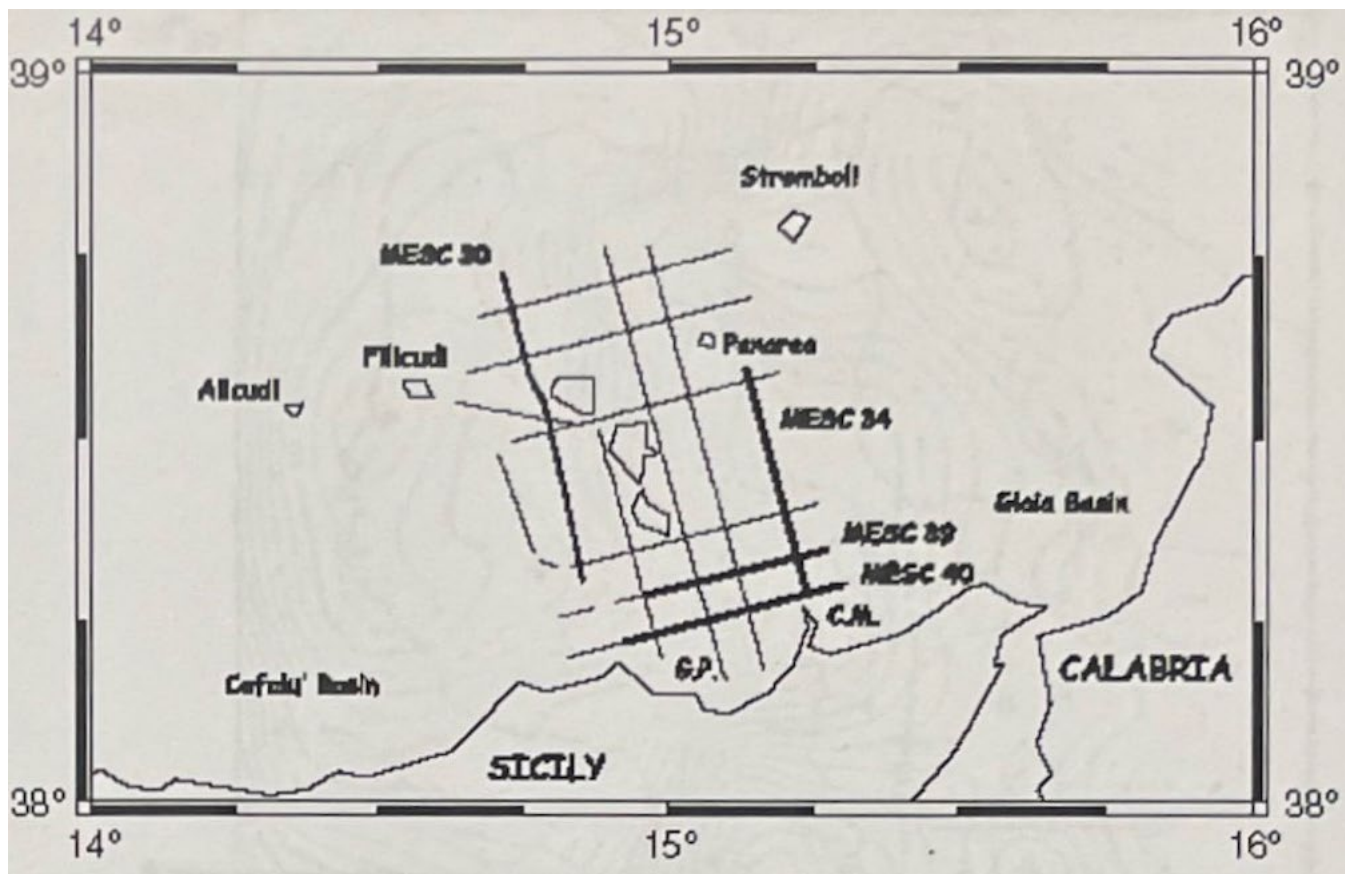


Fig. 11: carta dei profili sismici a riflessione multicanali sparate intorno alle isole Eolie nel 2001 dal CNR (Argnani, A. et al, 2007)

2.3.5 Gravimetria

L'unico rilievo sub regionale per le isole fu fatto da AGIP tra il 1983 e il 1986, Fig. 12. La carta Bouguer mostra un allineamento NNW-SSE con tre anomalie negative, (A) alla punta sud di Lipari, più forte, (B) a Vulcanello, debole; e (C) al cono di Fossa.

L'anomalia del cono della Fossa corrisponde esattamente al cono di piroclastiti leggere. Quella a Vulcanello potrebbe essere indebolita da lave tefritiche dense in affioramento.

Al livello dell'alta risoluzione gravimetrica, l'Osservatorio Vesuviano dell'INGV, ha una rete di sei stazioni di misure periodiche di gravimetria e del gradiente verticale per il monitoraggio delle variazioni di masse a poca profondità (Berrino, G., 2000, Berrino, G et al, 2008 e Berrino, G. et al 2008).

Il campo gravimetrico si caratterizza da variazioni di corta e lunga durata. La causa è interpretata essere la circolazione di fluidi nei livelli superficiali della crosta. La migrazione potrebbe far parte di un sistema geotermale attivo e del sistema idrologico che controlla il livello della falda dell'isola. Recentemente, Berrino, G. et al (2008) e Berrino, G. et al (2008) descrivono variazioni gravimetriche per gli anni 2007 e 2008 di origine vulcanica relativamente profonda, possibilmente connessa all'attività di Stromboli iniziata nel 2007.

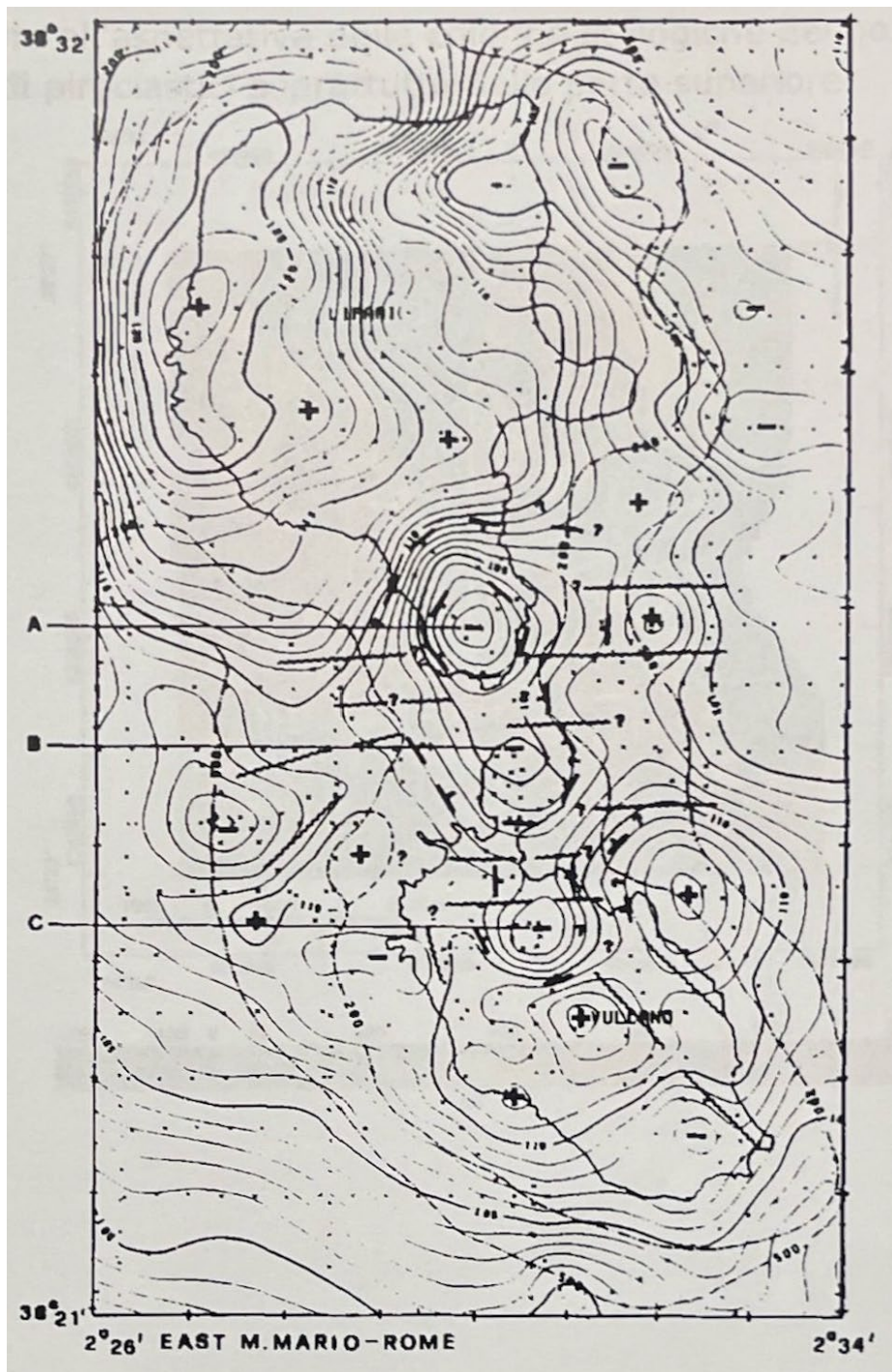


Fig. 12: Carta gravimetrica Bouguer dell' AGIP tra 1983 e 1986 (Barberi, F et al., 1986).

Correzione effettuata con una densità di 2.4 g/cm^3

2.3.6 Aeromagnetometria

Un'interpretazione complessiva dei rilievi aeromagnetici del 1999 e 2005 è pubblicata da Bianco- Montenegro, I. et al (2007), Fig. 13.

Il profilo C-C' è mostrato in Fig. 14 e passa vicino ai pozzi IV1 e VP1.

L'anomalia magnetica positiva più importante sull'isola si trova a sud (MS e PL, Fig. 13) per cui Bianco-Montenegro, I. et al (2007) ne interpreta due cause. Una profonda, di bassa frequenza spaziale, i resti di un vecchio vulcano sottomarino ("relict submarine volcano" nella Fig. 13) che anticipò il vulcano primordiale, ed una di più alta frequenza che corrisponde ad un'intrusione magmatica che viene in affioramento al Monte Saraceno ("dyke system") con la direzione strutturale NW-SE di Tindari-Letojanni.

L'anomalia positiva MS si estende sul resto della metà sud dell'isola (PL) ed il massimo segue la direzione strutturale NE-SW; essa è interpretata come un'intrusione, che questa volta non affiora, sul bordo della caldera di Piano. Sotto la caldera della Fossa i valori sono bassi e corrispondono all'aspettativa delle colonne litologiche dei pozzi IV-1 e VP-1: una parte importante di piroclastici soprattutto nella parte superiore.

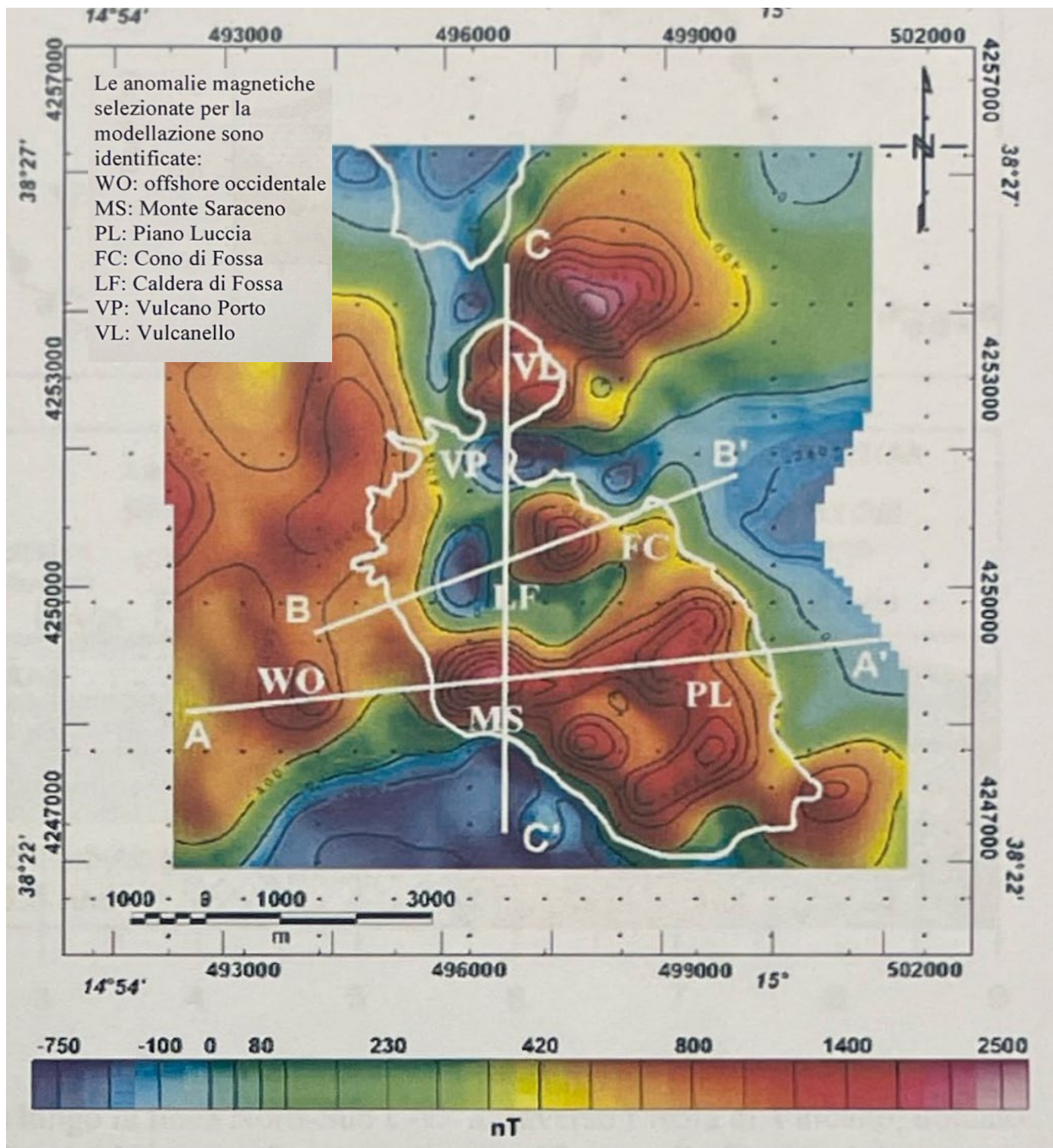


Fig. 13: Carta delle anomalie aeromagnetiche, ridotte al polo, dell'isola di Vulcano e mari circostanti (Blano- Montenegro, I. et al, 2007).

Le anomalie magnetiche selezionate per la modellazione sono identificate:

WO: offshore occidentale MS: Monte Saraceno

PL: Piano Luccia FC: Cono di Fossa LF: Caldera di Fossa VP: Vulcano Porto VL: Vulcanello

Distance (km)

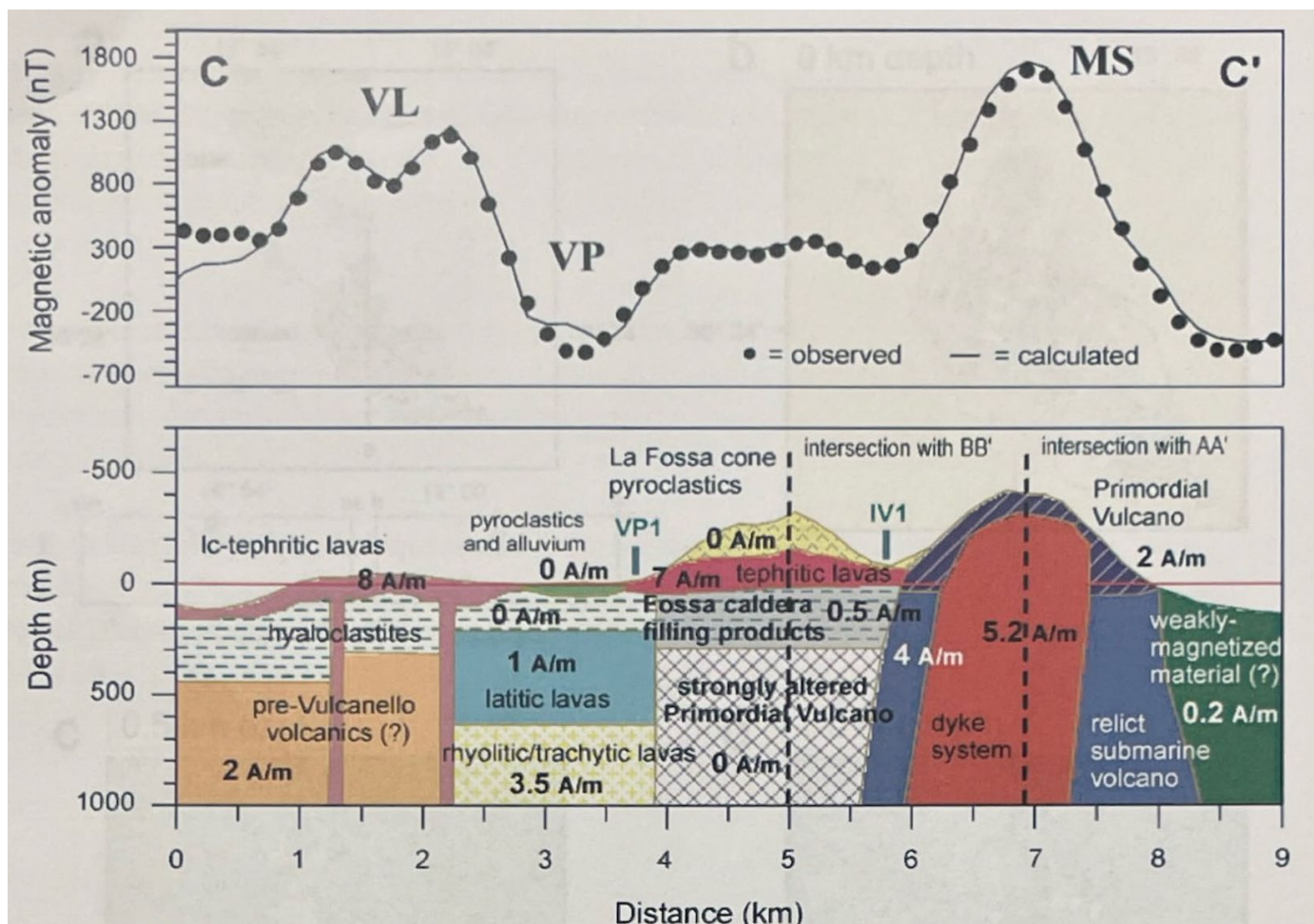


Fig. 14: Modello di interpretazione magnetica lungo la linea Nord-Sud C-C' attraverso l'isola di Vulcano, ubicato nella Fig. 13. Le sigle sulla curva delle anomalie si riferiscono alle anomalie identificate nella Fig. 13. I due pozzi IV1 e PVI sono posizionati all'interno della caldera della Fossa (Bianco-Montenegro, I. et al, 2007)

L'anomalia positiva di alta frequenza spaziale al cono della Fossa (FC) e a Vulcanello (VL) sono causate da lave tefritiche in superficie.

Il resto della metà nord dell'isola non ha anomalie o sono negative. I materiali non sono o hanno poca magnetizzazione. Questo può essere dovuto non solo alla presenza di piroclastici ma anche ad alterazioni idrotermali (Bianco-Montenegro, I. et al, 2007).

Infine, misure di transiente magnetometriche sull'isola mostrano, come per la gravimetria, delle variazioni temporali che vengono attribuite a variazioni del corpo magmatico (Del Negro, C. e Ferrucci, F., 2000)

2.3.7 Interpretazione dati di sismicità

L'analisi tomografica delle velocità delle onde sismiche di compressione P, create in terremoti locali e con epicentri inferiori a 3 km di profondità, è stato effettuato da Chiarabba, C. et al (2004).

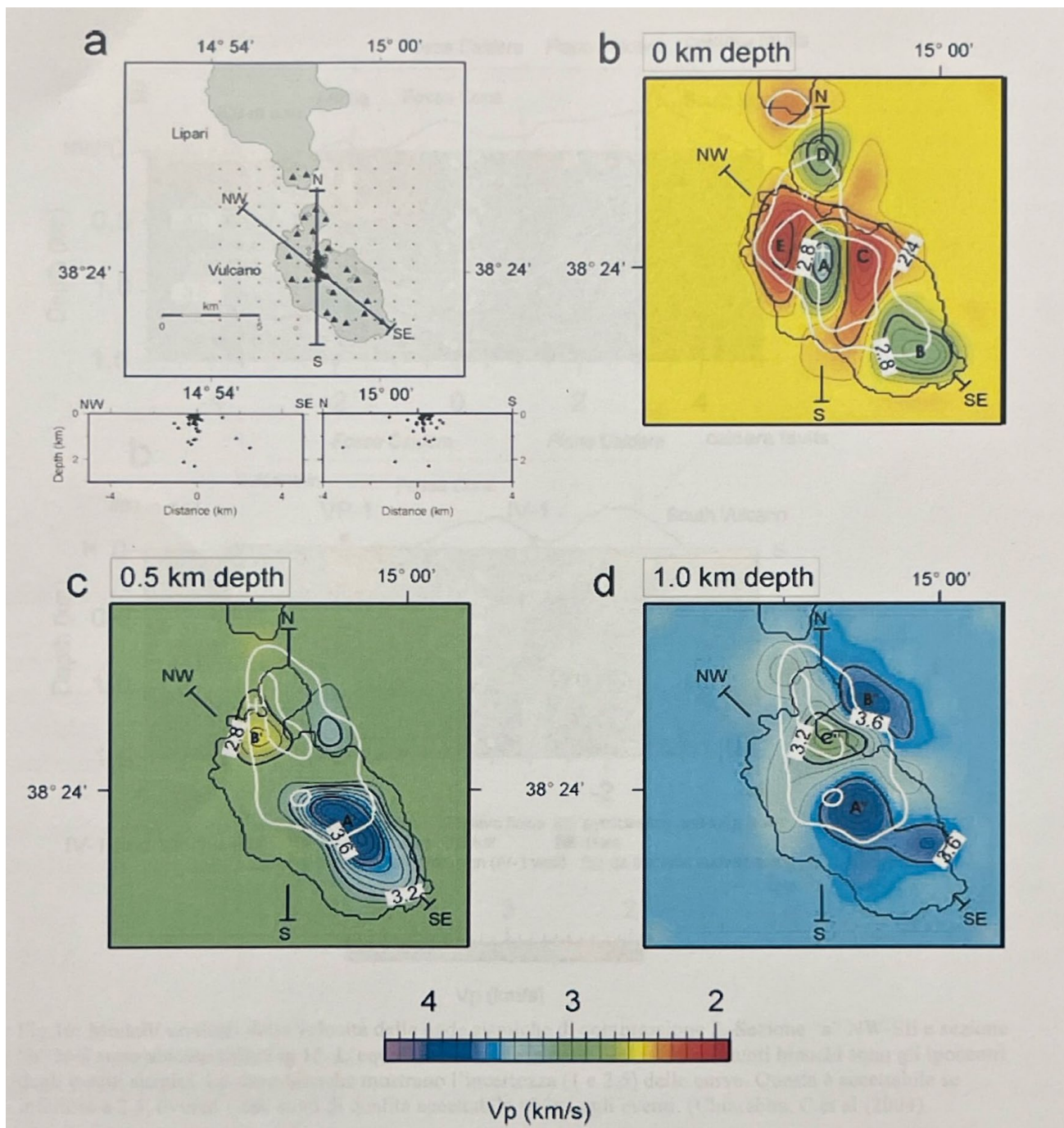


Fig 15: Tomografia della velocità delle onde di compressione P. In alto a sinistra, gli eventi sismici (punti neri) e le stazioni sismiche (triangoli neri).

Le sezioni NW-SE e N-S sono mostrate in Fig 16. Immagini seguenti: velocità delle onde a 0 km, 0,5 e 1 km di profondità. L'equidistanza tra le curve è di 0,1 km/s. Le linee bianche mostrano l'incertezza (1 e 2,5) delle curve.

Questa è accettabile se inferiore a 2,5, ovvero i dati sono di qualità accettabile su una buona parte dell'isola (modificato secondo Chiarabba, C. et al., 2004).

Si osservano due anomalie positive principali, "A" al cono della Fossa e "B" alla caldera di Piano. Le due anomalie negative "C" e "E" corrispondono ai bordi della caldera della Fossa con spessori importanti di alluvioni e piroclastici.

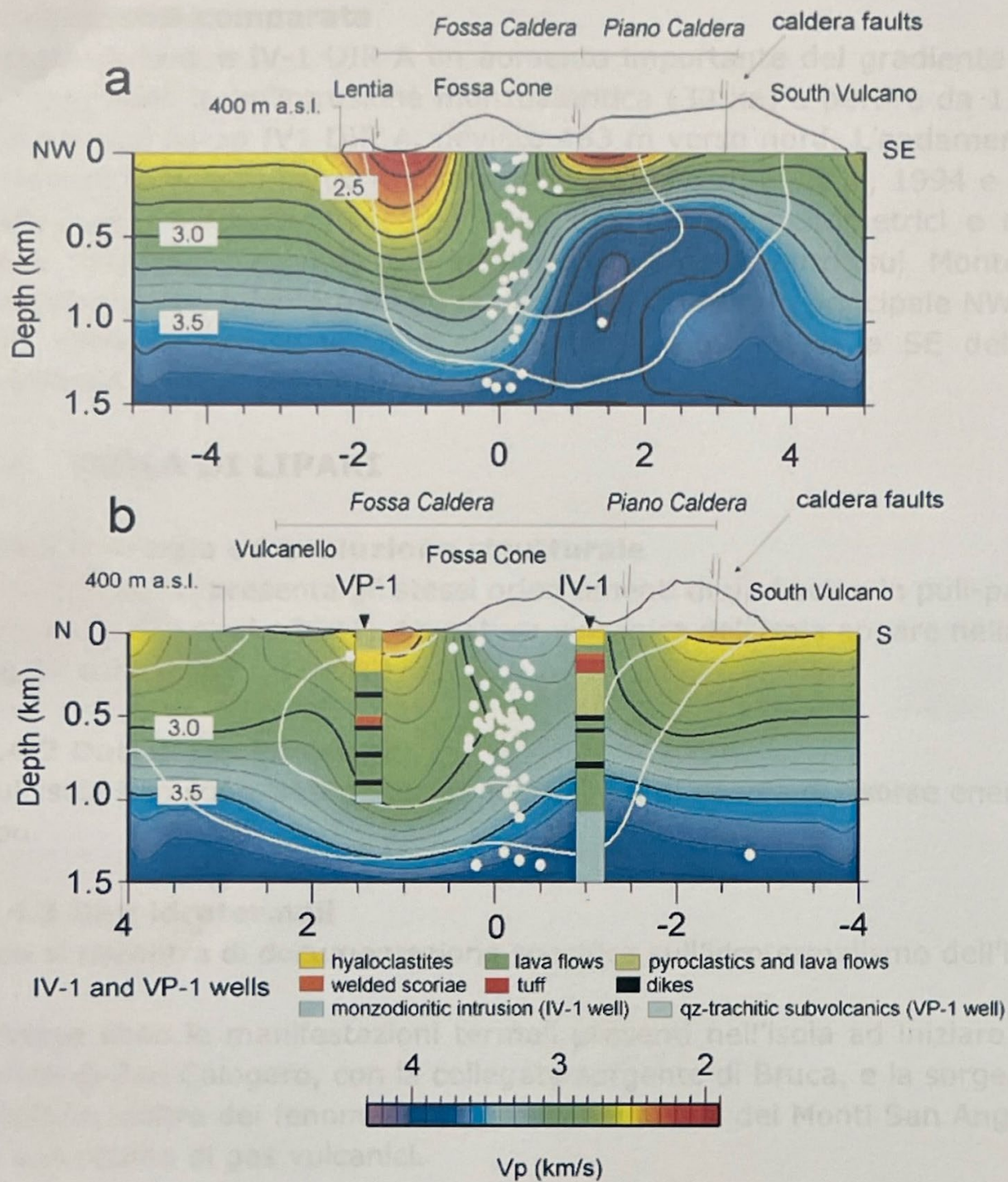


Fig. 16: Modelli verticali della velocità delle onde sismiche di compressione P. Sezione "a" W-SE e sezione "b" N-S sono ubicate sulla Fig. 15. L'equidistanza tra le curve è di 0,1 km/s. I punti bianchi sono gli ipocentri degli eventi sismici. Le linee bianche mostrano l'incertezza (1 e 2,5) delle curve. Questa è accettabile se inferiore a 2,5, ovvero i dati sono di qualità accettabile vicino agli eventi. (Chiarabba, C et al (2004))

Nella sezione **a** della Fig. 16 il corpo intrusivo a sudest del pozzo IV1 è molto chiaro.

2.3.8 Rilievi geoelettrici

Sondaggi geoelettrici, di SP (Self Potential) e di temperature sono stati pubblicati da Barde-Cabusson, S. et al (2009) e da Revil, A. et al (2008) ma questi si limitano al cono di Fossa e ad una profondità di analisi di circa 300 m dalla superficie.

2.3.9 Analisi comparata

Nei pozzi IV-1 e IV-1 DIR A un aumento importante del gradiente delle temperature fu riscontrato in un'intrusione monzodioritica (30 ka) a partire da 1360 m in IV1 e da 1160 m nel pozzo IV1 DIR A, deviato 483 m verso nord. L'andamento della superficie superiore di questo corpo era sconosciuto (Barberi, F. et al, 1994 e Faraone, D. et al., 1986). Le interpretazioni recenti con dati aeromagnetometrici e di sismica passiva sono coerenti, mettendo un intrusivo in affioramento sul Monte Saraceno come descritto sopra, orientato lungo la direzione strutturale principale NW-SE.

Una seconda intrusione, non affiorante, è interpretata a SE dell'isola. Su questo eventuale corpo, esistono per ora pochi dati.

2.4 ISOLA DI LIPARI

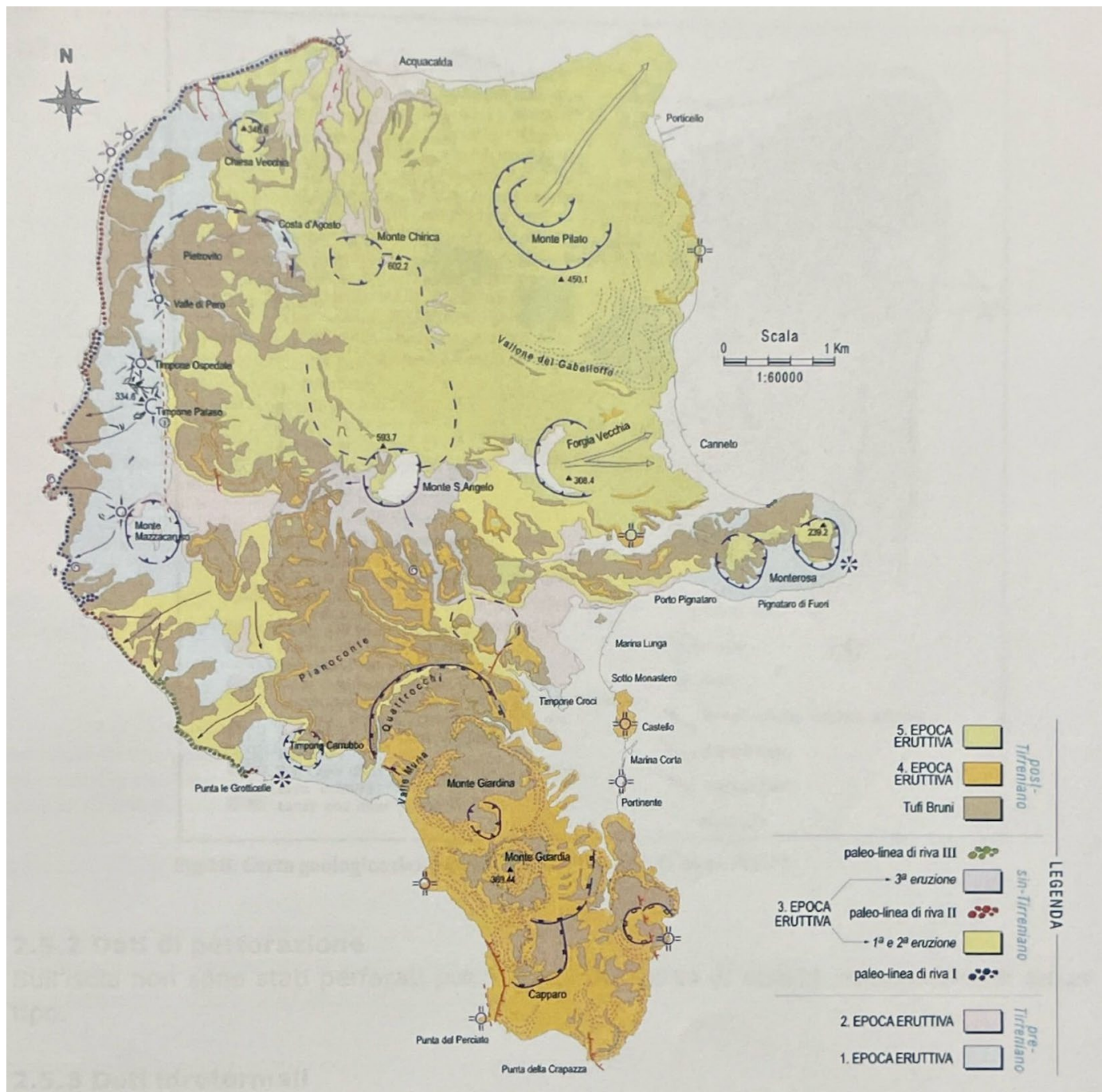


Fig 17: Carta geologica dell'isola di Lipari (Calanchi, N. et al., 2007)

2.4.1 Geologia ed evoluzione strutturale

L'isola di Lipari presenta gli stessi orientamenti di un bacino in pull-part che Vulcano (Calanchi, N., et al., 2007). La natura vulcanica dell'isola appare nella carta geologica, Fig. 17 con cinque fasi eruttive.

2.4.2 Dati di perforazione

Sull'isola non sono stati perforati pozzi ai fini di ricerca di risorse energetiche di alcun tipo.

2.4.3 Dati idrotermali

Non si riscontra di documentazione specifica sull'idrotermalismo dell'isola.

Diverse sono le manifestazioni termali presenti nell'isola ad iniziare dalla più famosa, terme di San Calogero, con la collegata sorgente di Bruca, e la sorgente di Vagnu Sicu. Esistono inoltre dei fenomeni fumarolici nei pressi dei Monti San Angelo, chiaro indizio di una risalita di gas vulcanici.

2.4.4 Dati e interpretazioni geofisiche

I dati gravimetrici e magnetometrici dell'AGIP del 1983-1985 coprono Lipari e le due isole vicine. Bruno, P.P.G. et al. (2000) hanno pubblicato una ricerca di risorse di bassa entalpia a Lipari ed è costituita da microgravimetria, sondaggi elettrici, sismica di riflessione e di rifrazione. La profondità degli studi non va oltre i 200 m e l'area studiata è troppo piccola per una valutazione del potenziale dell'isola.

Fig. 17: Carta geologica dell'isola di Lipari (Calanchi, N. et al., 2007)

2.5 ISOLA DI SALINA

2.5.1 Geologia ed evoluzione strutturale

La natura vulcanica dell'isola di Salina appare nella carta geologica, Fig. 18.

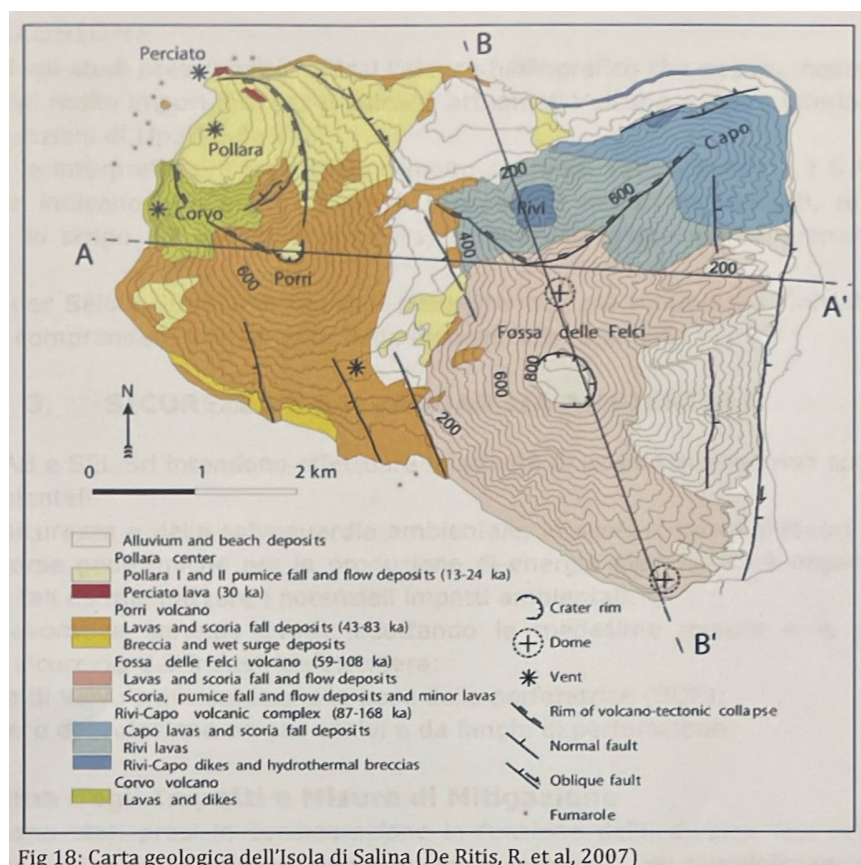


Fig 18: Carta geologica dell'Isola di Salina (De Ritis, R. et al, 2007)

Fig. 18: Carta geologica dell'Isola di Salina (De Ritis, R. et al, 2007)

2.5.2 Dati di perforazione

Sull'isola non sono stati perforati pozzi ai fini di ricerca di risorse energetiche di alcun tipo.

2.5.3 Dati idrotermali

Non si dispone di documentazione specifica sul termalismo dell'isola. Esiste un pozzo d'acqua ubicato a monte del centro abitato di Malfa. È certa l'esistenza di acque calde per cui però non si conosce le temperature. In località Pertuso è noto una sorgente termale denominata Quatrolocu.

2.5.4 Dati e interpretazioni geofisiche

Con i nuovi dati elettromagnetici dell'INGV, De Ritis, R. et al (2007) propongono un modello strutturale dell'isola che sarà di aiuto nello sviluppo di risorse geotermiche sull'isola.

2.6 CONCLUSIONI

Il riassunto degli studi preesistenti, vedasi l'elenco bibliografico che segue, mostra una quantità di dati molto importante per il vulcano attuale di Vulcano e molto inferiore per i vulcani più anziani di Lipari e Salina.

Per Vulcano, le interpretazioni recenti sono molto coerenti, vedasi punto 2.2.5 Analisi comparata, e indicano due grandi zone in prospettiva molto interessanti, le quali costituiscono lo scopo dell'iniziativa proposta, meglio dettagliata nel programma dei lavori.

Per Lipari e per Salina, il volume dei dati preesistenti è più modesto e l'iniziativa di esplorazione comprenderà inizialmente delle indagini sub-regionali.

3 SICUREZZA E SALVAGUARDIA AMBIENTALE

Si intendono effettuare le attività di ricerca in zone non soggette a vincoli ambientali.

Ai fini della sicurezza e della salvaguardia ambientale, lo svolgimento dei lavori per la ricerca di risorse geotermiche per la produzione di energia elettrica sarà organizzato con modalità tali da minimizzare i potenziali impatti ambientali.

Le attività lavorative saranno svolte adottando le medesime misure e le stesse procedure di sicurezza dell'industria petrolifera:

- Utilizzo di valvole di sicurezza alla base della perforatrice (BOP);
- Maschere di protezione da gas nocivi e da fanghi di perforazione.

3.1 Stima degli Impatti e Misure di Mitigazione

Gli impatti sono stati presi in considerazione in funzione delle diverse fasi in cui si articola l'attività di ricerca di risorse geotermiche, e viene qui, per completezza, estesa anche alla auspicata successiva fase di coltivazione.

Le fasi esaminate sono le seguenti:

3.1.1 Fase di esplorazione in superficie

a Indagini e rilievi

3.1.2 Fase di perforazione

1. Impatto paesaggistico
2. Impatto rumore

3. Perforazione del pozzo, stimolazione della riserva e circolazione
4. Distruzione dei frammenti di roccia e dei fanghi di perforazione

3.1.3 Fase di coltivazione

- a. Impatto paesaggistico
- b. Protezione inquinamento acustico
- c. Potenziale inquinamento delle acque
- d. Potenziali impatti su suolo e sottosuolo
- e. Potenziali impatti sull'idrologia superficiale
 - a. Fluidi prodotti dalla riserva
 - b. Raffreddamento ad aria del fluido binario
- f. Potenziali impatti sull'habitat naturale, fauna, vegetazione e paesaggio

Nonostante questa lunga elencazione, le attuali tecnologie per l'energia geotermica presentano generalmente un impatto ambientale totale inferiore rispetto ai convenzionali impianti di energia a combustibili fossili, o anche, per la superficie impegnata, rispetto agli impianti fotovoltaici, a parità di potenza. Anche rispetto agli impianti eolici, l'impatto paesaggistico è decisamente inferiore.

Per esempio, l'impianto energetico è situato sopra la risorsa di energia geotermica eliminando il bisogno:

- di estrarre fisicamente la fonte di energia (il combustibile) nel senso convenzionale e, nel processo, di disturbare la superficie terrestre;

- di trattare il combustibile, e, quindi, di usare ulteriore energia per trasportare il combustibile attraverso grandi distanze provocando ulteriori impatti ambientali. Inoltre, l'equipaggiamento necessario per la conversione dell'energia geotermica in energia elettrica è relativamente compatto, limitando quindi l'"impronta" dell'intero sistema.

Di seguito si illustrano gli impatti previsti, e le relative misure di mitigazione.

3.1.4 Fase di esplorazione in superficie

a Indagini e rilievi

Oltre al trattamento dei dati esistenti ed alla loro modellazione, Geotermica AB e SEL Sri si propongono di eseguire rilievi geochimici e elettromagnetici. La geochemica consiste nel campionamento delle acque in superficie e del degassamento naturale del suolo. Il lavoro è eseguito con piccoli campionatori posti nel terreno e da personale che si sposta a piedi.

Indagini di tipo elettromagnetico, con l'obiettivo di ricavare dati da 1000 m, saranno eseguite con l'impostazione di elettrodi in terra, per la durata di 5 min per posto di misura.

Il personale si sposta a piedi.

Queste tipologie di indagini sono assolutamente prive di impatti ambientali, e sono molto utilizzate nel settore della ricerca geotermica, petrolifera e mineraria.

3.1.5 Fase di perforazione

a. Impatto paesaggistico

I pozzi previsti avranno una profondità di 1000 m e saranno perforati con macchine su camion con una torre inferiore ai 12 m.

Si cercherà di scegliere siti di perforazione di 30 x 30 m, i più pianeggianti per ridurre al minimo i volumi di terra da spostare.

b. Impatto rumore

Il livello dei rumori durante la trivellazione è dell'ordine di 80 dB. Si cercherà di fare le perforazioni in stagioni invernali per evitare il disturbo in stagione turistica.

c. Perforazione di pozzo. stimolazione della riserva e circolazione

L'acqua è necessaria durante la perforazione del pozzo per il raffreddamento dello scalpello e la rimozione dei frammenti di roccia.

Quest'acqua (in verità un misto di acqua e sostanze chimiche) viene rimessa in circolazione dopo essere stata raffreddata e filtrata.

Avere disponibilità di acqua è necessario per reintegrare le perdite di evaporazione durante il raffreddamento.

d. Distruzione dei frammenti di roccia e dei fanghi di perforazione

I frammenti di roccia vengono estratti dal fango tramite un vaglio vibrante e stoccati vicino alla trivellatrice. I frammenti e i fanghi, alla fine della perforazione, saranno trasportati in terra ferma, in appositi impianti, per lo smaltimento.

3.1.6 Fase di coltivazione

a. Impatto paesaggistico

L'impatto paesaggistico dell'impianto di produzione elettrica da risorse geotermiche di media entalpia è abbastanza modesto perché l'impianto di produzione è relativamente compatto, con un "impronta" (footprint) limitata.

Il disturbo proviene solo dal raffreddamento del ciclo binario: colonne di vapore se effettuato con torri evaporative ad acqua, o rumore se realizzato con condensatori ad aria. Per gli impianti che si intende realizzare nel Campo Geotermico Eoliano, il raffreddamento sarà del tipo ad aria.

b. Protezione inquinamento acustico

Il rumore prodotto dall'esercizio dell'impianto di produzione di energia elettrica è quello tipico di molte altre attività industriali.

Le attività di perforazione, stimolazione e collaudo del pozzo, producono livelli di rumore che si aggirano tra gli 80 ed i 110 dBA, in prossimità dell'impianto.

Durante le normali operazioni di un impianto geotermico, il livello di rumore è compreso tra i 90 e i 100 dBA all'impianto, ovvero dello stesso ordine di grandezza di un impianto eolico.

- **Azioni Mitigatrici**

Il livello di rumore può essere ridotto notevolmente con l'utilizzo di silenziatori, ed altri tipi di isolanti.

Durante le normali operazioni, tre sono le fonti principali di rumore: il trasformatore, la centrale elettrica e le torri di raffreddamento.

I condensatori per il raffreddamento ad aria impiegano numerose

unità, ognuna provvista di una ventola, e sono peggiori, dal punto di vista del rumore, delle torri di raffreddamento ad acqua.

Il rumore prodotto dal trasformatore e dalla centrale di produzione elettrica risulta di agevole confinamento con appropriato uso di insonorizzatori.

c. **Potenziale inquinamento delle acque**

I canali dei liquidi di perforazione, stimolazione e produzione del pozzo possono contenere una varietà di minerali disciolti, specialmente in pozzi ad alta temperatura, e la quantità di minerali disciolti aumenta significativamente con la temperatura.

Alcuni di questi minerali possono innescare fenomeni di desertificazione dei suoli, danneggiando verosimilmente anche la vegetazione potenziale.

I canali di liquido potrebbero contaminare l'ambiente straripando in superficie o attraverso fenditure nel rivestimento del pozzo.

• **Azioni mitigatrici**

La perdita in superficie viene controllata dirigendo i fluidi verso vasche impermeabili di raccoglimento ed iniettando i canali di scarico in profondità nel sottosuolo.

Per evitare le perdite di liquidi nelle falde acquifere sotto la superficie, il rivestimento dei pozzi è progettato con stringhe multiple per fornire una spessa barriera tra l'interno del pozzo e le formazioni adiacenti.

E' comunque importante la continua vigilanza durante la

perforazione e le operazioni successive, in modo che ogni eventuale perdita attraverso il rivestimento venga trovata e gestita rapidamente.

d. Potenziali impatti su suolo e sottosuolo

L'area occupata dagli impianti geotermici varia considerevolmente da sito a sito in quanto le proprietà del fluido della riserva geotermica, e le opzioni migliori per l'eliminazione dei canali di reiniezione, sono specifiche di ciascun impianto.

Solitamente l'impianto di produzione di energia è costruito vicino o in corrispondenza della stessa riserva geotermica, poiché lunghe linee di trasmissione penalizzano la pressione e la temperatura del geofluido.

- **Azioni mitigatrici**

Le aree occupate dall'impianto, dai condensatori ad aria, nonché dagli edifici e dalla stazione sussidiaria, sono relativamente modesti.

Con tecnologie di perforazione direzionale, più pozzi possono essere perforati da un solo punto minimizzando l'area di apertura.

Mettendo a confronto l'uso del territorio caratteristico degli impianti geotermici e quello tipico per gli impianti solari fotovoltaici, risulta che un impianto solare fotovoltaico richiede un area circa 50 volte maggiore rispetto a quella di un impianto geotermico, per MW installato.

Gli eventi sismici dell'isola sono monitorati costantemente dall'INGV,

Geotermica AB e SEL Sri eseguiranno in continuo, durante le operazioni di ricerca e coltivazione, misure di sismicità, e, se necessario, amplieranno l'attuale rete con strumenti supplementari.

e **Potenziali impatti sull'idrologia superficiale**

I progetti geotermici richiedono generalmente accesso all'acqua durante i vari stadi di sviluppo del programma. L'acqua può essere gestita, nella maggior parte dei casi, minimizzando gli impatti ambientali.

Vengono descritti di seguito vari aspetti dell'uso dell'acqua nei sistemi geotermici.

e.1 Fluidi prodotti dalla riserva (e.1)

La produzione di geofluido da parte di una riserva geotermica può abbassare il livello dell'acqua, avere un effetto negativo sui vicini elementi geotermici naturali (geysers, terme, etc.), creare eruzioni idrotermali, aumentare la zona di vapore, permettere intrusioni saline, o causare cedimenti.

I moderni sistemi geotermici sono progettati per evitare questi impatti bilanciando la produzione di fluido con il loro reintegro. Teoricamente essi possono essere accostati ai sistemi a circuito chiuso, in quanto l'energia viene estratta dal fluido caldo prodotto dai pozzi di produzione, mentre il fluido raffreddato viene reiniettato attraverso il pozzo di iniezione.

e.2 Raffreddamento ad aria del fluido binario

Il raffreddamento ad aria è costituito da ventilatori elettrici motorizzati e scambiatori di calore.

Questo approccio è particolarmente utile quando le risorse d'acqua sono limitate, ed è attualmente usato soprattutto per gli impianti binari.

Se, da un lato, i condensatori ad aria eliminano la necessità di reperire ed utilizzare acqua, dall'altro, essi occupano una superficie superiore di 2-3 volte rispetto a quella occupata da torri di condensazione ad acqua, a parità di potenza.

e. Potenziali impatti sull'habitat naturale, fauna, vegetazione e paesaggio

I problemi relativi alla distruzione di habitat, o al disturbo della vegetazione e della fauna sono relativamente modesti o inesistenti in relazione ai progetti di impianti di natura geotermica.

Data l'area relativamente piccola sottratta all'ambiente, questi potenziali impatti possono essere minimizzati con un'appropriata pianificazione di salvaguardia ambientale.

Molti impianti geotermici si trovano in atto in questo tipo di aree, ma, usando cura ed attenzione, possono essere progettati per armonizzarsi con l'ambiente circostante, assecondando le peculiarità del sito.

- **Azioni mitigatrici**

Lo sviluppo di un campo geotermico può prevedere la rimozione di alberi e cespugli per facilitare l'installazione della centrale elettrica,

la stazione sussidiaria, le tubature, le vasche di contenimento d'emergenza, etc.

Ad ogni modo, una volta che l'impianto è stato costruito, il ripristino della vegetazione autoctona può riportare l'area alla sua sembianza originaria, e, eventualmente, la stessa può essere potenziata con fasce arboree idonee, allo stesso tempo, a mascherare la presenza degli edifici e delle altre strutture.

Le costruzioni e le tubazioni possono essere dipinte di colori appropriati che aiutano a nasconderle da una certa distanza.

Gli impianti binari durante le operazioni normali non hanno alcun tipo di emissione.