

IschiaGeotermia



IschiaGeoTermia S.r.l.

Codice Fiscale e Partita IVA 07730051211 • Capitale sociale: Euro 10.000 i.v.
Attività di Direzione e Coordinamento: ASTA S.p.A.
Sede: Via Piffetti, 15 • 10143 Torino • Tel 011 4737401 • Fax 011 480476

ISCHIA GEOTERMIA S.r.l.

Ing. Michele Blandino
PRESIDENTE

PERMESSO DI RICERCA PER RISORSE GEOTERMICHE FINALIZZATO ALLA SPERIMENTAZIONE DI IMPIANTI PILOTA DENOMINATO "FORIO"

[ID:3033] Risposte alle Richieste di Integrazioni
(Sito di "Serrara Fontana")

Progettazione Specialistica e Monitoraggio

Progettazione



INGV
Sezione di Napoli
Osservatorio Vesuviano

INGV

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E
VULCANOLOGIA

Via Diocleziano, 328
80124 Napoli



STEAM

STEAM

SISTEMI ENERGETICI AMBIENTALI

Via Ponte a Piglieri, 8
I - 56122 Pisa

DATA	CODICE PROGETTO			REVISIONE
Ottobre 2016	P16_GAV_027			REV.0
Progetto	Redatto da	Visto da	Approvato da	DATA
P16_GAV_027	PB - SC	RC - SC	RC	10/10/2016



**IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO
"SERRARA FONTANA" – ISCHIA (NA)**

**[ID:3033] Risposte alle Richieste di
Integrazioni**

Preparato per:
IschiaGeoTermia S.r.l.

Settembre 2016

Codice Progetto:
P16_GAV_027

Revisione: 0



STEAM
Sistemi Energetici Ambientali
Via Ponte a Piglieri, 8
I – 56122 Pisa
Telefono +39 050 9711664
Fax +39 050 3136505
Email : info@steam-group.net



STEAM

INDICE

1	<i>INTRODUZIONE</i>	1
2	<i>RISPOSTE ALLE INTEGRAZIONI RICHIESTE DAL MATTM</i>	2
2.1	<i>A) QUADRO DI RIFERIMENTO PROGRAMMATICO</i>	2
2.2	<i>B) RIGUARDO AL PIANO DI UTILIZZO DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO (PUT)</i>	5
2.3	<i>C) QUADRO DI RIFERIMENTO PROGETTUALE</i>	17
2.4	<i>D) SISMICITÀ LOCALE, VULCANISMO E RISORSE IDROTERMALI</i>	21
2.5	<i>E) VINCA</i>	68
2.6	<i>F) VARIE</i>	78
2.7	<i>G) RISPOSTE ALLE RICHIESTE DI INTEGRAZIONI DALLA REGIONE CAMPANIA</i>	79
2.8	<i>H) RISPOSTE ALLE RICHIESTE DI INTEGRAZIONI DALL'AUTORITÀ DI BACINO REGIONALE DELLA CAMPANIA CENTRALE (DATA 29/09/2016)</i>	79
	<i>BIBLIOGRAFIA</i>	80

INTRODUZIONE

Nel presente documento si riportano le risposte alle Richieste di Integrazioni, formulate dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM; U.prot. DVA-0015456 del 09/06/2016), inviate per mezzo PEC a Ischia Geotermica S.r.l. il giorno 17/06/2016 (Protocollo nr: 16159) e riguardanti il "Procedimento di valutazione di impatto ambientale ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. relativa al "Progetto di impianto pilota geotermico denominato "Serrara Fontana" nel Comune di Serrara Fontana nell'Isola di Ischia (NA)".

Nei capitoli seguenti vengono riportate integralmente le richieste e fornite le relative risposte.

Inoltre, al fine di rispondere in modo maggiormente esaustivo alle richieste ricevute, sono stati redatti i seguenti i documenti allegati:

- Allegato 1: Osservazioni e proposte alla Nota Prot. N.12920 del 10/08/2015 della Soprintendenza Belle Arti e Paesaggio per il Comune e la Provincia di Napoli - Fotoinserimenti;
- Allegato 2: Dichiarazione Sostitutiva di Atto di Notorietà;
- Allegato 3: Piano di Utilizzo Terre;
- Allegato 4: Analisi Simica;
- Allegato 5: Documenti di Progetto Firmati;
- Allegato 6: Risposte alle Osservazioni;
- Allegato 7: Valore delle Opere e Computo Metrico Estimativo;
- Allegato 8: Risposte alla Regione Campania;
- Allegato 9: Indagine MagnetoTellurica (MT).

2.1 A) QUADRO DI RIFERIMENTO PROGRAMMATICO

2.1.1 A1) Verifica congruenza - Venga ulteriormente verificata e confermata la congruenza del progetto con i quadri programmatici generali e locali, anche alla luce della più recente normativa.

Risposta

Gli strumenti di pianificazione vigenti nell'area interessata dal progetto in esame sono stati analizzati nel *Capitolo 2* dello Studio di Impatto Ambientale depositato per l'avvio della procedura.

Nello stesso capitolo sono state altresì identificate le interferenze del progetto con eventuali aree vincolate da specifiche destinazioni d'uso e verificata la coerenza di quanto proposto con obiettivi e linee di programmazione dettati dagli stessi strumenti di pianificazione.

L'analisi svolta ha rivelato l'assenza di vincoli ostativi alla realizzazione del progetto.

A valle della richiesta di integrazioni di cui al presente punto è stata effettuata una ricognizione degli strumenti di pianificazione vigenti nel territorio di intervento, volta alla verifica di eventuali aggiornamenti/modifiche dell'analisi presentata nel SIA.

Nella successiva *Tabella 2.1.1a* si riporta una sintesi dello stato di attuazione/aggiornamento/modifica dei piani vigenti.

Si evidenzia una situazione sostanzialmente invariata dello stato dei piani e programmi già analizzati e descritti nel SIA. L'unico aggiornamento riguarda il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della ex Provincia di Napoli (Città Metropolitana di Napoli) che è stato adottato con Deliberazione del Sindaco Metropolitan n. 25 del 29 gennaio 2016: nella successiva tabella tale Piano è evidenziato in arancio.

Tabella 2.1.1a Strumenti di pianificazione vigenti nell'area di progetto: verifica di eventuali aggiornamenti rispetto all'analisi effettuata nel SIA.

Livello territoriale	Strumento di pianificazione	Aggiornamento
PIANIFICAZIONE ENERGETICA	Strumenti Nazionali ed Internazionali di Pianificazione Energetica	<p>Gli strumenti nazionali ed internazionali di pianificazione energetica non hanno subito aggiornamenti rispetto a quanto analizzato nello SIA.</p> <p>Lo strumento di riferimento vigente è quello approvato con Decreto Interministeriale del Ministro dello Sviluppo Economico delle Infrastrutture e dei Trasporti e del Ministro dell'Ambiente dell'8 marzo 2013.</p> <p>Si conferma quanto esposto nel SIA ovvero che il progetto risulta pienamente coerente con gli obiettivi e le strategie dell'attuale politica energetica nazionale da attuare entro il 2020.</p>

Livello territoriale	Strumento di pianificazione	Aggiornamento
	Proposta di Piano Energetico Ambientale Regionale (PEAR)	La Proposta di Piano Energetico Ambientale Regionale (PEAR), approvata con DGR n. 475 del 18 marzo 2009 dalla Giunta Regionale della Campania, non ha subito aggiornamenti rispetto a quanto analizzato nel SIA. Si conferma che il progetto risulta coerente con le strategie dell'attuale politica energetica regionale.
PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E PAESAGGISTICA	Piano Territoriale Regionale della Regione Campania	Il Piano Territoriale Regionale (di seguito PTR) della Campania, previsto dalla L.R. n.16 del 22/12/2004 "Norme sul Governo del Territorio", è stato approvato dal Consiglio Regionale della Campania con Legge Regionale n.13 del 13 Ottobre 2008 e non ha subito aggiornamenti né variazioni rispetto a quanto analizzato nello SIA. Si conferma quanto esposto nel SIA ovvero che il Piano in esame non prevede vincoli ostativi alla realizzazione del progetto proposto.
	Piano Territoriale Paesistico dell'Isola d'Ischia	Il Piano Territoriale Paesistico dell'Isola d'Ischia non ha subito aggiornamenti e risulta aggiornato alla data di approvazione, avvenuta con D.M. del 9/02/99, e pubblicato sulla G.U. n.94 del 23/04/99. Si conferma quanto esposto nel SIA ovvero l'interessamento di aree tutelate paesaggisticamente per cui sono stati appositamente predisposti la Relazione Paesaggistica ed elaborati grafici di dettaglio descrittivi del "progetto architettonico" proposto.
	Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della ex Provincia di Napoli (Città Metropolitana di Napoli)	Il Piano Territoriale di Coordinamento è stato adottato con Deliberazione del Sindaco Metropolitanano n. 25 del 29 gennaio 2016. Alla data di redazione del SIA non risultava disponibile alcuno strumento di governo del territorio a scala provinciale cogente rispetto al quale verificare la coerenza del progetto proposto. Risultavano disponibili alcuni elaborati grafici ad una proposta di Piano del 2009 che erano stati pertanto esaminati a carattere conoscitivo. Nel successivo Paragrafo 2.1.1.1 è riportata l'analisi della documentazione allegata alla delibera di adozione del Piano del 2016.
	Piano Urbanistico Territoriale Isola d'Ischia	Il PUT dell'Isola d'Ischia che, non avendo alcun riconoscimento formale, rimane un mero approfondimento senza un valore legislativo, non ha subito modifiche o aggiornamenti rispetto a quanto citato nello SIA.
PIANIFICAZIONE LOCALE	Piano Regolatore Generale Comune di Serrara Fontana	Il Piano Regolatore del Comune di Serrara Fontana è stato approvato con decreto dell'assessore regionale n°13390 del 20/12/1984 e pubblicato sul BURC n°24 del 29/4/1985. Il Comune continua ad essere in fase di redazione del Piano Urbanistico Comunale di cui, per adesso, risultano predisposti soltanto il Progetto Preliminare e la Relazione Tecnica. Si conferma quanto esposto nel SIA ovvero che il Piano in esame non prevede vincoli ostativi alla realizzazione del progetto proposto.
	Piano Regolatore Generale Comune di Forio	Il Comune di Forio continua ad essere sprovvisto di uno strumento urbanistico vigente. Ad oggi è stato affidato l'incarico di redazione di un Piano Urbanistico Comunale, che risulta in fase di elaborazione. Si conferma valida l'analisi conoscitiva del PRG del 2002 (adottato ma mai approvato) presentata nel SIA dalla quale si evince l'assenza di vincoli ostativi alla realizzazione del progetto proposto.

Livello territoriale	Strumento di pianificazione	Aggiornamento
PIANIFICAZIONE SETTORIALE	Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale	Non sono state riscontrate modifiche né aggiornamenti al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale (approvato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n.1 del 23/02/2015 ed è stato pubblicato sul BURC n.20 del 23/03/2015) rispetto a quanto analizzato nello SIA. Si conferma, come detto nel SIA, che il progetto è conforme a quanto disposto nelle Norme del PAI. Rimane valido altresì quanto esposto nello Studio di compatibilità geologica ovvero che, considerate le caratteristiche delle opere in progetto, esse non gravano sul grado di rischio idrogeologico presente nell'area.
	Piano di Tutela delle Acque (PTA) della Regione Campania	Il Piano di Tutela delle Acque della Regione Campania è stato adottato con Deliberazione della Giunta Regionale n.1220 del 06/07/2007. Non sono seguiti modifiche o variazioni a quanto analizzato nello SIA. Si conferma quanto esposto nel SIA: non si ravvisano criticità legate alla realizzazione degli interventi in progetto rispetto a quanto indicato dalle direttive di tutela e salvaguardia dell'ambiente idrico previste dal Piano in esame.
	Aree Appartenenti alla Rete Natura 2000 e Aree Naturali Protette	Dalla consultazione della cartografia disponibile sul Portale Cartografico Nazionale all'indirizzo www.pcn.minambiente.it relativa alle aree naturali protette non sono emersi aggiornamenti rispetto alle aree naturali protette già citate nel SIA. L'impianto pilota "Serrara Fontana" e relative opere connesse non interferiscono con alcuna area naturale protetta né con alcun sito appartenente a Rete Natura 2000.

2.1.1.1 Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della ex Provincia di Napoli (Città Metropolitana di Napoli)

Nello Studio di Impatto Ambientale depositato per l'avvio della procedura (§2.2.3) erano stati esaminati, a puro carattere conoscitivo, alcuni elaborati allegati alla Proposta di Piano della Provincia di Napoli, approvata nel 2009 e successivamente modificata nel 2013. Come detto nel SIA, nel 2015, l'iter di formazione del Piano era stato arrestato con l'istituzione della Città di Metropolitana di Napoli.

Con Deliberazione del Sindaco Metropolitanano n.25 del 29 gennaio 2016, pubblicata il successivo 3 febbraio e dichiarata immediatamente eseguibile, è stato adottato il Piano Territoriale di Coordinamento. Tale documento riprende ed aggiorna la proposta di Piano del 2013.

Tuttavia con successiva Deliberazione dello stesso Organo n. 75 del 29 aprile 2016, che ha fornito importanti "disposizioni integrative e correttive" della stessa DSM 25/2016, è stato chiarito che il provvedimento di adozione del Piano sopra citato non determina la decorrenza delle misure di salvaguardia di cui all'art. 10 della Legge Regionale 16/2004 (legge in materia urbanistica). Dunque il Piano continua a non avere cogenza ma solo valenza conoscitiva.

A puro titolo conoscitivo, sono quindi stati consultati gli elaborati del Piano del 2016, al fine di individuare eventuali aggiornamenti specifici rispetto alla proposta del 2013 esaminata nel SIA: dalla consultazione degli elaborati cartografici e delle norme tecniche attuative del PTCP non sono emerse difformità.

Pertanto l'allineamento del progetto allo strumento di pianificazione provinciale esposto nel SIA risulta ancora valido. Si conferma l'interessamento, da parte del progetto, di aree tutelate paesaggisticamente per cui sono stati appositamente predisposti la Relazione Paesaggistica ed elaborati grafici di dettaglio descrittivi del "progetto architettonico" proposto (*Allegato 1*).

2.2 B) RIGUARDO AL PIANO DI UTILIZZO DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO (PUT)

2.2.1 B1) PUT - Integrare la documentazione trasmessa con la dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà di cui all'art.5 comma 2 del D.M. 161/2012, attestante la sussistenza dei requisiti di cui all'art. 4, comma 1, dello stesso Decreto.

Risposta

Nell'*Allegato 2* al presente documento è riportata la dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà di cui all'art.5 comma 2 del D.M. 161/2012, attestante la sussistenza dei requisiti di cui all'art. 4, comma 1, dello stesso Decreto.

2.2.2 B2) PUT – Descrivere le modalità di esecuzione di eventuali trattamenti di “normale pratica industriale” e le indicazioni di progetto circa le procedure da eseguirsi per tali lavorazioni. In caso di ricorso a procedure di stabilizzazione delle terre a calce e/o pozzolana concordare preventivamente con ARPA competente le relative procedure.

Risposta

La “Stabilizzazione delle Terre” è una tra le tecniche innovative utilizzata per il riutilizzo del materiale escavato in situ per la sua capacità di ridurre costi e impatto ambientale.

Tale tecnica prevede la stabilizzazione binaria del materiale escavato mediante leganti idraulici (3% di calce e 3% di cemento) a due strati sovrapposti.

Di seguito vengono descritte le modalità di applicazione:

- fresatura e miscelazione del terreno con il legante previsto (per uno spessore medio da 10 a 20 cm, in funzione dei dati di progetto), in situ;
- livellatura della superficie secondo indicazioni della direzione lavori;
- miscelazione e sagomatura del sottofondo mediante livellatrice;
- compattazione e rullatura.

I vantaggi dell'applicazione di tale tecnica sono:

- riutilizzo del terreno escavato in situ;
- riduzione dei trasporti per la fornitura di materiale
- risparmio delle spese di sostituzione del terreno;

- riduzione delle emissioni polverulenti;
- notevole riduzione dei tempi di costruzione (20-30% circa)
- rapidità del procedimento di solidificazione che permette ai veicoli di transitare sull'area interessata già dopo 2-4 giorni.

In fase esecutiva, sarà contattata ARPA Campania al fine di concordare preventivamente le procedure da seguire.

2.2.3

B3) PUT – Poiché dalla documentazione prodotta è verosimile ipotizzare che l'acquifero è caratterizzato da un'elevata vulnerabilità per l'elevato coefficiente di infiltrazione dei terreni superficiali e l'elevata permeabilità idraulica d'insieme dei depositi vulcanici è necessario definire in questa fase le modalità di controllo, nelle aree di lavorazione, dei livelli piezometrici e qualità delle acque di falda nonché del relativo campionamento, identificando planimetricamente i punti di campionamento in cui sono installati i piezometri ed in cui si prevede di installare gli ulteriori ed i set analitici a cui dovranno essere sottoposti i campioni d'acqua.

Risposta

Come riportato all'interno della relazione geologica Allegato 2 al Progetto Definitivo, le indagini effettuate in situ ed i dati bibliografici consultati non indicano la presenza di falde acquifere superficiali, nell'area di intervento, almeno per i primi 15 m dal p.c..

L'assenza di falde superficiali, in prossimità dell'area di perforazione e del sito di Impianto, è testimoniata dalla carta piezometrica elaborata da *Celico et al.* (1999), riportata in *Figura 2.2.3a*, di seguito riportata.

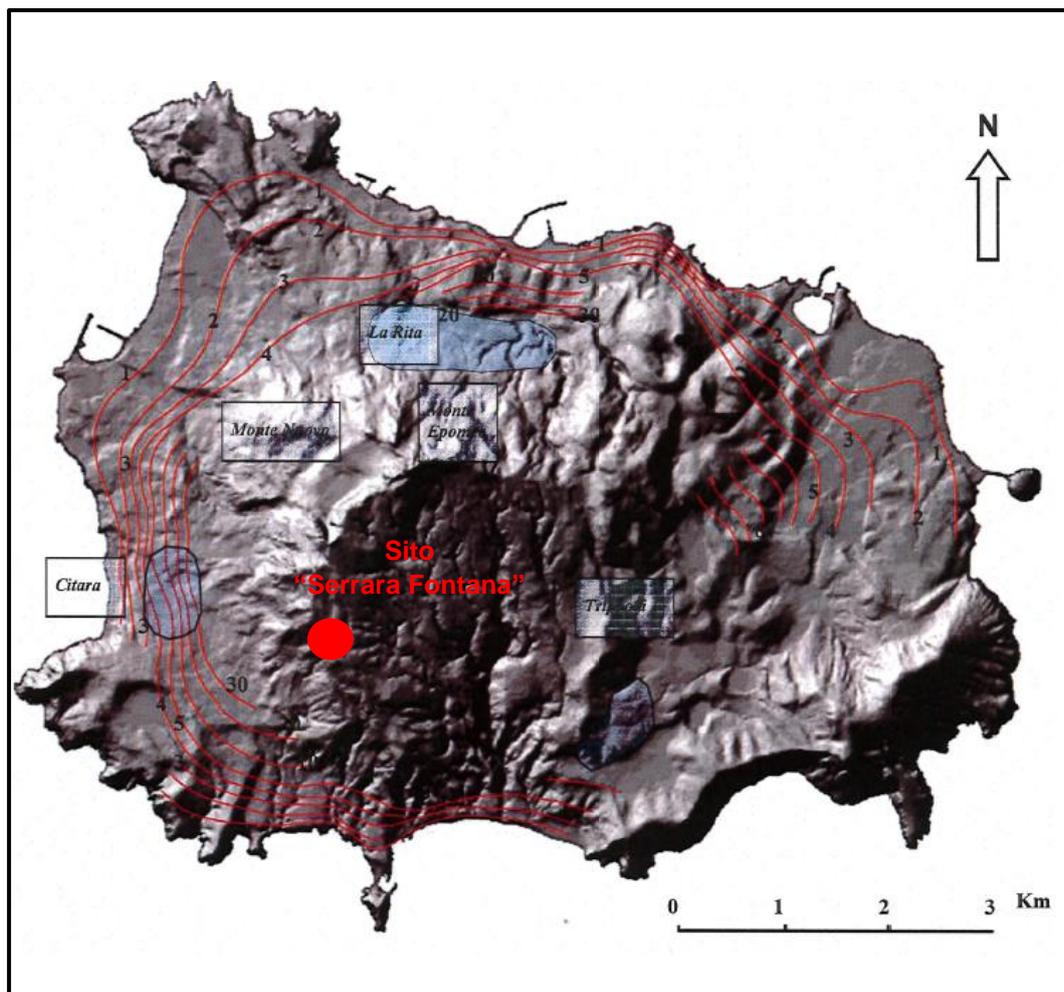
Inoltre, la permeabilità dei terreni detritici e delle coltri alluvionali presenti è di grado medio-basso, in funzione del rapporto granuli-matrice e dell'assorbimento granulometrico di quest'ultima.

Anche la permeabilità dei tufi, sia primaria (porosità) che secondaria (fratturazione), è medio bassa.

La capacità ricettiva nei confronti delle acque di natura meteorica è molto bassa anche in funzione della morfologia molto acclive che caratterizza l'area interessata dalle opere in oggetto.

Pertanto, non essendo presente una falda superficiale è da escludere ogni attività di monitoraggio e controllo di essa.

Figura 2.2.3a *Carta Piezometrica dell'Isola di Ischia (da Celico et al., 1999). In rosso le isopieze della falda basale; In celeste le falde superficiali.*



Inoltre come descritto all'interno del Progetto, ogni rischio di inquinamento del suolo indotto da eventuali sversamenti, durante la cantierizzazione e le fasi di perforazione, è prevenuto dall'impermeabilizzazione delle superfici che ospitano motori diesel, pompe, miscelazione cementi e fanghi.

Tali aree sono collegate ad una vasca di prima pioggia.

Anche l'area di stoccaggio dei carburanti è dotata di una superficie di calcestruzzo impermeabilizzata, di volumetria largamente superiore rispetto a quanto richiesto dalle vigenti normative, collegata al disoleatore.

2.2.4

B4) PUT – Quantificare il materiale proveniente dagli scavi previsti per l'elettrodotto specificando il regime normativo con cui sarà gestito; qualora tali materiali vengono gestiti come sottoprodotti dovranno essere inseriti nel PUT che dovrà prevedere anche per essi quanto previsto dal D.M. 161/2012.

Risposta

Per la realizzazione del cavidotto interrato in Media Tensione, di lunghezza circa 10,2 km, il progetto prevede uno scavo di circa 10.638 m³ di terreno. Circa 3.546 m³ di tale materiale se risultassero, a seguito di sondaggi che saranno effettuati ogni 500 m lineari, idoneo dalle analisi di classificazione previste dalla normativa vigente, saranno impiegati per i rinterri lungo la stessa linea (in accordo a quanto previsto dall'art.185 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.).

Il restante materiale, pari a circa 7.092 m³ sarà inviato a recupero/smaltimento, come rifiuto, ai sensi della normativa vigente.

Nell'Allegato 3 al presente Documento si riporta il Piano di Utilizzo delle Terre (PUT) nel quale sono dettagliati i volumi di terreno movimentati per la realizzazione del cavidotto interrato.

Come precisato in Allegato 3 si fa presente che, in questa fase della progettazione, non è stato possibile eseguire indagini sulle sedi stradali interessate dal cavidotto, in quanto trattasi di infrastrutture aperte al traffico su cui non era dunque possibile intervenire.

2.2.5

B5) PUT – Integrare il PUT descrivendo le modalità di esecuzione delle perforazioni, l'eventuale utilizzo di additivi o sostanze inquinanti durante l'esecuzione di tali perforazione ecc.; inoltre risulta necessario che il PUT chiarisca e definisca le caratteristiche dei fanghi di perforazione con particolare riferimento ai prodotti che saranno utilizzati durante la fase di perforazione ed indichi la destinazione dei fanghi di perforazione evidenziando se i volumi di terre eccedenti che si intendono smaltire in discarica comprendano anche tali materiali. In particolare: dovranno essere specificate:

- **La composizione delle miscele di fanghi utilizzati alle varie profondità indicando le caratteristiche chimico-fisiche, di biodegradabilità ed ecotossicità di ogni componente della miscela;**
- **Gli accorgimenti adottati per evitare l'eventuale inquinamento della falda;**
- **Gli interventi previsti in caso si dovessero verificare contaminazioni delle falde.**

Risposta

Perforazione e Composizione delle miscele di fanghi

Dopo l'utilizzo di acqua pura per la perforazione dei primi 30-50 m di pozzo, il fluido di perforazione utilizzato sarà quello tipico della perforazione dei pozzi ad uso idropotabile: il così detto fango è costituito da una miscela di acqua, bentonite e, quando e se necessario, altri componenti secondari inerti. La composizione della miscela varierà in base alle differenti fase di perforazione secondo i range indicati nella seguente tabella, dove sono riportate anche le principali proprietà fisico-chimiche del fango.

Tabella 2.2.5a *Composizione media e proprietà chimico-fisiche*

Composizione Percentuale		
Componente	Valore	U.d.M.
Acqua	50-80	% peso
Barite	0-15	% peso
Bentonite	15-38	% peso
Sabbia	0,1-3	% peso
Proprietà Chimico Fisiche		
Densità	1,15-1,50	kg/l
COD	0-300	ppm
pH	6-9	-

Il fango di perforazione è quindi costituito principalmente da acqua e bentonite. Quest'ultimo è un materiale naturale di origine minerale ottenuto trattando termicamente la montmorillonite (un tipo di argilla), macinata per ottenere il grado di finezza delle particelle più appropriato e trattata termicamente per facilitare una rapida idratazione in fase di preparazione del fango.

Da un punto di vista ambientale è opportuno ricordare che la bentonite è un prodotto assolutamente innocuo. Infatti, essa trova varie altre forme di impiego al di fuori della perforazione. Significativi, da questo punto di vista, sono gli impieghi nella bentonite nell'industria vinicola, alimentare in generale e nella cosmesi. È quindi un prodotto atossico e compatibile con l'ambiente.

Nel caso in esame, inoltre, non è previsto l'impiego di additivi nella prima fase di perforazione.

L'impiego di questi diventa necessario quando la temperatura della formazione supera 60-70 °C, provocando effetti negativi sulla stabilità reologica del fango stesso.

I soli additivi chimici che potrebbero essere utilizzati saranno il CMC ed il Bicarbonato di Sodio (NaHCO₃).

Il CMC è una sigla che sta per Carbossi-Metil-Cellulosa e si usa come additivo del fango bentonitico nel caso sia necessario elevarne la viscosità per migliorare la sua capacità di trasportare i detriti dal fondo pozzo alla superficie, per contribuire alla riduzione della percentuale di acqua libera e per migliorare le caratteristiche meccaniche e impermeabilizzanti del pannello che si forma sulle pareti interne del foro.

La CMC è ottenuta dalla cellulosa, il principale polisaccaride e costituente del legno e delle strutture vegetali in genere. Ha sigla E466, è diffusa come additivo alimentare "viscosizzante" ed è usata largamente anche nella preparazione dei dolci.

La dose richiesta di CMC è generalmente 1÷2 Kg di CMC per tonnellata di fango.

L'uso del Bicarbonato di Sodio potrebbe essere invece richiesto in fase di perforazione del cemento residuo rimasto in pozzo dopo aver cementato la prima

tubazione a 140 m; il bicarbonato di sodio ha la funzione di stabilizzare il pH del fango.

Anch'esso è un prodotto atossico, usato in larga misura negli alimenti, ingeribile anche allo stato tal quale in soluzione acquosa.

Accorgimenti per evitare l'inquinamento di falde acquifere eventualmente presenti

Come già riportato all'interno del Progetto Definitivo e come testimoniato dalle indagini sito specifiche di cui alla Relazione Geologica (*Allegato 2* al Progetto Definitivo), e riportato al precedente *Paragrafo 2.2.3*, le indagini effettuate in situ ed i dati bibliografici consultati non indicano la presenza di falde freatiche superficiali, nell'area di intervento, almeno per i primi 15 m dal p.c..

Tuttavia, a maggior cautela, si precisa che la perforazione del tratto superficiale del pozzo verrà condotta con le stesse tecniche di perforazione dei pozzi per la ricerca di acqua, pertanto il rischio di inquinamento di eventuali livelli acquiferi non sussiste.

Una volta isolate le formazioni superficiali mediante i primi due casing completamente cementati, il problema del rischio di contaminazione delle eventuali falde è risolto alla radice.

Cementazione

Un efficace collegamento tra la roccia della formazione geologica presente e la tubazione è realizzato mediante il riempimento dell'intercapedine con malta di cemento, di caratteristiche meccaniche atte a garantire un legame sicuro tra roccia e tubo. In gergo tale operazione prende il nome di "cementazione del casing". La tubazione in acciaio così cementata permette il completo isolamento delle formazioni attraversate nel corso della perforazione.

Come descritto nel profilo tecnico, si precisa che ciascun casing dopo la posa in profondità è ancorato alle pareti con una cementazione che avviene con il pompaggio di cemento alle spalle del casing a partire dalla scarpa dello stesso, fino alla sua venuta a giorno. Infatti, il profilo tecnico descritto prevede la cementazione di tutte le tubazioni dal piano campagna fino alla profondità di 1.350 m.

Le malte di cemento utilizzate saranno miscele di cemento classe G-HSR con acqua, a densità intorno a 1,90 g/cm³, e qualche accelerante (es. CaCl₂) per ridurre i tempi di pompabilità che altrimenti potrebbero essere eccessivamente lunghi. Talora, in presenza di formazioni altamente porose e permeabili o poco consolidate o addirittura fratturate, potrà essere necessario ricorrere a malte a bassa densità (tra 1,20 e 1,60 g/cm³, a seconda delle circostanze), che si ottengono aggiungendo alla malta base materiali di alleggerimento come diatomite, bentonite, microsfere di vetro, ecc..

Man mano che aumenta la profondità, e con essa la temperatura (T > 70 °C), le malte potranno richiedere l'impiego di additivi con funzioni specifiche, come:



- riduttori di filtrato (per evitare la disidratazione prematura della malta);
- fluidificanti (per ottimizzare la reologia e ridurre le perdite di carico durante il pompamento e lo spiazzamento della malta);
- ritardanti (per allungare i tempi di pompabilità in funzione della durata prevista della cementazione);
- materiali di appesantimento come barite, ematite od ossido di manganese (per ottenere una malta a densità adeguata a equilibrare la pressione di strato).

L'importanza di un'adeguata e corretta cementazione è fondamentale per la sicurezza del manufatto, infatti, se fatta male, provocherebbe il danneggiamento del pozzo limitandone l'uso.

Per questo motivo, al fine di controllare la corretta cementazione dei casing verranno effettuati log di controllo in foro.

Nello specifico:

- prima della cementazione, per ciascuna sezione, verrà effettuata una misura mediante il Caliper;
- a cementazione eseguita, per ciascuna sezione, saranno eseguiti il Cement Bond Log (CBL) e/o il Variable Density Log (VDL).

Gli interventi previsti in caso si dovessero verificare contaminazioni delle falde.

Per quanto sopra detto, non essendo presenti nell'area d'intervento falde superficiali (entro una profondità di almeno 15 m dal p.c.) e visti gli accorgimenti previsti per la perforazione dei pozzi in progetto, si esclude la possibilità di contaminazione di eventuali falde profonde.

Inoltre, come riportato al paragrafo 2.2.3, verranno adottate tutte quelle misure atte alla protezione del terreno da sversamenti accidentali.

Tuttavia, per verificare se l'esercizio dell'impianto determini anche minime perturbazioni nei livelli acquiferi superficiali, sarà installata un'apposita rete di monitoraggio del livello freatico, con l'uso di freatimetri da pozzo.

Si prevede in particolare l'installazione di 4 freatimetri, prima dell'entrata in esercizio dell'impianto e comunque all'inizio delle prove di produzione.

Questi saranno installati secondo una prima direttrice Est-Ovest (2 freatimetri), a una distanza di almeno 500 m l'uno dall'altro, tra la zona di emungimento e l'area termale prospiciente i Giardini del Poseidon, e una seconda direttrice Nord-Sud (2 freatimetri) verso la penisola di Sant'Angelo.

Oltre al monitoraggio del livello piezometrico, saranno eseguiti campionamenti delle acque termali e delle fumarole presenti nelle aree a Ovest, Nord-Ovest e a Sud dell'impianto (San Francesco e Fumarole Donna Rachele), prima e durante l'esercizio di quest'ultimo, in modo da verificare eventuali variazioni della composizione chimica e isotopica dei fluidi geotermali.

Durante tutta la durata di esercizio dell'impianto si effettueranno campionamenti periodici delle acque termali (almeno quattro volte l'anno) con analisi geochimiche e misure di temperatura delle fumarole e delle sorgenti termali nelle aree a Ovest, a Nord-Ovest, a Est e a Sud dell'impianto. In caso di segnalazioni di anomalie da parte dei cittadini o dei gestori degli stabilimenti termali si eseguiranno nuove misure integrative.

2.2.6

B6) PUT – In merito agli aspetti legati ad eventuali impatti sulla salute pubblica dovranno essere forniti approfondimenti, anche di tipo scientifico, volti ad escludere che vi possano essere impatti significativi sull'ambiente e la salute umana sia durante le fasi di produzione delle Terre e Rocce da Scavo che nella fase di deposito temporaneo e definitivo.

Risposta

I possibili impatti sulla salute pubblica connessi alle fasi di produzione e/o deposito temporaneo e definitivo delle terre e rocce da scavo sono riferibili alla potenziale presenza di sostanze pericolose nelle terre escavate stesse o alle emissioni polverulente durante la loro movimentazione.

Per quanto riguarda il primo aspetto, le indagini svolte per la caratterizzazione dello stato qualitativo dei terreni interessati dagli scavi previsti dal progetto (si veda il Piano Utilizzo Terre riportato in Allegato 3 al presente documento) evidenziano l'assenza di elementi di pericolosità nei campioni di terreno analizzati. Di conseguenza si può escludere che, nei terreni movimentati, siano presenti sostanze tali da determinare impatti significativi sull'ambiente e sulla salute umana.

Per quanto riguarda il secondo aspetto, si fa presente che la valutazione delle emissioni polverulente durante le fasi di produzione delle terre e rocce da scavo e durante la fase di deposito delle stesse è stata effettuata nell'*Allegato C* del SIA depositato per l'avvio della procedura, applicando la metodologia prevista dalle "Linee guida per la valutazione delle emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali polverulenti" adottate con Deliberazione della Giunta provinciale di Firenze n. 213 del 3/11/2009 e redatte su proposta della Provincia stessa che si è avvalsa dell'apporto tecnico-scientifico di ARPAT.

Le Linee Guida utilizzate per l'analisi propongono specifiche soglie emissive, in relazione ai parametri indicati dall'*Allegato V* alla Parte quinta del D.Lgs. n. 152/2006 e s.m.i. (che riguarda polveri e sostanze organiche liquide), che consentono di poter valutare l'impatto sulla qualità dell'aria di determinate attività, modulare opportunamente eventuali misure di mitigazione (bagnatura, inscatolamento, ecc.), disporre l'eventuale monitoraggio nelle aree contermini alle lavorazioni.

Le conclusioni dello studio, eseguito sulla base della tipologia ed organizzazione delle attività previste per il progetto di Ischia, a cui si rimanda per maggiori dettagli, evidenziano che le emissioni diffuse di polveri (PM₁₀) indotte dalle attività di movimentazione e deposito terre non generano interferenze significative sui



ricettori limitrofi considerati e dunque, come indicato dalle stesse Linee Guida sopra citate, “*non sussistono presumibilmente rischi di superamento o raggiungimento dei valori limite di qualità dell’aria per il PM10*”.

Non si ravvisano dunque le condizioni perché vi possano essere impatti significativi sull’ambiente e la salute umana nelle fasi di movimentazione e deposito delle terre.

Per quanto concerne gli impatti relativi alla componente rumore, si rimanda all’*Allegato A* dello SIA.

2.2.7

B7) PUT – Fornire l’ubicazione delle caratterizzazioni già eseguite per verificare la relativa conformità a quanto previsto dall’Allegato 2 alla Parte Quarta, Titolo V, D.Lgs. 152/06 e dell’Allegato 4 al D.M. 161/12; nel caso in cui gli scavi interessino la porzione satura del terreno, sarà necessario effettuare un campione delle acque sotterranee, con metodica dinamica (Allegato 2, D.M. 161/12)

Risposta

Come riportato nella risposta di cui al precedente punto 2.2.3 – B3), gli scavi non interessano la porzione satura del terreno.

Per quanto riguarda le caratterizzazioni eseguite si rimanda al Piano Utilizzo Terre, che costituisce l’*Allegato 3* al presente documento, in cui sono descritte le attività di indagine eseguite, localizzati i punti di indagine e inseriti i rapporti di prova delle analisi condotte sui campioni di terreno prelevati (in particolare all’*Annesso 1* dell’*Allegato 3*).

2.2.8

B8) PUT – Integrare il PUT con il cronoprogramma dettagliato dei lavori con distinguibili le fasi di scavo, di trasporto e di messa in opera delle quantità descritte;

Risposta

Nella seguente figura è riportato il cronoprogramma dei lavori per la realizzazione dell’impianto pilota geotermico denominato “Serrara Fontana”.

In questa fase è previsto lo scavo di 4.809,5 m³ di terreno, per una durata di circa 15 giorni, che saranno parzialmente stoccati, per circa 75 giorni, e quindi utilizzati nei rinterri (3.447 m³).

Il materiale in esubero (pari a circa 1.362,5 m³) sarà inviato a recupero/smaltimento presso centri specializzati: questo sarà rimosso dalle aree di cantiere man mano che verrà prodotto.

Per quanto riguarda la Fase 3 – Realizzazione cavidotto interrato – questa si svilupperà dal nono mese del secondo anno dall’inizio dei lavori per concludersi nel secondo mese del terzo anno. Le aree di scavo corrispondono direttamente al tracciato dell’elettrodotto, le aree di deposito saranno posizionate lungo la trincea di scavo e il riutilizzo del terreno escavato avverrà all’interno dello scavo stesso.

Date le caratteristiche dell’opera, lo scavo procederà per tratte dell’ordine di alcune centinaia di metri, in cui si procederà allo scavo della trincea, all’accumulo a fianco dello scavo del terreno del terreno ritenuto idoneo al riutilizzo nel riempimento della trincea, alla posa del cavo e quindi alla chiusura dello scavo. Il deposito del terreno scavato da riutilizzare nel rinterro avverrà, come detto, a bordo scavo e avrà una durata massima di alcuni giorni.

2.2.9

B9) PUT – Integrare il PUT con un’analisi di dettaglio sull’operatività dei siti temporanei e relativa ubicazione, definendo ed ubicando nel cronoprogramma lavori le tempistiche di deposito e movimentazione dei materiali

Risposta

Di seguito si riporta la descrizione dei siti di deposito temporaneo previsti dal progetto, estratta dal PUT di cui all’Allegato 3 alla presente relazione.

I siti di deposito intermedio delle terre scavate per le aree SF1 e ORC saranno localizzati all’interno dei siti di progetto, in zone non direttamente interessate dalla costruzione delle opere e riservate al deposito di materiali da costruzione.

Nel caso del cantiere del cavidotto, mobile e lineare, le terre scavate idonee al riutilizzo, impiegate per i rinterri, saranno accumulate a lato dello scavo, mentre quelle in eccesso saranno immediatamente avviate a recupero/smaltimento secondo caratteristiche. Le attività avverranno per tratte di alcune centinaia di metri e dunque il deposito di materiale scavato avverrà a lato scavi per la durata massima di alcuni giorni. Non si configura pertanto una fase di deposito intermedio vera e propria per la realizzazione di tale opera.

In sintesi il deposito intermedio delle terre si configura solo per i cantieri relativi alla realizzazione delle postazioni SF1 e ORC.

Nella *Figura 4d* del PUT (*Allegato 3*) sono mostrate le aree di stoccaggio delle terre per gli interventi nelle aree SF1 e ORC.

Il materiale da collocare in deposito intermedio prima del riutilizzo è costituito dal materiale scavato che verrà riutilizzato per i rinterri e ammonta a:

- Area SF1: 1.100 m³, comprensivo del materiale (30 m³) riutilizzato nel sito dell'impianto ORC;
- Area ORC: 3.447 m³.

Come mostrato nel cronoprogramma dei lavori riportato nella Figura 4d del PUT (Allegato 3), le attività di scavo e rinterro nei due siti si prevede che avvengano in periodi temporali diversi e dunque sarà possibile stoccare le terre da riutilizzare nel sito non interessato dai lavori, in particolare:

- Area SF1: le attività di perforazione si concluderanno prima dell'avvio delle attività nell'area ORC, dunque in quest'ultima area sarà possibile realizzare il deposito temporaneo delle terre da riutilizzare nei rinterri nell'area SF1. A tale scopo nella Figura 4d del PUT (Allegato 3), in colore blu, è individuata un'area della superficie di circa 1.200 m² in cui sarà possibile abbancare circa 1.110 m³, comprensivo del materiale (30 m³) riutilizzato nello stesso sito dell'impianto ORC, per un periodo indicativo di 60 giorni (periodo intercorrente tra l'inizio degli scavi e la conclusione dei rinterri);
- Area ORC: le attività di realizzazione delle opere civili si svilupperanno in fase successiva alla conclusione delle attività di perforazione e dunque successivamente al ripiegamento di tale cantiere. Di conseguenza si individuano circa 1.300 m² liberi da strutture o apparecchiature nell'area SF1 in cui sarà possibile realizzare parte del deposito temporaneo delle terre da riutilizzare nei rinterri, abbancandovi circa 1.947 m³ di materiale proveniente dagli scavi dell'area ORC. La restante parte di materiale (1.500 m³) sarà abbancata in un'area di circa 1.000 m² individuata lungo il perimetro dell'area ORC. La Figura 4d del PUT (Allegato 3) individua in colore rosso le aree individuate per lo stoccaggio intermedio.

È previsto un unico percorso viabilistico per il trasporto del materiale: la *Figura 4d* del PUT (Allegato 3) riporta il percorso utilizzato dai mezzi per il trasporto dai siti di produzione a quello di deposito intermedio e quindi da questo ai siti di riutilizzo. Tutte le movimentazioni e riutilizzi avverranno esclusivamente all'interno dell'area di cantiere.

Per quanto riguarda il cronoprogramma delle fasi di deposito e movimentazione dei materiali si veda quanto riportato nel precedente §2.2.9-B9.

2.2.10

B10) PUT – Infine, per gli eventuali depositi temporanei il Proponente dovrà chiarire se le aree individuate siano sufficienti a ricevere tutti i materiali da abbancare.

Risposta

Le aree proposte per il deposito temporaneo delle terre destinate a riutilizzo presentano dimensioni adeguate ai quantitativi da stoccare.

Per il deposito temporaneo nell'area ORC delle terre scavate nell'area SF1 da riutilizzare (1.100 m³) è stata individuata un'area della superficie di 1.200 m² dove l'abbancamento del materiale depositato formerà un cumulo dell'altezza di circa 1,35 m.

Per il deposito temporaneo delle terre scavate nell'area ORC da riutilizzare (3.447 m³) sono state individuate 2 aree:

- la prima è collocata nell'area SF1, dove 1.947 m³ di materiale possono essere collocati su una superficie di 1.300 m²;
- la seconda è interna all'area ORC, dove 1.500 m³ di materiale possono essere collocati su una superficie di 1.000 m².

In entrambi i casi l'abbancamento del materiale depositato formerà un cumulo dell'altezza di circa 2,2 m.

Le aree individuate hanno dunque dimensione sufficiente a ricevere i materiali destinati a deposito temporaneo.

2.3 C) QUADRO DI RIFERIMENTO PROGETTUALE

2.3.1 C1) Definire il “terremoto di progetto”, come il massimo terremoto atteso nella zona e di indicare parametri che lo caratterizzano tenendo anche conto delle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei luoghi, al fine di applicare il Decreto ministeriale (infrastrutture) del 14 gennaio 2008 “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni” (G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008).

Risposta

In accordo con il paragrafo 3.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008 la definizione del terremoto di progetto è basata sulla pericolosità sismica di base del sito di costruzione che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

Dalla analisi effettuata riportata in *Allegato 4*, i parametri sismici da normativa riferiti al sito di Serrara Fontana (NA) sono riportati in *Tabella 2.3.2a*.

Tabella 2.3.1a Parametri Sismici

T_r (anni)	a_g (g)	F_0	T_c^* (s)
30	0.034	2.314	0.272
50	0.044	2.336	0.310
72	0.055	2.334	0.324
101	0.065	2.349	0.328
140	0.078	2.340	0.332
201	0.094	2.325	0.331
475	0.142	2.301	0.329
975	0.189	2.331	0.328
2475	0.256	2.455	0.326

Si rimanda al Paragrafo 5.1 dell'Allegato 4 per maggiori dettagli.

2.3.2 C2) Specificare i criteri antisismici da adottare per le strutture da realizzare, nel rispetto delle norme tecniche del DM 14/01/2008;

Risposta

Per quanto concerne i criteri di progettazione delle strutture con particolare riguardo al loro comportamento sotto azioni sismiche, nella progettazione esecutiva si farà riferimento al Capitolo 7 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008 ed alla Circolare n.617 del 02/02/2009 Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Si rimanda al Paragrafo 5.2 dell'Allegato 4 per maggiori dettagli.

2.3.3 C3) Definire un'analisi di rischio, nell'ipotesi che il "terremoto di progetto" si dovesse verificare nel corso delle operazioni di perforazione

Risposta

Dai calcoli effettuati e riportati al Paragrafo 5.3 dell'Allegato 4, al quale di rimanda, risulta che il carico del vento (anche senza l'applicazione del coefficiente parziale di combinazione), applicato sulla struttura della torre di perforazione, è superiore a quello del sisma, quindi la progettazione della torre eseguita in riferimento all'azione del vento soddisfa i requisiti di sicurezza anche nei confronti del sisma allo SLV ed a maggior ragione nei confronti del sisma allo SLO.

2.3.4

C4) Definire un'analisi di rischio, per le tubazioni verticali dei pozzi di estrazione ed immissione del fluido geotermico, valutando il rischio di rottura, la conseguente contaminazione delle falde acquifere superficiali e dell'ambiente superficiale, inclusa la possibilità di indurre emissioni idrotermali.

Risposta

La progettazione sismica delle tubazioni verticali interrato sarà basata sulle prescrizioni della norma EN 1998-4 e EN 13480-3, tenendo conto del terremoto di progetto come definito al precedente paragrafo 5.1.

Si rimanda al *paragrafo 5.3 dell'Allegato 4* per maggiori dettagli.

2.3.5

C5) Definire un'analisi di rischio per le tubazioni che trasportano il fluido geotermico dai pozzi di estrazione all'impianto ORC e da questo ai pozzi di immissione, facendo anche riferimento alle "Guidelines for the seismic design of oil and gas pipeline system" della normativa americana

Risposta

Le tubazioni di collegamento che trasportano il fluido geotermico dai pozzi di estrazione all'impianto ORC e dal questo ai pozzi di immissione saranno progettate per sopportare le sollecitazioni indotte dalle azioni di progetto ed in particolar modo quella sismica (terremoto di progetto, vedi *paragrafo 2.3.1*) in accordo con le Norme Tecniche per le Costruzioni, facendo riferimento anche alla norma ASCE 1984 ed alla norma EN 1998-4.

Per una maggiore argomentazione su tale tematica si rimanda al *paragrafo 5.5 dell'Allegato 4*.

2.3.6

C6) Approfondire ulteriormente e verificare il problema riguardante la stabilità dei versanti e la possibilità di eventuali frane sia in fase di cantiere che in quella di esercizio.

Risposta

Un inquadramento geomorfologico dell'isola di Ischia con un focus sugli eventi franosi storici e recenti, è dettagliato al successivo *Paragrafo 2.4.5*. Nello stesso paragrafo verrà data risposta anche alla potenziale correlazione che potrebbe esserci tra terremoti supposti innescati dall'esercizio dell'impianto ed eventi franosi.

Per quanto riguarda invece la stabilità dei versanti e la possibilità di eventuali frane connesse alla fase di cantiere, si sottolinea che l'attività maggiormente impattante risulta essere la fase di perforazione vera e propria.

Le vibrazioni esercitate sul terreno dall'attività di perforazione si dissipano sostanzialmente già nei primi metri di distanza dall'impianto di perforazione.

Comunque, al fine di monitorare le vibrazioni in cantiere, verranno installati degli accelerometri che saranno posizionati in modo stabile e saranno connessi al sistema di acquisizione dati. Una volta stabilito un valore di soglia di accelerazione pre-impostata (0,039-0,092g, vedi *paragrafo 2.4.6*), le vibrazioni saranno registrate in continuo e per un minimo di 24 h in fase ante-operam.

Saranno memorizzati solo gli eventi con vibrazione maggiore del valore soglia stabilito.

L'elaborazione dei dati dovrà rispettare le direttive della norma ISO 2631/2 ed i risultati dovranno essere riportati per ogni evento registrato, in riferimento al sensore installato corrispondente, con indicazione del giorno e ora in cui si è verificato l'evento.

L'area a Ovest immediatamente sottostante la piazzola dove saranno eseguiti i pozzi, è classificata dall'Autorità di Bacino come a rischio frana R4.

Al fine di mitigare possibili fenomeni di dissesto, che possono essere indipendenti dall'attività di perforazione e di cantiere, sarà eseguito un rilievo geologico e geostrutturale della pendice interessata dalla perforazione.

In particolare si provvederà:

- all'esame della documentazione disponibile sul sito dedotta da studi geologici, sismici o microsismici già effettuati;
- all'esecuzione di un rilievo geostrutturale di dettaglio;
- alla caratterizzazione geomeccanica dei complessi rocciosi, dei macroliti e delle superfici di suddivisione – giunti, diaclasi, piani di giacitura;
- alla modellazione geotecnica e geomeccanica della pendice e verifica di stabilità con riferimento ai cinematismi più sfavorevoli.

Al termine delle attività sarà redatto un Rapporto Geologico-Tecnico in base al quale saranno eseguite le opere di mitigazione del rischio frana per la messa in sicurezza dell'area sottostante il fronte roccioso.

Sarà infine prevista l'installazione di un laser scanner con acquisizione in remoto ed in continuo che monitorerà con elevata precisione e sensibilità eventuali movimenti, di roccia o di terra, lungo il versante occidentale del monte Epomeo.

Tutto quanto sopra descritto sarà comunque effettuato una volta ottenuta l'autorizzazione all'esecuzione dell'impianto e prima delle attività di perforazione.

2.4

D) SISMICITÀ LOCALE, VULCANISMO E RISORSE IDROTERMALI

2.4.1

D1) Si ritiene necessario che sia acquisita un'immagine tridimensionale dettagliata del sottosuolo, utilizzando metodi sismici ad alta risoluzione, al fine di elaborare un modello geologico-geotermico e sismo-tettonico e un modello idrogeologico che rappresentino adeguatamente i volumi interessati dalle opere e dalle azioni di progetto. Il modello geologico tridimensionale dovrà essere integrato da analisi delle caratteristiche geometriche e cinematiche delle strutture tettoniche presenti, dallo studio della loro relazione con il campo di stress regionale e dall'analisi del potenziale sismico e di fagliazione ad esse associate, considerando sia il campo di stress regionale normale sia le perturbazioni orientate introdotte dall'estrazione/immissione dei fluidi geotermici. Gli stress introdotti dall'attività geotermica andranno analizzati considerando i dati effettivi di porosità e permeabilità del serbatoio, tenuti in conto gli elementi tettonici e l'effettiva distribuzione della fratturazione, che condizionano la circolazione dei fluidi.

Risposta

La sismica ad alta risoluzione è uno strumento potente nel riconoscimento delle strutture geologiche e tettoniche, quando si vogliono indagare spessori di roccia a profondità dell'ordine di 100 – 500 m. Per profondità maggiori la risoluzione del dato restituito dalla sismica a riflessione diminuisce, e spesso si deve raggiungere un compromesso tra risoluzione e profondità di penetrazione (Musset and Khan, 2003).

Questo fenomeno, noto come attenuazione, determina una diminuzione progressiva dell'ampiezza del segnale con la distanza di attraversamento del mezzo. Ciò è determinato da due fenomeni principali: il primo è intrinseco al processo di propagazione dell'onda, il secondo è dipendente dalla reologia del mezzo attraversato. Infatti, un fronte d'onda si allarga via via che si allontana dalla sorgente e, poiché l'energia viene distribuita su un'area maggiore, l'ampiezza dell'onda diminuisce. Inoltre, parte dell'energia può essere assorbita dal mezzo che viene attraversato dall'onda sismica e ciò accade in particolare quando le rocce non si comportano in maniera perfettamente elastica, ovvero quando esse sono costituite da materiali poco coerenti o quando le temperature sono prossime alla transizione fragile-duttile (es. aree vulcaniche attive).

Dunque, il principale limite di questo strumento di indagine geofisica è legato al rapporto tra risoluzione che si vuole ottenere e profondità che si vuole indagare. In breve, più si aumenta la risoluzione, minore è la capacità di penetrare gli strati più profondi. Quindi, le strutture geologiche a piccola scala (< 500-1000m) possono essere individuate attraverso l'analisi dei segnali di corto periodo, che però sono affetti da una maggiore attenuazione nel mezzo con la distanza (Burger H.R., 1992).

Un'ulteriore difficoltà nell'analisi dei dati di tomografia sismica deriva dal livello di complessità geologica dell'area da indagare. Incorporare le informazioni geologiche nella sismica a riflessione può essere talvolta arduo, quando il modello

di velocità delle strutture è complesso, con variazione significativa laterale e con presenza di riflettori multipli (Clapp et al., 2004). Ciò accade particolarmente nelle aree vulcaniche, che per loro natura sono caratterizzate da morfologie profonde irregolari, da importanti variazioni laterali e da reologia del mezzo variabile con la profondità, per effetto degli elevati gradienti geotermici. In questi contesti geologici, talvolta, le indagini tomografiche standard tendono a generare lineamenti isotropici nei modelli di velocità che sono inconsistenti con la reale geologia di un'area.

Nelle aree vulcaniche, inoltre, si verifica frequentemente la sovrapposizione di strati che se pur differenti da un punto di vista litologico, presentano scarsi contrasti di densità e/o di velocità. Ciò influenza il rapporto tra ampiezza dell'onda riflessa e di quella incidente, definito come coefficiente di riflessione. Poiché il coefficiente di riflessione è dato dal rapporto tra le impedenze acustiche degli strati attraversati, e l'impedenza acustica è pari al prodotto della densità della roccia per la sua velocità, una stratificazione di rocce con impedenze acustiche simili produce scarse riflessioni e una difficile interpretazione della reale geologia del sito.

Per superare in parte i limiti legati agli effetti dispersivi di propagazione dei segnali, che devono avere un'ampiezza sufficiente per generare un'immagine sismica 2D o 3D, è previsto l'uso di sorgenti energizzanti invasive. Per ottenere immagini sismiche con buona risoluzione e capacità di penetrazione negli strati geologici, si dovrebbero utilizzare sorgenti energizzanti come gli esplosivi (comunemente cariche di dinamite). Questo metodo, ovviamente, non può essere applicato in aree urbanizzate, né tantomeno all'isola d'Ischia.

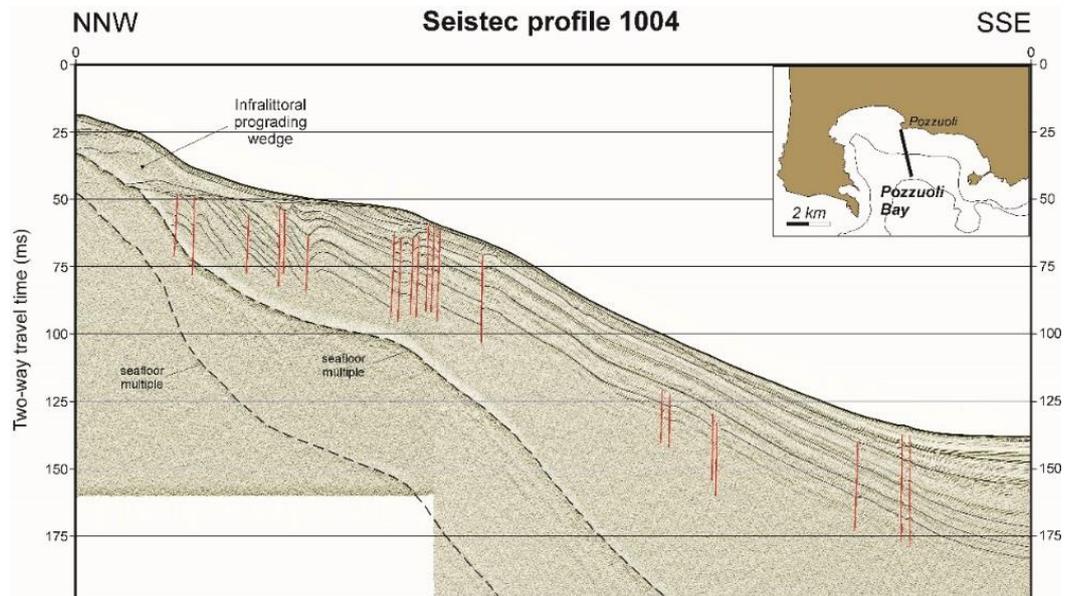
I limiti della sismica ad alta risoluzione, applicata in aree vulcaniche attive, sono stati più volte riscontrati nello studio dei Campi Flegrei, del Vesuvio e dell'isola d'Ischia.

In queste aree, è stato possibile osservare strutture a grande scala con le tomografie sismiche profonde, che hanno dato informazioni sulla presenza di grandi bacini magmatici, localizzati tra 8 e 9km di profondità, sotto il complesso vulcanico Somma-Vesuvio e sotto la caldera dei Campi Flegrei. Queste indagini hanno fornito scarse informazioni sulle strutture più superficiali (<4-5 km) e a scala più piccola (≤ 1 km) (Zollo et al., 1996, 2003, 2008).

Risultati interessanti sono stati ottenuti dalle recenti campagne sismiche ad alta risoluzione eseguite nel Golfo di Pozzuoli con utilizzo di sorgenti poco energetiche (cannoni ad aria compressa) ma con elevata risoluzione spaziale. Queste sorgenti emettono tipicamente nel range di frequenze 1–20 kHz e grazie alla larga banda di frequenza consentono di ottenere una risoluzione tra i riflettori di circa 20 cm. Tuttavia, queste indagini, a causa delle alte frequenze degli impulsi utilizzati e quindi della scarsa capacità di penetrazione, sono limitate ai primi 100m di profondità (*Figura 2.4.1*)

Figura 2.4.1

Immagine sismica ad alta risoluzione ottenuta durante una campagna di sismica del CNR nel Golfo di Pozzuoli con utilizzo di sorgente (uniboom) con range di frequenza tra 1 e 20KHz (modificato da Sacchi et al., 2009 e Carlino et al., 2016). Questo tipo di indagine permette di ottenere ottime immagini sismiche con elevata risoluzione spaziale, ma la profondità indagabile è dell'ordine dei 100 m. Sull'asse verticale sono mostrati i tempi di andata e ritorno del segnale acustico. A titolo di esempio, il tempo di 125 ms corrisponde a una profondità di circa 100 m.



In sintesi, il metodo di sismica a riflessione ad alta risoluzione, applicato al caso di Ischia, potrebbe non fornire le informazioni che sono state richieste, specie per profondità elevate (> 500m). Ciò si deve anche alla complessità geologica dell'isola, tipica di molte aree vulcaniche attive che hanno subito in passato intensi processi deformativi e collassi determinati dall'intenso drenaggio di magma. Una sismica ad alta risoluzione potrebbe dunque non arricchire il quadro delle conoscenze attuali sul serbatoio geotermico del settore occidentale dell'isola, per il quale tra l'altro esistono dati derivanti dall'emungimento dei pozzi SAFEN.

E' evidente che nell'approccio dell'investigazione geofisica è necessario procedere con cautela e secondo la migliore prassi, per step, al fine di ottenere risultati validi e attendibili sulla geologia del sito.

In via preliminare, possono essere utilizzati metodi di indagine geofisica diversi e non invasivi, come la geoelettrica e la magnetotellurica (MT) ad alta risoluzione. Si tratta di indagini ampiamente utilizzate in campo geotermico, che consentono di individuare i volumi in cui si accumulano i fluidi geotermali (volume del serbatoio) e le zone di discontinuità, come le faglie, dove si prevede un aumento della permeabilità e quindi della circolazione dei fluidi (Patella, 1993).

La magnetotellurica e la geoelettrica sono metodi ampiamente utilizzati nelle aree vulcaniche napoletane (in particolare ai Campi Flegrei), dove hanno fornito risultati interessanti per lo studio delle aree geotermali e a elevato flusso di calore. L'esecuzione di queste indagini è logisticamente più semplice e consente di

ottenere immagini sottosuolo, con riferimento alla presenza di fluidi e di discontinuità geologiche.

Sebbene il quadro geologico strutturale sia noto dalle precedenti esplorazioni (Safen, 1954), tenuto conto di quanto sopra esposto la Società Ischia Geotermia eseguirà preliminarmente un'indagine magnetotellurica, quest'ultima con risoluzione variabile da 250 a 400m, fino a profondità di 2-3km.

I risultati preliminari di tale indagine sono riportati nell'Allegato 9 al presente documento. Le indagini, ancora in corso, termineranno alla fine di ottobre e consentiranno di ottenere dei profili di resistività lungo le principali direttrici passanti attraverso il potenziale serbatoio geotermico individuato dagli studi di letteratura riportati nell'Allegato 1 del Progetto Definitivo.

I dati preliminari ottenuti dal primo profilo di resistività, riportato nell'allegato sopra citato, evidenziano la presenza di una anomalia di resistività, nel settore Sud-Ovest dell'isola di Ischia.

Lo studio di questa anomalia sembra confermare la presenza di due acquiferi, che si sviluppano a profondità di circa 0-500 m e 1.000-2.000 m. In considerazione dell'indeterminatezza dovuta alla risoluzione dell'indagine geofisica (circa 250 m negli strati più superficiali e variabile in funzione della profondità), il range di profondità osservato per gli orizzonti poco resistivi è in buon accordo con i dati riportati dagli studi di letteratura utilizzati per la ricostruzione del modello geotermico descritto all'interno del Progetto Definitivo.

2.4.2

D2) Dovranno essere approfonditi gli effetti dell'emungimento e, particolarmente, della reiniezione dei fluidi geotermici, utilizzando software appropriati e confrontando i risultati delle simulazioni con parametri misurati e test in laboratorio, tenendo anche in conto le interazioni termochimico-meccaniche del fluido geotermico con la roccia e le conseguenti variazioni di porosità, permeabilità e rigidità del serbatoio derivanti dalla reiniezione di fluidi in disequilibrio termodinamico.

Risposta

Gli effetti dell'emungimento e della re-iniezione dei fluidi per il serbatoio geotermico, localizzato nel settore occidentale dell'isola di Ischia, sono stati trattati in maniera dettagliata negli Allegati 3 e 5 del Progetto Definitivo e vengono in questa fase ulteriormente chiariti.

Per quanto concerne i software, sono state eseguite simulazioni numeriche utilizzando i codici TOUGH2® e COMSOL Multiphysics® che per la loro affidabilità e completezza sono tra i prodotti di maggiore utilizzo sul mercato, sia nel campo della ricerca scientifica che in quello di applicazioni industriali che riguardano l'ambito geotermico, e non solo. Nello specifico il primo è stato utilizzato per valutare gli effetti, indotti dall'impianto in progetto, sul sistema geotermico in termini di variazioni di T e P, mentre il secondo ha permesso di valutare gli effetti in termini di variazioni verticali del suolo (es. subsidenza).

Il codice numerico TOUGH2 è stato ideato da Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) agli inizi degli anni 80 principalmente per applicazioni ingegneristiche sui reservoir geotermici. TOUGH2 permette il calcolo degli scambi di massa e di calore dovuti al flusso tridimensionale di misture multifase (gas e liquidi) di varie specie chimiche all'interno di un mezzo poroso di permeabilità assegnata, assumendo l'equilibrio locale tra fluidi e matrice rocciosa.

Le equazioni di conservazione della massa e dell'energia, che descrivono le condizioni termodinamiche del sistema, vengono discretizzate nella loro forma integrale, in uno schema detto metodo delle differenze finite integrali (*Edwards, 1972*). Le soluzioni consistono in un insieme di valori di due variabili termodinamiche indipendenti (nel nostro caso pressione P e temperatura T) che definiscono univocamente lo stato del sistema.

Queste variabili vengono stimate, in funzione del tempo, nei centri delle celle in cui il volume discretizzato è stato suddiviso. I flussi di fluidi sono descritti tramite l'equazione di Darcy, espressa in una forma multifase e multicomponente. Il flusso di calore viene descritto considerando termini conduttivi e convettivi. La natura e le proprietà delle misture di fluidi che scorrono nel mezzo poroso vengono considerate nelle equazioni attraverso i parametri fisici (densità, viscosità, entalpia), calcolati in funzione delle condizioni termodinamiche stimate.

Per quanto concerne l'analisi delle deformazioni indotte dalle variazioni di stress sub-superficiali è stato utilizzato il modulo Structural Mechanics di COMSOL, tra i più adoperati in applicazioni ingegneristiche e meccaniche anche in ambito geologico-geofisico. Esso offre un'interfaccia utente per eseguire analisi nei sistemi di coordinate 2D, 2D assial-simmetrico e 3D per solidi, shell (3D), piastre (2D), e quant'altro. Queste consentono di effettuare analisi di deformazioni con non linearità geometriche, contatto meccanico, deformazione termica, materiali piezoelettrici e interazione fluido-struttura (FSI).

Lo Structural Mechanics Module è associato a COMSOL Multiphysics e ad altri moduli specifici per le varie applicazioni, permettendo così l'accoppiamento delle analisi strutturali con una vasta gamma di fenomeni multifisici, tra cui l'interazione di strutture meccaniche con campi elettromagnetici, la fluidodinamica e le reazioni chimiche.

Per quanto concerne le variazioni fisiche del sistema dovute all'emungimento e alla re-iniezione vanno considerati gli effetti del 1° ordine che riguardano le variazioni di temperatura e di pressione nel sistema geotermale. Tali variazioni consentono di valutare, preliminarmente, la sostenibilità della risorsa geotermica, e le possibili interazioni con la sismicità naturale per effetto della perturbazione dei regimi pressori rispetto allo stato stazionario.

Le simulazioni eseguite per il serbatoio geotermico dell'isola d'Ischia hanno pertanto la finalità di definire un modello quantitativo di riferimento che risolva le variazioni di temperatura e pressione a seguito dell'emungimento e della reiniezione all'interno di una maglia predefinita. Tali variazioni sono riferite allo stato stazionario che è stato stabilito secondo quanto riportato nell'Allegato 3 del Progetto Definitivo.

Dunque, partendo dalla soluzione stazionaria ottenuta, sono stati introdotti nel modello i pozzi di produzione e reiniezione previsti nel progetto pilota (Figura 2.4.2a), per valutare la sostenibilità di coltivazione del campo mediante impianti geotermoelettrici a reiniezione totale del fluido. Le portate di prelievo imposte, come previste dal progetto, sono state di 41 kg/s per ciascun pozzo di prelievo e di 82 kg/s per il pozzo di reiniezione. Il tempo di sfruttamento simulato è di 30 anni.

Sono stati ricavati in primo luogo gli andamenti dei vettori rappresentativi del flusso di fluido in prossimità della zona di emungimento e della zona di reiniezione dei pozzi (Figura 2.4.2b). Questi mostrano che il flusso di massa è maggiormente concentrato intorno ai pozzi produttivi (out 1 e 2).

Figura 2.4.2a *Configurazione dei Pozzi di Progetto*

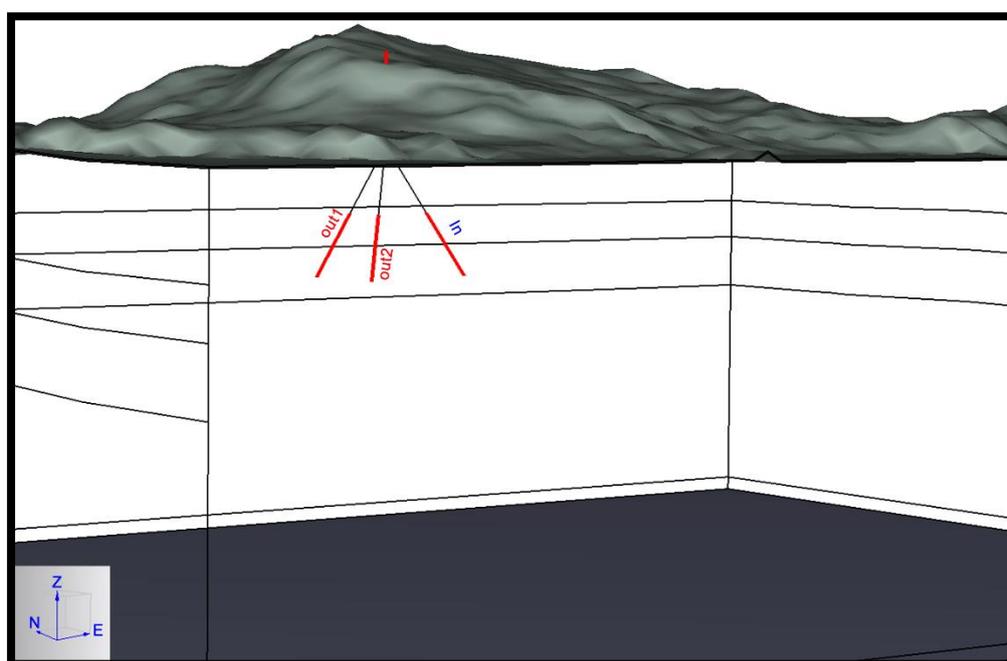
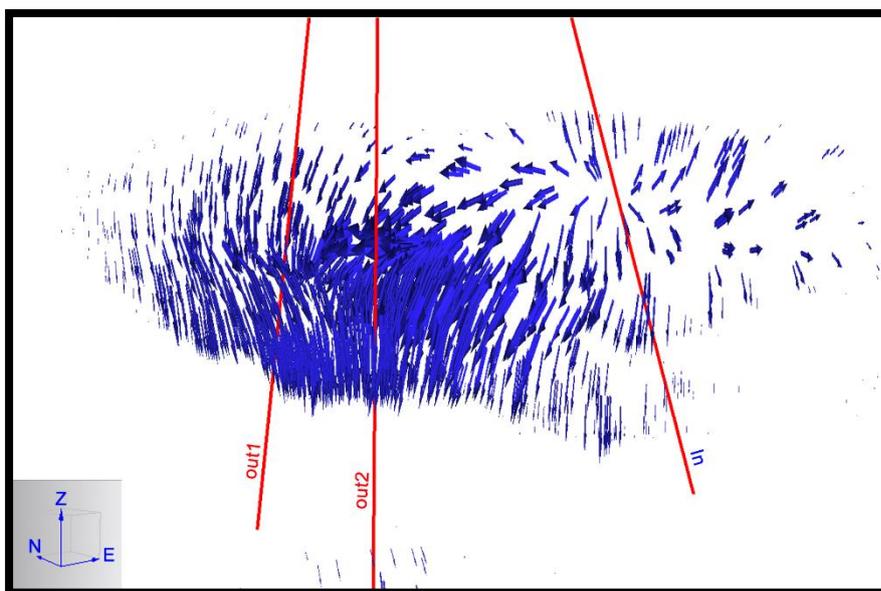


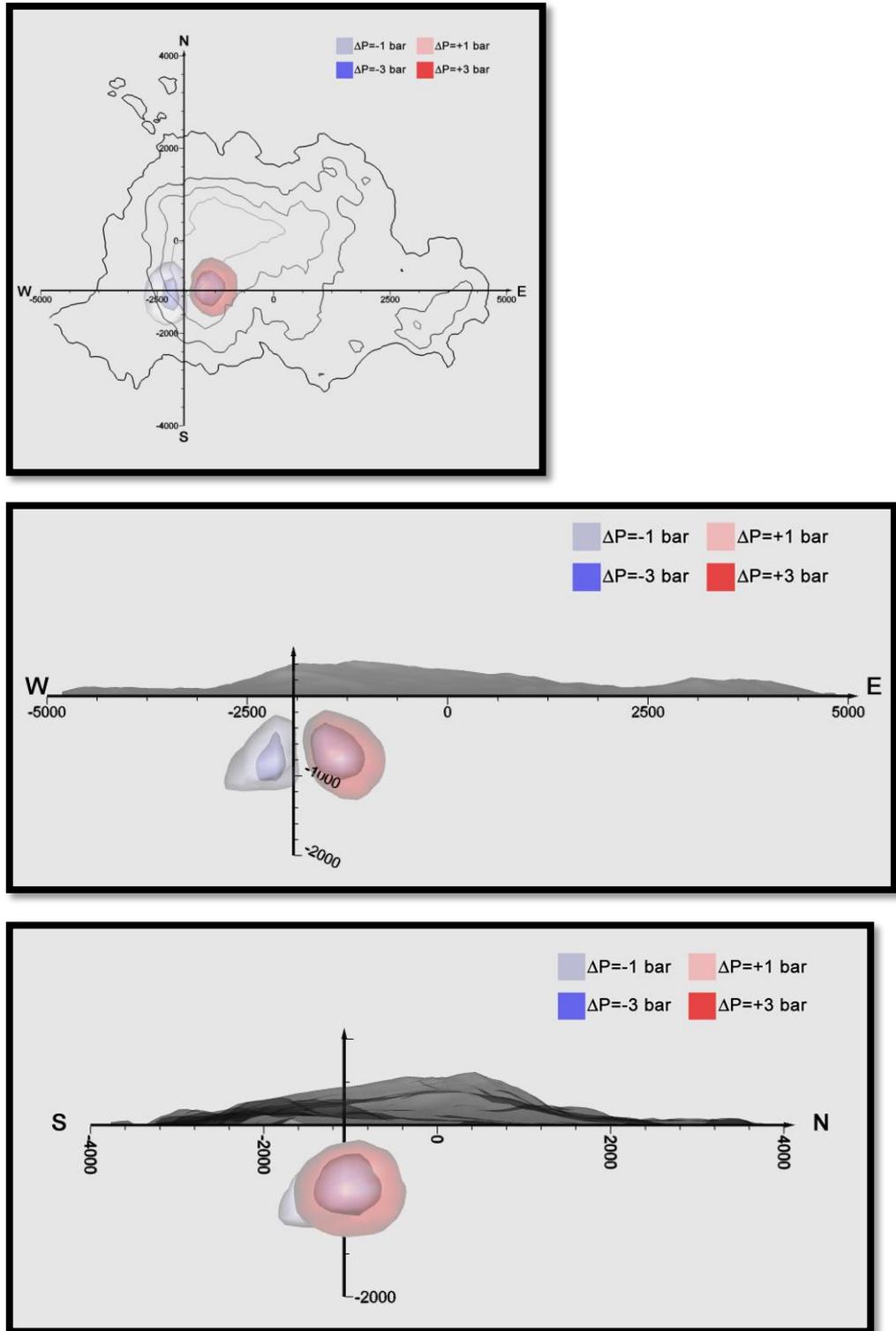
Figura 2.4.2b *Andamento dei vettori rappresentativi del flusso di fluido in prossimità delle zone di emungimento e di reiniezione dei pozzi.*



Di seguito si riportano, invece, considerazioni sulle variazioni termodinamiche riscontrate al termine del ciclo di sfruttamento.

Variazioni negative di pressione sono ovviamente localizzate intorno alle zone di emungimento dei pozzi, mentre variazioni positive nella zona di reiniezione. In particolare in *Figura 2.4.2c* sono stati individuati due volumi principali, all'interno dei quali si verificano le variazioni negative e positive uguali o superiori (in valore assoluto) a 3bar (0.3 MPa) e 1bar (0.1MPa) rispettivamente.

Figura 2.4.2c *Isosuperfici delle variazioni di pressione generate da un periodo di coltivazione della risorsa di trent'anni, relative ai valori di ± 1 bar (0.1MPa) ed a ± 3 bar (0.3MPa). Le variazioni sono riportate in pianta (in alto) ed in sezione lungo le direttrici E-W e N-S (al centro ed in basso rispettivamente).*



Tali volumi sono pari a: $6.4 \cdot 10^7 \text{ m}^3$ per variazioni di -3bar nella zona di emungimento; $5.3 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ per variazioni di -1 bar nella zona di emungimento;

$1.6 \cdot 10^7$ m³ per variazioni di +3bar nella zona di reiniezione; $7.2 \cdot 10^8$ m³ per variazioni di +1 bar nella zona di reiniezione.

Le variazioni massime di pressione si verificano in corrispondenza dell'asse deviato dei pozzi, nella zona sfinestrata di emungimento e/o reiniezione, in volumi poco significativi e del tutto trascurabili. Dalla precedente *Figura 2.4.2c* si evince che il decremento di pressione massimo nella zona di emungimento è pari a circa -3bar. Tale variazione è misurata, nella simulazione, in corrispondenza dell'asse del pozzo di emungimento, nella sezione più profonda della zona sfinestrata.

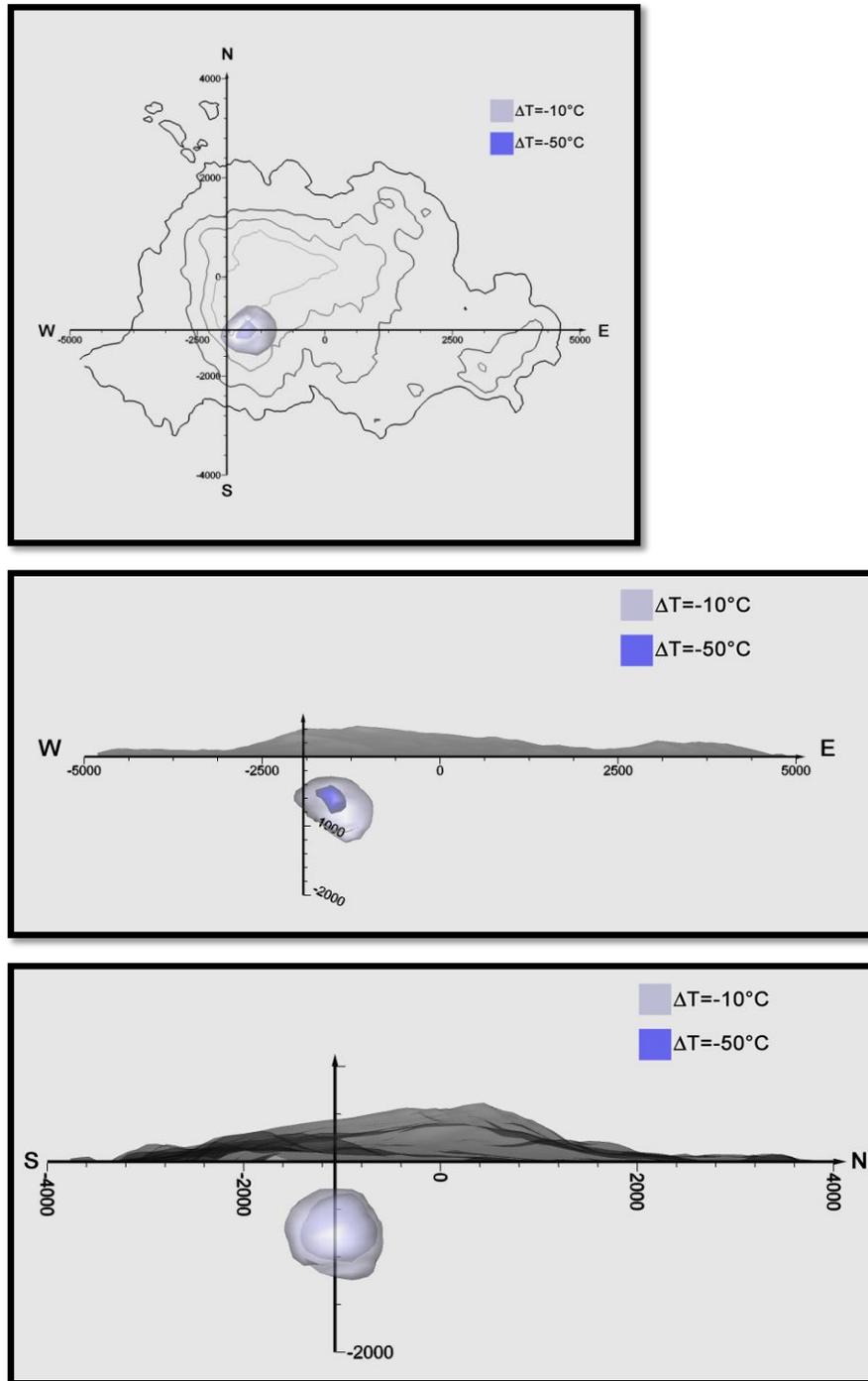
Nella stessa figura si riporta la variazione relativa alla zona di reiniezione, da cui si evince che i volumi in cui si verificano incrementi di pressione, a parità di valori rispetto alla zona di emungimento, sono leggermente superiori. Le variazioni di pressione causate dalla coltivazione del campo pozzi tendono a stabilizzarsi dopo i primi 5 anni di produzione, raggiungendo un *rate* di variazione molto basso secondo uno stato quasi stazionario.

Dalla *Figura 2.4.2d* è possibile osservare come le variazioni di temperatura dopo 30 anni di simulazione risultano poco significative nella zona di emungimento (sono pari a una diminuzione di 1-2 °C e non vengono riportate graficamente perché poco apprezzabili).

Più significative sono le variazioni dello stato termico nella zona di reiniezione. Qui la differenza tra la temperatura del serbatoio di reiniezione, che si è supposto pari a 200 °C, e quella dei condensati (circa 90 °C) determina una diminuzione della temperatura superiore a 50 °C, in un volume intorno al pozzo (nel range di profondità della zona di reiniezione) pari a circa 10^7 m³. Variazioni di -10 °C si verificano invece in un volume di circa $7 \cdot 10^8$ m³.

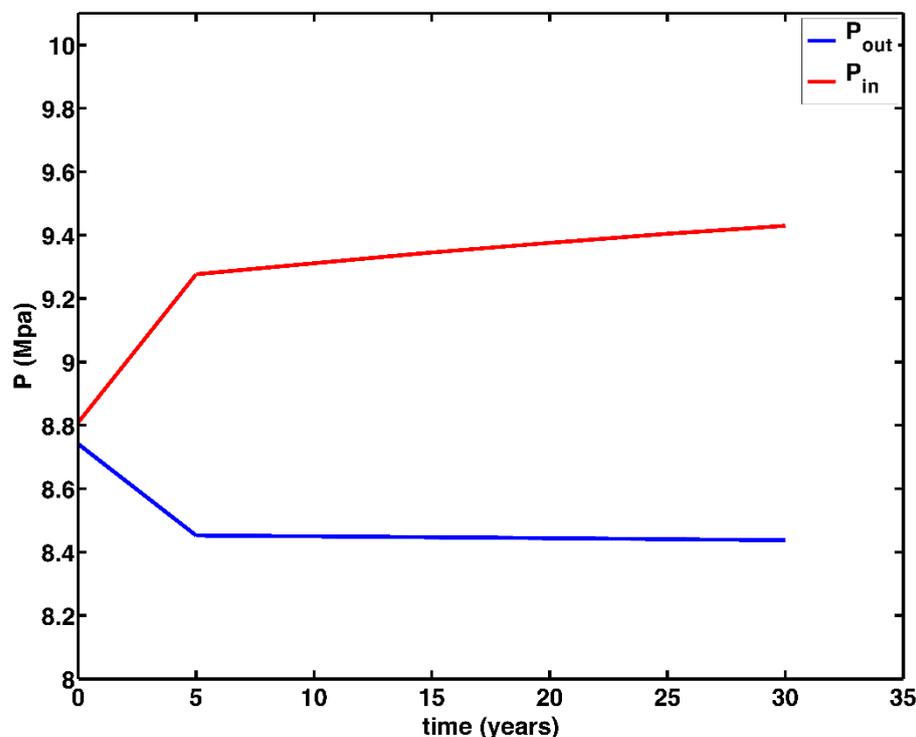
E' importante sottolineare che dalla simulazione emerge l'assenza di qualsiasi significativa interazione termodinamica tra la zona perturbata dall'emungimento e la zona perturbata dalla reiniezione dei fluidi. Interazioni minime e comunque poco significative possono verificarsi per variazioni di pressione inferiori a 0,5 bar.

Figura 2.4.2d *Isosuperfici delle variazioni di temperatura generate da un periodo di coltivazione della risorsa di trent'anni, relative a -10°C ed a -50°C . Le variazioni sono riportate in pianta (in alto) ed in sezione lungo le direttrici E-W e N-S (al centro ed in basso rispettivamente). Come si evince dalla figura le variazioni nella zona di emungimento non sono visibili a causa del bassissimo decremento di temperatura osservato.*



Si riporta infine in *Figura 2.4.2e* l'andamento delle pressioni assolute nel tempo, da cui si evince il raggiungimento di uno stato quasi stazionario, nel punto in cui le curve hanno un andamento asintotico.

Figura 2.4.2e *Simulazione dell'andamento della pressione assoluta al fondo del campo pozzi. L'aumento massimo relativo di pressione (P_{in}) è pari a circa 0.6MPa (6 bar) dopo 30 anni di coltivazione della risorsa. La diminuzione massima relativa (P_{out}) è invece pari a 0.3MPa (3bar). Si nota che la variazione di pressione significativa si verifica all'incirca nei primi 5 anni di produzione, successivamente il rate di variazione è notevolmente inferiore.*



In conclusione le simulazioni condotte sono state finalizzate a valutare le variazioni termodinamiche del sistema geotermale di Ischia (ΔT e ΔP), a seguito dell'attività di emungimento di fluidi caldi ($T \approx 200 \text{ }^\circ\text{C}$) e reiniezione totale dei condensati ($T \leq 90 \text{ }^\circ\text{C}$) dal e nel reservoir geotermico, per la produzione di 5MWe (per i risultati concernenti la subsidenza e la sismicità indotta si veda l'Allegato 6 del Progetto Definitivo).

Le simulazioni sono basate su un modello concettuale di serbatoio geotermico, ricavato dallo studio della letteratura scientifica, dalle indagini geofisiche e geochemiche e dall'analisi e interpretazione dei dati derivanti dalle campagne di esplorazione geotermica condotti dalla società SAFEN a partire dal 1949 nell'isola d'Ischia (Allegato 1 del Progetto Definitivo).

I risultati principali delle simulazioni, eseguite per un periodo di coltivazione della risorsa di 30 anni, possono così essere sintetizzati:

- un incremento di pressione (≥ 3 bar) si osserva nel dominio del pozzo reiniettivo, in un volume piuttosto contenuto pari a $1.6 \cdot 10^7 \text{ m}^3$. La pressione massima registrata in corrispondenza del pozzo (alla base della zona di reiniezione) è pari a 6bar ed è confinata intorno all'asse del pozzo (il cui volume

è trascurabile); variazioni fino a 1 bar si osservano invece in un volume pari a $7.2 \cdot 10^8 \text{ m}^3$;

- un decremento di pressione ($\geq 3\text{bar}$) si osserva nel dominio dei pozzi di emungimento, in un volume, anche questo piuttosto contenuto, pari a $6.4 \cdot 10^7 \text{ m}^3$. Il decremento massimo si osserva in corrispondenza dei pozzi di emungimento (alla base della zona di estrazione) ed è pari a -3bar; variazioni fino a -1bar si osservano invece in un volume pari a $5.3 \cdot 10^8 \text{ m}^3$;
- il campo termico non mostra sostanziali variazioni di temperatura nel dominio dei pozzi di emungimento, mentre si osserva una diminuzione della temperatura superiore a $50 \text{ }^\circ\text{C}$, in un volume intorno alla base della zona di reiniezione pari a circa 10^7 m^3 . Variazioni di $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ si verificano invece in un volume di circa $7 \cdot 10^8 \text{ m}^3$;
- le variazioni di pressione del sistema geotermale nel dominio dei pozzi (emungimento e reiniezione) mostrano tassi d'incremento e decremento simili, elevati nei primi 5 anni di coltivazione della risorsa, che tendono poi diminuire notevolmente nel restante periodo di simulazione, fino a raggiungere lo stato quasi stazionario;
- non si evidenziano interazioni termodinamiche tra il dominio spaziale delle perturbazioni causate dall'emungimento dei fluidi e il dominio spaziale delle perturbazioni causate dalla re-iniezione dei condensati;
- le perturbazioni termiche e di pressione sono confinate nella zona dell'acquifero produttivo, a più elevata permeabilità, mentre non si evidenziano interazioni con i livelli di falda molto superficiali (0-100 m dal p.c.), la cui acqua calda è utilizzata per l'attività termale e balneare dell'isola.

Le simulazioni mostrano in definitiva che le perturbazioni termodinamiche del sistema geotermale di Ischia, indotte dall'attività di estrazione e re-iniezione dei fluidi, sono sostenibili ai fini della produzione di 5MWe, sia per quanto attiene le variazioni del campo termico e del campo di pressioni sia per quanto concerne l'interazione delle perturbazioni tra il dominio della zona di emungimento e quella di reiniezione.

Rispetto alle richieste integrative di tener in conto “*le interazioni termo-chimico-meccaniche del fluido geotermico con la roccia e le conseguenti variazioni di porosità, permeabilità e rigidità del serbatoio derivanti dalla reiniezione di fluidi in disequilibrio termodinamico*” si riporta quanto segue:

- il codice numerico TOUGH2®, come già sopra ribadito, è configurato in modo da tener conto delle variazioni termodinamiche dovute all'effetto di re-iniezione o di emungimento, come può essere ad esempio l'espansione o la contrazione termica dovuta rispettivamente al riscaldamento o al raffreddamento del mezzo;
- le eventuali variazioni di porosità, permeabilità e rigidità del mezzo sono trascurabili in quanto rappresentano effetti del 2° ordine. Nello specifico di studi di carattere termodinamico questi effetti sono trascurati in modo da linearizzare le equazioni di equilibrio. Sebbene si tratti di una semplificazione, la scelta di trascurare gli effetti di 2° ordine riduce la complessità nella soluzione delle equazioni, mentre l'inclusione di tali effetti può portare a soluzioni fortemente non lineari, che non producono risultati aderenti alla realtà fisica. Va inoltre ribadito che i regimi pressori ottenuti dalle simulazioni sono tali (ovvero bassi

in valore assoluto e contenuti in piccoli volumi) da non avere effetti significativi sulle proprietà meccaniche delle rocce, in particolare per quanto riguarda fenomeni di fratturazione che potrebbero aumentare la permeabilità. Anche i valori di rigidità e di incompressibilità del mezzo non consentono variazioni significative di porosità per i livelli di pressione raggiunti dal sistema durante l'emungimento e la re-iniezione. D'altronde le procedure numeriche utilizzate (e le relative approssimazioni rispetto a variazioni del sistema geotermale) sono state sperimentate e applicate in diversi studi scientifici pubblicati su riviste internazionali, che vanno dalla sperimentazione funzionale dei software appropriati alle diverse simulazioni, allo studio delle variazioni termodinamiche dovute all'emungimento e alla reiniezione dei fluidi, fino alla valutazione della sostenibilità delle risorse geotermiche (*Pruess et al., 1991, 1999; Troiano et al., 2013; Carlino et al., 2014, 2015, 2016*).

Sempre al presente punto, è richiesto di “confrontare i risultati delle simulazioni con i parametri misurati e test di laboratorio”.

Si fa presente che i risultati delle simulazioni forniscono parametri (in particolare variazioni di pressione e temperatura) che possono essere confrontati solo con misure eseguite in fase di produzione dei pozzi.

In fase di esercizio, infatti, saranno eseguite misure di pressione a fondo pozzo e saranno utilizzate altre metodologie (es. uso di traccianti geochimici) per verificare la validità dei modelli proposti e delle simulazioni numeriche effettuate, come ad esempio la scarsa interazione tra zona di emungimento e di re-iniezione e la continuità del reservoir geotermico tra queste due zone.

Per quanto concerne invece i vincoli parametrici utilizzati nel modello, si è fatto riferimento a numerosi dati derivanti dalle prove di produzione sui pozzi di Ischia localizzati nel settore occidentale dell'Isola (vedi Allegato 1 - Geologia e Inquadramento Geotermico – del Progetto Definitivo) (*Penta e Conforto, 1951; Agip, 1987; Carlino et al., 2012*).

Valutazioni analitiche indirette sono state invece utilizzate per calcolare i valori di permeabilità, dalle termometrie dei pozzi profondi molto prossimi alla zona di coltivazione geotermica.

In particolare si è partiti dallo studio delle curve di conduzione e di convezione in un mezzo omogeneo ed isotropo, confrontando queste ultime con quelle misurate (termometrie dei pozzi), in modo da ottenere un'analisi semi-quantitativa dei processi di trasferimento del calore nella crosta superficiale dell'isola. Per eseguire questa analisi bisogna considerare, nel processo conduttivo, la quantità di calore (**Q**) contenuta nella sorgente magmatica e l'andamento della temperatura con la distanza dalla sorgente $T_{(y,t)}$ al tempo t; e nel processo convettivo, la temperatura (**T**) in funzione della velocità di Darcy (**v**), viscosità e densità dei fluidi circolanti in superficie. Le equazioni utilizzate sono le seguenti:

$$Q = \rho [c(T_m - T_0) + L] 2b$$

$$T_{(y,t)} = \frac{Q}{2\rho c \sqrt{\pi \kappa t}} e^{-y^2/4\kappa t}$$

$$T = T_r - (T_r - T_0) \cdot \exp\left(-\frac{\rho_f c_f v}{\lambda} y\right)$$

Dove:

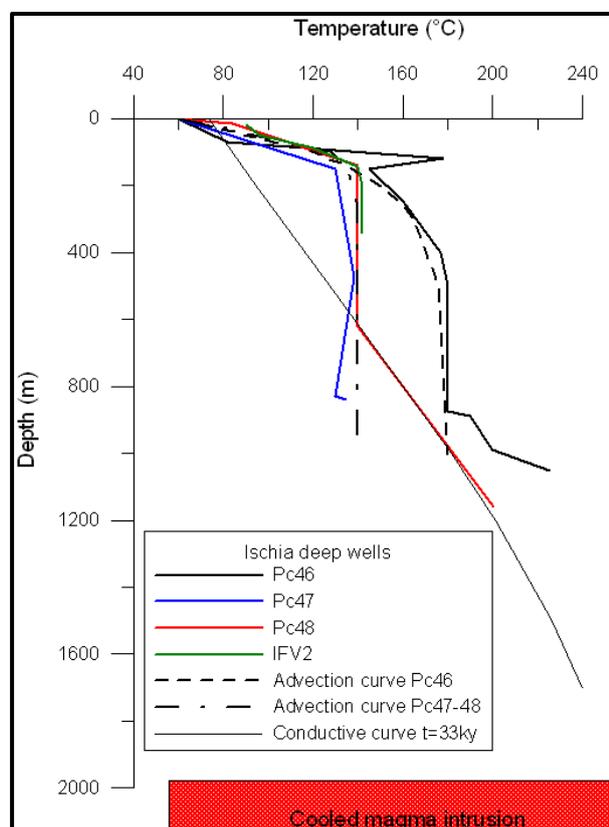
- T_0 = temperatura del mezzo circostante il serbatoio magmatico;
- T_m = temperatura del magma al momento dell'intrusione;
- k = diffusività termica;
- λ = conduttività termica della matrice solida;
- b = spessore dell'intrusione magmatica (sill);
- c = calore specifico magma;
- c_f = calore specifico del fluido geotermale;
- ρ_f = densità del fluido;
- r = densità del magma.

I valori utilizzati sono i seguenti, in accordo con *Carlino et al., (2012)*:

$\rho = 2300 \text{ kgcm}^{-3}$, $c = 1 \text{ kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$, $L = 350 \text{ kJkg}^{-1}$, $T_m = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ (1273 K), T_0 is 300°C (573 K) condizioni iniziali vicini all'intrusione magmatica. Da cui $Q = 6 \cdot 10^{12} \text{ Jm}^{-2}$. Inoltre viene fissato, $k = 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, $t = 33,000$ anni.

Per il calcolo delle curve di temperature (T) in regime convettivo, si fissano le temperature del reservoir geotermico (T_r) pari rispettivamente a $180 \text{ }^\circ\text{C}$ (Pc 48) e $140 \text{ }^\circ\text{C}$ (Pc-46-47) (zone a gradiente 0), $\rho_f = 1000 \text{ kgm}^{-3}$, $c_f = 4,185 \cdot 10^3 \text{ jkg}^{-1}$, $\lambda = 3,35 \text{ Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$ e $v = 6,7 \cdot 10^{-8} \text{ ms}^{-1}$. I confronti tra le curve calcolate e misurate sono mostrate in Figura 2.4.2f.

Figura 2.4.2e *Confronto tra le curve T-P analitiche per regime conduttivo e convettivo con le curve T-P misurate nei pozzi del settore occidentale (da Carlino et al., 2012). In questo caso, la profondità zero (0) è riferita alla quota della testa pozzo.*



Dal confronto risulta un buon fitting tra curve convettive analitiche e quelle misurate, fino ad una profondità di 800 m circa, evidenziando il contributo della circolazione dei fluidi nel trasporto di calore nella parte più superficiale del sistema geotermale.

Nelle zone più profonde le curve misurate sembrano adattarsi alla curva analitica conduttiva, mostrando che in questa zona i processi dominanti convergono verso un trasporto del calore prevalentemente conduttivo. Inoltre, se il flusso del fluido presente è guidato dal galleggiamento per differenza di densità (non c'è sovrappressione), è possibile utilizzare la velocità di Darcy per stimare, in prima approssimazione, la permeabilità delle rocce nella zona di convezione, assumendo che il flusso sia laminare e che il valore del gradiente di pressione in eccesso alla pressione idrostatica sia trascurabile.

Questo metodo indiretto è utile quando si vuole stimare la permeabilità su scala più ampia, mediata su uno spazio dimensionale molto più grande rispetto alle misure effettuate in laboratorio.

In tal caso la permeabilità (k) è data da:

$$K = \frac{v\mu}{\alpha_f \rho_f g (T_r - T_0)}$$

dove μ , α_f e ρ_f rappresentano la viscosità, il coefficiente di espansione termica e la densità del fluido, rispettivamente.

Si ottiene in tal caso un valore di permeabilità pari a circa 10^{-15} m^2 . Questo valore è da assumere come orientativo della permeabilità media dello strato considerato, che nella soluzione analitica adottata è definito dalla legge di Darcy (fluido in un mezzo poroso).

Tuttavia, sia i pozzi profondi che le fumarole testimoniano una robusta circolazione convettiva profonda, con emergenze superficiali importanti (portate fumaroliche di circa 1350 td^{-1} ad Ovest del Monte Epomeo), che richiedono valori di permeabilità di un ordine di grandezza superiore, così come si evince dalle modellazioni di fluidi multifase in prossimità di sorgenti magmatiche, rinvenibili in letteratura (*Hayba and Ingebritsen, 1997; Ingebritsen et al., 2008*).

Misure di permeabilità in situ, effettuate a 500 m di profondità, nella vicina area vulcanica dei Campi Flegrei, che per struttura, litologia e temperature è simile ad Ischia, hanno mostrato valori di circa 10^{-13} m^2 .

In tal caso è ragionevole supporre che i livelli di circolazione convettiva di fluidi ad Ischia, siano caratterizzati da valori di permeabilità anche superiori a quello ottenuto analiticamente (così come osservato nella crosta superficiale in molte aree geotermiche), dell'ordine di 10^{-14} m^2 , correlati alla circolazione per fratturazione piuttosto che alla porosità, e tali da supportare l'intensa circolazione dei fluidi osservata e le portate elevate delle fumarole nel settore occidentale.

2.4.3

D3) Il Proponente dovrà analizzare, rispetto alla sismicità stimolata dall'impianto pilota in progetto, non solo gli effetti in termini di sismicità indotta, ma anche i potenziali effetti in termini di sismicità innescabile, tenuto conto del contesto vulcano-tettonico complesso ed attivo dell'isola di Ischia, considerando il volume entro cui ricadono le strutture sismogenetiche effettivamente interferite, tenendo in conto gli effetti delle variazioni di pressione dovute a variazioni di porosità, permeabilità e rigidità del serbatoio conseguenti alle interazioni termo-chimico-meccaniche del fluido geotermico con la roccia.

Risposta

E' ben noto dalla letteratura scientifica che la complessità dei processi che determinano i terremoti non consente di stabilire con certezza la differenza tra terremoti indotti e terremoti innescati dall'attività di estrazione e re-iniezione di fluidi nella crosta.

Tipicamente l'attività di iniezione di fluidi nella crosta, a elevate pressioni e per periodi prolungati, può generare terremoti indotti con magnitudo generalmente basse.

Mentre per la sismicità indotta, che deriva da attività antropiche come l'iniezione di fluidi ad alta pressione (fracking, wastewater ect.), è nota la relazione esistente tra iniezione e generazione dei terremoti; meno chiara è la relazione che intercorre tra tali attività e terremoti stimolati, che tipicamente hanno magnitudo maggiori rispetto a quelli indotti.

Le difficoltà nel riconoscere terremoti indotti da quelli stimolati deriva proprio dalla natura del processo di fratturazione che avviene in condizioni altamente critiche e secondo un processo caotico, specie nel caso dei terremoti stimolati. I terremoti indotti sono quelli nei quali uno sforzo esterno, prodotto dalle attività antropiche, è sufficientemente grande da produrre un evento sismico in una regione che non era necessariamente sottoposta a un campo di sforzi tale da poter generare un terremoto in un futuro ragionevolmente prossimo (in senso geologico).

Cadono in questa categoria i terremoti prodotti da procedimenti di stimolazione termica o idraulica di una roccia, quali la Fratturazione Idraulica (fracking) e gli Enhanced Geothermal Fields. I terremoti innescati (o stimolati), sono invece quelli per i quali una perturbazione dello stato di stress nella crosta, generata dall'attività antropica, può essere sufficiente a spostare il sistema da uno stato quasi-critico (già vicino alla rottura) ad uno stato instabile (scorrimento della faglia).

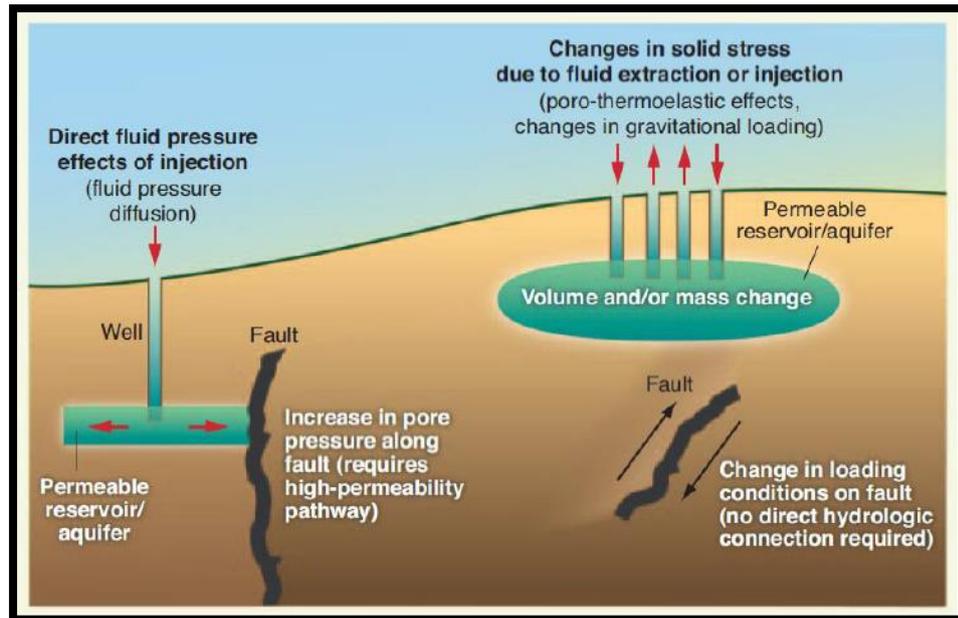
In tal caso l'evento sismico sarebbe comunque avvenuto, ma probabilmente in tempi successivi e non quantificabili. La condizione necessaria perché questo meccanismo si attivi è la presenza di una faglia sismogenetica già carica per uno sforzo tettonico, localizzata in prossimità di un sito dove avvengono azioni antropiche che alterano lo stato di sforzo. In alcuni casi queste alterazioni possono provocare l'attivazione della faglia già carica.

E' importante ricordare che, poiché in questo caso le operazioni tecnologiche attivano solamente il processo di rilascio dello sforzo tettonico, la magnitudo dei

terremoti innescati è tipicamente maggiore rispetto a quelli indotti, che per definizione avvengono in aree dove gli sforzi tettonici sono minori.

Rispetto al processo di generazione dei terremoti da attività antropiche esso può essere generalizzato come nella *Figura 2.4.3a*, dove sono riportati i due meccanismi principali secondo i quali può essere prodotta sismicità per effetto dell'attività di estrazione e re-iniezione di fluidi.

Figura 2.4.3a *Meccanismi principali per la generazione di terremoti dovuti ad attività antropiche quali l'iniezione e l'emungimento di fluidi (da Ellsworth W.L. 2013).*



In particolare nel caso dell'iniezione di fluidi l'incremento di pressione determina un indebolimento della forza resistente su faglie preesistenti, secondo il principio di rottura di Coulomb, per effetto dell'aumento della pressione di poro. Tipicamente gli incrementi di pressione per determinare l'innescio di sismicità legata a tale processo sono dell'ordine di decine di bar (*Guha, 2000*).

Un secondo meccanismo è legato alla variazione di massa o di volume dei reservoir in seguito a emungimento e/o re-iniezione. Da un punto di vista della fisica, tale processo è meno conosciuto rispetto a quello precedente, poiché questo implica variazioni del campo di sforzo intorno una sorgente ed effetti sui dintorni, che non sono facilmente quantificabili e nemmeno misurabili.

In entrambi i casi la condizione necessaria per lo studio della sismicità indotta è che si conosca innanzitutto il livello di sismicità, precedente all'esercizio dell'impianto di estrazione e/o re-iniezione, per un periodo sufficientemente lungo. Va definito poi un quadro più dettagliato della tettonica locale e delle eventuali strutture sismogenetiche in grado di essere riattivate dall'attività antropica.

Si vedrà di seguito, così come anche riportato negli allegati tecnici al progetto definitivo di "Serrara Fontana", che per l'isola d'Ischia, in termini di conoscenza

della sismicità storica e recente e di geologia e tettonica dell'area, si hanno informazioni sufficienti per ottenere un quadro generale sulla possibile attività sismica correlata all'esercizio dell'impianto da 5MWe.

Per un'analisi della sismicità innescabile nell'isola d'Ischia è quindi necessario eseguire uno studio sulla sismicità storica in modo da definire l'area sismogenetica e le sorgenti o la sorgente sismica in grado di produrre terremoti e definire la magnitudo massima attesa.

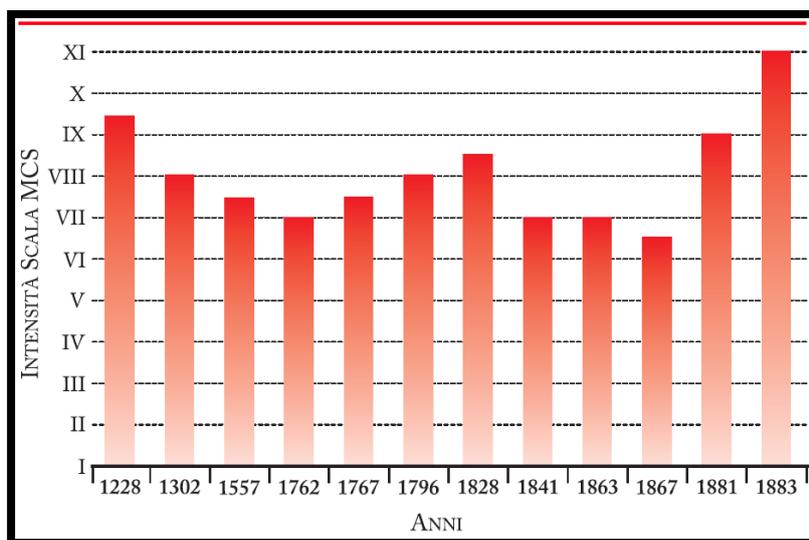
Questa analisi è descritta nell'Allegato 4 (Analisi sismica e Monitoraggio Sismico) del Progetto Definitivo di cui si riportano di seguito i punti salienti, integrando quest'ultima con ulteriori considerazioni sulla localizzazione della principale sorgente sismica nell'isola e con la descrizione dell'attività sismica registrata recentemente dalle reti dell'Osservatorio Vesuviano.

L'attività sismica storica di Ischia, di cui si hanno notizie attendibili a partire dal 1228 (*Tabella 2.4.3a e Figura 2.4.3b*), mostra la persistenza dell'area epicentrale nel territorio comunale di Casamicciola. Tale sismicità, per la bassa energia dei terremoti, l'elevata intensità ed il rapido decadimento degli effetti con la distanza dall'area epicentrale è peculiare delle aree vulcaniche.

Tabella 2.4.3a *Principali terremoti storici dell'isola d'Ischia, a partire dal 1228 (da Luongo et al., 2006; Carlino et al., 2009)*

ANNO	LOCALITÀ	IMAX (MCS)
1228	Casamicciola	IX-X
1302	Settore orientale dell'isola	VIII
1557	Campagnano	VII-VIII
1762	Casamicciola	VII
1767	Settore orientale dell'isola	VII-VIII
1796	Casamicciola	VIII
1828	Casamicciola	VIII-IX
1841	Casamicciola	VII
1863	Casamicciola	VII
1867	Casamicciola	VI-VII
1881	Casamicciola	IX
1883	Casamicciola	XI

Figura 2.4.3b *Valori di intensità (MCS) dei terremoti storici ad Ischia (da Luongo et al., 2006)*



Le informazioni più complete sulla sismicità si hanno a partire dal 1.700; dalla fine di questo secolo e per tutto il secolo successivo, infatti, l'attività sismica produce gravi danni e numerose vittime.

Particolarmente rilevanti sono il terremoto del 1796 e del 1828, mentre gli eventi sismici di maggiore gravità sono quelli del 1881 ($I_{max}=IX$ grado MCS) e del 1883 ($I_{max}=XI$ grado MCS). Quest'ultimo rappresenta l'apice dell'energia sismica liberata ad Ischia in tempi storici, e dopo di esso inizia nell'isola un periodo di silenzio sismico che dura tutt'oggi se si escludono eventi isolati avvertiti all'inizio del 1900 ed i pochissimi micro-terremoti registrati negli ultimi 30 anni, localizzati nel settore settentrionale.

Gli effetti del terremoto del 28 luglio 1883 furono particolarmente intensi a Casamicciola ed in parte a Lacco Ameno, danni gravi, se pur in aree limitate, si registrarono a Forio, molto più lievi a Serrara Fontana e Barano, mentre ad Ischia gli effetti furono poco significativi.

Le fonti bibliografiche e la documentazione storica su questo terremoto sono particolarmente ricche ed hanno consentito di ricostruire fedelmente il danneggiamento a Casamicciola ed in tutta l'isola. In particolare per il comune di Casamicciola è stata effettuata un'analisi molto dettagliata dei danni, individuando le diverse località colpite attraverso l'analisi della cartografia storica.

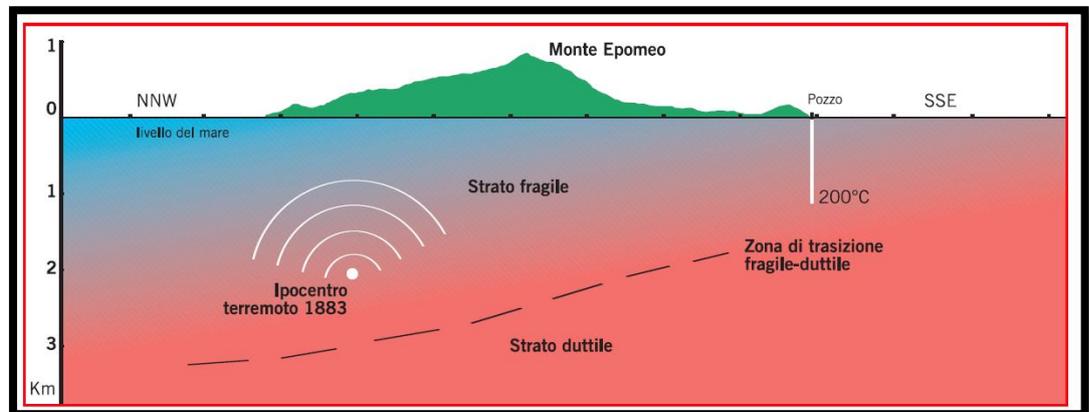
L'elaborazione puntuale del danneggiamento, integrata con i dati geologici e della tettonica dell'isola, hanno reso possibile da un lato la stima dei parametri della sorgente sismica, della propagazione dell'energia e degli effetti di sito e, dall'altro, la valutazione degli effetti di possibili futuri terremoti locali. Tali studi sono strumenti indispensabili per la programmazione della prevenzione finalizzata alla riduzione del rischio sismico.

Ad Ischia, nonostante il lungo silenzio sismico, non si può escludere una possibile riattivazione delle strutture sismogenetiche, anche se è molto difficile poter valutare il periodo di ritorno dei terremoti senza una conoscenza profonda delle caratteristiche reologiche del basamento e dei campi di sforzo agenti nell'area. Infatti è molto arduo dedurre il campo di sforzi regionale nelle aree vulcaniche attive a causa dei complessi fenomeni di deformazione che accompagnano le grandi eruzioni esplosive.

Tuttavia il ridotto spessore dello strato fragile, dovuto alle elevate temperature degli strati più profondi, impedisce l'accumulo di energia elastica e, conseguentemente, l'occorrenza di terremoti di elevata energia.

L'isola d'Ischia è localizzata nel campo di sforzi regionale generato dall'apertura del Tirreno. Questo campo produce faglie normali ad alto angolo che potrebbero generare terremoti prevalentemente nella parte settentrionale dell'isola dove lo strato fragile è più spesso che nella parte Sud-occidentale e meridionale (*Figura 2.4.3c*).

Figura 2.4.3.c *Schema della struttura reologica sub-superficiale dell'isola (sezione NNW-SSE), ricavata dai dati geofisici e di pozzo. Viene indicata la zona di transizione fragile-duttile, da cui si evince che gli spessori potenzialmente sismogenetici sono più elevati nel settore meridionale (da Luongo et al., 2006).*



Dalla storia sismica plurisecolare dell'isola si rileva che la zona sismicamente attiva interessa solo un volume ridotto, senza svilupparsi lungo una struttura regionale. Così, per una corretta interpretazione della sorgente degli sforzi capace di generare terremoti, è necessario ipotizzare altri processi come il carico del vulcano e la spinta del magma che contribuiscono al campo di sforzo locale. La complessità della struttura sismogenetica e una sequenza degli eventi sismici non ben definita nella sua evoluzione temporale, non consente una valutazione attendibile del periodo di ritorno dei terremoti locali (Luongo et al., 2006).

I terremoti di maggiore energia avvenuti nell'isola d'Ischia possono quindi essere analizzati soltanto attraverso i danni generati sull'edificato e dagli effetti al suolo. Le analisi dettagliate dei danni, oggetto di diversi studi scientifici, e la ricostruzione del campo macrosismico ottenuto per il terremoto del 1881 e del 1883 consentono di localizzare con elevata attendibilità la sorgente sismica principale dell'isola (Cubellis, 1985; Cubellis e Luongo, 1998; Cubellis et al., 2004; Carlino et al., 2006, 2009).

I principali effetti macrosismici, in particolare relativi al terremoto del 1883 ($I_{max} = XI$ MCS) sono stati localizzati in un'area di circa 3 km² nel settore Nord dell'isola. La magnitudo di questo evento, ottenuta da relazioni empiriche tra intensità, area di avvertibilità e dimensione della sorgente, ricade in un range compreso tra 4.3 e 5.2, in accordo con Cubellis e Luongo (1998).

La faglia sorgente del terremoto del 1883, che è responsabile anche dell'evento precedente del 1881, è quasi verticale con leggera immersione a Nord, avente lunghezza di circa 2 km e baricentro tra 1,5-2 km di profondità. Questa è localizzata nel settore nord del Monte Epomeo, con strike circa E-W, ENE-WSW in accordo con la dimensione e la geometria delle isosiste del X e IX grado della scala MCS (Figura 2.4.3d). Il meccanismo associato al terremoto del 1883 è probabilmente di tipo normale con leggera componente strike-slip, in accordo con un campo tensile nell'isola con direzione all'incirca NW-SE.

Figura 2.4.3d Localizzazione della faglia sorgente (linea rossa) e area di massima intensità macrosismica (X MCS) relativa al terremoto di Casamicciola del 1883 (da Cubellis e Luongo, 1998 e Carlino et al., 2009). La stessa struttura ha prodotto il terremoto del 1881 con massima intensità pari a IX MCS.



Per quanto attiene alla sismicità recente, questa viene registrata dalla rete sismica stabile dell'isola d'Ischia, gestita dall'Osservatorio Vesuviano, che è in funzione dal 1999. Per la caratterizzazione della rete sismica si rimanda all'Allegato 4 del Progetto Definitivo, al paragrafo "Analisi della sensibilità della rete sismica di Ischia".

Come si evince dal catalogo dei terremoti registrati sull'isola, a partire dal 1999 (Tabella 2.4.3b), la sismicità locale è molto bassa, e localizzata entro i primi 2 km di crosta.

Tabella 2.4.3b *Terremoti ad Ischia aggiornati al 2016 e registrati dalla rete sismica locale dell'Osservatorio Vesuviano in funzione dal 1999 (database INGV-OV).*

Id.	Date	Time (UT)	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Depth (km)	Mag.
1	1999-01-20	12:40:42	N.D.	N.D.	N.D.	0.9
2	1999-09-05	02:11:32	N.D.	N.D.	N.D.	0.4
3	1999-09-05	02:16:45	N.D.	N.D.	N.D.	0.4
4	1999-11-06	23:54:27	N.D.	N.D.	N.D.	1.5
5	2000-01-09	23:36:55	N.D.	N.D.	N.D.	0.9
6	2000-08-26	12:48:41	N.D.	N.D.	N.D.	0.4
7	2000-08-26	12:49:14	N.D.	N.D.	N.D.	-0.1
8	2000-08-26	21:47:26	N.D.	N.D.	N.D.	-0.1
9	2000-11-13	08:07:06	N.D.	N.D.	N.D.	0.9
10	2001-07-03	21:40:01	40.7669	13.8724	1.06	1.5
11	2001-07-04	07:24:36	N.D.	N.D.	N.D.	0.9
12	2001-07-27	20:11:41	40.7411	13.9158	0.55	2.3
13	2001-11-29	21:03:01	N.D.	N.D.	N.D.	0.8
14	2001-12-06	09:23:08	N.D.	N.D.	N.D.	0.4
15	2002-03-31	01:20:33	N.D.	N.D.	N.D.	1.1
16	2002-06-07	08:22:46	N.D.	N.D.	N.D.	0.6
17	2002-06-07	13:47:51	N.D.	N.D.	N.D.	0.4
18	2003-07-21	15:35:54	N.D.	N.D.	N.D.	0.6
19	2003-12-14	17:51:28	40.7589	13.8971	0.01	1.3
20	2004-09-03	01:49:44	40.7385	13.9001	0.74	1.5
21	2005-03-25	12:49:18	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
22	2005-05-04	15:27:27	40.7343	13.9034	1.13	0.5
23	2005-05-04	15:28:02	N.D.	N.D.	N.D.	0.5
24	2006-03-19	21:21:04	N.D.	N.D.	N.D.	0.9
25	2006-11-14	04:41:03	N.D.	N.D.	N.D.	-0.8
26	2007-06-06	07:25:55	40.7410	13.9138	0.55	1.3
27	2008-04-05	11:16:01	40.7390	13.9203	0.52	2.3
28	2009-07-17	03:26:29	N.D.	N.D.	N.D.	0.9
29	2011-06-04	23:13:40	40.7470	13.8728	1.45	1.4
30	2011-06-05	12:37:56	40.7410	13.9156	0.51	1.9
31	2011-06-05	14:10:03	40.7527	13.9154	1.88	2.2
32	2011-06-05	15:55:07	40.7390	13.9195	0.54	1.2
33	2011-06-05	16:20:26	N.D.	N.D.	N.D.	0.7
34	2011-06-05	20:26:47	N.D.	N.D.	N.D.	0.7
35	2011-06-22	00:55:05	N.D.	N.D.	N.D.	-0.8
36	2011-06-22	01:51:36	N.D.	N.D.	N.D.	-0.8
37	2011-06-22	02:31:08	N.D.	N.D.	N.D.	-0.5
38	2011-06-22	02:33:45	N.D.	N.D.	N.D.	-0.5
39	2013-12-10	13:07:05	N.D.	N.D.	N.D.	1.5
40	2016-08-31	18.11.11	40.4416	13.5466	2	1.9
41	2016-08-31	18.11.29	40.4416	13.5466	2	2.3

L'energia molto contenuta dei terremoti e la bassissima frequenza di accadimento, non consentono sempre di ottenere buone localizzazioni degli eventi, che tuttavia si distribuiscono quasi sempre lungo la base Nord dell'Epomeo, tra Casamicciola e Lacco Ameno. Questo dato conferma che la crosta fragile in grado di generare terremoti è localizzata a Nord dell'isola, mentre il settore meridionale è sostanzialmente asismico.

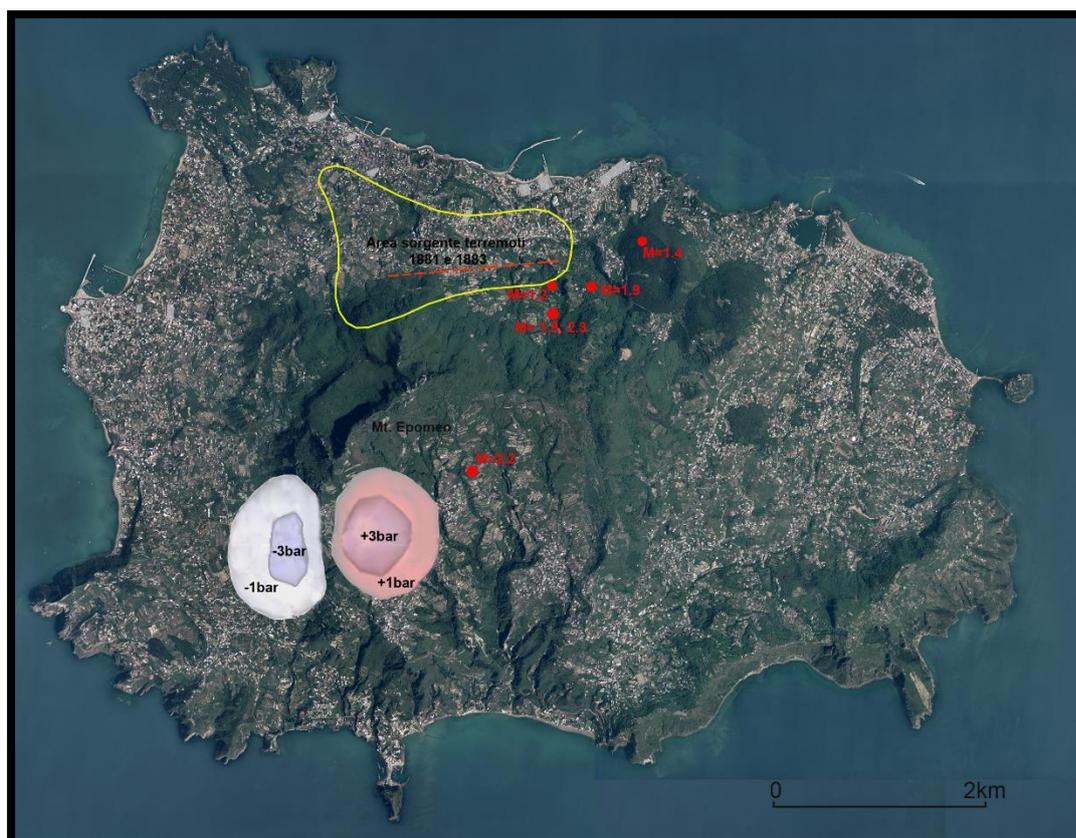
Da quanto sopra osservato, si evince che la sismicità recente dell'isola, almeno dal 1999, è caratterizzata da eventi sporadici (41 eventi dal 1999 al 2016) con magnitudo molto basse e con solo 9 eventi di magnitudo ≥ 1.5 , mentre la magnitudo massima registrata è pari a 2.3.

Tale magnitudo si è avuta per 3 eventi registrati nel luglio del 2002, nell'aprile del 2008 e ad agosto del 2016. I terremoti di maggiore energia sono localizzati nel settore Nord dell'isola, lungo le strutture vulcano-tettoniche che bordano il blocco

settentrionale del Monte Epomeo. I dati sulla sismicità storica insieme a quelli recenti confermano che nel settore nord dell'isola sono localizzate le strutture tettoniche responsabili della sismicità di maggiore energia.

Come si evince dalla seguente *Figura 2.4.3e* i volumi in cui si osserva una variazione significativa dei regimi pressori all'interno della crosta, per effetto dell'emungimento e della re-iniezione dei fluidi, non interagisce con la struttura sismogenetica responsabile della sismicità più forte dell'isola.

Figura 2.4.3e *Localizzazione della faglia sorgente dei più forti terremoti storici avvenuti nell'isola (1881 e 1883, linea rossa) e massima isosista associata al sisma del 1883 (X MCS, linea gialla).*



Nella figura sono riportati (punti rossi) i terremoti più forti registrati dalla rete permanente dell'Osservatorio Vesuviano-INGV, negli ultimi 5 anni, e la proiezione in superficie dei volumi perturbati dall'attività di coltivazione geotermica per l'impianto di Forio, dopo trent'anni di attività. I volumi sono ricavati dalle soluzioni numeriche riportate nella presente integrazione e all'Allegato 5 del progetto Definitivo. Si nota che i volumi relativi agli aumenti di pressione nella zona di re-iniezione e ai decrementi di pressione associati alla zona di emungimento non interagiscono con la principale struttura sismogenetica responsabile della sismicità storica dell'isola. Inoltre i terremoti registrati in tempi recenti, sia per frequenza di accadimento che per magnitudo, evidenziano la bassa sismicità dell'isola. Il terremoto di M=2.2 è di dubbia localizzazione poiché al momento dell'accadimento sull'isola erano in funzione soltanto due stazioni sismiche.

Pertanto il massimo terremoto atteso, che allo stato delle conoscenze può essere associato solo alla struttura sismogenetica localizzata a Nord, non può essere innescato dall'attività di re-iniezione (o all'emungimento) dei fluidi, mentre potrebbe essere attesa sismicità indotta, di bassa energia, per l'attività di re-iniezione dei fluidi.

Il massimo terremoto atteso è stato valutato nell'*Allegato 4* del Progetto Definitivo e precisamente al paragrafo 3, sulla base del massimo volume sismogenetico associato alla transizione fragile-duttile che ha spessori più elevati a Nord rispetto alla zona meridionale. Inoltre, nell'*Allegato 3* del Progetto Definitivo è stato specificato che la zona interessata dall'attività di coltivazione geotermica, sia per le sue caratteristiche geologiche, con alti gradienti geotermici che determinano una riduzione dello spessore fragile della crosta, sia per l'assenza di sismicità, evidenziata dai dati storici e recenti, può essere considerata asismica e pertanto la probabilità di indurre terremoti anche di bassa magnitudo può essere ritenuta bassa. In considerazione dell'assenza di strutture sismogenetiche nell'area perturbata dall'attività geotermica, si è pertanto proceduto a una valutazione conservativa della massima magnitudo attesa per terremoti indotti in questa zona dell'isola, come riportato nell'*Allegato 5* del Progetto Definitivo (Sismicità e subsidenza stimolata dall'Impianto).

Va infine ribadito che l'assenza di sismicità significativa nell'isola d'Ischia e la sporadicità degli eventi registrati dal 1999, consentirà di identificare immediatamente eventuali anomalie sismiche già nel corso delle prove di produzione dei pozzi in progetto. La sensibilità della rete sismica, attualmente gestita dall'Osservatorio Vesuviano, sarà incrementata con una rete mobile ad hoc, che coprirà l'area intorno ai pozzi, in modo da registrare terremoti con magnitudo inferiore a 0.5.

2.4.4

D4) Il Proponente dovrà analizzare la pericolosità sismica, oltre che con approccio probabilistico, considerando in questo caso, tra le magnitudo di riferimento di diversi scenari, quella stimata in letteratura per il terremoto di Casamicciola del 28 luglio 1883 (Mw 5,4), anche seguendo un approccio deterministico, analizzando il potenziale sismico delle strutture presenti e presunte, in relazione al contesto vulcano-tettonico dell'isola.

Risposta

L'approccio probabilistico più semplice e più in uso per lo studio statistico dei terremoti è basato sulla legge di Gutenberg-Richter che fornisce la frequenza dei terremoti (in termini di numero di terremoti nel tempo) in funzione della loro magnitudo attraverso la relazione:

$$\text{Log } N = a - b M$$

dove **N** è il numero dei terremoti con una determinata magnitudo (o in un range di magnitudo), **M** è la magnitudo del terremoto, **a** e **b** sono costanti definite dal trattamento statistico dei dati provenienti dalle registrazioni dei terremoti passati. Questa legge di potenza mostra che il numero dei terremoti decresce molto rapidamente all'aumentare della magnitudo.

In termini di probabilità ciò significa che terremoti di elevata energia hanno probabilità di accadimento estremamente più bassa rispetto ad eventi di energia piccola o moderata.

Per una valutazione statistica sui terremoti è dunque necessario avere un catalogo sismico il più completo possibile e comunque avere a disposizione un numero di eventi sufficientemente elevato per un trattamento statistico. Nelle aree a bassa sismicità, questo trattamento non fornisce risultati attendibili.

Si deve procedere quindi con la ricostruzione della sismicità storica e nell'individuazione di quelle zone che sono omogenee dal punto di vista della sismicità; conoscendo l'andamento delle strutture geologiche superficiali e profonde, i movimenti recenti, la distribuzione degli eventi sismici e la ricostruzione del tipo di movimento che ha dato origine al terremoto (meccanismi focali), è possibile così individuare e delimitare delle aree omogenee dal punto di vista della sismicità (zone sismogenetiche). In tali aree sono definite le faglie maggiori (responsabili degli eventi di maggiore energia), le faglie minori (responsabili degli eventi di minore energia) ed è definita la loro cinematica (ossia il tipo di movimento legato alla tettonica dell'area).

Le zone sismogenetiche possono essere qualitativamente caratterizzate anche da alcune grandezze e funzioni, tra cui la distribuzione di probabilità della magnitudo F_M definibile sulla base della frequenza (N) e del periodo $T_M=1/N_M$, che rispettivamente corrispondono al numero medio annuo di eventi con magnitudo $\geq M$ che si verificano nella zona sismogenetica e l'intervallo medio di ricorrenza tra due eventi con magnitudo $\geq M$. Una zona sismogenetica è quindi quella zona che si ritiene dotata di un tasso di sismicità uniforme ovvero di un'unica distribuzione F_M della magnitudo.

Per l'isola d'Ischia è piuttosto aleatorio utilizzare l'approccio probabilistico, per lo scarso numero di eventi registrati dovuto alla bassa sismicità dell'area e alla mancanza di serie di dati temporali sufficientemente lunghi. Tuttavia, per ottemperare alla richiesta di integrazione si è proceduto comunque ad una valutazione statistica utilizzando la relazione di Gutenberg-Richter.

Non è tuttavia possibile individuare una zona sismogenetica sulla base del tasso di sismicità, per la bassa frequenza di accadimento dei terremoti nell'area in oggetto. Va inoltre chiarito che per l'isola d'Ischia la sorgente dei terremoti più forti (in particolare quelli del 1881 e del 1883) è individuata a Nord (come riportato nella precedente Figura 2.4.3d), e che tale sorgente è stata localizzata esclusivamente sulla base dei dati macrosismici.

Per gli eventi storici precedenti il 1883, non si può ottenere una valutazione della magnitudo, sulla base delle correlazioni empiriche tra intensità-magnitudo, a causa della scarsità dei dati macrosismici. Anche per il terremoto del 1883, la valutazione della magnitudo è molto variabile e incerta a causa della complessità dei meccanismi di propagazione dell'energia nelle aree vulcaniche, della superficialità dell'ipocentro, dei fenomeni di attenuazione e della incertezza delle relazioni empiriche tra intensità macrosismica e magnitudo.

E' noto, infatti, che per la valutazione della magnitudo sono tipicamente utilizzate formule empiriche che correlano questo parametro all'intensità, all'estensione della

sorgente, all'area di minima avvertibilità. L'esperienza tuttavia mostra che se nelle aree vulcaniche si utilizzano le formule empiriche valide per i terremoti cosiddetti tettonici, in generale si ottengono valori di magnitudo sovrastimati.

Per procedere quindi alla valutazione della magnitudo per il terremoto del 1883 sono state utilizzate diverse formule empiriche, già usate in letteratura (vedi *Cubellis e Luongo, 1998* e referenze interne citate) la cui attendibilità è però stata verificata in altre aree vulcaniche come l'Etna o i Campi Flegrei. Utilizzando queste relazioni empiriche si ottiene per il terremoto di Casamicciola del 1883 una magnitudo variabile tra 4.3 e 5.2, dunque con un'incertezza piuttosto elevata (*Galanopoulos, 1961; Okada, 1983; Bonilla, 1984; Patanè et al., 1986; Marturano et al., 1988; Cubellis e Luongo, 1998*).

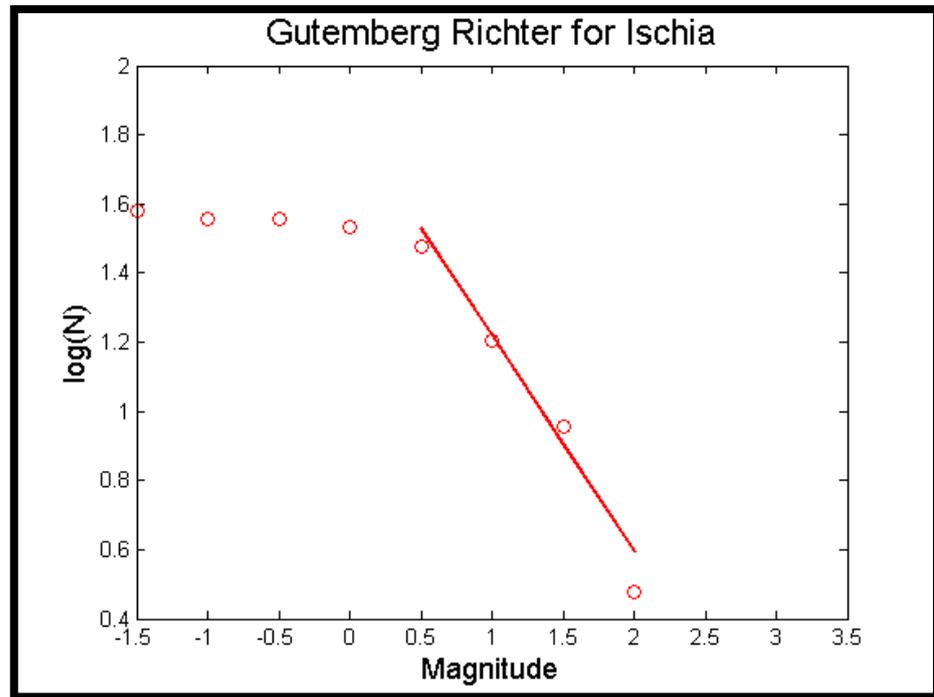
Alla luce di questa incertezza, vista anche la scarsità del catalogo sismico per l'isola d'Ischia e considerato che le sorgenti dei terremoti di bassa magnitudo sembrano localizzarsi in aree limitrofe ma non attinenti alla faglia del terremoto del 1883, si è proceduto secondo la seguente metodologia. La sismicità registrata dal 1999 ad oggi è rappresentativa di strutture sismogenetiche minori, non associabili alla faglia del sisma del 1883, pertanto si è proceduto ad applicare la legge di Gutenberg-Richter per i terremoti riportati al punto precedente *Paragrafo 2.2.3*. Per la valutazione del massimo terremoto atteso, che è associato alla struttura vulcano-tettonica a nord del Monte Epomeo, si è invece proceduto secondo una metodologia non statistica, sulla base dei dati geologici ottenuti da studi precedenti.

L'applicazione della Gutenberg-Richter per i terremoti riportati nella *Tabella 2.4.3b*, del precedente paragrafo, fornisce l'andamento riportato in *Figura 2.4.4a* con il valore di $b=0.6\pm 0.1$. L'andamento dei punti riportati nel grafico di *Figura 2.4.4a* evidenzia un trend tipico, con un flesso dovuto alla mancata rilevazioni di terremoti molto piccoli (con magnitudo negativa) che sono attribuibili alla soglia minima di registrazione della rete sismica locale.

Per la valutazione del massimo terremoto atteso, associato alla sorgente sismica che ha generato gli eventi del 1881 e del 1883 (quest'ultimo rappresenta l'apice dell'energia sismica liberata in tempi storici nell'isola), è stato utilizzato un approccio di tipo geologico, analizzando la massima energia che può essere liberata dall'intero volume sismogenetico.

Il volume sismogenetico responsabile della sismicità dell'isola d'Ischia, può essere ottenuto sulla base dello spessore dello strato fragile e dell'estensione complessiva delle aree epicentrali relativa ai terremoti storici. Per procedere a questa valutazione bisogna considerare che i valori di "ultimate strain" (deformazione limite per la rottura) per la crosta terrestre sono dell'ordine di 10^{-4} o inferiori, mentre il valore di strain associato agli eventi sismici è dell'ordine di $1-2 \cdot 10^{-4}$; la crosta può essere deformata fino a questo livello con un processo elastico, per valori superiori si frattura. In laboratorio il valore di strain alla rottura è dell'ordine di 10^{-3} ; la differenza con il valore di campo viene interpretata con la presenza nella crosta di numerose faglie e fratture che ne riducono la resistenza. Sulla base di questi dati, sulla conoscenza della struttura dell'isola, sulle condizioni dei campi di sforzo e sulla sismicità storica si può procedere alla stima dell'energia accumulata nella crosta in seguito a deformazione in condizioni critiche e quindi alla valutazione del massimo terremoto possibile.

Figura 2.4.4a *Relazione di Gutenberg-Richter per i terremoti dell'isola d'Ischia registrati dalle reti dell'Osservatorio Vesuviano (INGV) dal 1999 al 13 settembre 2016.*



Nel caso più semplice, nel quale il campo di deformazione è rappresentato da una singola componente di taglio (ϵ), l'energia del mezzo per unità di volume ($e = \mu\epsilon^2$) è compresa tra $2.5 \cdot 10^3$ e 10^4 erg cm^{-3} .

Considerando μ (rigidità) = $5 \cdot 10^{11}$ dine- cm^{-2} e $\epsilon = 1-2 \cdot 10^{-4}$.

In sismologia sono state introdotte numerose formule empiriche che correlano le dimensioni della sorgente sismica agli effetti in superficie, alla magnitudo e quest'ultima all'energia liberata dal terremoto. È possibile dunque correlare il volume della sorgente all'energia del terremoto, ovvero:

$$\log E = \log V + 3.0$$

dove V è il volume in cm^3 . Il rapporto $E/V = 10^3$ erg cm^{-3} rappresenta la densità di energia ed è prossima al valore dell'estremo inferiore dell'intervallo ottenuto per l'energia associata allo strain delle rocce nella crosta.

Utilizzando il dato della densità di energia possiamo calcolare la magnitudo massima possibile introducendo il volume sismogenetico, nell'ipotesi che questo liberi energia in un unico evento. La dimensione del volume sismogenetico totale è ottenuta dal volume descritto dai fuochi dei terremoti. Nel caso di Ischia, tale volume corrisponde a quello di un cilindro con raggio di 3 km ed altezza di 2 km. Questa sorgente copre una superficie pari al 70% dell'isola. Applicando la formula empirica precedente, si ottiene $E = 10^{19.8}$ erg. Utilizzando la relazione empirica magnitudo-energia:

$$\log E = 11.8 + 1.5M$$

dove **M** è la magnitudo, otteniamo $M=5.3$, che rappresenta il valore della magnitudo massima attesa.

Il valore del massimo terremoto possibile, secondo le ipotesi sopra avanzate, è molto prossimo al valore massimo ottenuto dall'analisi del campo macrosismico del terremoto del 1883, che varia tra magnitudo 4.3 e 5.2 (*Cubellis e Luongo, 1998*). In tal caso si può concludere che le analisi condotte per il terremoto del 1883 sono utili per la costruzione dello scenario del massimo terremoto atteso nell'isola.

L'analisi dei processi che governano i terremoti nelle aree vulcaniche si mostra più complessa di quella relativa alla sismicità in aree di catene montuose di recente formazione ed ancora in evoluzione. Nel nostro caso una modellazione del campo di sforzi della struttura dell'isola d'Ischia si presenta più complessa di quella della vicina catena appenninica. In aggiunta i dati relativi alla storia sismica per le aree vulcaniche sono generalmente più poveri e tale condizione non consente di ottenere previsioni statistiche attendibili, come si verifica ad Ischia. Infatti per l'isola, nonostante un periodo di circa 800 anni di dati, non è possibile ottenere un valore attendibile sul periodo di ritorno dei terremoti.

Questo risultato deriva da due motivi: la mancanza di una sequenza di eventi di grande energia e la complessità del campo di sforzi agente. Quindi la "previsione" di un evento sismico è da perseguire attraverso un'analisi della struttura e dei processi tettonici che hanno interessato ed interessano l'isola. In particolare la conoscenza dei processi deformativi delle rocce del basamento è fondamentale per poter valutare il campo di sforzi agente ed il periodo di ritorno degli eventi. Tuttavia nelle aree vulcaniche attive il campo di sforzi si presenta complesso, in quanto a questo concorrono sia il campo di sforzi regionale che campi locali.

Se gli eventi sismici nell'isola fossero localizzati su una struttura tettonica regionale, a questi dovrebbero accompagnarsi eventi localizzati in aree prossime ma al di fuori dell'area vulcanica, secondo lineazioni di carattere regionale. In tal caso un modello geodinamico regionale fornirebbe elementi utili alla conoscenza del campo di sforzi agente e conseguentemente alla genesi dei terremoti. Se questa condizione non si verifica e al contrario si osservano solo eventi nell'area vulcanica, la sorgente potrebbe essere ancora associata ad una struttura regionale, ma bisognerebbe ipotizzare che il tratto di struttura che attraversa l'area vulcanica costituisca una zona di forte debolezza.

In queste condizioni nell'area vulcanica la rottura si genererebbe per livelli più bassi di energia elastica accumulata rispetto alle aree circostanti e di conseguenza nelle prime l'energia accumulata si libererebbe con maggiore frequenza con eventi di bassa e moderata energia, mentre nelle seconde i tempi di ritorno sarebbero più lunghi con eventi di maggiore energia. Nel caso dell'isola d'Ischia la storia sismica regionale farebbe escludere entrambe le ipotesi in quanto l'isola non si svilupperebbe su una o più faglie sismogenetiche a dimensioni regionali. Per quanto osservato, bisogna ritenere che il campo degli sforzi responsabile della sismicità sia di origine locale, mentre processi asismici sarebbero responsabili delle deformazioni regionali.

Questo risultato conduce a due possibili soluzioni, l'una prevede l'azione di masse magmatiche in pressione che produrrebbero sollevamento e fratturazione dello strato fragile sovrastante, l'altra prevede l'azione di un campo di sforzi associato al carico della struttura del Monte Epomeo.

La bassa energia degli eventi osservati nell'isola indica la presenza di un piccolo volume sismogenetico dovuto ad un limitato sviluppo dello strato fragile superficiale, all'intensa fratturazione del basamento dell'isola per l'attività eruttiva e più in generale alla bassa rigidità del mezzo.

I gradienti termici elevati in tutta l'isola, superiori a 150 °C/km, indicano la presenza di rocce ad alta temperatura a piccola profondità che, in analogia con quanto osservato ai Campi Flegrei, fanno ritenere ragionevole l'ipotesi che lo strato fragile abbia uno spessore non superiore a 2 km, sovrastante uno strato duttile incapace di accumulare energia elastica. La sismicità nell'isola conferma una tale ipotesi in quanto i dati macrosismici sono associati a sorgenti poco profonde. In particolare per il terremoto del 1883 è stata ottenuta una profondità compresa tra 1 e 2 km.

2.4.5

D5) Risulta necessario integrare le analisi relative agli effetti indiretti dei potenziali eventi sismici stimolati dal progetto, eseguendo studi specifici circa la suscettività da frana delle aree interessate dal progetto, attraverso un rilevamento geomorfologico di dettaglio dei fenomeni gravitativi "superficiali" e di quelli "profondi" e un'analisi di stabilità dei versanti sia in condizioni statiche sia in condizioni sismiche e, inoltre, valutando il possibile innesco di fenomeni di tsunami.

Risposta

E' ben noto che la stabilità di un versante è influenzata da due fattori: la resistenza dei materiali al moto (condizionata dalle caratteristiche geologiche e geotecniche dei materiali) e l'azione di forze esterne, che include la forza di gravità e le forze indotte da eventi sismici.

Nell'ultimo decennio sono stati sviluppati alcuni metodi per la valutazione, a diverse scale, di tali fattori. Con riferimento al primo aspetto si ritiene che i fenomeni franosi possono essere di primo distacco o di riattivazione, parziale o totale, di corpi di frana attivi o quiescenti.

Inoltre, i litotipi nei quali i fenomeni si manifestano comprendono una vasta gamma di rocce, tenere o sciolte, le cui proprietà in campo dinamico possono essere determinate attraverso accurate indagini di sito. Per quanto riguarda poi le cause innescanti, è noto che i fenomeni d'instabilità possono avvenire contemporaneamente o con un certo ritardo rispetto alle sollecitazioni dinamiche, a testimonianza del ruolo giocato, nella fase d'innesco, da altri fattori. Una corretta stima di tali fattori richiede quindi un certo dettaglio e completezza delle informazioni, che non sempre sono disponibili.

Ricordiamo che per la zonazione della suscettibilità alla franosità indotta da eventi sismici la International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE-TC4, 1999), e le Linee Guida redatte dalla Regione Campania (2006)



suggeriscono di impiegare tre differenti livelli di studio, in funzione delle dimensioni dell'area di interesse e delle conoscenze disponibili, ed indicano per ognuno dei tre, scale di riferimento da utilizzare (*Rapolla, 2012*).

Lo Studio di I Livello (piccola scala), che corrisponde in pratica ad una Macrozonazione del territorio per le frane sismo-indotte, fa essenzialmente riferimento ai terremoti storici, alla loro intensità ed alla distanza epicentrale.

Gli studi di II e III Livello (media e grande scala), che corrispondono invece, in termini di estensione delle aree studiate, rispettivamente ad uno studio di Microzonazione e Risposta Sismica Locale (*Rapolla, 2009*), si basano su informazioni topografiche, geologiche, geotecniche e meteorologiche via via più dettagliate. In particolare, gli studi a grande scala, a carattere localissimo, richiedono di solito misure dirette dei parametri geotecnici e geofisici, attraverso complesse indagini in situ e laboratorio (*Rapolla, 2012*).

E' ovvio che studi del genere, che prevedono l'utilizzo di team di geologi e ingegneri, e tempi di esecuzione dell'ordine degli anni (mediamente 3 e 5 anni) non possono essere in questo contesto applicati all'isola d'Ischia. Tuttavia è possibile definire degli scenari di pericolosità in base ai dati a disposizione derivanti da studi in letteratura specifici sull'isola d'Ischia, dal rilevamento geologico, e dai dati sismici e sulla franosità storica e recente.

Studi su scenari globali di franosità sismo-indotta compiuti da Keefer (1984) e da *Rodriguez et al.* (1999), evidenziano che le frane che vengono innescate con maggiore facilità dagli eventi sismici sono, nell'ordine: i crolli, frane di materiale sciolto, gli scorrimenti rotazionali e le espansioni laterali.

Per quanto riguarda la relazione tra Magnitudo dei sismi ed area affetta da frane sismo-indotte, lo studio di Keefer (1984) evidenzia come la massima area del territorio interessata da tali frane vada da circa 1 km² per M = 4.0, a 500 000 km² per M = 9.2. L'assenza, o presenza trascurabile, di fenomeni franosi sismo-indotti per M < 4 risulta in buon accordo con i risultati dello studio condotto da Romeo (2000) che hanno evidenziato come la soglia di innesco dei fenomeni franosi sia, per la maggior parte dei casi, pari al VI grado di intensità MCS, che corrisponde circa ad una magnitudo M= 4 per terremoti a profondità crostale.

Gli studi compiuti da vari autori, in particolare Keefer, e riportati dalla dell'ISSMGE (*International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*) hanno inoltre consentito di correlare la massima distanza epicentrale di attivazione dei movimenti franosi alla magnitudo delle onde di superficie, sia in paesi dal clima secco che in paesi dal clima umido (*Figura 2.4.5a*).

In termini di intensità macrosismica è possibile identificare un parametro di "significance" per correlare la probabilità di frane sismo-indotte all'intensità MCS del terremoto (*Rapolla, 2012*). Nel caso in esame, questo parametro mostra l'incidenza dell'intensità del terremoto sull'innesco di frane (0= incidenza nulla; 1= incidenza alta). La correlazione è riportata in *Figura 2.4.5b*. In tale relazione il limite inferiore è stato scelto sulla base degli studi di *Keefer (1984)* e *Rodriguez et al. (1999)*, ovvero non si osservano frane sismo-indotte per intensità MCS pari o inferiore a V. Il limite superiore viene scelto sulla base degli effetti macrosismici

prodotti dal massimo terremoto, in tal caso quello avvenuto nell'isola d'Ischia nel 1883 (X MCS).

Figura 2.4.5a *Distribuzione delle frane storiche sismo-indotte nel territorio campano e aree limitrofe (come da Keefer 1984, ISSMGE, TC4 1999)*

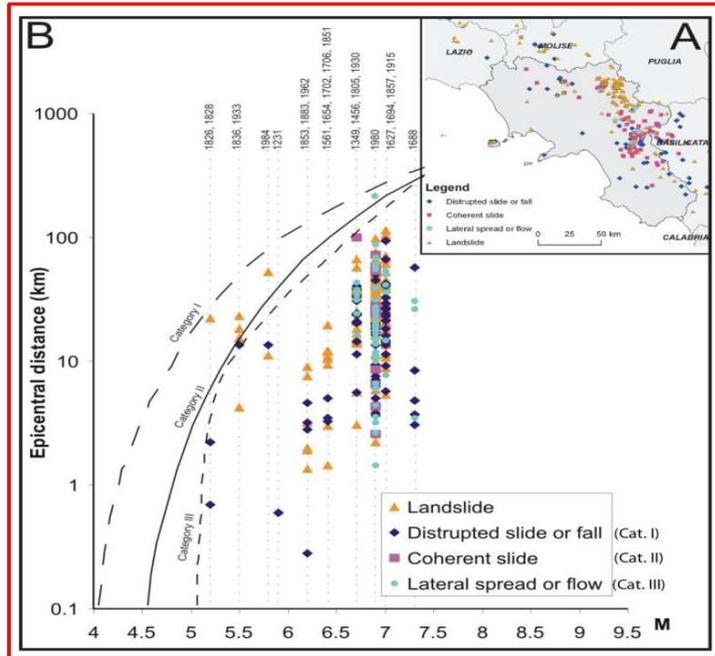
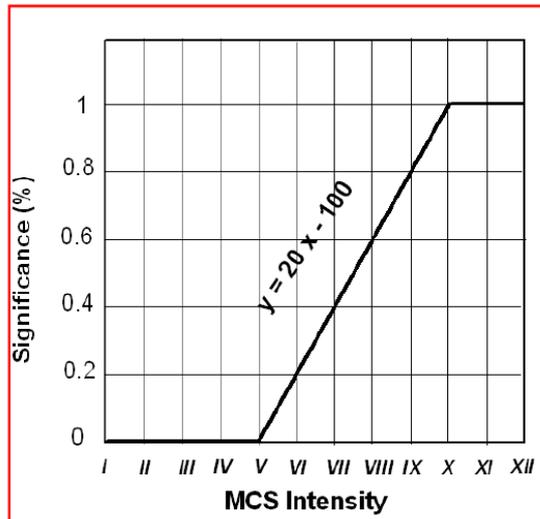


Figura 2.4.5b *Correlazione tra intensità del terremoto (MCS) e parametro di "Significance" per l'accadimento di frane sismo-indotte (da Keefer, 1984 e Rodriguez et al. 1999).*



Le caratteristiche morfologiche, litologiche e climatiche di Ischia fanno sì che l'isola sia soggetta a fenomeni franosi le cui caratteristiche sono riconducibili generalmente ai "mud-flow" o "debris-flow" (flussi di fango e detriti). Queste fenomenologie sono caratterizzate da mobilitazioni di acqua e sedimenti miscelati insieme come un'unica massa fluida che si muove verso valle guidata

dalla forza gravitazionale, raggiungendo talvolta elevata mobilità grazie alla saturazione degli spazi vuoti da parte di acqua e fango.

Tali eventi sono tipicamente associati a piogge intense anche di breve periodo (nubifragi) e non hanno alcuna correlazione con la sismicità. A Ischia, l'unico evento franoso di cui è accertata la correlazione con un terremoto è quello del 1883 (classificato come un debris-slide), che è stato indotto da un sisma di magnitudo superiore alla soglia critica valutata dagli studi precedentemente citati (*Keefer, 1984 e Rodriguez et al., 1999*).

Anche per altri terremoti storici precedenti al 1883, sebbene le cronache dell'epoca non siano sufficientemente dettagliate per definire una correlazione causa-effetto, si riportano alcune frane probabilmente indotte dallo scuotimento sismico, in particolare nel 1828 (IX MCS), nel 1863 (VII-VIII MCS) e nel 1881 (IX MCS). Si nota come anche in questo caso gli eventi sismici che avrebbero indotto la mobilitazione di frane sono tutti superiori alla soglia critica empirica in termini di intensità MCS. I maggiori eventi franosi relativamente più recenti (alluvione del 1910, colate di fango del 30 aprile 2006 di Monte vezzi, colata di fango del 30 luglio 2006 e colata di fango del novembre 2009) sono invece tutti accaduti a seguito di intense precipitazioni, talora in forma di nubifragio.

Storicamente sono noti, infatti, sia fenomeni di instabilità di versante che eventi alluvionali con elevato trasporto solido lungo i fossi di incisione a regime torrentizio. Subordinatamente agiscono processi di corrosione, case-hardening ed esfoliazione, in particolare su litologie tufacee e alcune facies da debris-flow, nonché processi di alterazione idrotermale connessi ad attività fumarolica, che contribuiscono alla produzione di una coltre detritica superficiale incoerente e facilmente erodibile.

Con riferimento alle fenomenologie franose riconosciute da diversi autori, esse sono ascrivibili a scorrimenti rotazionali, colate traslative, crolli s.l., oltre a fenomeni complessi di crolli evolventi a colata, scorrimenti rotazionali e traslativi evolventi a colata, secondo le classificazioni proposte in letteratura (*Cruden & Varnes, 1996*).

Ai fini del presente studio si descrivono sinteticamente i principali elementi geologici e geomorfologici che concorrono all'innescio dei fenomeni di dissesto s.l. che interessano il territorio isolano e che contraddistinguono le 5 unità fisiografiche in cui è possibile suddividere l'isola d'Ischia ("Bacino di Fontana", versante settentrionale del M. Epomeo, settore occidentale, "graben" di Ischia, fascia costiera) nonché una breve sintesi degli eventi storicamente censiti nei differenti areali.

Bacino di Fontana

Il versante meridionale del M. Epomeo corrisponde all'unità fisiografica del "Bacino di Fontana", un'area depressa a forma di anfiteatro delimitata al coronamento dal Tufo Verde e dissecata da un gran numero di solchi di erosione torrentizia, denominati localmente "cave", che con andamento dendritico sfociano sul litorale dei Maronti.

I depositi detritici, da debris-flow, affioranti in questo settore, con spessori fino a 150 m, sono interessati da processi erosivi, ad opera prevalentemente delle acque di scorrimento superficiale.

Questi fenomeni si concentrano soprattutto sulle acclivi pareti dei fossi di erosione che dissecano l'area, dove le morfologie più frequenti, in relazione alla maggiore o minore percentuale di materiali fini, sono rappresentate da forme pseudocalanchive, da piramidi di terra e localmente da tafoni. In particolare le forme calanchive si osservano lungo i versanti di Cava Scura, Cava Petrelle e Cava Terzano, nel settore meridionale del bacino.

Fonti storiche (*Caccioppoli, 1944; Buchner, 1985; Monti, 1980*) tramandano di eventi di colate detritiche succedutisi lungo i fossi del bacino di Fontana seppellendo più volte le sorgenti termo-minerali ivi ubicate. Da Monti 1980, si apprende che nel XVIII secolo, il Conte Giorgio Corafà fece ripristinare le sorgenti di Cava Scura seppellite da frane. Anche alcuni toponimi fanno riferimento a sorgenti seppellite e ormai scomparse come la sorgente ubicata in Cava Pagliarito che ha dato il nome al paese di Fontana, o la località "Pantane" a Serrara, sede di una piccola sorgente ormai scomparsa. In generale fenomeni classificabili come colate o scorrimenti s.l., i cui elementi morfologici sono ancora visibili, si possono rilevare lungo tutte le pareti dei valloni che dissecano l'area.

Cronaca recente è la piccola frana che ha interessato a febbraio del 2015 il vallone dell'Olimitello seppellendo un ristorante che si era addentrato nel vallone per verificare eventuali danni causati dal maltempo alla sua struttura ubicata all'interno di esso.

Versante settentrionale del Monte Epomeo

Il versante settentrionale del Monte Epomeo si sviluppa a ridosso dei territori comunali di Casamicciola e Lacco Ameno. Presenta una morfologia ripida e vagamente terrazzata, nei tratti montani, che lascia trasparire una intensa attività tettonica, mentre è più dolce e regolare tra il pediment e il mare, dove si è avuto l'accumulo dei prodotti detritici di frane, verificatesi durante le fasi evolutive del suo sollevamento.

La cresta è delimitata da versanti di faglia, impostati nella formazione del Tufo Verde, caratterizzati da una moderata alterazione superficiale sia fisica che chimica, e da una pervasiva fratturazione che contribuisce ad isolare blocchi poliedrici con volumetrie fino a qualche migliaio di metri cubi.

Nel settore di raccordo, verso valle, si è sviluppato un articolato reticolo idrografico a regime torrentizio che ha profondamente inciso i depositi detritici superficiali da debris-flow, con la creazione di profonde forre con pareti subverticali, lungo le quali si concentra una forte erosione spondale che contribuisce all'innescare di fenomeni franosi superficiali. In particolare si possono individuare il bacino imbrifero di Casamicciola (3° ordine gerarchico) derivante dalla confluenza, in località Piazza Bagni delle cave del Puzillo, Fasaniello, Sinigallia e Celario, e quello della Rita (2° ordine gerarchico) derivante dalla confluenza, nell'omonima località di Cava del Monaco e Cava La Rita.

Entrambi i bacini sono subordinatamente alimentati da numerose sorgenti termali e minerali di notevole interesse sia terapeutico sia turistico, che notizie storiche

indicano spesso sepolte da cumuli di frana (*D'Ascia, 1867; Morgera, 1890; Cacciopoli, 1944*).

Fonti storiche, riportano in questo settore, sia eventi di frana connessi all'attività sismica dell'isola, che fenomeni associati a intensi eventi piovosi ed alluvionali. In particolare, con riferimento alla storia sismica dell'isola è stato verificato che i terremoti di cui si hanno notizie hanno talvolta innescato, come fenomenologie associate, eventi di frana. Tra quelle più note sono le due frane da scorrimento traslativo, evolvente in colata, che hanno interessato il versante settentrionale del M. Epomeo in occasione del terremoto del 28 luglio 1883 e i cui caratteri morfologici sono ancora oggi ben conservati tra Capo dell'Uomo e M. Nuovo.

Altri fenomeni franosi sono associati ai terremoti del febbraio 1828 e del luglio 1228, che coinvolsero i depositi costituenti la collina del Fango causando nel 1228 la morte di oltre 700 persone (*Riccardo da San Germano, Muratori, 1937-38*). E' da tener presente che i terremoti ischitani, associati a eventi franosi, hanno avuto intensità sempre superiore al VII grado MCS ed hanno coinvolto in particolare i versanti di Forio e Casamicciola (*Mele & Del Prete, 1998*).

Più numerosi e frequenti sono invece gli eventi connessi a precipitazioni meteoriche e/o eventi alluvionali, il cui riconoscimento geologico è reso particolarmente difficoltoso dall'aspro assetto morfologico e dalla rapidità di cicatrizzazione a opera della vegetazione, che soprattutto negli ultimi decenni si sviluppa in modo irrazionale a causa dell'abbandono dei terreni montani da parte dei contadini. Ciò ha reso inefficaci anche le opere di sistemazione idraulica (briglie e salti di fondo) eseguite all'inizio del secolo e che, sebbene talvolta perfettamente integre nella loro struttura, risultano inefficaci per la mancanza di una periodica pulizia e manutenzione (*Mele & Del Prete, 2006*).

Un fenomeno alluvionale di notevole intensità, accompagnato da instabilità di versante, storicamente noto, è quello associato all'evento pluviometrico del 24 ottobre 1910 che colpì anche la penisola Amalfitana e le aree vesuviane (*Donzelli, 1910; Il MATTINO 1910; Bordiga, 1914*). Le cronache dell'epoca riportano che i maggiori danni furono registrati nelle aree di confluenza dei profondi fossi di erosione che dissecano i versanti settentrionali del M. Epomeo presso le località Piazza Bagni e La Rita. In entrambi i casi gravi danni e vittime, con gli stabilimenti termali che andarono in parte sepolti dal fango e dagli enormi massi tufacei trasportati lungo gli alvei. Queste aree continuano a essere periodicamente interessate da fenomeni di alluvionamento, come testimoniato dagli eventi del 10 gennaio 1997, del luglio 1999, del settembre 2001 e del novembre 2009, tutti caratterizzati da formazione di colate fangose mobilizzate dalle abbondanti precipitazioni.

Settore occidentale

Il settore occidentale coincide con il territorio comunale di Forio; esso è delimitato a nord dal promontorio lavico di Zaro e a sud dai crateri di Campotese e Panza. Inoltre è caratterizzato da un'ampia zona sub-pianeggiante la cui origine è legata all'accumulo e alla successiva rielaborazione da parte dell'azione diretta del mare, di antichi cumuli di frana che dalle pendici del Monte Epomeo si sono distaccati in seguito al sollevamento vulcano tettonico. In tutta la parte costiera occidentale dell'isola sono, infatti, evidenti forme lobate, indicatrici di zone di accumulo, con

presenza di numerosi blocchi di Tufo Verde, distaccatisi dalle pendici del Monte Epomeo, dove sono presenti pareti tufacee impostate lungo elementi tettonici locali.

Il reticolo idrografico è scarsamente sviluppato, con incisioni effimere che in nessun caso raggiungono il mare. Solo il bacino del fosso Corbaro-Monterone è costituito da un'asta torrentizia relativamente più sviluppata, caratterizzata da elevate pendenze nella zona di testata che si riducono gradualmente nelle aree a valle tra località S. Antuono e Monterone.

Attualmente le condizioni di instabilità di questo settore, più che essere connesse a tipologie franose gravitativi, sono da attribuirsi a eventi alluvionali. Le cronache dell'ottobre 1910 riportano che oltre a Casamicciola, anche il territorio di Forio, fu interessato da un evento alluvionale. La zona maggiormente colpita fu quella di Monterone, che drena le aree di Monterone di sopra, Pellacchio e Pannocchia; la contrada fu completamente allagata e invasa dal fango che seppellì i piani più bassi dei magazzini, chiese e case, oltre a distruggere i terrazzi e le coltivazioni a vigneto realizzate dall'uomo lungo le pendici dell'Epomeo. Ancora oggi quest'area è interessata da allagamenti in connessione a eventi pluviometrici più o meno intensi, soprattutto a causa della trasformazione dei fossi torrentizi in alvei strada, di un'alta percentuale di impermeabilizzazione del suolo, e dell'assenza di un'adeguata regimentazione delle acque superficiali. Connessi a tali eventi alluvionali si registrano modesti fenomeni di instabilità di versante tipo colata, che mobilitano le porzioni più superficiali ed alterate degli accumuli detritici da debris-flow lungo scarpate di origine antropica, non adeguatamente contenute.

Graben di Ischia

L'area sub-pianeggiante del "graben" di Ischia, occupa il settore orientale dell'isola ed è delimitato a Sud-Est dall'alto strutturale di M. Barano-M. Vezzi, dall'allineamento N-S dei duomi lavici di M. Trippodi e Costa Sparaina, e infine dai duomi di Montagnone-Maschiatta, Posta Lubrano e i crateri di Fondo Ferraro e Porto d'Ischia a NW. Il reticolo idrografico è caratterizzato da incisioni effimere generalmente poco profonde e scarsamente sviluppate e gerarchizzate che spesso hanno come recapito finale conche endoreiche o aree più o meno estese di glaciai di accumulo fluvio-colluviali al piede dei versanti.

In tutto questo settore gli elementi geomorfologici caratterizzanti sono associati a forme vulcaniche riferibili all'attività recente dell'isola con poche forme di modellamento connesse a fenomeni di erosione s.l..

Cronaca recente sono le frane per colata rapida avvenute il 30 aprile 2006 sul versante settentrionale di M. Vezzi, che causarono 6 vittime. Anche in questo caso l'innesco di questi eventi è legato a precipitazioni piovose.

Fascia costiera

La fascia costiera ha uno sviluppo di circa 36 km ed è costituita per il 70% da falesie subverticali alte fino a 200m e localmente da coste basse caratterizzate dallo sviluppo di sottili spiagge sabbiose e/o ghiaiose, alimentate dal materiale di frana che si distacca dalle retrostanti falesie o alimentate dal trasporto solido dei torrenti che vi sfociano. Periodicamente queste spiagge possono essere fortemente erose dal mare esponendo le falesie retrostanti all'attacco diretto dei marosi. I tratti di costa alta sono costituiti da falesie attive che s'impostano in ammassi lavici, tufacei e detritici semi-coerenti di antiche debris-flow, interessati

da una più o meno persistente fratturazione, con orientamento preferenziale variabile, che svolge un ruolo attivo nella instabilità della fascia costiera. In linea generale laddove le falesie s'impostano in ammassi rocciosi a comportamento fragile (lave, tufi ed alcune facies detritiche degli accumuli detritici da debris flow), la fratturazione svolge un ruolo determinante nell'innesco di frane, contribuendo a isolare blocchi in precarie condizioni di equilibrio. Diversamente i tratti costieri impostati nei depositi detritici sciolti (pomici e scorie laviche) e nelle facies più incoerenti degli accumuli detritici da debris flow, sono prevalentemente interessati da fenomeni di colate detritiche e di crolli evolventi a colata.

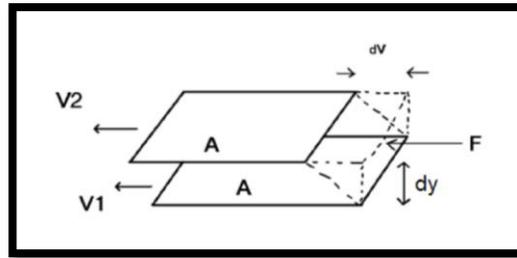
Nonostante tutto il litorale ischitano sia stato ed è tuttora interessato da fenomeni franosi, molti eventi recenti sono strettamente correlati all'attività antropica, che nel caso specifico ha interessato il litorale dei Maronti. In quest'area si registrano eventi franosi nel giugno 1978, agosto 1983, settembre 1997, dicembre 1998, nonché quelli di Carta Romana nell'agosto del 1987 e nel giugno 2013, di Cava dell'isola nel giugno del 1981, febbraio 1986 e recentemente nel febbraio 2014, di Baia di Sorgeto, litorale di Castiglione -Cafieri- spiaggia degli Inglesi. In queste aree si trovano insediate numerose infrastrutture turistiche disarmonicamente inserite in un contesto geomorfologico in continua evoluzione.

Per appurare come gli eventi franosi accaduti a Ischia in epoca recente (mud flow e i debris flow che coinvolgono la coltre superficiale di materiali piroclastici sciolti) hanno meccanismi d'innesco che non possono essere associati a terremoti, è necessario descriverne la fisica del processo. I mud flow e i debris flow hanno proprietà reologiche di miscele intermedie tra quelle di un flusso formato da sola acqua e quelle di una valanga di roccia priva della frazione liquida (McCoy et al., 2010). Differentemente da una piena con trasporto solido anche iperconcentrato, una colata detritica presenta concentrazioni solide più elevate (tra 1 e 25% nel trasporto solido e generalmente maggiori del 50% nelle colate detritiche, secondo Coussot e Meunier, 1996) e una modesta differenza fra le velocità delle componenti liquida e solida che porta a considerare la colata detritica, in prima approssimazione, come un fluido viscoso monofasico. I depositi da colata detritica, inoltre, sono formati da sedimenti di dimensioni eterogenee, dalle argille fino a massi di notevoli dimensioni, generalmente disposti in modo caotico senza una struttura precisa identificabile; al contrario, i depositi generati dal trasporto di fondo e iperconcentrato sono selezionati dalla forza della corrente e per questo sono formati solo da sedimenti con un determinato assortimento granulometrico.

Rispetto a un movimento di massa di tipo franoso, le colate detritiche si differenziano, invece, per il ruolo fondamentale che la frazione liquida possiede nella movimentazione, nel trasporto del materiale e in particolare nella determinazione delle velocità. La mancanza di una fase liquida impedisce a movimenti franosi e valanghe di roccia di raggiungere velocità elevate se non per pendenze elevate. La reologia è la base delle equazioni costituzionali dei modelli monofasici ed è quella parte della fisica che studia il comportamento e le deformazioni che i fluidi subiscono quando questi, sotto l'azione di una forza, vengono sottoposti a movimento. Considerando un modello semplificato di un fluido delimitato tra due piani paralleli tra loro (*Figura 2.4.5c*) in cui A è l'area dei piani considerati e dy è la distanza fra i due piani, se viene applicata una forza F

al piano superiore questo si sposterà rispetto al piano inferiore con una velocità relativa dV .

Figura 2.4.5c *Rappresentazione schematica delle forze in gioco per un fluido Newtoniano.*



Quando il piano superiore si sposta, anche gli strati interposti fra i due piani si spostano. Il piano superiore si muoverà con la velocità maggiore, quello inferiore con la velocità minore (pari a zero) e quelli intermedi con velocità intermedie. Il gradiente di velocità sarà quindi definito come la variazione di velocità lungo la direzione ortogonale del vettore velocità ($\gamma=dV/dy$). Il gradiente di velocità è quindi una misura della velocità alla quale gli strati intermedi si muovono gli uni rispetto agli altri. Il termine F/A indica la forza per unità di area necessaria a produrre l'azione di taglio tra i piani e viene definita come sforzo tangenziale (τ).

Per un fluido Newtoniano si assume che la forza richiesta per mantenere la differenza di velocità dV tra i due piani è proporzionale alla differenza di velocità attraverso il liquido, quindi al gradiente di velocità:

$$F/A=\mu(dv/dy)$$

dove μ è una costante che dipende dal materiale e dalla sua temperatura e viene chiamata viscosità. La viscosità è quindi la misura dell'attrito interno di un fluido ed è definita dal rapporto tra lo sforzo tangenziale e il gradiente di velocità ($\gamma=\tau/\mu$).

Dalla definizione di viscosità data da Newton è possibile definire quindi i fluidi newtoniani: fluidi per cui sussiste una relazione lineare tra lo sforzo tangenziale e il gradiente di velocità.

La forza richiesta per mobilitare una coltre detritica diminuisce al diminuire della viscosità, a questa azione si aggiunge l'azione gravitazionale. L'incremento del volume di acqua (dovuto all'apporto meteorico) nella coltre superficiale dei detriti piroclastici, che caratterizzano buona parte dell'isola d'Ischia, determina una variazione della viscosità con effetti di fluidificazione del mezzo. A ciò si aggiungono altri due effetti: quello dell'incremento di peso per apporto di acqua nel mezzo saturo e un effetto di galleggiamento dei depositi con minore densità rispetto al fluido (pomici). La combinazione di tali effetti, a seconda delle condizioni del pendio (es.: superamento o meno dell'angolo critico rispetto all'angolo di attrito interno) e della composizione granulometrica e litologica del deposito, possono generare una diminuzione delle forze resistenti con la mobilitazione massiva dei depositi sovra-saturi d'acqua. Questo meccanismo di causa-effetto è confermato dall'insistenza di piogge abbondanti che precedono gli eventi di mud flow e debris flow nell'isola d'Ischia. Per valutare la possibile azione sismica su queste tipologie

di frane, va considerato l'effetto sismico sulla reologia del mezzo anche in funzione degli spessori di depositi (tipicamente molto piccoli) che possono mobilizzarsi. Infatti, il parametro ritenuto dalle normative antisismiche sopra citate il più adatto per valutare la risposta dei materiali sotto l'azione sismica è il modulo di taglio e, pertanto, la velocità delle onde trasversali (V_s). Difatti il valore della velocità delle onde di taglio V_s dipende direttamente dalle proprietà fisiche di una roccia all'interno della quale si propagano le onde.

E' noto che gli sforzi di taglio si trasmettono in mezzi rigidi, mentre per i fluidi viscosi questi sforzi sono dissipati con deformazioni lente. L'azione di taglio prodotta su coltri piroclastiche superficiali sature in acqua (con spessori tipicamente di alcune decine di centimetri) è dunque poco significativa e non può essere considerata come causa principale di innesco di flussi gravitativi, come colate di fango e detriti. Più importante può essere invece l'azione di aumento temporaneo di pressione di poro per effetto del passaggio di un'onda sismica.

Per quanto concerne i fenomeni di dissesto idrogeologico osservati a Ischia in tempi recenti, si deve constatare come anche in questo caso l'effetto sismico è mitigato dalle masse in gioco (ovvero quelle potenzialmente instabili), che sono tipicamente di molti ordini di grandezza inferiori alle masse mobilizzate per frane innescate da eventi sismici come quello del 1883.

Inoltre, nell'isola d'Ischia non si sono verificati eventi franosi a seguito dei terremoti registrati dal 1999 a oggi, la cui magnitudo massima è pari a 2.3. Quest'osservazione è in accordo con la correlazione empirica tra magnitudo dei terremoti e innesco di frane indotte riportate in letteratura. Inoltre, essendo il terremoto massimo atteso, valutato in relazione all'esercizio dell'impianto, molto prossimo alla massima magnitudo degli eventi "naturali" registrati nell'isola dal 1999 a oggi, è ragionevole prevedere una pericolosità estremamente bassa che terremoti indotti, come da progetto, possano innescare frane.

In definitiva, per la suscettibilità da frane sismo-indotte nell'isola d'Ischia si può definire quanto segue:

- rispetto alla sismicità recente, registrata dal 1999 a oggi ($M_{max}=2.3$), non si rileva alcuna correlazione con eventi franosi;
- gli eventi franosi recenti e storici, ad eccezione di quello del 1883 causato da un terremoto con intensità massima pari a X-XI MCS, sono tutti associabili a fenomeni d'innesco determinati dall'intensa piovosità (alluvioni, mud flow e deris flow);
- le magnitudo massime registrate (dal 1999 a oggi), così come la magnitudo massima attesa per possibili terremoti indotti dall'esercizio dell'impianto (valutata da modellazioni numeriche), sono ben al disotto della soglia empirica per l'innesco di frane sismo-indotte.

Dunque, lo scenario per la franosità sismo-indotte nell'isola d'Ischia, prevede un basso livello di pericolosità, poiché la sismicità naturale è caratterizzata da eventi sporadici, con magnitudo massime tipicamente al disotto della soglia d'innesco di fenomeni franosi, mentre dai modelli numerici si ottengono magnitudo massime molto prossime a quelle degli eventi naturali registrati dal 1999 a oggi.

Infine, come già accennato al *Paragrafo 2.3.6*, per garantire un controllo continuo sulla stabilità dei versanti interessati dal progetto (ovvero quelli immediatamente a Sud e a Ovest dell'impianto geotermico) e su eventuali interazioni con la sismicità e con le micro-deformazioni indotte dall'estrazione e re-iniezione dei fluidi, sarà installato un Laser Scanner (HPS CNC) ad altissima precisione per il controllo in remoto dei movimenti di versante. Questo strumento è in grado di fornire una ricostruzione 3D del target, basandosi sulla riflessione di un fascio laser che, in questo caso, eseguirà una scansione ad alta risoluzione dei versanti da monitorare.

Ogni scansione fornirà un'immagine dettagliata del versante, la cui sovrapposizione produrrà una ricostruzione in tempo quasi reale di eventuali movimenti in atto.

2.4.6

D6) Rispetto ai possibili effetti indiretti di fenomeni sismici stimolati, occorre stimare le intensità sismiche risentibili nei principali centri abitati dell'isola in relazione alle magnitudo attese e ai relativi ipocentri, considerati i fenomeni di amplificazione locale, al fine di valutare gli effetti della percezione dei terremoti da parte dei presenti e gli impatti, anche in considerazione della vocazione turistica dell'isola.

Risposta

La magnitudo massima attesa di possibili terremoti stimolati dall'attività di coltivazione geotermica dell'impianto in oggetto è stata valutata pari a 2.5, per valori di stress drop di 5bar (*Allegato 5* al Progetto Definitivo). Come riportato nel Progetto Definitivo questa valutazione è estremamente cautelativa anche in considerazione della bassa sismicità dell'area e degli elevati gradienti geotermici che riducono considerevolmente lo strato fragile dove si accumulano gli stress che possono generare processi di fratturazione.

L'isola d'Ischia, come già descritto nei precedenti paragrafi, si caratterizza per una sismicità molto sporadica e di bassa energia, con magnitudo massime ($M=2.3$) registrate dal 1999 a oggi, molto prossime al massimo valore teorico del terremoto stimolato.

Gli eventi sismici naturali sono contraddistinti, oltre che da bassi valori di magnitudo, da ipocentri poco profondi, una caratteristica che determina una maggiore avvertibilità, con effetti tuttavia localizzati in aree molto ristrette. Inoltre, le caratteristiche reologiche crostali dell'isola, determinano una forte attenuazione dell'energia sismica in direzione Est, come dimostrato dall'estensione dell'area di avvertibilità dei terremoti (che tipicamente avvengono nel settore Nord dell'isola), che si riduce fortemente verso il territorio comunale di Ischia e, in misura minore, in direzione Sud-Est.

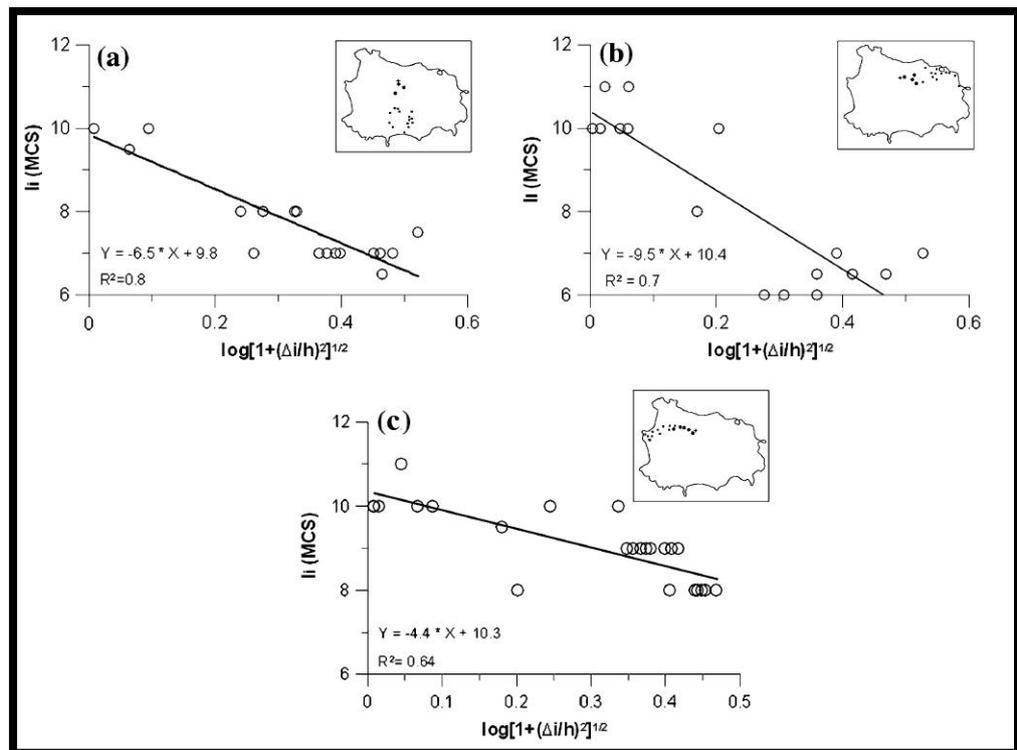
Oltre alla superficialità degli ipocentri dei terremoti di Ischia, l'amplificazione in termini di effetti sul costruito è determinata dalla presenza di terreni di copertura poco coerenti (depositi piroclastici in gran parte rimaneggiati).

L'amplificazione in termini d'intensità macrosismica è stata valutata da Carlino et al. (2009), per il terremoto di Casamicciola del 1883, per il quale esiste una notevole banca dati sugli effetti prodotti dal sisma sia sull'edificato sia al suolo. In tal caso, per quantificare sia l'attenuazione sismica con la distanza che gli effetti di amplificazione, è stata utilizzata una nota relazione che correla il decremento dell'intensità rispetto alla distanza dall'ipocentro e alla profondità ipocentrale (relazione di *Blake, 1941*):

$$I_0 - I_i = \gamma \log [1 + (\Delta_i/h)^2]^{1/2}$$

Dove, I_0 è l'intensità all'epicentro, h la profondità ipocentrale, Δ_i la distanza dall'epicentro dei siti con intensità I_i e γ è un parametro di riferimento che definisce l'attenuazione sismica. L'applicazione di questo metodo ai dati macrosismici del terremoto del 1883 mostra, come sopra accennato, la forte attenuazione degli effetti del sisma in direzione est, e un'attenuazione via via più moderata verso sud e ovest rispettivamente (*Figura 2.4.6a*).

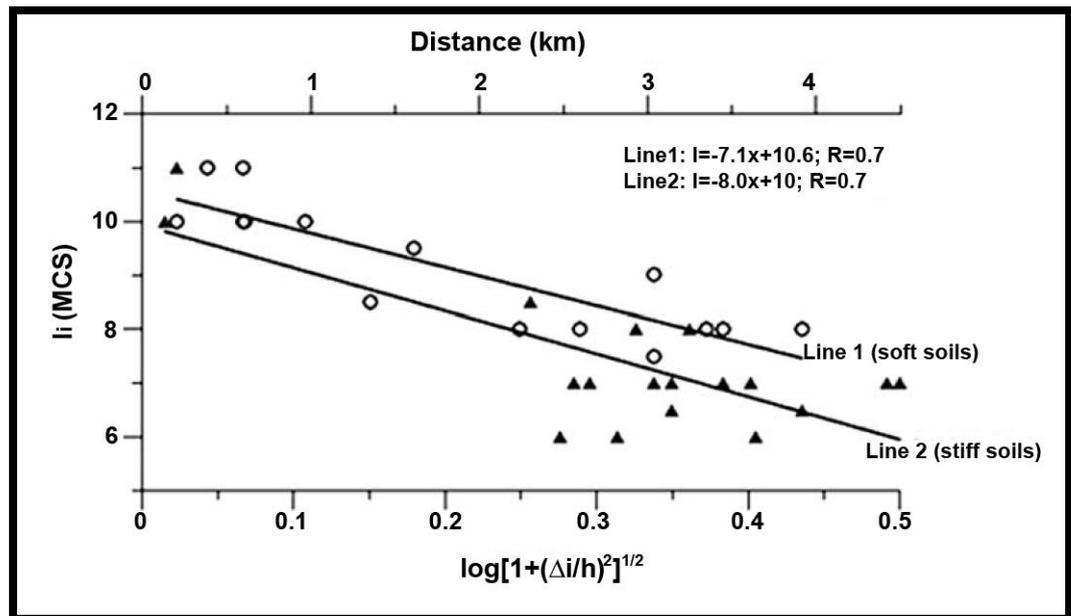
Figura 2.4.6a *Regressione lineare calcolata con il metodo di Blake per i dati macrosismici del terremoto di Casamicciola del 1883 (da Carlino et al., 2009). Sono mostrate le regressioni lineari in direzione sud (a), est (b) e ovest (c) e i relativi valori di R. Le diverse pendenze delle rette sono determinate dalla diversa attenuazione del mezzo, che è maggiore verso est.*



Lo stesso metodo è stato applicato differenziando i siti (per i quali si hanno i valori di intensità MCS noti) localizzati rispettivamente su terreni incoerenti (piroclastiti rimaneggiate) e su terreni rigidi (tufi saldati e lave).

In questo caso si ricavano due curve di regressione lineare per i suddetti terreni, in cui quella riguardante i terreni incoerenti mostra uno shift verso l'alto di circa 1 grado della scala MCS (Figura 2.4.6b) rispetto a quella inerente i siti localizzati su substrato più rigido. Ciò dimostra che l'effetto di amplificazione rispetto al substrato rigido, è di circa 1 grado MCS.

Figura 2.4.6b *Regressione lineare calcolata con il metodo di Blake per i dati macrosismici del terremoto di Casamicciola del 1883 (da Carlino et al., 2009). Sono mostrate le regressioni lineari in direzione sud (a), est (b) e ovest (c) e i relativi valori di R. Le diverse pendenze delle rette sono determinate dalla diversa attenuazione del mezzo, che è maggiore verso est.*



Studi più recenti sulla zonazione macrosismica e sugli effetti dei terremoti di bassa magnitudo sull'Isola di Ischia confermano quanto osservato per il terremoto di Casamicciola in termini di attenuazione dell'energia sismica.

In particolare è stato eseguito uno studio dettagliato sull'evento di magnitudo 2.3 (Cubellis e Marturano, 2009) registrato dalle stazioni della rete sismica di sorveglianza dell'Osservatorio Vesuviano il giorno 5 aprile del 2008, a profondità di circa 2 km. Si tratta di un evento di bassa energia tra i pochi localizzati nell'isola e avvertiti dalla popolazione. Con l'evento è stato avvertito un chiaro boato specie nelle aree più prossime all'epicentro. Seppur di bassa energia l'evento è di particolare interesse per lo studio della sismicità dell'isola. Per questo motivo Cubellis e Marturano (2009) hanno eseguito un'analisi del livello di avvertibilità, tramite questionari inviati alle scuole dell'isola e via web, per meglio caratterizzare i parametri del terremoto e le modalità di propagazione dell'energia sismica.

L'analisi dei dati e la ricostruzione del campo macrosismico consentono di stabilire che gli effetti maggiori del terremoto sono stati percepiti nel settore nord e ovest dell'isola. Questi effetti corrispondono, sono in alcuni punti, a un grado massimo pari a V MCS, mentre per quanto concerne l'avvertibilità diffusa è stato ricavato un valore pari al IV grado MCS in gran parte del settore occidentale dell'isola (Cubellis

e Marturano, 2009) (Figura 2.4.6c). Questo valore corrisponde a un terremoto avvertito da molte persone, con tremito d'infissi e cristalli, e leggere oscillazioni di oggetti sospesi. Sia il IV che il V grado della scala MCS si riferiscono a un evento avvertibile, ma senza alcun danno o effetto al suolo, con valori di accelerazione locale del suolo (PGA) pari a 0,014-0,039g e 0,039-0,092g rispettivamente.

Figura 2.4.6b *Area di avvertibilità (linea rossa) del IV grado MCS del terremoto del 5 aprile 2009 (M=2.3). A est della linea rossa (comune di Ischia) gli effetti macrosismici sono tipicamente al di sotto della soglia di avvertibilità, per la forte attenuazione dell'energia sismica associata a questo settore dell'isola.*



Da quanto esposto si evince che l'area centro-occidentale dell'isola è quella che risente della maggior avvertibilità per i terremoti che tipicamente accadono nel settore Nord.

Eventuali terremoti, indotti dalla coltivazione in progetto, potrebbero essere avvertiti dalla popolazione solo per valori di magnitudo superiori a 1.5, così come evidenziato dall'attività di sorveglianza dell'Osservatorio Vesuviano, e soltanto se questi accadessero nel primo chilometro di crosta.

Inoltre, la distribuzione probabilistica dei terremoti a Ischia, almeno dal 1999 a oggi, mostra che eventi di magnitudo superiori a 1.5 sono molto sporadici, mentre quelli con valori prossimi al terremoto massimo indotto, calcolato teoricamente, sono piuttosto rari.

Sulla base del modello vulcano-tettonico di Ischia, ampiamente accettato in letteratura (vedi *Carlino, 2012* e riferimenti interni), è ragionevole ipotizzare che finché la dinamica dell'isola sarà caratterizzata (come nella fase attuale), da lenta subsidenza, anche la sismicità si manterrà su livelli molto bassi, verosimilmente sugli stessi livelli registrati dalla rete di sorveglianza negli ultimi 17 anni.

Infine, la bassissima frequenza e magnitudo dei terremoti a Ischia, insieme alla lenta subsidenza di tutto il blocco centrale dell'Epomeo, è da spiegarsi con una bassa dinamica del sistema magmatico, la cui energia è dissipata solo attraverso il trasferimento (prevalentemente convettivo) di calore in superficie, mentre l'energia legata ai processi deformativi è del tutto trascurabile. Questo, evidenzia che anche il livello di stress crostale è al disotto della soglia critica per l'accadimento di terremoti (fratturazione fragile).

2.4.7

D7) Il Proponente dovrà approfondire le dinamiche naturali di scambio tra i fluidi geotermici profondi e le acque termali a bassa entalpia superficiali, nonché gli effetti derivanti dalle necessità di progetto di emungere elevate portate dal serbatoio profondo costituito da rocce vulcaniche caratterizzate da bassa permeabilità, in termini di possibile richiamo della risorsa idrotermale attraverso le superfici di discontinuità presenti nonché, nelle operazioni di reiniezione dei fluidi geotermali esauriti, di possibile contaminazione delle stesse.

Risposta

La dinamica dei fluidi nel serbatoio geotermico del settore occidentale dell'isola, a seguito di emungimento e re-iniezione, è stata valutata attraverso un set di simulazioni numeriche riportate in Allegato 3 al Progetto Definitivo ed in parte al paragrafo 2.4.2 del presente documento, ai quali si rimanda per approfondimenti.

In particolare, dai risultati delle simulazioni si può evincere l'andamento dei vettori rappresentativi del flusso di fluidi, che evidenzia un gradiente tra la zona di emungimento e quella di re-iniezione, associato allo scambio di fluidi tra zona di bassa pressione (emungimento) e di alta pressione (re-iniezione) (vedi *Figura 1.5.5 dell'Allegato 3*). Da qui si evince che il flusso maggiore è concentrato nella zona di fondo dei pozzi di emungimento e re-iniezione.

Questo risultato deriva dall'andamento osservato della variazione dei regimi pressori durante la simulazione, fino a un tempo pari 30 anni, dove le variazioni di pressione più significative (fino a circa ± 1 bar) avvengono a profondità superiori ai 200 m sotto il livello del mare.

Le profondità di prelievo (tramite pozzi) delle acque termali a uso termo-balneare, sono tipicamente dell'ordine di 50-80 m, a queste profondità si rilevano infatti i sistemi delle falde acquifere costiere ischitane più superficiali, con temperature tipicamente superiori ai 40 °C. Come evidenziato nelle conclusioni dell'Allegato 3 al Progetto Definitivo, sia la limitata estensione delle perturbazioni dei regimi pressori indotte dall'emungimento, sia le variazioni significative di temperatura del sistema geotermale, concentrate in piccoli volumi intorno ai pozzi, non vanno a interessare lo spessore più superficiale (di circa 150-200 m), dove trovano recapito le falde acquifere che alimentano molti degli stabilimenti termali dell'Isola.

Tuttavia, come riportato nel seguente Paragrafo), saranno effettuate opportune misure del livello piezometrico dell'acquifero costiero, sia mediante realizzazione di opportuni piezometri che da pozzi esistenti, per verificare eventuali variazioni associabili all'esercizio dell'impianto.

2.4.8

D8) Occorre rivalutare gli effetti, in termini di subsidenza, dell'emungimento e della reiniezione dei fluidi geotermici sulla base di un modello geologico e idrogeologico più accurato, tenendo in conto che l'estrazione di fluidi potrebbe generare, soprattutto negli strati più superficiali comprimibili, addensamento non mitigabile con la reiniezione dei fluidi, considerate anche le variazioni di porosità, permeabilità e rigidità del serbatoio che derivano dalla reiniezione di fluidi in disequilibrio termodinamico e le eventuali variazioni del regime idrogeologico delle acque idrotermali più superficiali.

Risposta

Gli effetti di subsidenza derivanti dall'esercizio dell'impianto sono stati trattati nel paragrafo 3 dell'Allegato 5 al Progetto Definitivo, al quale si rimanda per approfondimenti.

La subsidenza massima ottenuta dal modello numerico è inferiore ai 4 mm in 30 anni. Si ribadisce che i valori di variazioni di pressioni indotte dall'emungimento e dalla re-iniezione dei fluidi sono tipicamente al disotto dei valori sperimentali necessari per stimolare fratturazione, facendo escludere un possibile aumento di permeabilità del sistema geotermale per fratturazione. Anche il modulo di rigidità, che è strettamente correlato alla discontinuità del mezzo (es.: aumento delle fratture), non dovrebbe dunque subire variazioni sostanziali.

Per quanto concerne la porosità, essa può aumentare con un incremento di temperatura per basse pressioni effettive, mentre può diminuire per incremento di temperatura e alte pressioni effettive (*Hassanzadegan et al., 2013*). Nel caso in esame sono previste, al più, diminuzioni di temperatura del sistema geotermale, nel dominio dei pozzi di re-iniezione, mentre le variazioni di pressione non sono tali da produrre effetti del primo ordine sulle proprietà meccaniche delle rocce.

2.4.9

D9) Risulta opportuno integrare la documentazione fornita con indicazioni sulle misure previste per il monitoraggio delle pressioni di giacimento e fornire un grado di approfondimento maggiore del monitoraggio della subsidenza, mentre per il monitoraggio microsismico occorre specificare la tempistica di attivazione delle rilevazioni delle nuove stazioni in progetto e valutare una loro localizzazione alternativa; inoltre, tenuto conto della vocazione turistica dell'isola legata allo sfruttamento delle risorse idrotermali a bassa entalpia, è altresì necessario individuare idonee misure di monitoraggio per la salvaguardia di detta risorsa, sia in termini qualitativi che quantitativi.

*Risposta**Monitoraggio pressioni e temperature del serbatoio*

Sia i 2 pozzi di produzione che il pozzo di reiniezione saranno completati con la predisposizione di valvola e flange per l'installazione di apposito "stuffin box" che permetta la discesa di strumenti per la determinazione della pressione e della temperatura a fondo pozzo in fronte alle fratture individuate.

La misurazione di pressione e temperatura sarà eseguita con gli strumenti utilizzate dalle compagnie di servizio ed aventi sensori adatti alle temperature e pressioni presenti nei pozzi geotermici in progetto.

In linea di principio si prevede la misurazione della pressione e temperatura statica prima della produzione/reiniezione dei pozzi.

La pressione e temperatura di fondo pozzo sarà regolarmente controllata 1 volta all'anno tanto nei pozzi di produzione che in quello di reiniezione per identificare l'evoluzione nel tempo delle condizioni produttive.

Monitoraggio microsismico

Per quanto concerne il monitoraggio della sismicità, questo è stato trattato al paragrafo 5 dell'Allegato 4 al Progetto Definitivo.

In particolare è stata eseguita una valutazione della sensibilità della rete sismica attuale ed è stato fatto uno studio specifico al fine di determinare il numero minimo di stazioni sismiche da incrementare (rete mobile) per avere un'ottimale determinazione dei parametri sismici in termini di localizzazione epicentrale e ipocentrale e un incremento del valore di soglia minimo della magnitudo.

La rete mobile sarà installata sei mesi prima dell'inizio dell'attività di perforazione e rimarrà in esercizio per almeno tre anni dall'avviamento in produzione dell'impianto.

Se verranno rilevate anomalie indicative di un incremento della sismicità associabile all'esercizio dell'impianto, la rete mobile rimarrà in funzione per un ulteriore periodo, che verrà valutato a seconda dell'andamento della sismicità locale.

Un'eventuale localizzazione alternativa delle stazioni sismiche sarà tale da non scostarsi di più di 150-200 metri (per ogni localizzazione) rispetto a quelle riportate in Allegato 4 (al Progetto Definitivo).

Se le condizioni dei siti, da un punto di vista del substrato e del rapporto segnale/rumore, non dovessero essere del tutto soddisfacenti rispetto agli obiettivi proposti, si ottempererà a integrare ulteriormente la rete mobile con stazioni localizzate in siti con alto rapporto segnale/rumore.

Monitoraggio della subsidenza

Il monitoraggio della subsidenza sarà eseguito integrando l'attuale rete GPS (vedi Allegato 5 al Progetto Definitivo) in funzione a Ischia, gestita dall'Osservatorio Vesuviano, con nuove stazioni mobili.

Le informazioni ottenute dal sistema di monitoraggio avranno lo scopo di verificare con continuità se i fenomeni di subsidenza si evolvono secondo il modello di previsione e fornire dati per la revisione dei modelli di previsione della subsidenza.

Il sistema di monitoraggio dovrà inoltre prevedere:

- La realizzazione di una rete di livellazione geometrica di alta precisione, che attraversi, topografia permettendo, le zone di subsidenza e di uplift previste dal

modello di previsione e che si colleghi alla rete di livellazione gestita dalla sezione Osservatorio Vesuviano dell'INGV. La periodicità delle misure sarà quadrimestrale nel primo anno, semestrale nel secondo anno e annuale dal terzo anno in poi;

- La realizzazione di una rete di stazioni GPS in acquisizione continua, all'interno e all'esterno delle zone di subsidenza e di uplift previste dal modello di previsione. I prodotti saranno serie temporali giornaliere e settimanali delle tre componenti (nord, est ed up);
- Rilievi satellitari SAR dell'isola con analisi annuale delle immagini acquisite;
- Realizzazione di almeno quattro siti multiparametrici, in cui coesistono una stazione GPS in continua, un caposaldo di livellazione e un corner reflector per il SAR. Inoltre, sarà effettuato un follow up del sistema di monitoraggio durante la vita produttiva dell'impianto, cosicché il sistema stesso possa essere, se necessario, ricalibrato e adattato man mano che i dati geodetici vengono raccolti.

Verifica interferenze con acquiferi superficiali

Infine, le verifiche sul comportamento del serbatoio geotermico eseguite attraverso le simulazioni numeriche evidenziano che le perturbazioni termiche e dei regimi pressori naturali, indotte dall'esercizio dell'impianto, producono interferenze trascurabili sulle falde termali molto superficiali, utilizzate per alimentare le numerose spa e attività termo-balneari dell'isola.

Tuttavia, per verificare se l'esercizio dell'impianto determini anche minime perturbazioni nei livelli acquiferi superficiali, sarà installata un'apposita rete di monitoraggio dello stato quali-quantitativo della risorsa idrica sotterranea come descritto al paragrafo 2.2.5 del presente documento.

2.4.10

D10) Risulta infine la necessità che venga caratterizzato con maggior dettaglio il vulcanismo dell'isola di Ischia, approfondendo in particolare le conoscenze sul suo stato di attività, analizzando idonei scenari di pericolosità e le possibili interferenze delle opere in progetto e delle attività previste.

Risposta

Per dare risposta a tale quesito, si rimanda agli *Allegati 1, 3 e 5* del Progetto Definitivo dove le argomentazioni richieste sono state trattate approfonditamente, utilizzando tutte le principali fonti bibliografiche disponibili nella letteratura scientifica.

I dati presentati in particolare negli *Allegati 1 e 5*, del Progetto Definitivo, mostrano che l'isola, almeno da 2000 anni, è interessata da lenta subsidenza, un fenomeno che può essere associato sia a una lenta depressurizzazione del sistema geotermale sia al lento raffreddamento di un reservoir magmatico in continuo degassamento, localizzato a pochi chilometri di profondità.

Nelle aree calderiche, come Ischia e i vicini Campi Flegrei, il processo di tumescenza e detumescenza, registrato in epoche antiche e storiche-recenti, è

dunque associabile alla dinamica dei sistemi magmatici ubicati ad alcuni chilometri di profondità (vedi esempio *Lungo et al., 1991*).

Secondo i modelli di formazione ed evoluzione delle caldere (Lipman, 1997) la detumescenza è correlabile a una bassa dinamica del sistema magmatico e a una bassa probabilità di eventi eruttivi. I dati geofisici recenti di Ischia (sismicità e subsidenza registrata dalle reti di monitoraggio dagli anni novanta) e quelli relativi alla subsidenza negli ultimi 2000 anni evidenziano il continuo trend di subsidenza, associabile a una bassa pericolosità vulcanica.

2.5 E) VINCA

2.5.1 E1) Si ritiene opportuno che il Proponente fornisca ulteriori dettagli sulla bibliografia utilizzata per la check list della avifauna e degli anfibi e produca un quadro aggiornato delle specie presenti nell'area che sarà interessata dal cantiere dell'opera e dell'elettrodotto. Dovrà altresì verificare l'effettiva presenza di *Melanargia arge*, specie presente nel SIC IT8030026 "Rupi costiere dell'Isola di Ischia", per l'attuazione delle necessarie misure di salvaguardia degli ambienti da cui dipende la sopravvivenza di questa specie endemica.

Risposta

Essendo la richiesta effettuata in ambito "Vinca", preme ricordare che l'impianto pilota "Serrara Fontana" e relative opere connesse non interferiscono con alcuna area naturale protetta né con alcun sito appartenente a Rete Natura 2000.

Per l'avvio della procedura di VIA relativa al progetto, per completezza documentale, era stato predisposto lo Screening di Incidenza Ambientale (che costituisce l'Allegato D al SIA). In tale elaborato, per ciascuna area appartenente alla Rete Natura 2000 presente nell'intorno di 5 km dal sito di progetto, è stata presentata la lista degli habitat e delle specie (animali e vegetali) di interesse comunitario (di cui agli Allegati I e II della Direttiva 92/43/CEE): gli elenchi riportati sono quelli dedotti dai formulari standard delle aree protette coinvolte.

Per quanto riguarda invece le caratterizzazioni relative a flora, fauna e uso del suolo effettuate nel SIA di seguito se ne riporta un quadro aggiornato; con specifico riferimento ai vertebrati si presenta la check list aggiornata definita a partire dai dati bibliografici disponibili in letteratura.

A seguire si riporta una nota faunistica specifica per la *Melanargia Arge*.

Vegetazione, flora e uso del suolo

Nelle immagini successive si riporta una rappresentazione fotografica dello stato delle aree oggetto di analisi.

Le foto successive evidenziano come le aree individuate per la realizzazione dell'impianto ORC e della postazione di produzione/reiniezione SF1 sono

attualmente libere da manufatti/costruzioni ed incolte, benché identificate dal Piano Regolatore Generale vigente del Comune di Serrara Fontana come F5 “Zona con attrezzature di interesse collettivo e per lo sport”.

La superficie occupata dall’Impianto ORC è pari a circa 3.600 m²; la superficie occupata della postazione di produzione/reiniezione SF1 è di circa 4.100 m².

Figura 2.5.1a *Sito individuato per la realizzazione dell’Impianto ORC*



Figura 2.5.1b *Sito individuato per la realizzazione della postazione SF1*



Nella figura successiva, l’area interessata dall’impianto ORC e dalla postazione di sonda SF1 è classificata come “Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti” mentre il tracciato del cavidotto in progetto, oltre alla suddetta area, lungo il suo percorso verso la cabina di consegna Enel, interessa “Sistemi colturali particellari complessi”, “Boschi a prevalenza di leccio e/o sughera” e “Tessuto urbano discontinuo”.

Figura 2.5.1c *Classificazione dell'uso del suolo (fonte: Corine Land Cover)*

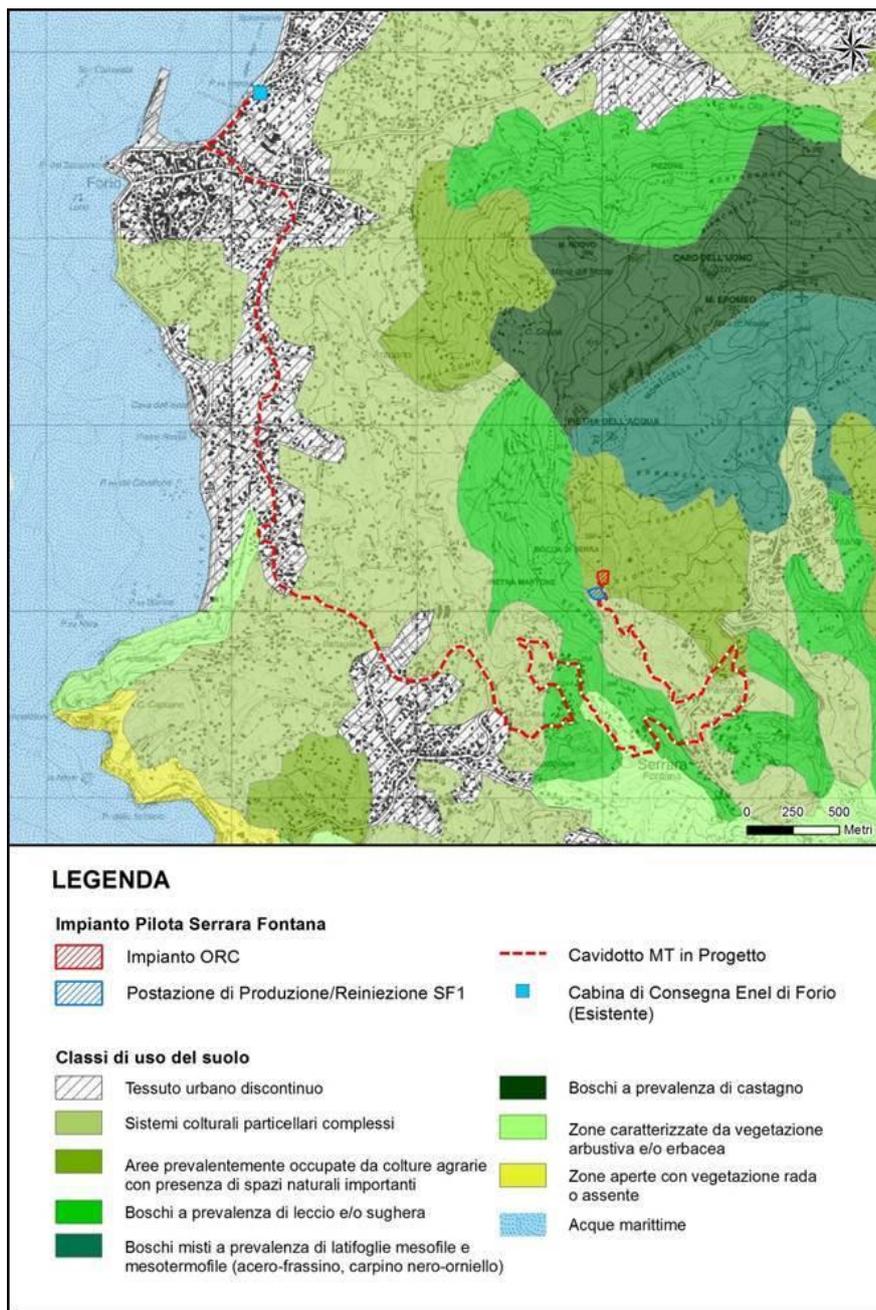


Figura 2.5.1d Vista delle aree dell’impianto ORC e della postazione di produzione/reiniezione SF1



L’area dove è prevista la collocazione della postazione SF1 appare attualmente recintata e prevalentemente priva di vegetazione (terreno calpestato e compatto). L’area denota una alterazione/disturbo protratto nel tempo che ne ha impedito e ne impedisce tuttora il naturale affermarsi degli aspetti più complessi e significativi della vegetazione spontanea.

Figura 2.5.1e Vista dell’area della postazione SF1 in periodo estivo



L’area dove invece è prevista la collocazione dell’impianto ORC attualmente appare come un’area sfalcata periodicamente.

Figura 2.5.1f Vista dell'area dell'Impianto ORC in periodo estivo



Entrambe le aree risultano essere poste in una matrice territoriale prevalentemente agricola, in cui prevale la coltivazione della vite.

La vegetazione posta al confine delle parcelle in esame comprende essenzialmente elementi di vegetazione ruderale di scarso valore naturalistico. Queste risultano formate da piante spontanee legate agli ambienti fortemente antropizzati, come margini stradali, masserie, centri urbanizzati, ecc. Le comunità, spesso poco espresse, sono floristicamente molto banalizzate e talvolta ospitano parecchie specie esotiche. Tra le specie perenni o biennali più comuni troviamo *Chondrilla juncea*, *Cichorium intybus*, *Cynodon dactylon*, *Daucus carota*, *Diploxys tenuifolia*, *Inula viscosa*, *Malva sylvestris*, *Parietaria judaica*, *Picris hieracioides*, *Verbascum sinuatum*, mentre tra le annuali *Amaranthus retroflexus*, *Aster squamatus*, *Avena barbata*, *Chenopodium album*, *Conyza bonariensis*, *C. canadensis*, *Euphorbia maculata*, *Heliotropium europaeum*, *Inula graveolens*, *Portulaca oleracea*, *Setaria verticillata*, *Solanum nigrum*, *Sonchus tenerrimus*, *Tribulus terrestris*. Le comunità a dominanza di specie a ciclo breve sono attribuibili alla classe *Stellarietea* (o anche a *Polygono-Poetea* negli ambienti soggetti a calpestio dove prevalgono microfite come *Polycarpon tetraphyllum*, *Polygonum aviculare* e *Sagina apetala*), mentre in quelli a dominanza di perenni sono riconducibili alla classe *Artemisietea vulgaris*.

Lungo i margini di seminativi e vigneti, soprattutto dove sono presenti muretti a secco, è possibile osservare, a macchia di leopardo, la presenza di siepi dove spesso crescono specie tipiche della macchia mediterranea. Queste siepi rappresentano gli unici elementi vegetali di relativo valore naturalistico nelle aree agricole.

Fauna

La definizione della *check list* dei vertebrati è stata definita a partire dai dati bibliografici disponibili in letteratura.

Nello specifico, per quanto riguarda rettili, anfibi e mammiferi, si è fatto specifico riferimento ai lavori eseguiti da Nappi, nel corso degli anni.

La componente batracofauna risulta essere caratterizzata dalla presenza di *Bufo viridis*. Sempre Nappi e Cipolla (2008) segnalano altresì una ricca popolazione di

Rane verdi *Pelophylax sp.* presente nelle vasche artificiali dei giardini della Mortella, senza però includerle nella check list dell'isola.

I Rettili presenti comprendono: *Hierophis viridiflavus*, *Tarentola mauritanica*, *Hemidactylus turcicus* e *Podarcis sicula*. Lucertola muraiola *Podarcis muralis* segnalata da (Mancini, 1980) non è poi stata confermata dagli studi successivi (Guarino et al. 2002, Nappi et al. 2007).

Tra i Mammiferi, oltre alle usuali presenze di *Oryctolagus cuniculus*, *Rattus rattus*, *Mus domesticus* e *Apodemus sylvaticus*, si segnala *Crocidura suaveolens*.

Tabella 2.5.1a Anfibi, Rettili e Mammiferi dell'Isola di Ischia

Nome comune	Nome scientifico
Rospo smeraldino	<i>Bufo viridis</i>
Geco verrucoso	<i>Hemidactylus turcicus</i>
Geco comune	<i>Tarentola mauritanica</i>
Lucertola campestre	<i>Podarcis sicula</i>
Biacco	<i>Hierophis viridiflavus</i>
Crocidura minore	<i>Crocidura suaveolens</i>
Coniglio selvatico	<i>Oryctolagus cuniculus</i>
Topo selvatico	<i>Apodemus sylvaticus</i>
Ratto nero	<i>Rattus rattus</i>
Topolino domestico	<i>Mus musculus</i>

La componente ornitica risulta, come spesso accade, tra i vertebrati più studiati nonché la più numerosa in termini sia di numero di specie presenti che di specie di interesse conservazionistico e naturalistico.

In base agli studi disponibili in bibliografia l'isola di Ischia risulta interessata da numerose specie poste in Allegato I della Direttiva 2009/147/CEE, quali ad esempio: *Alauda arvensis*, *Anthus campestris*, *Calonectris diomedea*, *Caprimulgus europaeus*, *Chlidonias niger*, *Circus aeruginosus*, *Circus macrourus*, *Circus pygargus*, *Columba palumbus*, *Coturnix coturnix*, *Falco peregrinus*, *Ficedula albicollis*, *Hydrobates pelagicus*, *Lanius collurio*, *Larus argentatus*, *Larus audouinii*, *Larus canus*, *Larus fuscus*, *Larus ridibundus*, *Lullula arborea*, *Mergus serrator*, *Milvus migrans*, *Pandion haliaetus*, *Pernis apivorus*, *Phalacrocorax carbo sinensis*, *Scolopax Rusticola*, *Streptopelia turtur*, *Sylvia undata*, *Turdus philomelos*, *Turdus viscivorus*.

L'isola, inoltre, risulta una base interessante per l'avifauna migratrice (es.: *Pernis apivorus*, *Circus Pygargus*, *Larus audouinii*) e per la nidificazione del *Falco peregrinus*.

Le aree oggetto di intervento, come evidenziato nel SIA, presentano una vegetazione semplificata a causa della pressione antropica, che tali aree hanno subito nel corso degli anni. La semplificazione degli habitat (aree incolte e sfalciate saltuariamente) si traduce in una conseguente banalizzazione della fauna che può assumere come habitat elettivi tali siti. In tal senso la fauna presente e/o potenzialmente presente nelle aree di progetto, considerando anche la limitatezza spaziale delle superfici interessate, rimanda a specie banali, nel senso di ben diffuse in contesti simili sull'isola e, non in pericolo (es.: *Sturnus vulgaris*, *Saxicola*

rubetra, Alauda arvensis, Upupa epops, Passer montanus, Streptopelia turtur, ecc...).

Nota faunistica: Melanargia Arge

Note descrittive

Melanargia arge è un Lepidottero inserito nel "Libro Rosso delle farfalle italiane" in qualità di "Specie minacciate e in progressiva grave diminuzione per cause naturali o per fattori di origine antropica". È specie protetta dalla Direttiva "Habitat" 92/43/CEE (Allegati II e IV) ed è inoltre elencata nell'Appendice 2 della Convenzione di Berna. Una minaccia per la specie è rappresentata dalla progressiva perdita e/o degrado degli ambienti a cui essa è legata: in seguito all'alterazione e/o alla scomparsa dei biotopi di riproduzione, nel corso degli ultimi decenni la specie si è estinta da molte delle località occupate in passato (*Prola G. e C., 1990*).

Note ecologiche

La specie è endemica dell'Italia peninsulare e della Sicilia nordorientale (con popolazioni diffuse lungo il versante tirrenico in Italia centro-occidentale, in Calabria e in Puglia). È segnalata in 135 siti italiani che, rappresentano gli unici siti di presenza della specie. Molti aspetti della biologia della specie non sono ancora conosciuti. *Melanargia arge* vive in piccole popolazioni isolate, molto localizzate e mai molto abbondanti, tranne in rari casi. Si incontra in zone collinari costiere, su prati erbosi aridi e rocciosi, difficilmente oltre i 1000 metri. *M. arge* vola in un'unica generazione dalla metà di maggio alla metà di giugno a seconda delle quote. Poche informazioni sono disponibili sulla biologia, ma recentemente sono state individuate, tra le graminacee, alcune piante alimentari. Le uova vengono deposte sugli steli ormai secchi della pianta, al centro o immediatamente all'esterno dei ciuffi della graminacea. È specie legata ad ambienti aperti con vegetazione mediterranea, prediligendo le formazioni ad *Ampelodesmos mauritanicus*.

Descrizione morfologica

Melanargia arge è un lepidottero di medie dimensioni con ocelli sulle ali posteriori variamente sviluppati. Nella pagina inferiore dell'ala, gli ocelli hanno colori più brillanti e contorni neri; inoltre le nervature sono marcate di marrone scuro o nero. La femmina è solitamente di dimensioni maggiori rispetto al maschio. La specie ha una sola generazione all'anno e vola dalla metà di maggio alla metà di giugno a seconda delle quote. Le uova sono deposte singolarmente sugli steli, ormai secchi, della pianta alimentare; dopo una quindicina di giorni si ha la schiusa e la piccolissima larva una volta fuoriuscita dall'uovo (dei cui resti si nutre subito) entra in diapausa estiva da giugno ad ottobre, durante la quale pare assuma solo acqua.

Fattori di minaccia

L'estrema localizzazione di *Melanargia arge* riflette la difficile realizzazione sul territorio di una particolare nicchia, che, se in parte viene favorita da una moderata azione di "disturbo antropico" (es.: agricoltura e pastorizia), tende ad esaurirsi laddove le attività agropastorali sconfinano nel "sovrautilizzo" delle risorse del territorio. Ciò sembra essere confermato dal fatto che pare colonizzare di preferenza alcune aree seminaturali con bassa intensità di "disturbo" (es.:



pascolo). Ulteriori fattori di minaccia per questo endemismo, consistono nella mancanza di piani di gestione delle aree elettive espressamente finalizzati alla conservazione degli habitat d'elezione per la specie e nella conseguente utilizzazione irrazionale delle formazioni a prato-pascolo (aree in abbandono o localizzate aree con sovrapascolo) e degradazione e/o scomparsa delle formazioni vegetali di maggior pregio naturalistico e delle specie animali ad essi legate (cfr.: Progetto LIFE RI.CO.PR.I., Progetto LIFE CSMON).

Conclusioni

Le aree di progetto risultano ad oggi delle aree aperte, caratterizzate da suoli aridi e compatti, tipici di ambienti antropizzati. Tenendo conto che, in base alle conoscenze che si hanno ad oggi relativamente a *M. Arge*, che elegge ad habitat elettivo nei primi stadi del proprio ciclo vitale, la vegetazione mediterranea prediligendo le formazioni ad *Ampelodesmos mauritanicus*, si può escludere la presenza.

Bibliografia

Come richiesto, di seguito si riporta la bibliografia di riferimento utilizzata per la definizione della risposta di cui al §2.5.1.

- Aprea G., 1999 - Guida naturalistica all'Isola di Capri. Edizioni La Conchiglia, Capri: 134 pp.
- Beck A., 1844 – Nota relativa al passaggio degli uccelli nella primavera del 1844. Annali accademia aspiranti naturalisti di Napoli, vol II:175-176.
- Formulari Siti Rete Natura:
 - SIC “CORPO CENTRALE DELL'ISOLA DI ISCHIA” (IT8030005)
 - SIC “PINETE DELL'ISOLA DI ISCHIA” (IT8030022)
 - SIC “STAZIONE DI CYPERUS POLYSTACHYUS DI ISCHIA” (IT8030034)
 - SIC “RUPI COSTIERE DELL'ISOLA DI ISCHIA” (IT8030026)
 - SIC/ZPS “FONDALI MARINI DI ISCHIA, PROCIDA E VIVARA” (IT8030010)
- Fraissinet M. e Kalby M., 1989- Atlante degli uccelli nidificanti in Campania. Monografia n.1 dell'ASOIM. Regione Campania ed., Napoli.
- Fraissinet M., 1986 - Atlante degli uccelli nidificanti e svernanti in Provincia di Napoli. Uccelli d'Italia.
- Fraissinet M., Cavaliere V., Janni O. e Mancuso C., 2008 Nuova Check-List degli uccelli della Campania, aggiornata al 31 GENNAIO 2007.
- Fraissinet M., Grotta M. e Piciocchi S., 1994 – La lista rossa degli uccelli in Campania. Electa Napoli ed., Napoli.
- Massa B., 1985. Considerazioni sui popolamenti di uccelli terrestri delle isole Mediterranee. Istituto di Zoologia dell'Università di Palermo.

- Nappi A. & Masseti M., 2005 - I mammiferi terrestri non volatori delle isole del Golfo di Napoli. Atti V Congresso Italiano di Teriologia. *Hystrix It. J. Mamm.* (n.s.), Suppl.: 44.
- Nappi A., Cipolla R.M., Gabriele R., Masseti M., Corti & Arcidiacono G., 2007 - Anfibi, Rettili e Mammiferi delle isole del Golfo di Napoli: check-list commentata. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 83 (2007): 93-97.
- Ricciardi M., Nazzaro R., Caputo G., Di Natale A., Vallariello G., 2004. La flora dell'isola di Ischia (Golfo di Napoli)
- Scebba S., 1993 - Gli uccelli della Campania. Esselibri ed., Napoli.
- Sergio Frugis e Edgardo Moltoni, che pubblicarono articoli sull'avifauna di Ischia e Capri.
- VOLPE G. E PALMIERI R., 2001. Farfalle italiane. Campania e territori limitrofi. Arion ed.

2.5.2

E2) Si ritiene necessario fornire chiarimenti sui principi adottati per la scelta delle essenze individuate per le operazioni di piantumazione, aggiornando l'elenco fornito sulla base di criteri che privilegino specie autoctone già presenti nell'area.

Risposta

La scelta delle essenze arboree previste nel SIA da utilizzarsi per le opere di mitigazione si basa su quanto effettivamente riconosciuto nel sito di intervento, prevedendo così di ottenere la maggiore spontaneità e conservazione del paesaggio esistente.

Quanto detto è immediatamente riscontrabile nella Tavola 2.5.2a "Analisi delle essenze arboree presenti in loco", riportata in allegato, da cui si evince che le tipologie di vegetazione selezionate sono quelle che sono emerse da un'accurata analisi visiva del paesaggio di intervento. Le tipologie floristiche riconoscibili sono infatti:

1. presenza isolata di pino mediterraneo, leccio, nocciolo e quercia;
2. macchia mediterranea bassa (vegetazione erbacea ed arbusti sparsi);
3. macchia mediterranea (mirto, corbezzolo, lentisco, lauro);
4. terrazzamenti ove dimorano vitigni autoctoni anche selvatici e cioè fasce arbustive con sviluppo lineare.

Di seguito un estratto della Tavola allegata con identificate (numeri da 1 a 4) le varie tipologie floristiche riconosciute.



Per le nuove piantumazioni si prevede di utilizzare le seguenti specie autoctone presenti nell'area:

- Pino mediterraneo (*Pinus pinea* L.);
- Leccio (*Quercus ilex* L.);
- Nocciolo (*Corylus avellana* L.);
- Quercia (*Quercus* L.);
- Roverella (*Quercus pubescens* L.);
- Mirto (*Myrtus communis* L.);
- Corbezzolo (*Arbutus unedo* L.);
- Lentisco (*Pistacia lentiscus* L.);
- Lauro (*Laurus nobilis/c.*).

Per i due siti di intervento sarà impiegata come recinzione una maglia di filo spinato, impostata su pali in legno di 2,00 m di altezza e posti ad interasse di circa 2,00 m. In corrispondenza di tale recinzione saranno piantumati arbusti sempreverdi di tipo rampicante, viti e vitigni. Le specie arboree e arbustive comprese tra quelle sopraelencate verranno messe a dimora lungo il perimetro della recinzione secondo una ripetitività casuale tale da far percepire la fascia vegetale quale consociazione naturale.

Inoltre, per incentivare tale percezione, la manutenzione sarà eseguita evitando tagli regolari e forme definite, privilegiando uno sviluppo naturale delle essenze.

La "cortina vegetale" che si verrà a creare, grazie alle scelte sopraindicate sarà percepita alla stregua delle aggregazioni naturali già presenti ai margini degli appezzamenti esistenti.

L'altezza della siepe sarà variabile a seconda della specie e sarà al massimo di 5 m, privilegiando la specie arbustiva rispetto a quella arborea.

2.6 F) VARIE

2.6.1 F1) Valutato che il Progetto presentato non presenta, nel suo complesso, un livello informativo e di dettaglio equivalente a quello previsto dall'art. 93, comma 4 del D.lgs.163/2006, come prescritto dall'art. 23, comma 1 in combinato disposto con l'art. 5, comma 1, lettera g) del D.lgs. 152/2006 ... omissis Ai fini della valutazione ambientale, gli elaborati del progetto preliminare e del progetto definitivo sono predisposti con un livello informativo e di dettaglio almeno equivalente a quello previsto dall'articolo 93, commi 3 e 4, del codice di cui al decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, si richiede l'adeguamento del progetto stesso alle disposizioni normative vigenti, garantendo nel contempo che tutti gli elaborati progettuali siano firmati dagli estensori e correttamente datati. In particolare si richiede il nominativo del Professionista dell'INGV che ha predisposto gli elaborati dell'Allegato 1 e Allegato 5.

Risposta

Nell'Allegato 5 al presente documento sono riportati tutti gli elaborati grafici presentati nel Progetto Definitivo appositamente datati e firmati dagli estensori. Inoltre, sono allegati anche i frontespizi firmati e timbrati degli Allegati 1 e 5 al Progetto Definitivo.

2.6.2 F2a) Si chiede di fornire in maniera adeguata le controdeduzioni a tutte le osservazioni ad oggi pervenute.

Risposta

Per dare risposta alle osservazioni pervenute è stato predisposto l'apposito Allegato 6 al quale si rimanda.

2.6.3 F2b) Il Proponente fornisca una Dichiarazione sostitutiva di atto notorio del Progettista dell'opera e del legale rappresentante della Società proponente che attesti esplicitamente:

- il valore complessivo dell'opera, comprensivo di I.V.A., dettagliato secondo il "costo dei Lavori", comprensivo degli oneri e le "spese generali" anch'esse articolate secondo le singole voci di costo (spese tecniche di progettazione, redazione dello SIA, Direzione lavori, Coordinamento sicurezza in progettazione ed esecuzione, attività di consulenza e/o supporto, spese per pubblicità, rilievi, accertamenti, collaudi e quant'altro costo ad esclusione delle spese per espropriazioni che non concorrono a determinare quelle "maggiori esigenze connesse allo svolgimento della procedura di Impatto Ambientale);

- la stima economica dettagliata di tutti gli interventi previsti per la realizzazione dell'opera, incluse le opere di mitigazione e quelle comunque previste nello studio di Impatto Ambientale;
- che gli importi dichiarati ai precedenti punti a) e b) sono quelli desunti dalle lavorazioni elencate e dichiarate nel computo metrico estimativo dell'opera allegato alla documentazione presentata posta ad esame della Commissione tecnica di Valutazione di Impatto Ambientale;
- che il sopra citato computo metrico estimativo sia redatto in modo completo ed esaustivo secondo il livello di progettazione dichiarato (preliminare, definitivo o esecutivo).

Risposta

Si rimanda all'Allegato 7 dove sono riportati sia il Computo Metrico che la Dichiarazione sostitutiva di atto notorio.

2.7 G) RISPOSTE ALLE RICHIESTE DI INTEGRAZIONI DALLA REGIONE CAMPANIA

Risposta

Al fine di dare risposta alle richieste della Regione Campania, si rimanda all'Allegato 8.

2.8 H) RISPOSTE ALLE RICHIESTE DI INTEGRAZIONI DALL'AUTORITÀ DI BACINO REGIONALE DELLA CAMPANIA CENTRALE (DATA 29/09/2016)

Risposta

Poiché tali richieste sono giunte alla Società Ischia Geotermia soltanto in data 29/09/2016, non è stato evidentemente possibile dare risposta a quanto richiesto.

Le attività di verifica dei versanti, comunque, saranno effettuate in accordo a quanto descritto al *paragrafo 2.3.6* del presente documento.

BIBLIOGRAFIA

AGIP (1987). *Geologia e geofisica del sistema geotermico dei Campi Flegrei, Technical report. Settore Esplor e Ric Geoterm-Metodol per l'Esplor Geotermica, San Donato Milanese Italy, 1–23.*

Autorità di Bacino Nord-Occidentale della Campania - AA.VV. (2002) - Piano per l'assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Nord-Occidentale della Campania. TPS srl Napoli - SELCA srl Firenze, 4 vol.

Autorità di Bacino Nord-Occidentale della Campania - AA.VV. (2010) - Piano per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Nord-Occidentale della Campania - Aggiornamento anno 2010.

Autorità di Bacino della Campania Centrale - AA.VV. (2015) - Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PSAI) AdB Campania Centrale - Delibera di C.I. n. 1 del 23/02/15.

Blake A (1941) On the estimation of focal depth from macroseismic data. Bull Seismol Soc Am 31(3): 225–231.

Burger, H.R. (1992). Exploration geophysics of the shallow subsurface. Englewood Cliffs, NJ (United States); Prentice Hall

Carlino, S., E. Cubellis, A. Maturano (2009). Macro seismic data of the catastrophic 1883 earthquake at the Island of Ischia (southern Italy): the role of geological conditions. Natural Hazard DOI 10.1007/s11069-009-9367-2.

Carlino S. (2012). The process of resurgence for Ischia Island (southern Italy) since 55 ka: the laccolith model and implications for eruption forecasting. Bull Volcanol DOI 10.1007/s00445-012-0578-0

Carlino S., Somma R., Troise C. and De Natale G. (2012). The geothermal exploration of Campanian volcanoes: Historical review and future development, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 16, Issue 1, 1004-1030

Carlino S., Somma R., Troiano A., Di Giuseppe M.G., Troise C. and De Natale G., 2014. The geothermal system of Ischia Island (southern Italy): critical review and sustainability analysis of geothermal resource for electricity generation. Renewable Energy, 62 – 177-196.

Carlino S., Somma R., Troiano A., Di Giuseppe M.G., Troise, C. and De Natale, G., 2015. Geothermal Investigations of Active Volcanoes: The Example of Ischia Island and Campi Flegrei Caldera (Southern Italy). In Engineering Geology for Society and Territory-Volume 1 (pp. 369-372). Springer International Publishing.

Carlino S., Troiano A., Di Giuseppe M. G., Tramelli A., Troise C., Somma R., and De Natale G., 2016. Exploitation of geothermal energy in active volcanic areas: a



numerical modelling applied to high temperature Mofete geothermal field, at Campi Flegrei caldera (Southern Italy) doi:10.1016/j.renene.2015.10.007.

Del Prete S. & Mele R. (1999) - L'Influenza dei fenomeni di instabilità di versante nel quadro morfoevolutivo della costa dell'isola d'Ischia. Boll. Soc. Geol. It., 118 (2), 339-360.

Del Prete S. & Mele R. (2006) - Il contributo delle informazioni storiche per la valutazione della propensione al dissesto nell'isola d'Ischia (Campania). Rend. Soc. Geol. It., n. sr., 2 pp. 29-47.

Cousot, M. Meunier (1996). Recognition, classification and mechanical description of debris flows, Earth-Science Reviews, Volume 40, Issue 3, 1996, Pages 209-227, ISSN 0012-8252, [http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252\(95\)00065-8](http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252(95)00065-8).

Ellsworth W.L. (2013). Injection-Induced Earthquakes. Science 341, doi: 10.1126/science.1225942

Guadagno F.M., Mele R. (1995) - La fragile Isola d'Ischia. Vol. Speciale di Geologia Applicata ed Idrogeologia, vol. XXX- parte I, pp. 177-187.

Hassanzadegan A., Bloche r G., Milsc H., Urpi L., Zimmermann G. (2013) The effects of temperature and pressure on the porosity evolution of Flechtinger Sandstone. Rock mechanics and Rock Engineering, 47 (2), 421-434.

ISSMGE,TC4 (1999). Manual for zonation on seismic and geotechnical hazard. Technical Committee for Geotechnical Engineering TC4.The Japanese Geotechnical Society.

ICHESE (2014). Report on the Hydrocarbon Exploration and Seismicity in Emilia Region INTERNATIONAL COMMISSION ON HYDROCARBON EXPLORATION AND SEISMICITY IN THE EMILIA REGION. Commission Members: Peter Styles, Paolo Gasparini, Ernst Huenges, Paolo Scandone, Stanislaw Lasocki , Franco Terlizzese.

Keefer D.K. (1984). Landslides caused by earthquakes. Geological Society of America, v. 95 no. 4 p. 406-421.

Lipman, P. W. (1997), Subsidence of ash-flow calderas: Relation to caldera size and magma-chamber geometry, Bull. Volcanol., 59, 198-218.

Luongo G., E. Cubellis, F. Obrizzo, S.M. Petrazzuoli (1991), The mechanics of the Campi Flegrei resurgent caldera-a model, J. Volcanol. Geotherm. Res., 45 (3-4):161-172

Mele R. & Del Prete S. (1998) - Fenomeni di instabilità dei versanti in Tufo Verde di Monte Epomeo (isola d'Ischia - Campania). Boll. Soc. Geol. It., 117 (1), 93 - 112.



McCoy, S. W., J. W. Kean, J. A. Coe, D. M. Staley, T. A. Wasklewicz, and G. E. Tucker (2010), *Evolution of a natural debris flow: In situ measurements of flow dynamics, video imagery, and terrestrial laser scanning*, *Geology*, **38**(8), 735–738.

Note Illustrative Carta Geologica della Regione Campania "Foglio 464 Isola di Ischia". - AA.VV. (2011)

Patella (1993). *I principi metodologici della magnetellurica su mezzi generalmente dispersivi*. <http://hdl.handle.net/2122/3658>

Penta F, Conforto (1951). *Risultati di sondaggi e di ricerche geominerarie nell'isola d'Ischia dal 1939 al 1943 nel campo di vapore, delle acque termali e delle forze endogene in generale*. *Annali di Geofisica* 1951; 4:159-91.

Pruess K., TOUGH2 e A General Purpose Numerical Simulator for Multiphase Fluid and Heat Flow, L. B. L. Report, Berkeley, CA., 1991. LBL- 29400.

Pruess K., Oldenburg C., Moridis D., TOUGH2 User's Guide, Berkeley, California, 1999. LBNL-43134.

Rapolla A., (2009). *La Pericolosità sismica: dalla Macrozonazione, alla Microzonazione, alla Risposta Sismica Locale (con particolare attenzione alla Campania)*. Liguori Editore, Napoli

Rapolla, A. (2012). *La franosità sismo indotta o in prospettiva sismica*. VENTENNALE DELL'ORDINE DEI GEOLOGI DELLA CAMPANIA. Napoli, Castel dell'Ovo, 14 dicembre 2012

Rittmann A. & Gottini V. (1980) - *L'isola d'Ischia*. *Geologia*. *Boll. Servizio Geologico It.*, 101, 131-274.

Romeo, R. (2000). *Seismically induced landslide displacements: a predictive model*. [Engineering Geology. Volume 58, Issues 3–4](#), December 2000, Pages 337–351

Rodríguez, C.E, J.J Bommer, R.J Chandler (1999). *Earthquake-induced landslides: 1980–1997*, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume 18, Issue 5, July 1999, Pages 325-346, ISSN 0267-7261, [http://dx.doi.org/10.1016/S0267-7261\(99\)00012-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0267-7261(99)00012-3).

SAFEN, Francesco Penta, 1954. Stato delle Ricerche SAFEN al 31/12/1954. IIRG;

Takahashi T. (2007). *Debris flow, Mechanics, Prediction and Countermeasures*. Ed. Taylor & Francis.

Troiano A., Di Giuseppe M.G., Troise C., Tramelli A., and De Natale G., 2013. *A Coulomb stress model for induced seismicity distribution due to fluid injection and withdrawal in deep boreholes*. *Geoph Journ Intern*. 195, 504-512.

Vezzoli V. (1988) - *Island of Ischia*. C.N.R., Quaderni de "La Ricerca Scientifica".

