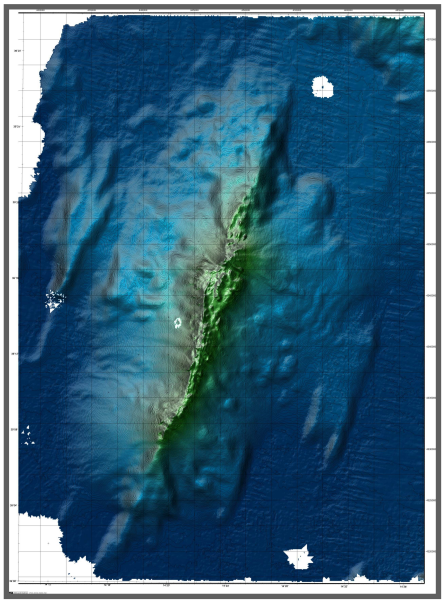
EUROBUILDING SPA

PERMESSO DI RICERCA PER FLUIDI GEOTERMICI "*TIRRENO MERIDIONALE 1*"

Pozzo esplorativo offshore
" MARSILI 1 "

PROGETTO PRELIMINARE



MARZO 2014

INDICE

1 QUADRO DI RIFERIMENTO PROGETTUALE 3
1.1 Premesse sulla geotermia offshore 50
1.2 Sviluppi della geotermia Offshore 4
1.3 Soggetto Proponente 6
1.4 Dati caratteristici del Permesso di Ricerca "Tirreno Meridionale1" 53

1.6 La perforazione del pozzo esplorativo 54
1.6.1 Premessa 54
1.6.2 Caratterizzazione del sito di perforazione 56
1.6.3 Dati generali sul pozzo esplorativo 59
1.6.3.1 Previsioni Stratigrafiche. 59
1.6.3.2 Gradienti di pressione. 62
1.6.3.3 Gradienti di temperatura. 62
1.6.3.4 Caratteristiche attese dei fluidi geotermici. 63
1.6.4 Strutture di supporto offshore. 63
1.6.4.1 Il Riser. 66
1.6.4.2 Il Sistema BOP's (Blow-Out Preventer Stack) e la Testa Pozzo (Wellhead) 74
1.6.5 Design del pozzo 74
1.6.6 Design del casing. 80
1.6.7 Fluidi di perforazione 85
1.6.8 MWD, carotaggi e misure in foro 88
1.6.8.1 Carotaggi meccanici. 89
1.6.8.2 Log di pozzo. 90
1.6.8.3 Completamento del pozzo. 91
1.6.8.4 Prove di produzione. 96
1.7 Misure di attenuazione di impatto ed eventuale monitoraggio 92
1.8 Tecniche di trattamento e discarica dei rifiuti (compresi i detriti di perforazione) 93

1. QUADRO DI RIFERIMENTO PROGETTUALE

1.1 Premesse sulla geotermia offshore

Come per tutte le fonti energetiche, anche e soprattutto per la geotermia marina, qualsiasi valutazione del suo **impatto** ambientale deve partire dal punto di riferimento irrinunciabile della conoscenza delle **condizioni** ambientali **indisturbate**, prima cioe dell'intervento tecnologico dell'uomo. Questo rappresenta una delle frontiere scientifiche piu difficili da conquistare perche la conoscenza completa di come l'ambiente ed i suoi numerosissimi sistemi e sottosistemi funzionano in condizioni indisturbate, con tutte le variazioni e fluttuazioni spazio–temporali, e qualcosa di troppo complesso per essere pienamente dominato. E senza avere questo tipo di informazioni non e assolutamente possibile effettuare alcuna valutazione attendibile dell'impatto conseguente l'intervento umano.

E' fondamentale comprendere appieno che la captazione e l'utilizzo di fluidi geotermici a mare avviene in un sistema "aperto", nel senso che le fuoriuscite delle componenti gassose dei fluidi e spesso dei fluidi stessi, avviene in condizioni naturali indisturbate e quindi – diversamente dall'utilizzo dell'oil and gas – il sistema è già naturalmente aperto e "naturalmente contaminato".

Questo indubbio vantaggio ambientale e sociale – che è uno degli elementi probanti della bassa impronta ecologica delle centrali geotermiche – diviene ancora più forte se siamo, come nel caso del Progetto Marsili qui rappresentato, in un contesto marino : qui infatti non solo è annullato la possibile problematica sociale in quanto siamo in mezzo al mare lontano da centri abitati, ma la "gestione" dei fluidi geotermici e delle loro esalazioni avviene e rimane confinata all'ambiente marino, dove già esiste come si diceva, naturalmente.
Non esistono quindi problematiche sostanziali legate alle emissioni in atmosfera.

Tra l'altro la presenza dell'acqua marina attorno alla piattaforma di produzione, semplifica (anche economicamente) la struttura della centrale di produzione, in quanto non necessitano le classiche torri di raffreddamento.

In particolare sono stati valutati i minori impatti ambientali della produzione geotermica (i dati riportati sono necessariamente relativi alle produzioni onshore, le uniche attualmente realizzate), che tra l'altro hanno una piccola impronta ecologica relativa alle superfici occupate per la produzione : si parla di circa 0,35 Km2 / 100 MWe.

Inoltre le acque di scarico contengono solo piccole quantità di elementi chimici nocivi o problematici come Boro, Mercurio, Arsenico, o di gas come H2S e CO2. Si deve tra l'altro considerare che oggi esistono vari metodi (reiniezione dei fluidi esausti, condensazione dei gas, trattamento chimico con estrazione selettiva dei minerali) per calibrare le risposte ambientali sostenibili.
Ad esempio le emissione naturali di CO2 da sistemi con fluidi ad alta temperatura, sono tipicamente minori del 10% di quelle emesse bruciando il carbone in un impianto di potenza equivalente.
Per ogni MW generato con geotermia si evita l'emissione in atmosfera di cira 900 tonnellate di polveri e di 3,5 milioni di tonnellate di CO2.

1.2 Sviluppi della geotermia Offshore

Nel contesto marino alcune delle problematiche presenti nell'onshore (anche se in forma ridotta) non vi sono e semplificano quindi sia il sistema di valutazione degli impatti ambientali, sia il sistema di monitoraggio, che però va adattato in modo specifico al contesto marino mediante l'utilizzo e l'implementazione di strumentazioni ad elevato contenuto tecnologico, che permettono tra l'altro di sviluppare un settore – quello del monitoraggio in real time nel mare – che avrà indubbiamente un importante sviluppo nei prossimi decenni, dato che i trends generali parlano abbastanza chiaro : nelle zone costiere aumenterà la popolazione residente, mentre l'offshore marino sarà sempre più

sede di attività umane. Già oggi comunque anche con le attività svolte durante le fasi di esplorazione geotermica del Marsili, si sono testati con successo metodi per una più accurata caratterizzazione delle risorse geotermiche - fluidi - prima della perforazione.

L'offshore geotermico non avrà ad esempio problematiche legate ai fenomeni di subsidenza indotti dai pompaggi in terraferma, essendo il reservoir sottomarino, sottoposto ad una ricarica continua da parte delle acque del mare.
Anche le piccole problematiche della sismicità indotta da alcune attività geotermiche in terraferma – alcuni progetti EGS - non interessano l'ambiente marino dei grandi reservoir di fluidi geotermici come il Marsili.

Inoltre anche le casistiche legate nel tempo all'abbassamento della pressione e della temperatura del reservoir geotermico – con annesse problematiche di ordine geofisico – sono esclusive della geotermia onshore.

Tra l'altro le nuove tecnologie di perforazione rendono oggi molto meno problematica la realizzazione del pozzi geotermici ad alta temperatura (vedere esempi islandesi ed indonesiani) ed abbattono sensibilmente i costi di produzione dei pozzi e quindi i costi di produzione della energia : utilizzare fluidi supercritici ad alta entalpia fino a profondità di 3 / 4 km, permette di incrementare la potenza prodotta per pozzo fino ad un fattore "10" (circa 50-60 MWe / pozzo contro i 5-7 MWe dei pozzi con fluidi fino a 100°C), e questo quindi comporta una riduzione dei costi di investimento a parità di MWe prodotti, perché diminuisce il numero di pozzi necessari.

Infine è nota la grande capacità produttiva dei pozzi geotermici rispetto a tutte le altre fonti rinnovabili : il *capacity factor* della geotermia è tra il 70 ed il 90%, anche perché la produzione è continua (h24) e questo vale a maggior ragione in un contesto offshore.

Tutte le motivazioni suddette hanno reso possibile dare un ruolo importante alla geotermia offshore sia nella recente costituzione della "Piattaforma Geotermica Italiana", sia nella costruenda Strategia energetica nazionale.
L'IPCC (Inter-governamental Panel on Climate Change) ha infatti relazionato in merito al contributo della energia geotermica per la mitigazione dei cambiamenti climatici.

1.3 Soggetto Proponente

La Eurobuilding SpA, appartenente al Gruppo UNA HOLDING SpA, è attiva nel campo delle infrastrutture e delle ricerche in ambito marino. E' la titolare unica del Permesso di Ricerca per fluidi geotermici denominato "*Tirreno Meridionale1*", e con il gruppo tecnico-scientifico a supporto, che comprende Organismi di Ricerca come l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia–INGV, l'Istituto per la Geologia Marina del CNR-Ismar, l' Università di Chieti-Centro di Ricerche sperimentali per le geotecnologie ed il Politecnico di Bari, ha investito sul progetto Marsili dal 2005, ottenendo tra l'altro importanti riconoscimenti internazionali in merito a tale innovativa progettualità.

1.4 Dati caratteristici del Permesso di Ricerca "Tirreno Meridionale1"

Di seguito si riportano i dati peculiari del Permesso di Ricerca, così come riportarti nel sito del Ministero dello Sviluppo Economico.

TITOLI MINERARI VIGENTI

PERMESSO DI RICERCA DI RISORSE GEOTERMICHE

TIRRENO MERIDIONALE 1

Torna alla pagina precedente

Codice	Periodo di vigenza	Scadenza	Superficie
1	1° periodo	29/09/2013	678,30 Kmq

TITOLARI E RELATIVE QUOTE DI PARTECIPAZIONE

Operatore	Quota
EUROBUILDING	100%

COORDINATE GEOGRAFICHE DEI VERTICI

Vertice	Longitudine	Latitudine
a	14° 15'	39° 23'
b	14° 30'	39° 23'
c	14° 30'	39° 06'
d	14° 15'	39° 06'

GOOGLE MAPS

Nota
La visualizzazione in Google Maps ha soltanto valore indicativo.
Il dato ufficiale è rappresentato dall'elenco delle coordinate geografiche e/o dalle descrizioni dei vertici riportati nella precedente tabella
Visualizza in Google Maps

PROVVEDIMENTI

Data	Natura del provvedimento	Decorrenza	Pubblicazione BUIG
29/09/2009	**Conferimento**	29/09/2009	**LIII-10**

REGIONI E PROVINCE IN CUI IL TITOLO RICADE
superfici parziali)

NESSUNA (678,3 Kmq)	**Nessuna** (678,3 Kmq)

A seguito delle esplorazioni geotermiche effettuate in particolare nell'ambito delle attività connesse con il programma dei lavori del Permesso di Ricerca, sono state valutate con attenzione le peculiarità dell'area che sottende il Permesso in questione.

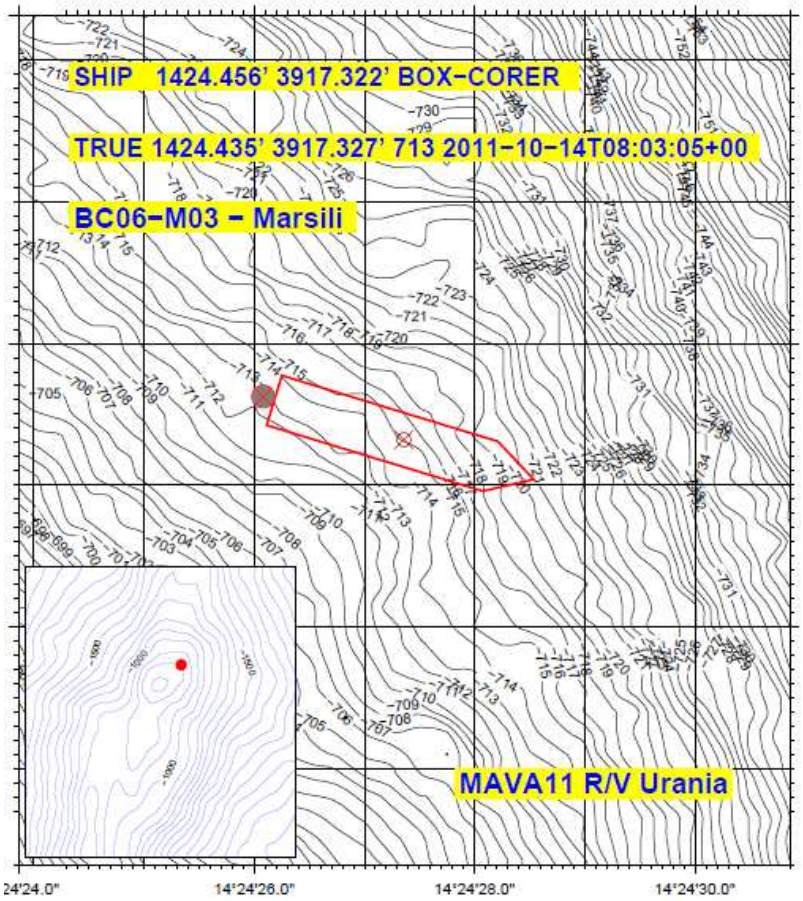
Le oggettive difficoltà e complessità delle operazioni a mare in merito a questa specifico ed unico progetto di geotermia marina, ci hanno consentito solo nello scorso mese di Giugno 2012 di terminare le ultime elaborazioni di dati, in particolare quelli di tipo geochimico, e di correlarle con tutte le informazioni pregresse acquisite.

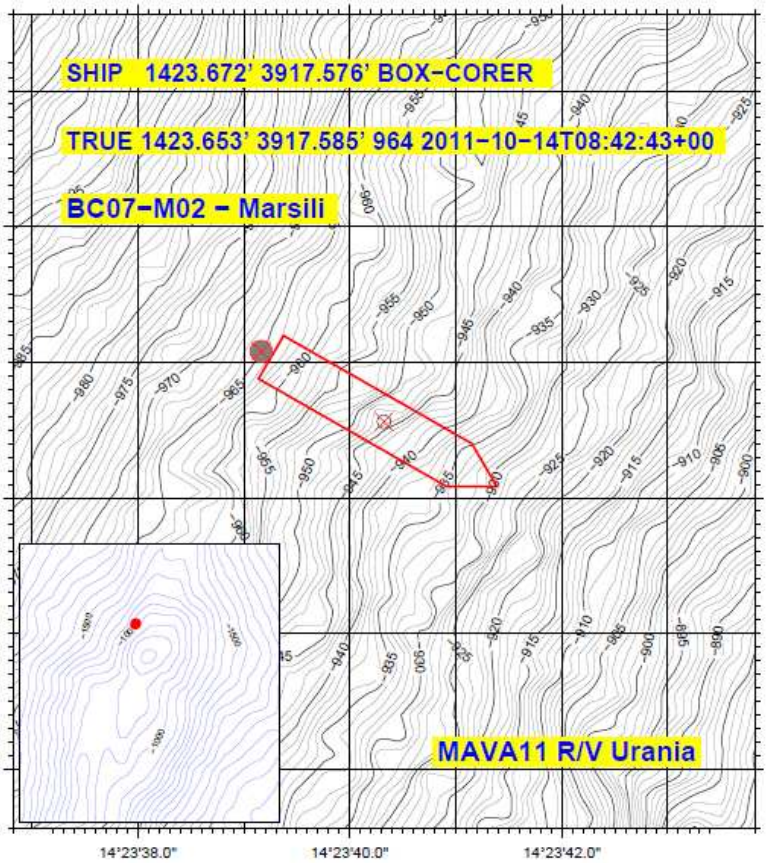
Da tale processamento risulta delimitata una area ristretta su di un pianoro nell'area nord-occidentale del Marsili, le cui caratteristiche sono ottimali per procedere con la organizzazione e la logistica della perforazione del pozzo esplorativo "Marsili1".

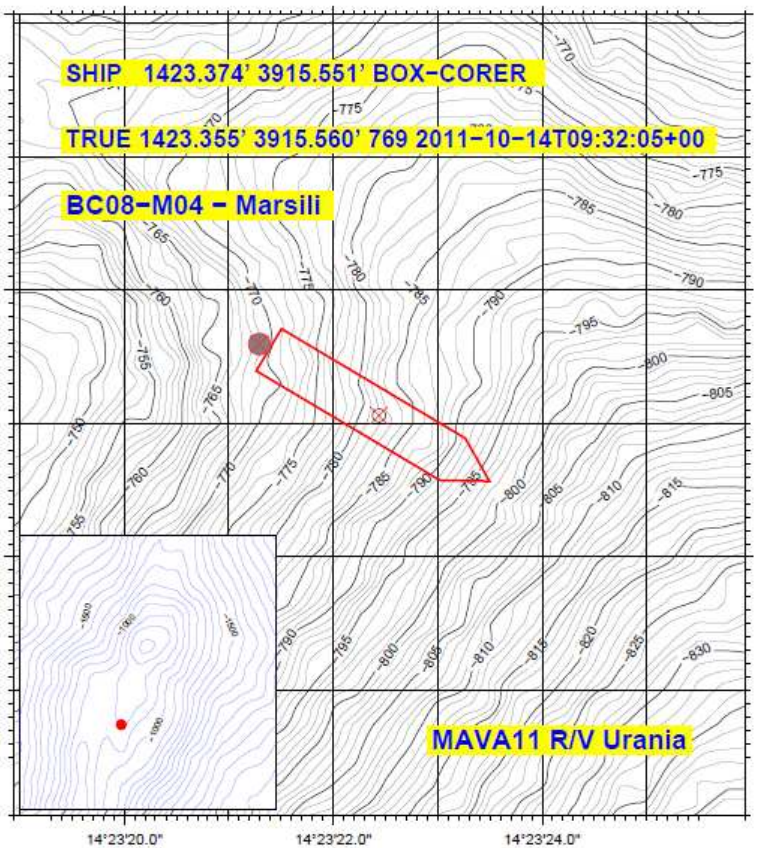
Tale area ristretta è individuata dalle seguenti coordinate :

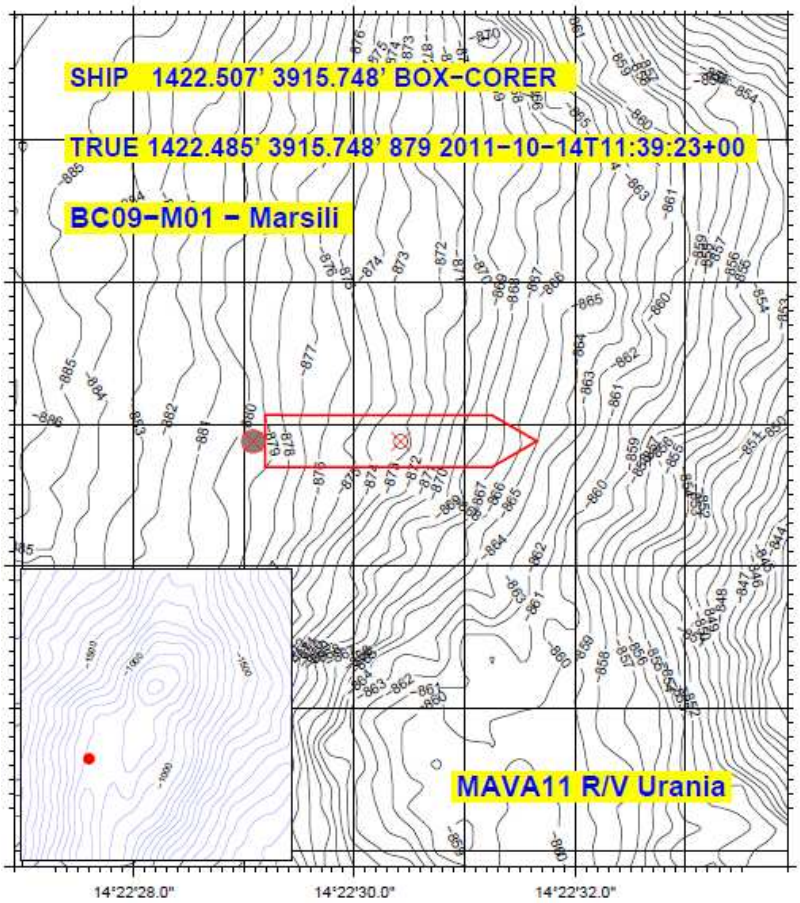
- 1424.456 3917322
- 1423.672 3917576
- 1423.374 3915551
- 1422.507 3915748

A seguire la posizione delle coordinate della area ristretta individuata per la perforazione su carta batimetrica di dettaglio.




SHIP 1423.672' 3917.576' BOX-CORER
TRUE 1423.653' 3917.585' 964 2011-10-14T08:42:43+00
BC07-M02 - Marsili
MAVA11 R/V Urania
14°23'38.0"
14°23'40.0"
14°23'42.0"


SHIP 1423.374' 3915.551' BOX-CORER
TRUE 1423.355' 3915.560' 769 2011-10-14T09:32:05+00
BC08-M04 - Marsili
MAVA11 R/V Urania
14°23'20.0"
14°23'22.0"
14°23'24.0"



Oggi il quadro di riferimento conoscitivo ci consente di attivare la procedura di verifica di compatibilità ambientale per le attività di perforazione del pozzo esplorativo, i cui dettagli operativi sono riportati nel paragrafo 4.6.
Dall'esito di tale verifica e dai necessari chiarimenti in merito alle ottemperanze normative di una attività (geotermia marina) non prevista, scaturiranno le valutazioni definitive in merito al progetto di perforazione.

In ogni modo per disegnare un quadro ambientale completo e definire tutti gli interventi necessari a prevenire possibili rischi per l'ambiente è necessario eseguire un well site survey con le seguenti minime finalità :

- un accurato rilevamento della profondità del fondale marino;

- uno studio sulla natura del fondo marino e dei suoi aspetti morfologici per individuare il tipo
  di sedimenti presenti
- una lito-stratigrafia del fondo marino fino alla profondità di almeno 10m;
- un rilevamento particolareggiato del fondale mirato a individuare:

. relitti, residui bellici, manufatti, irregolarità del fondale, ostruzioni, massi erratici, rocce
affioranti e, comunque, ogni ostacolo che possa interferire con le operazioni di
posizionamento dell'impianto o delle operazione di perforazione;

- una delimitazione areale e in profondità di eventuali sacche di gas superficiali che
  rappresentano un pericolo durante la prima fase di perforazione;

1.6 La perforazione del pozzo esplorativo

1.6.1 Premessa

I risultati delle prospezioni nell'area oggetto del Permesso di Ricerca di fluidi geotermici a mare denominato "TIRRENO MERIDIONALE 1" hanno evidenziato le caratteristiche della struttura vulcanica più grande d'Europa come campo geotermico sviluppato.
Il campo di anomalie magnetiche misurato è caratterizzato da una vasta zona a magnetizzazione nulla sulla porzione centrale e sommitale del vulcano. L'isoterma di Curie ricavata dalle anomalie misurate è ubicabile ad una profondità di circa 4 Km dal livello del mare. Allo stesso modo, il campo di anomalie gravimetriche è giustificabile solo assumendo una densità media dell'edificio vulcanico pari a 2 gr/cm^3, circa il 30% in meno della densità media delle rocce vulcaniche che costituiscono il sistema, con le densità più basse individuate nella stessa area dove si osservano le anomalie magnetiche nulle. Tali elementi mettono in luce quanto segue:

- il vulcano Marsili è sede di corpi magmatici a profondità crostali superficiali (a livello della piana batiale, a 3500 metri di profondità dal livello del mare);
- le densità osservate possono essere dovute solo a rocce fratturate (basalti), permeabili, riempite da fasi fluide.

I corpi magmatici rappresentano una sorgente di calore sostenuta, probabilmente la più grande del mar Mediterraneo, come anche testimoniato dalle anomalie positive di flusso di calore (Della Vedova et al., 2001) e dai valori di conducibilità elettrica relativamente elevati (Vitale et al., 2009) delle porzioni crostali dell'area, che sono i più alti mai registrati nel Mediterraneo.

La presenza di rocce basaltiche fratturate, riempite da fluidi, mette in luce la presenza di un sistema di circolazione idrotermale che rappresenta il *reservoir* geotermico sottomarino del vulcano Marsili. Il modello di inversione 3D delle anomalie magnetiche, insieme alle stime di densità delle rocce del vulcano, hanno permesso una ricostruzione delle geometrie di tale *reservoir* con una stima volumetrica pari a circa 118 Km^3. Le pressioni esercitate dalla colonna d'acqua che circonda il vulcano Marsili, insieme alla presenza di una sottile e poco diffusa copertura pelagica, garantiscono le condizioni affinchè il *reservoir* geotermico possa considerarsi "in pressione". I volumi di fluidi stimati dalla ricostruzione indiretta delle permeabilità delle rocce che compongono il *reservoir* geotermico sono dell'ordine delle decine di kilometri cubi.

Le registrazioni sismiche ed acustiche effettuate sulla vetta del vulcano Marsili hanno rivelato una sismicità ascrivibile alla circolazione di fluidi geotermici all'interno del vulcano.

In questo modo, se da un lato le prospezioni geofisiche sul vulcano Marsili hanno permesso una ricostruzione 3D dei volumi caratterizzati da circolazione idrotermale (individuando preliminarmente il *reservoir* geotermico), l'analisi delle tracce sismiche ed acustiche hanno rivelato che la circolazione di fluidi geotermici nel vulcano sottomarino Marsili è un processo attivo e sostenuto, confermato anche dalla mappatura geochimica realizzata con le ultime attività esplorative.

Il raggiungimento del *reservoir* geotermico all'interno del vulcano sottomarino Marsili e la captazione dei fluidi ad alta entalpia da trasformare in energia elettrica sono gli obiettivi della prima perforazione geotermica mai realizzata in mare. Le tecnologie adottate saranno quelle comunemente utilizzate nella perforazione geotermica in ambienti di alte temperature e pressioni, elevata durezza e abrasività delle formazioni rocciose, con la possibilità di attingere dall'industria petrolifera le apposite strutture superficiali di supporto per le attività di perforazione in mare.

Di seguito verranno descritte le principali fasi che concorrono alla realizzazione del pozzo geotermico a mare "Marsili1.

Le attrezzature, i materiali e le tecnologie già esistenti (e in continuo progresso) garantiscono la fattibilità della perforazione geotermica sul vulcano sottomarino Marsili, sulla base di decine di anni di perforazioni geotermiche *onshore* e per la ricerca di idrocarburi *offshore*: le prime saranno trasferite in ambiente sottomarino con l'aiuto delle seconde.

I punti principali che caratterizzano la perforazione geotermica sul vulcano Marsili sono :

- **la caratterizzazione del sito di perforazione;**
- **la disponibilità di strutture di appoggio in mare;**
- **le tecnologie di perforazione geotermica;**
- **gli impatti ambientali.**

1.6.2 Caratterizzazione del sito di perforazione

Il sito di perforazione si trova in ambiente sottomarino dove l'altezza della colonna d'acqua varia da 700 fino a 750 m e la morfologia locale del fondale è abbastanza pianeggiante. Va ricordato, infatti, che la porzione sommitale del vulcano, compresa tra 489 e 1000 m di profondità sotto il livello del mare, è caratterizzata

da un'alternanza di coni vulcanici alti anche qualche centinaio di metri (alti morfologici) e depressioni piuttosto piatte (bassi morfologici, come nel caso da noi individuato) .

La porzione che da 1000 m di profondità scende fino a raggiungere la piana batiale a 3500 m è, invece, caratterizzata da elevatissimi gradienti batimetrici.

A seguito delle analisi e delle valutazioni dei dati sperimentali raccolti sul vulcano Marsili, è stato possibile restringere l'area della perforazione in una piccola porzione centro-settentrionale della cresta del vulcano.
Tale area offre tutte le garanzie relativamente al dispiegamento dei mezzi di perforazione sottomarini (con le relative strutture di supporto), pertanto rappresenta l'area ottimale di attacco della perforazione con l'obiettivo di estrazione e sfruttamento di fluidi geotermici ad alta entalpia.

Sul sito ove realizzare il pozzo verrà quindi organizzato un well site survey per avere un monitoraggio aggiornato delle condizioni atmosferiche e del moto ondoso sopra il sito di perforazione (per elaborare modelli previsionali durante le attività operative), una mappa batimetrica di ulteriore dettaglio, profili di corrente marina, le caratteristiche dei sedimenti che costituiscono il fondale e il rischio geologico-vulcanologico connesso alla perforazione, che però dai dati acquisiti non sembra presentare livelli di rischio importanti.

Il monitoraggio coprirà un'area di almeno 1,5-2,0 Km^2 centrata sull'area ristretta prescelta (**indicata con un piccolo cerchio bianco nella figura 4.1 – a sinistra**) e sarà realizzato con l'utilizzo di *sub-botom profiler*, *side-scan sonar*, Rov, scandaglio acustico e sondaggi a gravità.

Le misure delle condizioni atmosferiche (vento in particolare) e delle correnti marine dureranno almeno un anno e saranno effettuate di concerto con le ultime ricerche multidisciplinari propedeutiche alla perforazione in via di ultimazione.

Le attività di cui sopra permetteranno di disegnare un quadro ambientale completo e definire tutti gli interventi necessari a prevenire possibili rischi per l'ambiente e posizionare con sicurezza le strutture necessarie alle operazioni di perforazione.

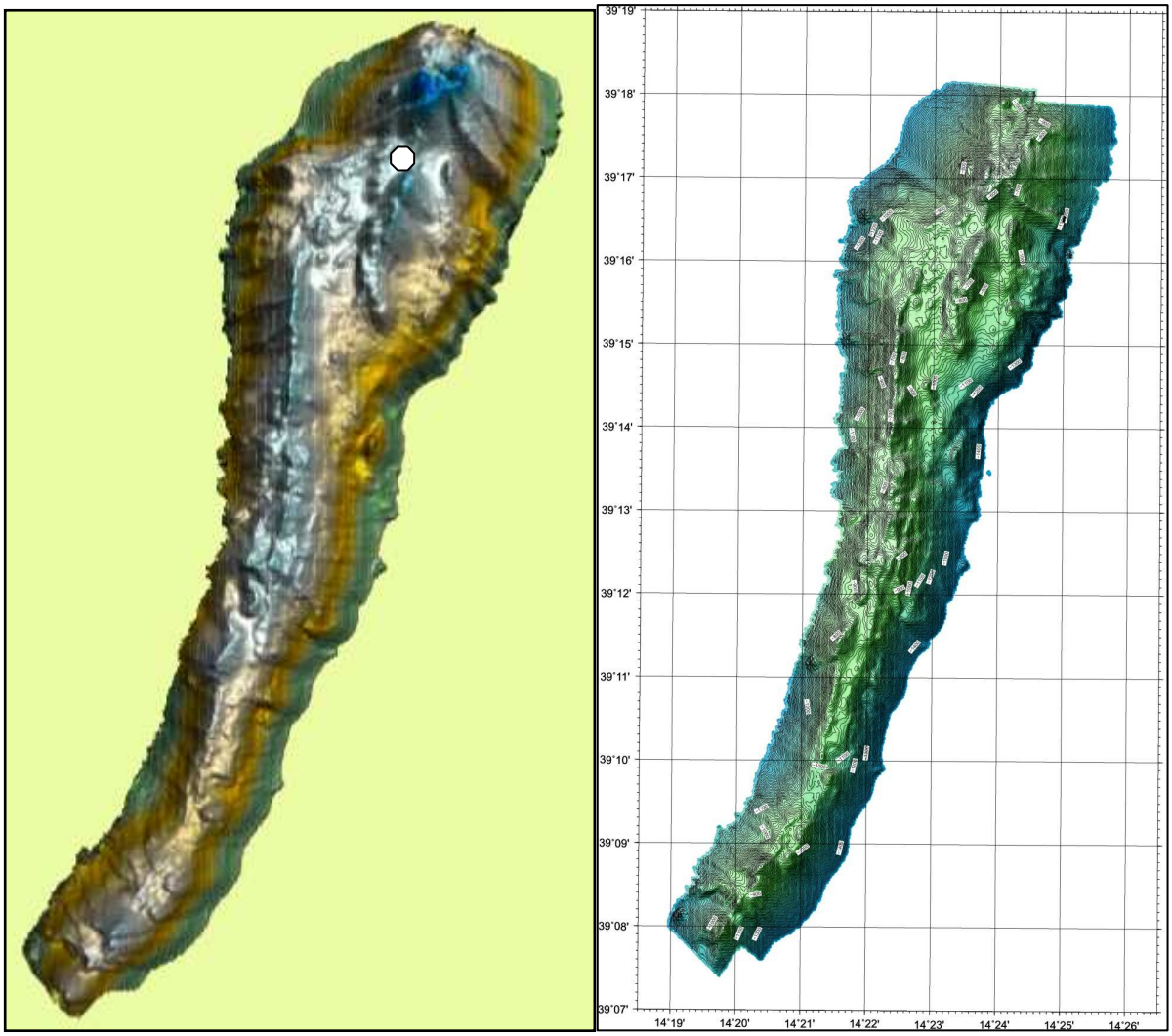


Figura 4.1: batimetria di dettaglio della cresta del vulcano Marsili (a sinistra non in scala), dove le profondità non superano i 1000 m sotto il livello del mare. Si noti l'alternanza di alti e bassi morfologici (fonte: ISMAR). Il cerchio bianco indicato nella figura qui sopra a sinistra, individua la localizzazione dell'area ristretta prescelta per implementare la perforazione del pozzo esplorativo.

1.6.3 Dati generali sul pozzo esplorativo

La perforazione raggiungerà una profondità di circa 2,5 Km, con un gradiente medio di temperatura stimato in circa 150° C/Km; pertanto a fondo foro si avrà una temperatura di circa 350° C.

Sulla base degli studi dei campioni di roccia recuperati sia durante le nostre attività esplorative sia nelle campagne oceanografiche degli ultimi 30 anni (Serri et al., 1977; Savelli e Gasparotto, 1994; Gasparotto e Savelli, 1995; Marani et al., 1999; Trua et al., 2002), si conferma che il materiale incontrato sarà costituito interamente da roccia basaltica, con livelli alterati e numerose zone ad elevata permeabilità (compreso il *reservoir* geotermico) per fratturazione.
Le rocce manterranno una discreta stabilità durante la perforazione.

I pozzi geotermici raggiungono solitamente profondità di 2 Km nel sottosuolo e si spingono senza particolari difficoltà fino a 3-3,5 Km raggiungendo temperature ben superiori ai 300° C.
La temperatura più alta mai raggiunta è di 500° C a 3,7 Km di profondità nel sito geotermico di Kakkonda, in Giappone (Saito et al., 1998). Di recente anche in Islanda, con il progetto IDDP (*Icelandic Deep Drilling Project*), si sta tentando di portare avanti perforazioni fino a 4 Km di profondità per estrarre fluidi con temperature di 500° C e pressioni di 250 bar (fluidi supercritici; Fridleifsson ed Elders, 2005).

1.6.3.1 Previsioni Stratigrafiche.

Non esistono dati stratigrafici del vulcano Marsili, non essendo mai stata realizzata alcuna perforazione né indagini geofisiche specifiche in sito. Le uniche informazioni reperibili per una ricostruzione delle stratigrafie attese sono i numerosi campionamenti di lave (Serri et al., 1997; Savelli e Gasparotto, 1994;

Marani et al., 1999) precedentemente discussi e le carote del pozzo n. 650 del *Leg 107* dell'***Ocean Drilling Program*** (ODP; Kastens et al., 1990). Il pozzo è localizzato nel bacino del Marsili, a NW del vulcano (Figura 4.2); il punto di attacco è a 3500 m sotto il livello del mare ed è stata raggiunta una profondità di 634 m da fondo mare.

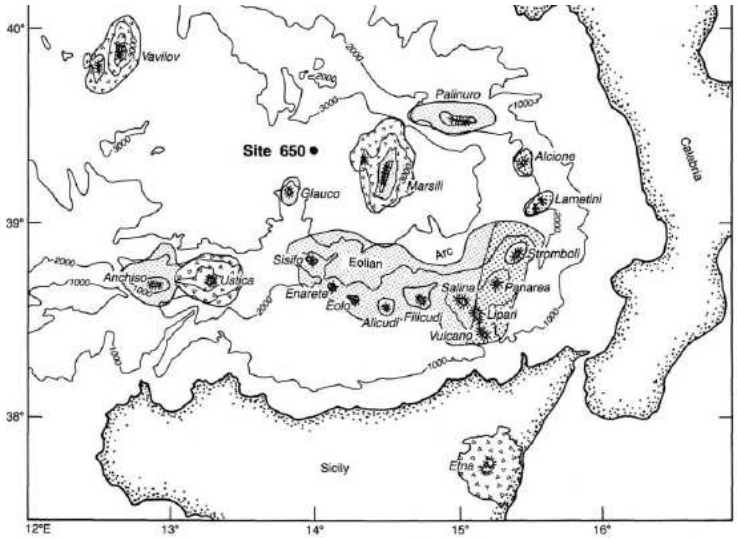
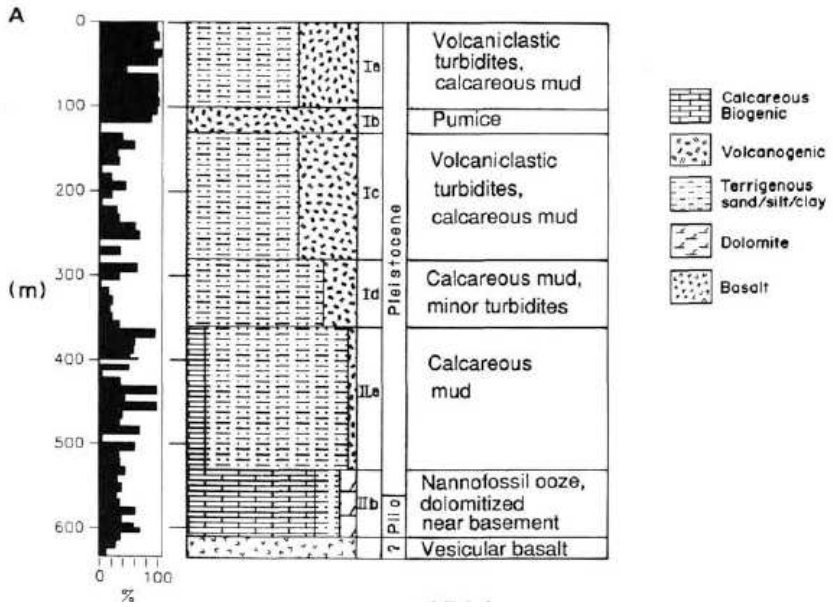


Figura 4.2: Sito del pozzo ODP n. 650, Leg 107 (tratta da Kastens et al., 1990).

La Figura 4.3 mostra uno schema delle unità litologiche recuperate (A) e un profilo di sismica a riflessione (ST16) del bacino del Marsili, in cui è stato inserito lo schema stratigrafico generale del pozzo 650 (B; Kastens e Mascle, 1990).



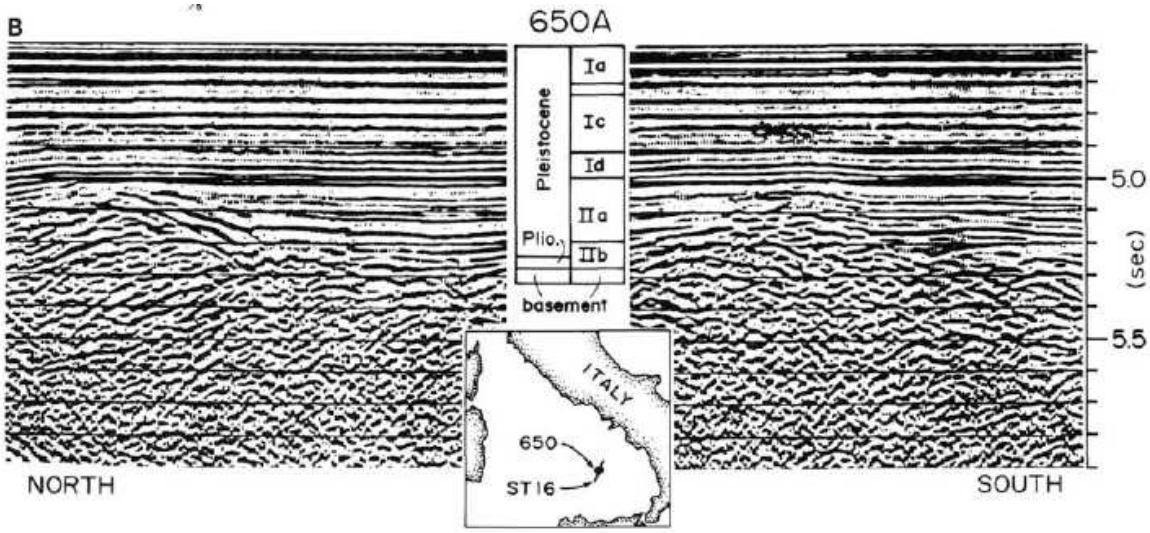


Figura 4.3: A. Schema delle unità litologiche recuperate dal pozzo ODP n. 650, Leg 107, nel Bacino del Marsili, a NW dell'omonimo vulcano. **B.** Sezione sismica a riflessione ST16 in cui è stata inserita la stratigrafia generale del pozzo (tratta da Kastens e Mascle, 1990).

Si può notare come una sequenza sedimentaria di 602 m copra il basamento costituito da basalti vescicolari (carota 650A – 66X). La copertura sedimentaria è costituita, dall'alto verso il basso, da sedimenti di origine vulcanica (principalmente torbiditici) con alla base uno strato di 20 m di pomici. Seguono torbiditi vulcaniche (Pleistocene Inferiore) intercalate a calcari e fanghi calcarei, la cui percentuale diventa sempre maggiore con la profondità. Alla base della copertura sono stati osservati calcari a nannofossili dolomitizzati. Il basamento basaltico è stato raggiunto a 602 m di profondità da fondo mare ed è stato perforato per 32 m. Esso risulta fortemente alterato e altamente vescicolare (dal 10 al 30% del volume). I valori di porosità variano da 50% nei campioni altamente vescicolari fino a 30% in quelli moderatamente vescicolari. Nei primi la velocità delle onde P è pari a 2.8 Km/s, mentre nei secondi è 3.2 Km/s. Tali valori, piuttosto bassi, evidenziano ancor di più la forte alterazione e vescicolarità dei basalti. Le analisi chimiche condotte per la determinazione degli elementi maggiori e in tracce indicano un'affinità calcalcalina del basamento, simile a quella dei basalti presenti sul vulcano Marsili (anche se sono di età diversa; Kastens e Mascle, 1990).

Sul vulcano Marsili non sono state osservate coperture sedimentarie, a parte la porzione più bassa dei fianchi, prossima al bacino (Gasparotto e Savelli, 1994). Pertanto è attesa roccia fresca affiorante, con caratteristiche stratigrafiche e proprietà fisiche (Tabella 4.1) non molto differenti rispetto a quelle osservate nelle carote 66X e 68X del pozzo ODP 650.

Tabella 4.1: Proprietà fisiche delle carote di basalto recuperate dal pozzo ODP n. 650, Leg 107 (da Kastens et al., 1990).

Sezione di carota	Profondità (m)	Densità (g/cm^3)	Porosità (%)	V_P (Km/s)
66X-1	600.5	2.34	34.7	2.130
66X-2	602.6	2.25	32.7	3.182
68X-1	615.3	2.23	50.2	2.850

Sono previste numerose zone ad alta permeabilità. La permeabilità principale è verticale, associata a strutture sub-verticali, dicchi e fratture, essendo l'assetto tettonico dell'edificio vulcanico del Marsili caratterizzato da estensiva fratturazione e dilatazione. La permeabilità orizzontale, associata alle successioni di *pillow lavas* e ialoclastiti, risulta di secondario interesse ai fini del raggiungimento del *reservoir* geotermico tramite perforazione.

1.6.3.2 Gradienti di pressione.

Sulla base delle informazioni acquisite e dallo studio della perforazione ODP n. 650 non si prevedono gradienti anomali di pressione. E' ovviamente previsto un sistema BOP's (*Blow-Out Preventer Stack*) di controllo della pressione di pozzo e di prevenzione rispetto ad improvvise eruzioni.

1.6.3.3 Gradienti di temperatura.

Il gradiente di temperatura medio misurato nel pozzo ODP n. 650 è di 14° C/100 m. Sulla base delle informazioni acquisite dal monitoraggio magnetico è stato stimato un gradiente medio all'interno dell'edificio vulcanico di circa 150°C/Km. Si prevedono comunque gradienti anomali di temperatura.

1.6.3.4 Caratteristiche attese dei fluidi geotermici.

I fluidi geotermici che costituiscono il *reservoir* del vulcano sottomarino Marsili sono costituiti da acqua di mare modificata chimicamente per mezzo dell'interazione con le rocce basaltiche. Verosimilmente i livelli di salinità sono medio-alti e i valori di pH compresi tra 5 e 6. Si prevede che la Silice sia il principale elemento disciolto, tra i cationi il Sodio sia il più diffuso, Cloruri e Solfati tra gli anioni. Si prevede che i fluidi geotermici siano in equilibrio chimico con i minerali di alterazione relativamente ai principali elementi disciolti in acqua, eccetto il Cloro. I principali gas disciolti attesi sono H_2S, CO_2 e H_2, mentre è trascurabile la presenza di acque, fluidi e gas di carattere aggressivo e/o inquinante.

1.6.4 Strutture di supporto offshore.

La struttura di supporto necessaria alle attività di perforazione geotermica sul vulcano sottomarino Marsili sarà una **piattaforma semisommergibile o una *drilling ship*,** di uso comune nella ricerca di idrocarburi in mare. Dal punto di attacco del pozzo geotermico su fondo mare fino alla superficie, le tecniche, le attrezzature e i materiali necessari alla perforazione geotermica proposta sono del tutto simili a quelli utilizzati nel campo della perforazione per l'estrazione di idrocarburi liquidi e gassosi. Pertanto, una struttura flottante *offshore* del tipo sopra indicato è totalmente funzionale alle attività di estrazione di fluidi geotermici nelle condizioni di profondità e morfologia del sito di perforazione precedentemente discussi. Una struttura flottante di superficie sarà di fatto noleggiata ad una compagnia di perforazione – come accade per la ricerca di

idrocarburi in mare – per tutto il tempo necessario alla realizzazione del pozzo geotermico e alle prove di produzione.

La struttura di supporto alloggerà tutte le attrezzature di perforazione geotermica, la torre di perforazione (*derrick*), gli strumenti e i motori per il sollevamento e le manovre della testa di perforazione e della batteria di aste, il sistema di trattamento e pompaggio dei fluidi di perforazione, il sistema di pompaggio dell'acqua e del cemento e i vasconi dei reflui.

La piattaforma semisommergibile (Figura 4.4) è una struttura costituita da un ponte inferiore collegato tramite colonne verticali ad un ponte superiore. Il primo rimane sommerso (grazie ad apposite zavorre) ad una profondità pari a metà della lunghezza delle colonne durante le operazioni di perforazione, mentre galleggia in superficie durante le operazioni di trasporto della piattaforma (solitamente trainata da una nave). Il secondo monta tutte le attrezzature di perforazione e gli alloggi del personale.

La posizione della piattaforma sopra il sito di perforazione (*station keeping*) viene mantenuta tramite cavi di ancoraggio e sistemi di posizionamento dinamico DPS (*Dynamic Positioning System*), costituiti da propulsori che rispondono automaticamente alle variazioni di posizione della piattaforma rispetto alla testa di pozzo. Il collegamento tra quest'ultima e il *derrick* è garantito da una speciale tubatura chiamata *riser*, che permette il passaggio della batteria di aste, del *casing* e dei fluidi di perforazione, nonché la risalita dei fluidi e dei detriti (*cuttings*) di perforazione.

Le profondità di attacco della perforazione sul vulcano Marsili attorno ai 700 metri non costituiscono un problema per l'utilizzo del *riser*, che, invece, risulta difficoltoso a partire da profondità maggiori di 1400 m.

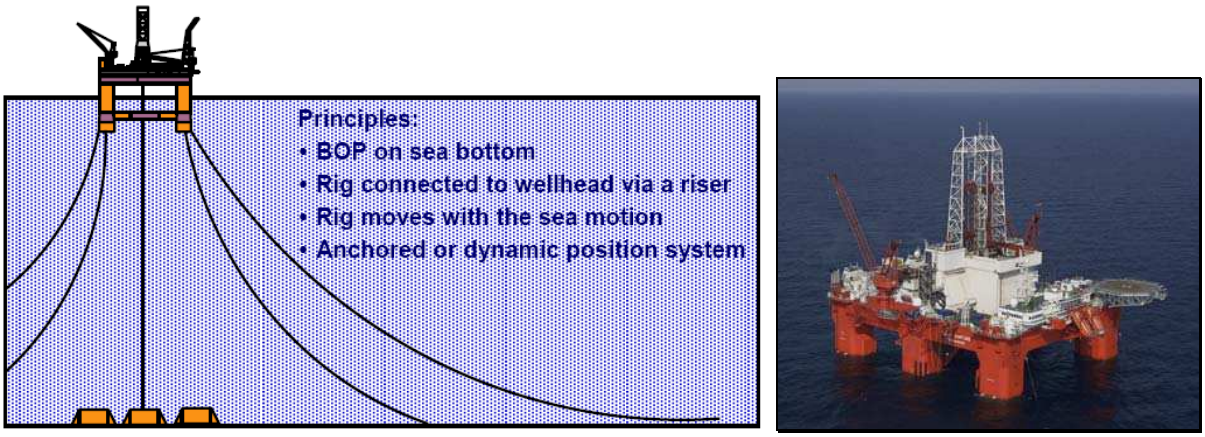


Figura 4.4: piattaforma semisommergibile. Gli elementi di maggior importanza per la perforazione sono il sistema di controllo della pressione nel pozzo BOP's (*Blow-Out Preventer Stack*), poggiato a testa pozzo (*wellhead*) sul fondo mare, il *riser* di collegamento tra il pozzo e la piattaforma, il sistema di posizionamento dinamico (*station keeping*) per permettere alla piattaforma di muoversi con il moto ondoso.

Le piattaforme semisommergibili hanno una minima esposizione all'azione del moto ondoso, offrendo così una buona stabilità per le operazioni di perforazione e la capacità di operare in ambienti particolarmente difficili, come quello del vulcano Marsili. Le attrezzature, i macchinari e le strutture necessarie alle attività di perforazione geotermica sul vulcano sottomarino Marsili non compromettono la capacità di carico della piattaforma. La profondità di attacco della perforazione può arrivare fino a 3000 metri sotto il livello del mare.

La disponibilità di tali strutture nel mar Mediterraneo è limitata dal loro continuo utilizzo nell'industria del petrolio e del gas, pertanto i tempi di attesa possono essere molto lunghi.

La *drilling ship* (Figura 4.5) alloggia tutto il materiale e l'equipaggiamento necessario a perforare e completare un pozzo. Le più recenti presentano due *derrick*, uno per la perforazione e l'altro per le operazioni ausiliarie, permettendo così un notevole risparmio di tempo. Il *riser* e le attrezzature di perforazione sono calati al fondale tramite un'apertura posta al centro della nave denominata *moon pool*.

Figura 4.5: *drilling ship.*

Le *drilling ship* di ultima generazione permettono di raggiungere profondità di attacco anche superiori a 3000 m sotto il livello del mare ed operano anche in condizioni di mare molto difficili. Anche in questo caso la disponibilità è legata agli impieghi nell'industria petrolifera e potrebbe influenzare notevolmente il costo di affitto.

1.6.4.1 Il Riser.

Il *riser* è la tubazione di collegamento tra la struttura flottante in superficie e il punto di attacco della perforazione su fondo mare. Esso permette il trasporto dei tubaggi e delle attrezzature di perforazione (aste, scalpelli, *casing*, fluidi …) e il ritorno in superficie dei fanghi e dei detriti (*cuttings*) (Figura 4.6). Un sistema BOP's (*Blow-Out Preventer Stack*) viene solitamente posizionato prima della testa di pozzo *(wellhead*) su fondo mare per prevenire improvvise eruzioni di fluido dal pozzo.

Per la perforazione geotermica *offshore* sul vulcano Marsili, a seguito di colloqui tecnici con alcuni costruttori di *riser* sottomarini, si è scelto di considerare un tubaggio con diametro di 40" per permettere il passaggio delle colonne di rivestimento del pozzo, degli scalpelli, delle batterie di aste, dei fluidi di perforazione e delle altre attrezzature di perforazione.

La tipologia di *riser* e tutte le operazioni relative al suo impiego saranno attinte dalle disposizioni tecniche dell'API (*American Petroleum Institution*) RP 2Q e RP 2R.

La tipologia specifica di *riser* sarà definita in base alle seguenti finalità:

- sopportare la pressione differenziale tra il fluido di perforazione e il mare;
- isolare la perforazione dai movimenti della struttura di supporto flottante;
- avere una buona resistenza strutturale (appropriata scelta dei materiali);
- prevenire vibrazioni eccessive dovute a onde o correnti;
- permettere che il fluido di perforazione ritorni in superficie senza disperdersi in mare.

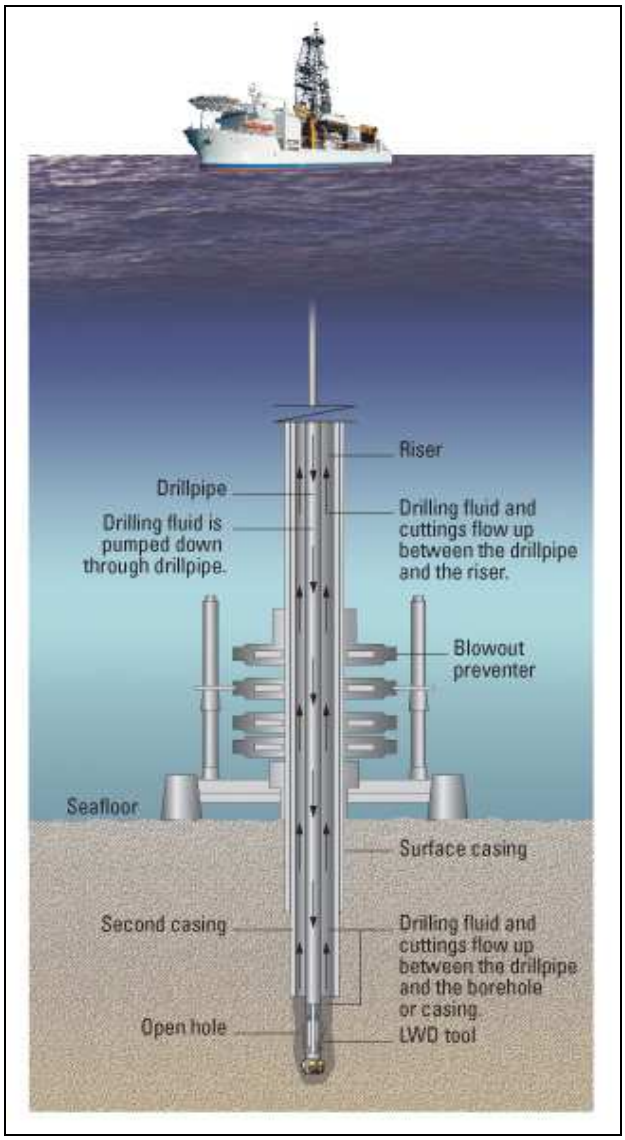


Figura 4.6: schema generale di collegamento tra la struttura flottante perforatrice e la testa pozzo su fondo mare tramite *riser*. Il fluido di perforazione viene pompato nel pozzo attraverso la batteria di aste. Il fluido e i *cuttings* risalgono in superficie nell'intercapedine tra la batteria di aste e le pareti interne del *riser*.

Verranno considerate le massime intensità di stress cui il *riser* sarà sottoposto durante le modalità operative affinché non vengano superate, nonchè le massime deflessioni laterali durante le normali attività di perforazione affinché non interferiscano con il passaggio delle attrezzature di perforazione.

Si utilizzeranno appositi tiranti regolati tramite sistemi idro-pneumatici per assicurare al *riser* la giusta tensione richiesta per resistere alle correnti marine, alle onde e al movimento relativo della struttura flottante in superficie rispetto allo stesso.

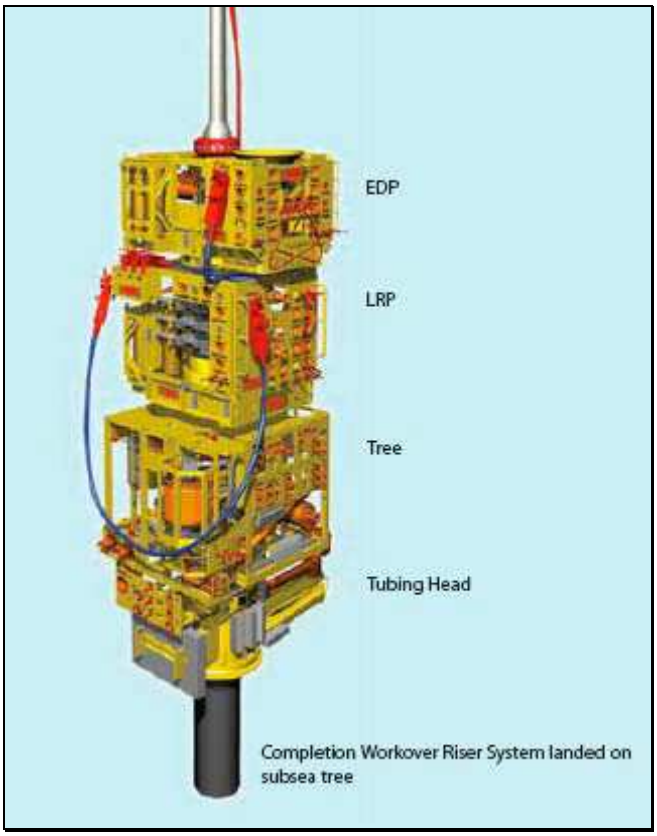


Figura 4.7: schema del sistema di collegamento del *riser* alla testa di pozzo.

In corrispondenza del collegamento con il sistema di controllo della pressione nel pozzo (BOP *stack*, alloggiato nel *tree*), il *riser* sarà dotato di due dispositivi di sicurezza: l'*Emergency Disconnect Package* (EDP) e il *Lower marine Riser Package* (LRP; Figura 4.7). Il primo disconnette il *riser* dalla struttura flottante superficiale, nel caso in cui sia sottoposto a stress troppo elevati, e lo isola dall'ambiente circostante. Il secondo è costituito da: un *Pipe Slip Ram* (PSR), con ganasce che staccano le aste di perforazione e dispositivi per il recupero del tubaggio tranciato; un *Lower Blind Shear Ram* (LBSR), che taglia le aste di lavoro e fornisce un primo sigillo rispetto all'ambiente circostante; un *Upper Blind Shear*

Ram (UBSR), che taglia le aste di lavoro e fornisce un secondo sigillo nei confronti dell'ambiente circostante.

1.6.4.2 Il Sistema BOP's (Blow-Out Preventer Stack) e la Testa Pozzo (Wellhead).

Il controllo della pressione è un elemento importante della sicurezza di un pozzo geotermico e di un pozzo di estrazione di idrocarburi. Si possono verificare fuoriuscite improvvise di fluidi dal foro di perforazione (*underground blow-out*) quando la pressione dei fluidi interzonali è maggiore di quella dei fanghi o dell'acqua utilizzati durante la perforazione. Tali episodi, seppur molto rari, risultano difficili da controllare fino a compromettere totalmente la stabilità del pozzo. Generalmente, la pressione nei pozzi geotermici è sempre ben controllata impiegando i comuni fanghi o l'acqua durante le fasi di perforazione.

Per il progetto di pozzo geotermico *offshore* sul vulcano sottomarino Marsili il controllo della pressione verrà eseguito con un sistema BOP's (*Blow-Out Preventer Stack*), del tipo standard utilizzato nell'industria petrolifera. La scelta della tipologia di apparecchiature più adatte alle condizioni di perforazione attese e l'esercizio di tale sistema faranno preciso riferimento ai bollettini tecnici redatti dall'*American Petroleum Institution* (API), in particolare la pubblicazione API RP53 "*API Recommended Practice for Blowout Prevention Equipment Systems for Drilling Wells*" o dall'*International Standard Organization* (ISO). Il sistema *stack* sarà collegato in alto al *riser* tramite il *Lower marine Riser Package* (LRP), mentre in basso è collegato alla testa pozzo (*wellhead*).

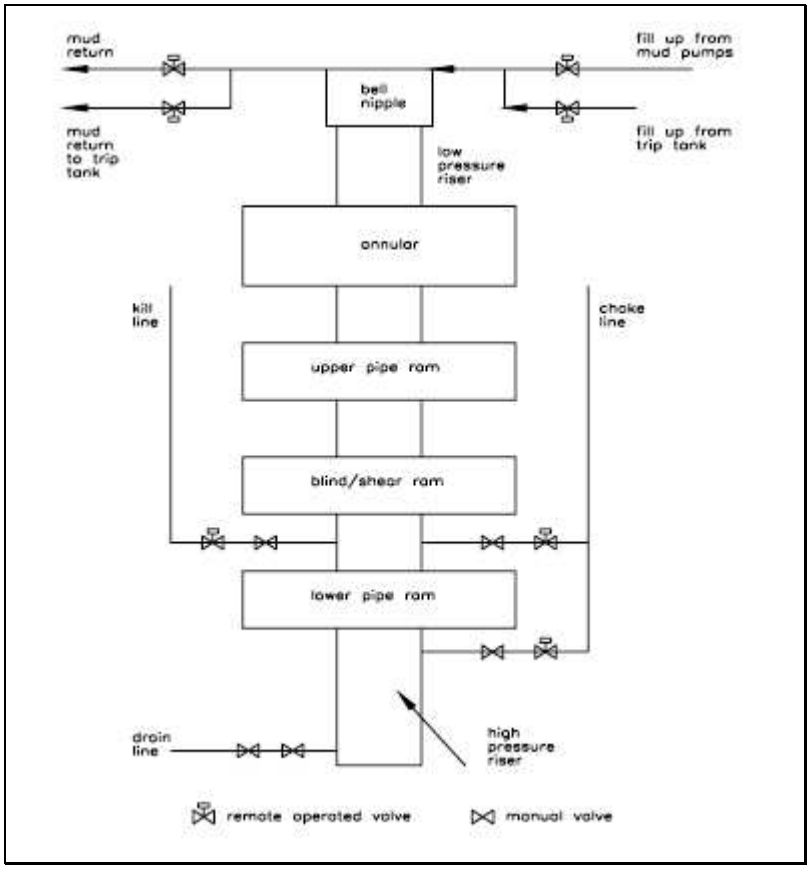


Figura 4.8: schema generale di un sistema BOP *stack* costituito da un *Annular preventer* e un *Ram preventer*, con *blind ram*, *pipe ram* e *shear ram*.

Il BOP's sarà composto da:

- uno o due *annular* BOP, la cui componente principale è un elastomero con speciali polimeri per sigillare i tubaggi (aste, *casing*, testa rotante, intercapedine) o tutto il pozzo;
- almeno due *ram* BOP, costituiti da ganasce metalliche per sigillare il pozzo in testa;

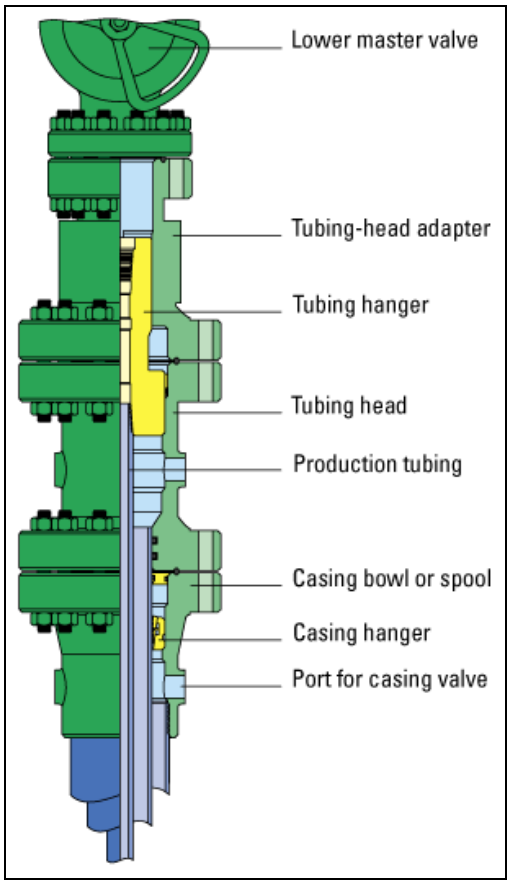


Figura 4.9: schema generale di una testa di pozzo petrolifera per perforazioni marine.

La configurazione multipla così definita (Figura 4.8) permetterà l'utilizzo di una serie di *pipe rams* per chiudere le aste di perforazione, un *blind ram* per chiudere il foro aperto e uno *shear ram* che può tagliare le aste di perforazione come ultima scelta in caso di eruzione del pozzo.

E' comune avere uno o due *annular* BOP in cima al sistema *stack* perchè permettono di sigillare un grande intervallo di diametri delle tubazioni del pozzo, ma presentano lo svantaggio di essere poco resistenti alle alte pressioni e temperature e, pertanto, vengono utilizzati anche i *ram preventers*. Il problema della durata limitata degli elastomeri alle alte temperature è comune nella perforazione geotermica. Tutti i sigilli in metallo da alte temperature hanno una durata fino a 220° C a 200 bar di pressione; in genere si applicano ulteriori accorgimenti, tipo immissione di acqua appena vengono chiuse le valvole del

sistema BOP per raffreddare la testa di pozzo. A questo scopo si utilizzerà una pompa ad alta pressione.

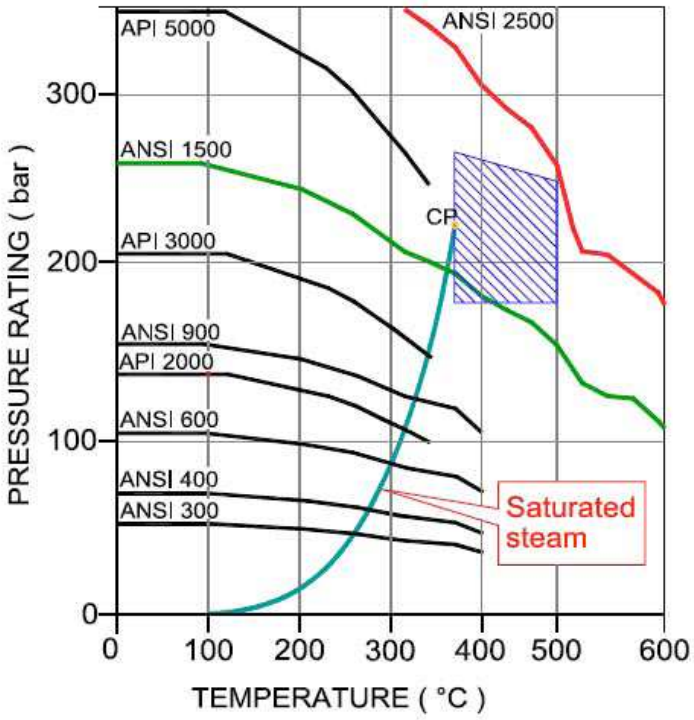


Figura 4.10: pressioni operative delle valvole ANSI e API rispetto alla temperatura. In blu è indicata la zona con le caratteristiche di pressione e temperatura dei fluidi supercritici (che si formano oltre il *critical point* CP).

La testa pozzo (*wellhead*; Figura 4.9) alloggia le valvole che hanno la funzione di chiudere il flusso sotto qualsiasi condizione di temperatura e pressione che si possono incontrare a testa pozzo. Esse sono classificate secondo le classi di pressione stabilite dall'ANSI *American National Standards Institute* e dall'API; in Figura 4.10 sono indicate le massime pressioni operative in funzione della temperatura delle valvole API 2000, 3000 e 5000 ANSI 300, 400, 600, 900, 1500, 2500 e 5000. Per il progetto di perforazione geotermica del vulcano Marsili la tipologia ANSI 2500 risulta la più idonea alle condizioni di pressioni e temperatura attese.

1.6.5 Design del pozzo.

La scelta di eseguire una perforazione diretta o deviata dipenderà dalla posizione del *reservoir*, che potrà essere individuata solo con le analisi multidisciplinari di dettaglio sopra descritte, dal pattern delle fratture in profondità e dal percorso migliore per raggiungere i fluidi a partire dalla superficie sommitale del vulcano.

Tuttavia, se dalle indagini multidisciplinari di dettaglio non emergeranno elementi che portino a considerare soluzioni diverse, si punterà a raggiungere il *reservoir* geotermico mediante una **perforazione diretta.**

I livelli produttivi che costituiscono il *reservoir* geotermico sono stati stimati in una fascia compresa intorno a 2500 metri di profondità dal punto di attacco del pozzo, tra 700 e 750 m sotto il livello del mare. In questa fascia si raggiunge una temperatura di circa 350° C a circa 200 bar di pressione.
Le informazioni stratigrafiche, reologiche e le proprietà fisico-meccaniche delle rocce – ricavabili dalle indagini multidisciplinari di dettaglio del sito di perforazione – permetteranno la definizione di un programma preciso delle sezioni di perforazione da eseguire, sulla base delle profondità di posa delle colonne di rivestimento (*casing*).
In questa prima fase si è considerato lo schema proposto in Figura 4.11, con 4 sezioni di perforazione principali.

Il diametro del pozzo dipenderà principalmente dalla portata dei fluidi che si intenderà captare dal *reservoir* geotermico, dagli scalpelli disponibili e dalla struttura flottante superficiale di supporto, le cui dimensioni determinano la possibilità di utilizzo di scalpelli e tubaggio (aste, *riser*, *casing*) di diametro più o meno grande. Si sceglierà in primo luogo il diametro della sezione di produzione del pozzo, che è quella più profonda e che permette l'ingresso dei fluidi geotermici che costituiscono il *reservoir*. Da questa sezione si risalirà con le altre, aventi diametro progressivamente più grande verso la superficie.

Tale schema generale viene illustrato in Tabella 4.2 e mostrato in Figura 4.11. Il diametro, la profondità e la lunghezza delle diverse sezioni saranno definite con maggior dettaglio una volta acquisite le specifiche conoscenze stratigrafiche e i profili di pressione e temperatura del sito di perforazione.

Tabella 4.2: profondità delle sezioni di perforazione dal punto di attacco del pozzo su fondo mare e diametro dello scalpello.

SEZIONE DI PERFORAZIONE	DIAMETRO SCALPELLO
0 – 100 m	26”
100 – 600 m	22”
600 – 1300 m	17”1/2
1300 – 2500 m	12”1/4

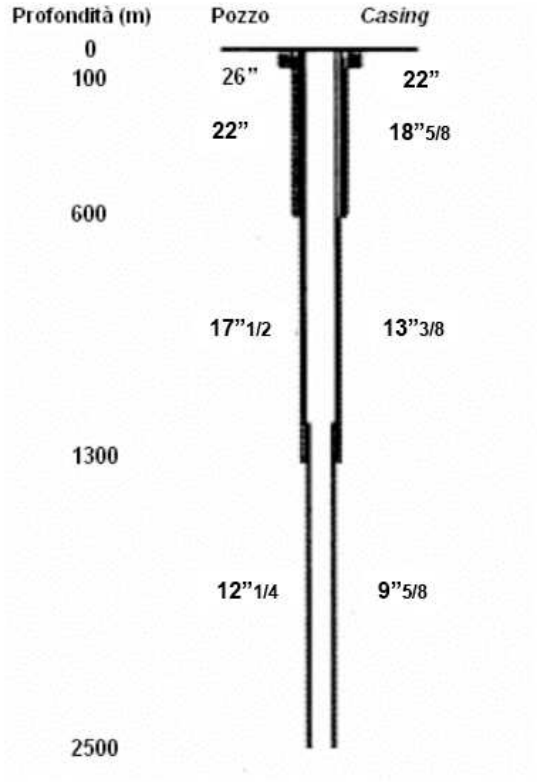


Figura 4.11: schema del diametro (in pollici) del pozzo e del *casing* rispetto alla profondità.

Il livello di produzione sarà perforato con uno scalpello da 12”$_{1/4}$, da 1300 a 2500 metri di profondità. Le sezioni di perforazione superiori avranno i seguenti diametri: 17”1/2 da 600 a 1300 metri di profondità; 22” da 100 a 600 metri di profondità. Dalla superficie fino a 100 metri si perforerà con uno scalpello da 26” per permettere la posa del tubo conduttore e la perforazione sarà ad acqua di mare, per non inquinare gli strati più superficiali di sedimento, causa il rischio dispersione degli usuali fanghi di perforazione. Generalmente, il diametro minimo perforabile con tecnica a rotazione è di 7”; per procedere con diametri più piccoli si utilizzano, in genere, tecniche di carotaggio (*coring*).

1.6.6 Design del casing.

Le colonne di rivestimento del pozzo (*casing*) sono tubi in acciaio della lunghezza di 6-12 m, muniti di filettature maschio/femmina per il loro avvitamento, che devono garantire la stabilità del pozzo in condizioni di alte temperature e pressioni. Ai fini della progettazione del *casing* verrà scelta la profondità di posa, il diametro, lo spessore delle pareti e il grado di acciaio, valutando attentamente le condizioni operative attese, la stratigrafia e i gradienti di temperatura e pressione nel sito di perforazione. La pratica comune è quella di definire la tipologia di *casing* più sicura per la stabilità del pozzo considerando le condizioni di esercizio peggiori.

Come è pratica comune nelle perforazioni geotermiche, i tubi di rivestimento in acciaio verranno completamente cementati alle pareti del foro da testa pozzo a fondo pozzo mediante il pompaggio di una malta cementizia; essa esce dalla scarpa (dispositivo posto all’estremità inferiore della colonna, dotato di una valvola che impedisce il ritorno del cemento all’interno della colona) e risale nell’intercapedine tra *casing* e foro scoperto. La cementazione garantirà un solido appoggio laterale, eccetto negli orizzonti altamente fratturati dove il cemento potrebbe disperdersi. In funzione delle condizioni di profondità e di temperatura attese si utilizzerà un cemento del tipo API Classe G o H con additivi selezionati per controllare reologia, densità, tempo di posa e durata. Queste tipologie sono

realizzate secondo precisi standard per sostenere il peso delle tubazioni di rivestimento, fornire una saldatura idraulica tra il *casing* e il cemento e tra il cemento e la roccia, prevenire la comunicazione interzonale tra acque di strato e il flusso delle stesse verso la superficie. Il trattamento, lo stoccaggio e il pompaggio del cemento avranno strutture in superficie dedicate (serbatoi, pompe).

La scelta della profondità di posa del *casing* dipenderà dai gradienti di temperatura e pressione elaborati dopo le indagini multidisciplinari di dettaglio del sito di perforazione; dai risultati ottenuti verranno determinate anche tutte le informazioni stratigrafiche e reologiche, nonché le zone di fatturazione; tali informazioni verranno confrontate con le proprietà (densità, peso, temperatura di flocculazione) dei fluidi di perforazione e della malta cementizia che si intenderà utilizzare.

Le considerazioni sopra esposte permettono di seguire lo schema generale di Figura 4.11, in cui si individuano 4 sezioni di *casing* nel foro di perforazione. Il tubo conduttore avrà un diametro di circa 21", raggiungerà una profondità di 100 metri e sarà totalmente cementato alle pareti del foro. Il *casing* di superficie avrà un diametro di 18"5/8 e sarà disceso fino a 600 m; questo costituirà la prima vera colonna di rivestimento che verrà discesa nel pozzo e sulla quale verranno montate le apparecchiature di sicurezza (BOP's) per il controllo delle eruzioni.

Il *casing* di superficie dovrà supportare i tubi di rivestimento successivi, chiudere il foro dall'ingressione delle acque di strato superficiali, resistere alle pressioni del *reservoir* e proteggere il pozzo in caso di bruschi incrementi di pressione dovuti a rapide risalite di fluidi (*underground blowout* e *kicks*). Il *casing* intermedio avrà un diametro di 13"3/8 e sarà disceso fino a 1300 metri. Il *casing* di produzione sarà fessurato e munito di *diverter* e filtri per permettere l'ingresso dei fluidi del *reservoir* nel pozzo e l'isolamento degli strati superiori a quello produttivo, avrà un diametro di 9"$_{5/8}$ e raggiungerà il fondo pozzo a 2000 m di profondità. Entrambi dovranno resistere alle altissime pressioni di fondo foro che richiedono

una forte resistenza allo squarciamento (*burst resistance*) e al collasso (*collapse resistance*). Per il calcolo delle resistenze si farà riferimento al bollettino tecnico API 5C3.

La Tabella 4.3 mostra le profondità di posa, il diametro nominale esterno OD (*Outside Diameter*) e la classe di acciaio del *casing* scelto per la perforazione geotermica sul vulcano Marsili.

Tabella 4.3: profondità di posa, diametro esterno e classe di acciaio delle 4 sezioni di *casing* individuate per il progetto di perforazione geotermica proposto.

TIPOLOGIA DI *CASING*	PROFONDITA' DI POSA	OD	CLASSE DI ACCIAIO
Conduttore	100 m	22"$_{1/2}$	J/K-55
Sueprficiale	600 m	18"$_{5/8}$	J/K-55
Intermedio	1300 m	13"$_{3/8}$	J/K-55; 2,5 Cr-1 Mo
Produzione	2500 m	9"$_{5/8}$	J/K-55; 2,5 Cr-1 Mo

I *casing* sono caratterizzati dalle seguenti grandezze:

- Diametro nominale, ovvero il diametro esterno (OD) espresso in pollici;
- Grado di acciaio, ovvero una designazione della tipologia di acciaio. Esso viene espresso, secondo le normative API, da una lettera e un numero, dove il numero esprime il limite di elasticità del materiale (in Kpsi), mentre la lettera è arbitraria e può talvolta esprimere alcune caratteristiche peculiari del materiale (per esempio, J-55, N-80 oppure P-110);
- Peso per unità di lunghezza, che viene espresso in libbre/piede (lb/ft);
- Connessione, ovvero il tipo di filettatura (contraddistinta da lettere, tipo BTC, API LTC, API STC) con cui sono equipaggiati i singoli tubi;

queste filettature possono avere caratteristiche geometriche dverse (passo, conicità, tipo di tenuta, ...) per rispondere alle diverse esigenze.

Per la resistenza al collasso si considereranno le formule API, le relazioni D/t (diametro/spessore, *Diameter/tickness*) e la resistenza del materiale (grado di acciaio) che è specifica funzione della temperatura. Per la resistenza allo scoppio si prenderanno in considerazione le formule API, lo spessore del tubo e la resistenza dell'acciaio.

La Tabella 4.4 mostra il valore del rapporto D/t (*diameter/tickness*) in corrispondenza del quale si raggiunge un collasso da cedimento (*yielding collapse*), un collasso plastico, ditransizione ed elastico, per diverse tipologie di *casing* in commercio (J/K-55, L/N-80, P-110 e Q-125).

Tabella 4.4: valori del rapporto D/t in corrispondenza dei più comuni collassi per 4 tipologie diverse di *casing* commerciali (come da Bollettino API 5C3).

Grade	Yield Collapse	Plastic Collapse	Transition Collapse	Elastic Collapse
J/K-55	</= 14.81	14.81 - 25.01	25.01 - 37.21	> 37.21
L/N-80	</= 13.38	13.38 - 22.47	22.47 - 31.02	> 31.02
P-110	</= 12.44	12.44 - 20.41	20.41 - 26.22	> 26.22
Q-125	</= 12.11	12.11 - 19.63	19.63 - 24.46	> 24.46

La Tabella 4.5 mostra, invece, i valori di spessore delle pareti dei più comuni tubi di rivestimento attualmente in commercio.

Tabella 4.5: spessore delle pareti dei più comuni tubi di rivestimento in commercio, per diversi valori del rapporto D/t. OD = diametro esterno (*Outside Diameter*).

D/t =	7,1		12,11		37,21		46,1	
	wall thickness							
OD [inch]	[inch]	[mm]	[inch]	[mm]	[inch]	[mm]	[inch]	[mm]
2,375	**0,335**	**8,50**	**0,196**	**4,98**	0,064	1,62	0,052	1,31
2,875	**0,405**	**10,29**	**0,237**	**6,03**	0,077	1,96	0,062	1,58
3,5	**0,493**	**12,52**	**0,289**	**7,34**	0,094	2,39	0,076	1,93
4,5	**0,634**	**16,10**	**0,372**	**9,44**	0,121	3,07	0,098	2,48
5	0,704	17,89	**0,413**	**10,49**	**0,134**	3,41	0,108	2,75
7	0,986	25,04	**0,578**	**14,68**	**0,188**	4,78	0,152	3,86
9,625	1,356	34,43	**0,795**	**20,19**	**0,259**	**6,57**	0,209	5,30
10,75	1,514	38,46	**0,888**	**22,55**	**0,289**	**7,34**	0,233	5,92
13,375	1,884	47,85	**1,104**	**28,05**	**0,359**	**9,13**	0,290	7,37
16	2,254	57,24	**1,321**	**33,56**	**0,430**	**10,92**	0,347	8,82
18,625	2,623	66,63	1,538	39,06	**0,501**	**12,71**	0,404	10,26
24,5	3,451	87,65	2,023	51,39	**0,658**	**16,72**	**0,531**	**13,50**

La Tabella 4.6 mostra come variano le resistenze a pressione di cedimento interno (*internal yield pressure*) e di collasso (*collapse pressure*) rispetto al diametro di *casing* con grado di acciaio K-55, per diversi valori di OD.

Tabella 4.6: variazione della resistenza a pressione interna di cedimento e pressione di collasso per diversi diametri del *casing* K-55 con spessore di 11 mm (come da Bollettino API 5C3).

OD [inch]	24,5	20	18,625	16	13,375	11,75	10,75	9,625
p.e. weight [lb/ft]	111,3	90,5	84,2	72,0	59,9	52,4	47,7	42,5
p.e. weight [kg/m]	165,8	134,8	125,4	107,3	89,2	78,0	71,1	63,3
wall [mm]	11	11	11	11	11	11	11	11
Grade [ksi]	K-55	K-55	K-55	K-55	K-55	K-55	K-55	K-55
	internal yield pressure							
bar	117	144	154	180	215	245	267	299
	collapse pressure							
bar	19	34	43	68	108	142	169	222

Le più comuni rotture del *casing* sono dovute a: cedimenti del materiale, come scoppio, collasso, tensione e corrosione della tubatura; danni meccanici, come

usura, problemi nella saldatura dei diversi tubi, danni da collisione con le altre attrezzature di perforazione; flessioni laterali (*buckling*) dovuti a carichi eccessivi; cedimenti del cemento che permettono il movimento di fluidi tra le formazioni rocciose e il *casing*; stress termico, compressione o dilatazione dovuti al contatto con fluidi freddi o temperature elevate delle rocce.

La Tabella 4.7 ed il relativo diagramma (Figura 4.12) mostrano le resistenze delle diverse tipologie di acciaio utilizzate per i modelli più comuni di *casing* come funzione della temperatura (da 20 a 300° C).

Tabella 4.7: variazione della resistenza del materiale costituente le più comuni tipologie di *casing* attualmente in commercio rispetto alla temperatura.

Temp.	J/K 55		C 75-1		C 75-2		L 80		C 95		P 110	
°C	N/mm²	%	N/mm²	%	N/mm²	%	N/mm²	%	N/mm²	%	N/mm²	%
20	379	100,0%	517	100,0%	517	100,0%	552	100,0%	655	100,0%	758	100,0%
100	315	83,1%	456	88,2%	488	94,4%	487	88,2%	587	89,6%	681	89,8%
150	300	79,2%	435	84,1%	483	93,4%	465	84,2%	554	84,6%	651	85,8%
200	288	76,0%	419	81,0%	480	92,8%	448	81,2%	535	81,7%	643	84,8%
250	277	73,1%	406	78,5%	480	92,8%	434	78,6%	521	79,5%	632	83,4%
300	269	71,0%	401	77,6%	479	92,6%	428	77,5%	515	78,6%	597	78,7%

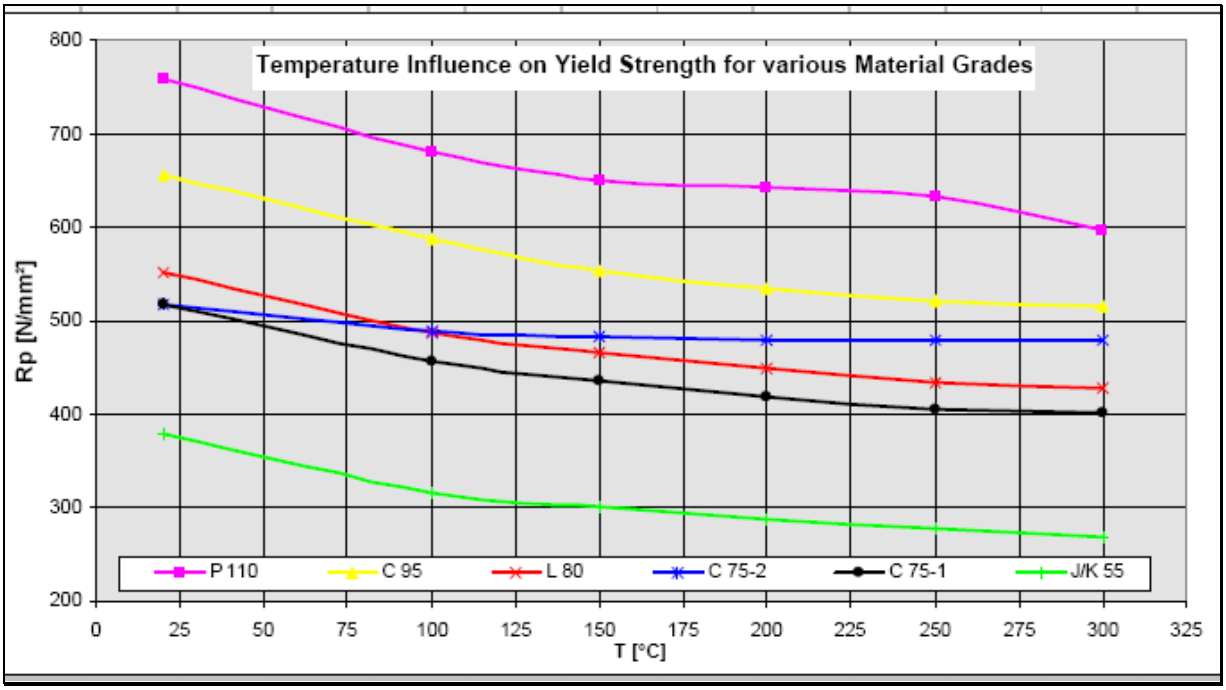


Figura 4.12: curve di resistenza del materiale costituente le più comuni tipologie di *casing* attualmente in commercio rispetto alla temperatura.

Alla luce dei dati tecnici sopra mostrati risulta che un grado di acciaio K-55, temperato con molibdeno ad elevata resistenza, sia quello che meglio si adatta alle condizioni attese nel sito di perforazione del vulcano Marsili. Per il *casing* intermedio e di produzione si valuterà anche una tipologia 2,5 Cr-1 Mo (SA-213 T22).

Gli scalpelli che verranno utilizzati dovranno garantire tempi di avanzamento della perforazione non troppo lunghi ottimizzando le prestazioni relativamente alla presenza di rocce fratturate, dure e abrasive e di elevate temperature di esercizio. La scelta del giusto tipo di scalpello potrebbe contribuire sensibilmente alla riduzione dei costi della perforazione. Gli ultimi modelli commercializzati garantiscono livelli di avanzamento e durata anche doppi rispetto a quelli standard, che permettono di ridurre il costo totale di un pozzo geotermico anche del 15%.

Nelle prime due sezioni di perforazione saranno utilizzati scalpelli triconici standard perchè non si prevedono formazioni rocciose particolarmente dure e d abrasive da compromettere la durata degli scalpelli e i tassi di avanzamento della perforazione.

Per le sezioni di perforazione successive – in formazioni rocciose più profonde, calde e abrasive – si potranno utilizzare scalpelli con Inserti Grossolani Pressati Caldi GHI (*Grit Hot Inserts*) a base di pietre di diamante e polvere di carburo di tungsteno, lame dentate con strati ultraresistenti di Diamante Policristallino Compatto PDC e materiali impregnati di Diamante Policristallino Termicamente stabile TSP. Essi potranno garantire una durata maggiore rispetto agli scalpelli convenzionali e un tasso di avanzamento della perforazione di circa 3m/ora che può essere considerato buono per le condizioni reologiche attese. In Figura 4.13 si mostra il modello *Kinetic* della *Smith International Italia SpA*, che è stato valutato in prima analisi adatto all'applicazione proposta.

Figura 4.13: scalpello Kinetic della Smith con inserti in materiale ultraresistente.

Il diagramma di Figura 4.14 mostra i tassi di avanzamento relativi (*relative Rate of Penetration*, ROP) degli scalpelli triconici, PDC, impregnati e TSP rispetto ai giri al minuto (*revolution per minute*, rpm). Come si vede l'impiego di inserti in diamante policristallino termicamente stabile garantisce prestazioni di livello, permettendo alti tassi di avanzamento con un elevato numero di giri al minuto.

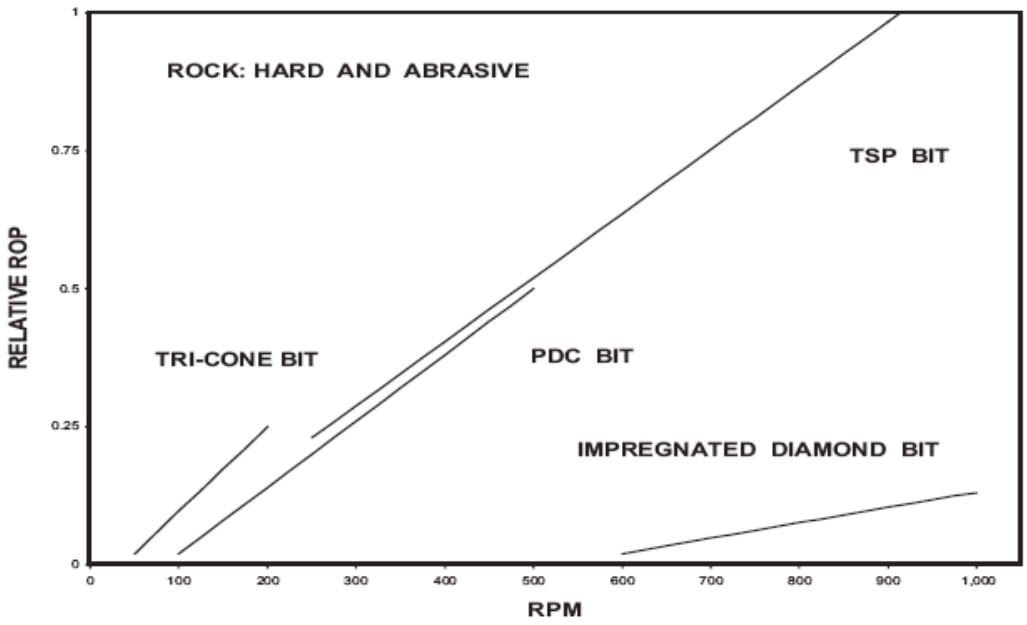


Figura 4.14: effetto della tipologia di scalpello e dei giri al minuto sul tasso di penetrazione relativo.

La Tabella 4.8 mostra le tipologie di scalpelli che verranno utilizzate per le diverse sezioni di perforazione.

Tabella 4.8: tipologie di scalpelli utilizzate per le diverse sezioni di perforazione.

SEZIONE DI PERFORAZIONE	DIAMETRO SCALPELLO	TIPOLOGIA SCALPELLO
0 – 100 m	26”	Triconico
100 – 600 m	21”	Triconico
600 – 1300 m	17”$_{1/2}$	PDC
1300 – 2500 m	12”$_{1/4}$	TSP (*Kinetic*)

Ultimamente sono stati sviluppati modelli di scalpelli a lame dentate in PDC con getti di fango ad altissima pressione che aumentano il processo di rimozione della roccia e l’efficienza di avanzamento anche in ambienti estremi (Figura 4.15). Il getto di fango mantiene l’interfaccia roccia/scalpello pulita da *cuttings*,

incrementando così gli stress di penetrazione nella roccia aprendo idraulicamente le fratture create dallo scalpello.

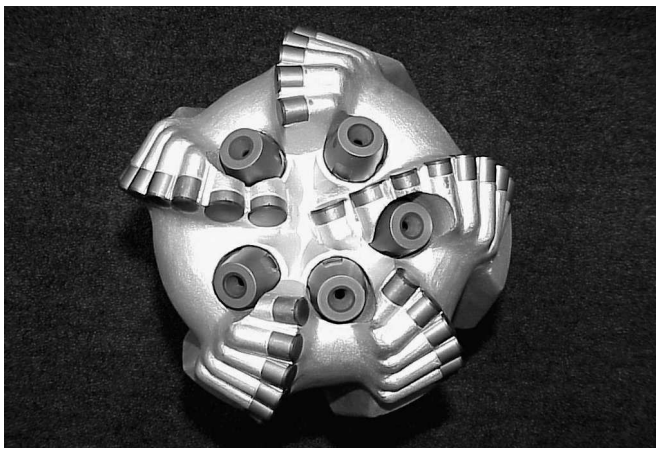


Figura 4.15: lo scalpello con effusori di fango ad alta pressione per aumentare la capacità di perforazione sviluppato presso i laboratori Sandia (USA).

1.6.7 Fluidi di perforazione.

I fluidi di perforazione saranno quelli comunemente utilizzati, costituiti in generale da una mistura di bentonite e acqua o acqua e polimeri. Si presterà particolare attenzione che siano funzionali alle condizioni specifiche del sito di perforazione e che siano di composizione semplice (avendo anche costi contenuti), non tossici, abbiano elevate capacità di raffreddamento, lubrificazione dello scalpello e rimozione dei *cuttings* e garantiscano la stabilità del foro con la temperatura ed il tempo. Saranno aggiunti additivi non pericolosi e non tossici nel caso ci sia necessità di prevenire fenomeni di corrosione, aumento del peso e perdite di fango.

I fluidi generalmente vengono iniettati nel pozzo a partire dallo scalpello e risalgono in superficie attraverso l'intercapedine tra la batteria di aste e il rivestimento. Il loro trattamento in superficie prima della reimmissione è molto importante. Essi verranno allocati in un apposito serbatoio (con una capacità

compresa tra 80 e100 m^3), diviso in diversi comparti per lo stoccaggio (la pulizia del fango dai detriti fini è un'operazione molto importante), il setacciamento e il raffreddamento; successivamente verranno iniettati nel pozzo tramite un apposito sistema di pompaggio (Figura 4.16).

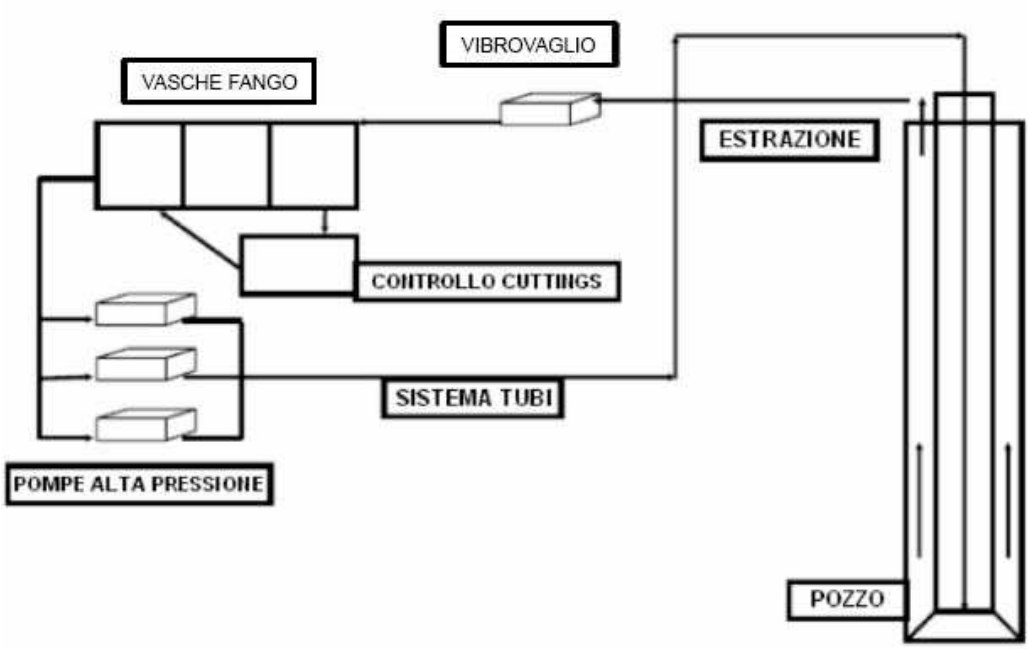


Figura 4.16: schema generale del sistema di circolazione dei fluidi di perforazione.

La stabilità dei fluidi alle alte temperature che si riscontrano nelle zone più profonde del foro e che possono dare problemi di flocculazione è garantita da miscele a base di bentonite e speciali polimeri con proprietà di viscosità, stabilità reologica, deflocculazione ad alte temperature e controllo della filtrazione. La temperatura di decomposizione di miscele di questo tipo è superiore a 400° C. In generale, è stato riscontrato nella pratica che le temperature massime raggiunte dai fluidi di perforazione rimangono pari a metà della temperatura di fondo foro; pertanto, considerando di raggiungere 350° C alla base della perforazione a 2500 m di profondità, i fluidi non supereranno temperature di 175-200° C.

Uno dei problemi più importanti nel controllo della circolazione dei fluidi di perforazione all'interno del foro, che può influenzare sensibilmente i costi di una perforazione geotermica (10-20% del costo totale di un pozzo) è la dispersione del fluido nelle formazioni rocciose più fratturate (*lost circulation*). Essa avviene quando la pressione del fluido presente nella formazione geologica perforata è minore della pressione del fluido nel pozzo, così che esso si disperde nella formazione rocciosa piuttosto che circolare nell'intercapedine del foro. Questo fenomeno spesso è accompagnato da distacco di detriti dalla parete del foro e conseguente franamento, causando il blocco (inceppamento) delle aste di perforazione, il danneggiamento degli scalpelli, avanzamenti molto lenti e definitivo collasso del pozzo. Pertanto verranno applicate le più avanzate tecnologie per individuare velocemente, caratterizzare e mitigare la *lost ciculation* prima che possa causare seri problemi alla perforazione, fino ad inficiarne la stabilità.

Per identificare la presenza di zone ad alta fratturazione delle formazioni rocciose e quantificare i tassi di *lost circulation*, oltre alla consueta misura dei livelli delle vasche fango si prenderanno in considerazione misuratori di flusso dei fluidi di perforazione in ingresso e in uscita dal pozzo (strumenti tipo *roling float meter* e *doppler flow meter*): flussi in uscita sensibilmente più bassi di quelli in entrata testimonieranno la presenza di questo fenomeno. Con questa tecnologia si potranno individuare anche eventuali fenomeni di ingresso e risalita inattesa di fluidi dal pozzo (*underground blow-out* e *kicks*). Questi strumenti, usati negli anni passati, hanno già dimostrato di poter identificare anche minime perdite di fluido appena esse avvengono, determinare la profondità e lo spessore delle zone di perdita, individuare problemi nel sistema di pompaggio dei fluidi e valutare l'efficacia delle operazioni di cementazione per il controllo e la mitigazione della *lost circulation*. Si potranno utilizzare anche misuratori di densità del fango per prevenire *lost circulation* causata da un'inavvertita ponderazione del fango ed aiutare la perforazione nelle zone di alta pressione di vapore (*automated mud density meter*).

Le unità di *mud logging* (*expert systems*) registrano parametri di perforazione (flussi in ingresso e in uscita, gittata della pompa, pressione delle aste di perforazione, peso sullo scalpello, velocità di rotazione, coppia di perforazione e tasso di avanzamento) e li paragonano continuamente con i modelli attesi di prestazione degli strumenti, permettono di individuare eventuali problemi in tempo reale e consentono la diagnostica e la correzione degli stessi.

In generale, se la *lost circulation* non è molto pronunciata, si continua con l'immissione di fango fino a quando non si potrà continuare ad avanzare in profondità; al contrario, se la *lost circulation* continua, si possono sostituire i fanghi con acqua (portate di 50-60 l/sec) o aria compressa. Le pratiche più utilizzate sono comunque l'aggiunta di additivi al fluido di perforazione, per dare maggiore viscosità, oppure la cementazione delle zone ad alta fratturazione responsabili della dispersione dei fluidi. Quest'ultima consiste in manovre di rimozione dello scalpello e pompaggio di malte cementizie. L'efficacia della posa del cemento può essere garantita da sistemi (*drillable straddle packer*) che impiegano due sacche flessibili gonfiate per isolare la sezione del pozzo dedicata all'iniezione. Il cemento viene iniettato tra le due sacche, riducendo il volume richiesto per saturare la zona di perdita.

1.6.8 MWD, carotaggi e misure in foro.

Durante le operazioni di perforazione verranno adottate tecniche MWD (*Measurement-while-drilling*) per misurare direzione e inclinazione di perforazione, temperatura e pressione del foro, peso sullo scalpello e coppia del motore. Si utilizzerà strumentazione a fondo foro e in superficie con particolare riferimento ai dispositivi più recenti in grado di sopravvivere agli ambienti estremamente caldi e corrosivi dei pozzi geotermici. Tali sistemi lavorano con elevata efficienza nel campo dell'estrazione di idrocarburi ma soffrono le alte temperature nelle applicazioni geotermiche, sopportando al massimo temperature di 175-200° C. La strumentazione di fondo foro è costituita da una sonda e sensori posizionati appena sopra lo scalpello che forniscono le misure sopra indicate tramite pulsazioni del fango di perforazione in risalita, generate da una valvola pulsante

localizzata sopra la sonda, e inviate alla strumentazione di superficie costituita da un trasduttore di pressione e da un software per la conversione delle pulsazioni in valori dal significato fisico. Sperimentazioni sono attualmente in atto per aumentare la resistenza alla temperatura di tali dispositivi, sviluppando circuiti integrati ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*) su isolanti a base di silicio SOI (*Silicon On Insulator*), pacchetti multi-chip e dispositivi termo-meccanici, che reggono temperature fino a 260° C. Il monitoraggio in tempo reale dei parametri di perforazione permetterà di controllare le prestazioni dello scalpello e delle altre attrezzature, prevedere il sopraggiungere di problemi e correggere i parametri in superficie (peso sullo scalpello, velocità di rotazione delle aste, pompaggio del fango), nonchè migliorare la definizione delle condizioni di pressione e temperatura del *reservoir*, con una generale riduzione dei costi di perforazione.

1.6.8.1 Carotaggi meccanici.

Saranno eseguiti carotaggi meccanici per avere importanti indicazioni sulle litologie incontrate durante la perforazione, le permeabilità, il grado di alterazione idrotermale e alcuni parametri fisici delle rocce recuperate.

I carotaggi verranno eseguiti in corrispondenza di livelli produttivi e livelli di particolare interesse dal punto di vista della caratterizzazione lito-stratigrafica del pozzo geotermico sul vulcano sottomarino Marsili. Si utilizzeranno carotieri con diametro esterno di 8”$_{1/2}$ e scarpa diamantata per il recupero di carote indisturbate con diametro di 3”$_{1/2}$. Dopo ogni carotaggio si eseguirà un ripasso foro con scalpello avente il diametro scelto per la specifica sezione di foro che si sta perforando e controllo dei fluidi di circolazione per cercare eventuali intrusioni di fluidi di strato. Le carote indisturbate raccolte saranno analizzate per il riconoscimento delle principali unità litologiche, l’orientamento e la frequenza delle fratture, da cui si procederà con la realizzazione di sezioni sottili per le analisi petrografiche (tipologia di roccia) mineralogiche (minerali costituenti e di alterazione idrotermale) e chimiche (elementi maggiori e in tracce).

1.6.8.2 Log di pozzo.

I *log* di pozzo (geofisici, di produzione) forniranno parametri indicativi delle caratteristiche e dimensioni del *reservoir* geotermico all'interno del vulcano Marsili, come temperatura, pressione, portata, geometria del pozzo e frequenza delle fratture. La maggior parte di questi parametri sono controllati dal *reservoir* stesso e dai suoi fluidi, possono cambiare nel tempo e non essere individuati soltanto dai carotaggi o dai *cuttings*.

La Tabella 4.9 elenca le principali misure che verranno effettuate al fine di caratterizzare il *reservoir* geotermico e valutare la produzione del pozzo (test di produzione) anche per la progettazione delle opere in superficie (impianto di produzione).

Tabella 4.9: principali operazioni di *well logging* per la caratterizzazione del *reservoir* geotermico e la valutazione della produzione del pozzo.

Misure in pozzo usate per caratterizzare il *reservoir* geotermico.	**LOG**
Profili di temperatura	Log di temperatura
Profili di pressione	Log di pressione
Litologia, profondità e spessore delle formazioni	Log di resistività, PS, sonici, *neutron*, *gamma ray*
Porosità	Log di resistività, sonici, *neutron* e *gamma ray*
Permeabilità secondaria	Log sonici e televisivi
Localizzazione delle zone di produzione	*Spinner* log
Caratteristiche chimico-fisiche del fluido: salinità, temperatura, densità e viscosità	Log di resistività, *neutron*, campionamenti
Composizione del fluido	Campionamenti
Moduli elastici delle rocce	Log sonici
Misure in pozzo o nelle sue vicinanze per caratterizzare la produzione e progettare le opere in superficie.	
Profili di temperatura	Log di temperatura
Profili di pressione	Log di pressione
Portata	*Spinner* log, prove di strato

Composizione dei fluidi	Log di resistività, *neutron*
Caratteristiche chimico-fisiche del fluido: salinità, temperatura, densità e viscosità	Log di resistività, *neutron*, campionamenti
Condizioni del pozzo e/o del casing come incrostazioni, corrosione, qualità del cemento, proprietà meccaniche del pozzo stesso	Log sonici CBL (*Cement Bond Log*), *caliper*, elettromagnetici, ultrasonici, televisivi

La strumentazione per la misura di temperatura e pressione è già stata descritta sopra. I log elettrici (resistività elettrica, potenziali spontanei) saranno utili nella definizione delle litologie incontrate, della porosità delle rocce delle caratteristiche chimico-fisiche e della composizione dei fluidi. I log sonici consistono in misure della velocità del suono con la profondità e daranno indicazioni sulla litologia e porosità delle formazioni rocciose. I log *neutron* e *gamma ray* si basano sull'immissione di fasci di elettroni e raggi gamma per la definizione della porosità e della densità delle rocce. Gli *spinner* log utilizzano propulsori nel pozzo per quantificare i flussi di fluido; dalle velocità del fluido e dalla sezione si ricaverà la portata. Il log sonico CBL (*Cement Bond Log*) misura la qualità della cementazione tra il *casing* e la parete del foro; il *caliper* misura il diametro interno (ID) del *casing* e individua corrosione e incrostazioni; i log elettromagnetici individueranno le perdite di metallo per cui si può risalire alla corrosione; i log televisivi permettono osservazioni dirette nel pozzo.

1.6.8.3 Completamento del pozzo.

Per il completamento del pozzo si prevedono interventi di *coiled tubing*, che permetteranno eventuali stimolazioni (*artificial lift* con *air lift*, *gas lift*, *walking beam units*), l'immissione di acqua o soluzioni acide e la ripetizione di tali procedure anche in caso di diminuzione della produzione.

1.6.8.4 Prove di produzione.

Le prove di produzione sono misure per valutare la qualità del fluido erogato e la sua potenzialità d'impiego per la produzione di energia elettrica. I parametri presi in considerazione sono la pressione e la temperatura a testa pozzo, la portata di acqua e/o vapore, l'entalpia e il titolo del fluido.
Per la perforazione geotermica *offshore* sul vulcano sottomarino Marsili si prevede, in prima fase, lo spiazzamento totale del volume di fango all'interno della tubazione di produzione. Le operazioni potrebbero richiedere anche lavaggi in pressione con testa pozzo chiusa. In caso di erogazione spontanea le prove saranno eseguite modulando la portata e registrando le variazioni di pressione a testa pozzo. Si potranno in questo caso ripetere le operazioni di lavaggio, con lo scopo di raggiungere la massima efficienza idraulica del pozzo e la migliore qualità dell'acqua. Durante le prove saranno rilevati tutti i parametri necessari alla caratterizzazione del *reservoir* geotermico e la classificazione dei fluidi estratti. Sarà fissata durante le fasi operative la cadenza periodica per il prelievo dei campioni d'acqua da sottoporre ad analisi. Lo scarico dell'acqua durante le prove sarà diretto verso apposite vasche metalliche, dove sarà in seguito prelevata per opportuno smaltimento.

Una volta completati tutti i necessari test di produzione, il pozzo geotermico verrà temporaneamente chiuso (operazione di *shut-in*) prima della produzione vera e propria per la trasformazione in energia elettrica. Le valvole alloggiate nel *tree* (al collegamento tra il *riser* sottomarino e la *wellhead*) chiuderanno il pozzo e permetteranno lo sganciamento del *riser* per il recupero in superficie sulla piattaforma di supporto che abbandonerà il sito.

1.7 Misure di attenuazione di impatto ed eventuale monitoraggio

La piattaforma di perforazione, prima di essere posizionata sull'ubicazione prescelta, dovrà essere
dotata di un sistema antinquinamento così predisposto:

- Piani di lavoro (piano sonda, main deck, ecc.) prowisti di drenaggi che impediscano qualsiasi fuoriuscita in mare e raccolgano le acque piovane, quelle di lavaggio impianto e gli eventuali sversamenti di fango sui piani in apposite vasche.

- Svuota mento periodico delle vasche con trasbordo nelle cisterne della nave appoggio (supply-vessel), che staziona 24 ore su 24 nelle immediate vicinanze della piattaforma, e successivo trasporto via terra a idonei recapiti per lo smaltimento.
La sala macchine, la zona pompe e quella motori dotate di sentina per la raccolta di liquidi oleosi provenienti da tutte le zone in cui sono possibili sversamenti di oli lubrificanti.

- I liquidi raccolti tramite pompa di rilancio inviati ad un impianto separatore olio-acqua; l'acqua separata inviata nella vasca di raccolta dei rifiuti liquidi; l'olio staccato in appositi fusti in attesa di essere trasportato a terra per lo smalti mento in loco dedicato.

- I detriti perforati, separati dal fango di perforazione ai vibrovagli, raccolti da una coclea ed inviati ad un cassonetto di raccolta della capacità di 6 m3 da rimpiazzare quando pieno, per essere poi inviati a terra.

- I rifiuti di bordo (lattine, bottiglie, imballaggi, ecc.) raccolti in cassonetti e periodicamente I trasferiti sulla nave appoggio per il trasporto a terra.

1.8 Tecniche di trattamento e discarica dei rifiuti (compresi i detriti di perforazione)

A bordo della piattaforma vengono effettuati solo trattamenti relativi a:
- residui alimentari;

. - liquami civili (scarichi W.C., lavandini, docce, cambusa);
- liquami di sentina;
" mentre vengono raccolti e trasferiti a terra per successivo trattamento e smaltimento:
- fango di perforazione;
- detriti perforati;
- acque di lavaggio;
- oli',
- rifiuti solidi urbani e assimilabili.

I residui alimentari vengono scaricati in mare solo se di dimensioni che attraversino la rete di un setaccio le cui maglie abbiano un diametro di 25 mm, come stabilito dalle norme internazionali "MARPOL" (Marine Pollution). A questo scopo i residui vengono sottoposti a preventiva triturazione.
I liquami civili prima di essere riversati in mare sono trattati con impianto biologico di depurazione
omologato RINA. Lo scarico awiene in conformità con quanto stabilito dalla Legge 662/80, che si adegua alla normativa internazionale "MARPOL".

I liquidi di sentina, costituiti da olio ed acqua mescolati tra loro, vengono trattati mediante separatore, che provvede alla separazione delle due fasi. L'olio viene filtrato e raccolto per essere successivamentein fustato e trasferito a terra per essere smaltito al ConsorzioO li Esausti. L'acqua è inviata alla vasca di raccolta rifiuti liquidi, fango ed acque piovane elo di lavaggio.

I rifiuti non trattati vengono trasferiti dalla nave appoggio in cisterne, autospurghi e cassonati a tenuta stagna, che li portano presso un centro di trattamento dove si effettuano i processi di innocuizzazione disidratazione e depurazione.

I detriti di perforazione (cuttings) in uscita dal vibrovaglio, una volta portati a terra, vengono stoccati inizialmente in un corral in acciaio o cemento e in un

secondo momento inertizzati con cemento, quindi previo controllo della composizione con test di eluizione con acido acetico (D.C. I. 14/7/86), prelevati con automezzi autorizzati e trasportati in opportuna discarica ai sensi del D.Lgs.22/97.

I fluidi (fanghi e acque di lavaggio), non più idonei per la perforazione, vengono portati in un centro

di trattamento dove, dopo un passaggio in una vasca di equalizzazione per stabilizzare il valore del pH, vengono sottoposti al trattamento chimico-fisico di destabilizzazione e successiva disidratazione a mezzo centrifuga, al fine di eliminare tutte le componenti inquinanti presenti nel fango e di modificarne le sue caratteristiche in modo da renderlo compatibile con la sua destinazione finale.

Il processo di destabilizzazione consiste nell'aggiunta al fango di coagulanti di natura organica (policloruro di AI, cloruro ferrico, solfato di AI) che favoriscono la coagulazione e la flocculazione

delle particelle solide; la successiva centrifugazione separa del tutto l'acqua dai fanghi. I fanghi disidratati subiscono quindi il trattamento di inertizzazione e, previo controllo della composizione con test di eluizione con acido acetico (D.C. I. 14/7/86), smaltiti in una discarica opportuna ai sensi della normativa vigente.

Le acque provenienti dal trattamento di disidratazione, incluse le acque di lavaggio e le acque meteoriche, convogliate in un altro vascone di raccolta, vengono sottoposte al trattamento di depurazione chimico-fisica consistente nella neutralizzazione cioè aggiunta di NaOH che riporta il pH a valori di norma tra 7,5 e 8, e di un polielettrolita-cationico che favorisce prima la coagulazione e poi la formazione dei flocculi che vengono separati per decantazione e recuperati nei vasconi reflui ed inertizzati come precedentemente descritto. Il fluido residuo passa quindi attraverso opportuni filtri (filtro a sabbia e filtro a carbone), da cui l'acqua ormai chiarificata può essere riutilizzata nell'area del cantiere.

Il trattamento dei cuttings e dei fluidi di perforazione, il trasporto e il loro successivo smaltimento definitivo viene effettuata da Operatori specializzati nel settore, muniti delle autorizzazioni previste

dal D.Lgs. 22/97.

Pertanto il controllo che tutte le fasi si svolgano nel rispetto della normativa vigente in materia si attesta attraverso: le analisi chimico-fisiche dell'acqua depurata, dei detriti e fanghi inertizzati, il registro di carico e scarico e il certificato di avvenuto smaltimento.

..