

SULLE MISURE DI TEMPERATURA DEL SOTTOSUOLO NEI FORI TRIVELLATI IN PRESENZA DI ACQUA E SUI RELATIVI RILIEVI FREATIMETRICI IN REGIONI IDROTERMALI

F. PENTA - B. CONFORTO

Sull'argomento delle « ricerche » di vapore acqueo e di acque termali per forza motrice nel napoletano, uno di noi ha già pubblicato alcuni risultati e varie osservazioni per cui rimanda alle letterature contenute nella nota su questi Annali (n. 3 del 1949) e nell'articolo sul Boll. Tecn. del Circ. Cultur. Ing. e Ach. Sardi (n. 1 del 1950). Recentemente nel n. 11 della Ricerca Scientifica (1950) ha pubblicato un breve riassunto dei lavori svolti, dei criteri seguiti e dei risultati ottenuti. In queste pubblicazioni ha accennato genericamente alle difficoltà incontrate nella interpretazione delle misure di temperatura e di livello del pelo libero dell'acqua nei fori trivellati. Ha messo in vista anche lo scarso valore scientifico (nel campo geotermico) che in conseguenza hanno molti dei dati raccolti.

Scopo principale della presente nota è quello di illustrare, da un punto di vista più generale, tali difficoltà e le complicazioni che si riscontrano, basando l'illustrazione stessa su esempi tratti dalle osservazioni sui pozzi più profondi trivellati nelle suddette aree idrotermali dei Campi Flegrei e dell'Isola d'Ischia.

I diagrammi che si riportano, sinteticamente commentati, potranno essere utili per lo studio d'altri aspetti del problema geotermico locale e riuscire di un certo interesse per chi dovesse impiantare « ex novo » l'esplorazione, mediante fori trivellati, di sottosuoli simili (vulcanici, post-vulcanici o vulcanico-quiescenti). Con la pubblicazione di questa serie di dati sperimentali, crediamo di soddisfare anche il desiderio espresso da colleghi e studiosi dell'argomento.

Per l'ubicazione dei pozzi che qui si esaminano e per quelli adiacenti, si rimanda alla nota sul n. 3 del 1949 di questi Annali. I dati che si utilizzano sono stati di massima raccolti direttamente (o sotto il personale controllo) da per lo meno uno di noi (1).

(1) Dal 1942 i dati sono stati raccolti da B. Conforto, il quale, come tecnico

Rivolgiamo qui vivo ringraziamento agli amministratori della SAFEN, Società « permissionaria » e « concessionaria » delle aree oggetto delle « ricerche » che hanno dato modo di compiere tante utili osservazioni diversamente irrealizzabili.

Complesso dei lavori che si svolgono nell'esecuzione dei sondaggi e nelle « prove di vapore » e loro influenza sui valori delle misure di temperatura e freaticometriche. — Per intendere nel giusto significato i valori delle temperature misurate in un determinato momento della perforazione entro l'acqua contenuta all'interno di un foro trivellato ed i valori delle quote rilevate del pelo libero dell'acqua stessa, si deve tener conto del tipo di sonda adoperata (a percussione o a rotazione con circolazione d'acqua o di fango, continua o discontinua ecc.) e della tecnica del sondaggio, tra cui la « cementazione » ⁽²⁾ ed il « tubaggio » ⁽³⁾.

Né possono trascurarsi, di regola, le manovre eventualmente eseguite per tentare di ridurre la pressione lungo le pareti e il fondo del foro che la colonna d'acqua esercita su presumibili « vene » di vapore sotterraneo ⁽⁴⁾.

Molte di queste stesse particolarità vanno considerate anche quando le misure di temperatura o freaticometriche sono effettuate a foro ultimato o dopo sufficiente periodo di stasi, nel quale caso può assu-

della Società che eseguiva le ricerche per « forze endogene », ebbe agio di seguire quasi tutti i lavori ricordati nella presente nota e di sperimentare personalmente secondo gli indirizzi da noi prescelti in base all'esperienza degli anni precedenti.

⁽²⁾ L'immissione di cemento sotto pressione (« cementazione ») nel fondo del foro ad una certa profondità, durante l'avanzamento, ha lo scopo di concorrere all'isolamento delle acque; non si può dire però che le cementazioni effettuate durante i lavori qui esaminati l'abbiano raggiunto; è verosimile che le alte temperature e il carattere chimico delle acque sotterranee qui considerate riducano, se non annullino del tutto gli effetti delle cementazioni stesse eseguite con cementi comuni.

⁽³⁾ La immissione nel foro di tubi (metallici in tutti i pozzi trivellati ricordati in questa nota), detta « tubaggio » o anche tubazione, ha lo scopo di evitare che le pareti poco consistenti « scoscano », « franino », ecc. o comunque chiudano il vuoto eseguito. Altro scopo precipuo è quello di ottenere insieme con la cementazione su ricordata l'« isolamento » delle acque che mano a mano si incontrano.

⁽⁴⁾ Tali prove, dette anche di alleggerimento, sono eseguite, col ricorso al cosiddetto « serpente » (di cui si dirà appresso), ad eduazione discontinua dell'acqua mediante la cucchiara della sonda o finanche all'introduzione di carburo di calcio nella colonna d'acqua. Tali ripieghi dovrebbero sostituire, per necessità di cose, un regolare pompaggio.

mere grande importanza la eventuale chiusura della bocca del foro.

Si intende che ogni apprezzamento va subordinato alle caratteristiche litologiche e geologiche dei terreni attraversati ⁽⁵⁾ considerate specialmente dal punto di vista di permeabilità (« in piccolo » o « in grande »); né in un momento generico è trascurabile l'influenza che ha sul regime idrotermale il tempo decorso dopo l'ultima eventuale esplosione naturale o artificialmente provocata; si sia esplicita, questa, sotto forma ritmica, tipo geyser ⁽⁶⁾ o sia stata una erogazione perdura-

⁽⁵⁾ Come s'è detto, l'esperienza di cui diamo qui conto è tratta dai sondaggi eseguiti per ricerca di « vapore endogeno » ad Ischia e nei Campi Flegrei. È opportuno perciò ricordare che i sondaggi hanno attraversato esclusivamente terreni vulcanici: piroclastici e lavici. Le lave, del tipo « traachitico », si sono trovate sotto forma di colate da pochi centimetri a decine di metri di spessore od in frammenti inclusi nei prodotti piroclastici. Questi sono costituiti da tufi con diverso grado di coerenza (dallo sciolto al litoide dei vari « periodi dell'attività vulcanica ischitana o dei Campi Flegrei ») con inglobati frammenti vari, fra cui pomici, spesso argillificate.

⁽⁶⁾ Per quanto riguarda l'attività geiseriforme si hanno alcuni esempi ad Ischia. Ricordiamo l'attività geiseriforme del foro I 1 (n. 10 Tab. I della nota Penta in questi « Annali » del 1949) che, iniziata nel 1939 continuava ancora all'8/9/43. Il foro I 8 (n. 4 Tab. I), dopo un breve periodo d'attività geiseriforme, dette una erogazione continua di acqua mista a vapore. Il foro I C 1 (n. 10 Tab. III) ebbe una attività geiseriforme che fu interrotta mediante un tappo di cemento. Successivamente il foro fu tubato con tubo di diametro minore e, in seguito a diverse prove, si ottenne una erogazione continua con portata di 3 lt/sec. di acqua. Sono infine da ricordare le esplosioni naturali che si ebbero durante l'avanzamento dei fori IFV1 e IFV4 (n. 7 e n. 11 Tab. D). I casi e tipi di attività geiseriforme riscontrati sono riassunti nella acclusa tabella.

Foro	Ritmo	Durata della singola esplosione	Durata del fenomeno
I 1 (n. 10 Tab. I) (naturale)	4 ÷ 8 ore	3-4 minuti	Dal 1939 a dopo il 1943
I 8 (n. 4 Tab. I) (naturale)	1 ÷ 3 giorni	da 5 min. a 2 giorni	1 mese (marzo 1941)
IC1 (n. 10 Tab. III) (naturale, interrotta artificialmente dopo qualche tempo)	2 ÷ 3 ore \approx 3/4 giorni	da pochi minuti a qualche ora	3 mesi (1940)
IFV1 (n. 7 Tab. D) (esplosione naturale, subito interrotta artificialmente)	—	1/2 ora	1/2 ora (1941)
IFV4 (n. 11 Tab. D) (esplosione naturale, subito interrotta artificialmente)	—	\sim 1/2 ora	1/2 ora (1943)

ta per più lungo tempo (7).

Elenco dei fattori influenzanti la temperatura. — Dall'esperienza è risultato, come d'altronde era prevedibile, che gli scarti dei valori delle temperature rilevate rispetto a quelli delle temperature effettivamente regnanti nei singoli punti del sottosuolo possono essere forti; né i rapporti fra temperature vere e temperature rilevate sono semplici o, comunque, facilmente determinabili. Come vedremo appresso più dettagliatamente, sui valori misurabili della temperatura maggiore influenza hanno tubaggi, cementazione e loro tenuta idraulica, manovre delle aste della sonda durante l'avanzamento e immissione dell'acqua fredda, manovre per « alleggerire » (« serpente », estrazione d'acqua, immissione di carburo di calcio) e talora anche la sola manovra per la misura delle temperature, tipo di termometro e tecnica di misurazione, condizioni idrogeologiche sotterranee e profondità della falda freatico-termale, stato di chiusura o apertura della bocca del foro, vicinanza dell'acqua del mare o di altri fori in fase di erogazione continua ecc.

Elenco dei fattori influenzanti la posizione del livello dell'acqua nell'interno del foro. — Come era da prevedere, si è constatato che

(7) Si allude qui ai casi di erogazione di acqua calda mista al vapore derivante dall'ebollizione dell'acqua stessa (alla pressione esterna e perciò a 100°C circa, qualunque sia la temperatura originaria nel foro). Vanno ricordate perciò: la erogazione di acqua e di vapore con portata di acqua di 9 lt/sec. del CLV7 (n. 4 Tab. V) e che è durata per 4 mesi, l'erogazione del foro IFV1 (n. 7 Tab. I) (erogazione iniziata il 6/2/42 e che al 9/9/43 continuava regolarmente con una portata di 5-6 lt/sec.), quella del foro I 2 (n. 6 Tab. I) la cui erogazione durò tre mesi circa e infine quella dei fori I 8 (n. 4 Tab. I) e IC1 (n. 10 Tab. III) sopra menzionata. Nella acclusa tabella si sono schematizzati i casi principali di erogazioni continue iniziate naturalmente o provocate mediante le manovre dall'esterno delle quali si è fatto già cenno.

Foro	Durata	Portata acqua
IFV1 (n. 7 Tab. I) (naturale)	dal 6/2/42	5/6 lt/sec.
I 8 (n. 4 Tab. I) (naturale)	dal 23/3/41 al 16/5/43	variabile
I 8 (n. 4 Tab. I) (provocata)	dal 7/6/43	variabile
I 2 (n. 6 Tab. I) (naturale)	dal 2/8 al 10/10/40	variabile
ICV1 (n. 10 Tab. III) (provocata)	dall'8/6/43	8 lt/sec.
CLV7 (n. 4 Tab. V) (provocata)	dal 7/4/42 al 5/8/42	9 lt/sec.

il pelo libero nell'interno di un foro si discosta di regola da quello originario della falda acquifera: ciò avviene quasi sempre durante l'avanzamento per effetto della immissione di acqua fredda o per le manovre stesse su ricordate ed in misura dipendente dal grado di permeabilità (o percolabilità) dei terreni interessati. Dai diagrammi di avanzamento del CLV7 (n. 4 Tab. V), per es., si può notare che durante la fase dell'avanzamento in una vulcanite argillificata, il pelo libero si mantiene al disotto di quello della falda (8); nello stesso foro durante l'attraversamento di tufi o di lave il pelo libero si mantiene invece al disopra di quello della falda stessa.

Talvolta si è potuto notare (vedi foro IFV1, diagrammi delle temperature e del pelo libero con l'avanzamento) che il pelo libero si abbassa dopo la cementazione, pur escludendosi l'ipotesi dell'incontro di una nuova falda termale: in un periodo successivo, infatti, il pelo libero riprende la sua posizione normale.

Ma anche quando il foro è in riposo per tempi sufficienti possono aversi dei sensibili, e talora, considerevoli dislivelli fra l'acqua del foro e il livello originario; né si può parlare neanche di una reale stabilizzazione del livello per alcuni di questi fori, quando la bocca è tenuta chiusa con apposite saracinesche o quando l'ascesa dell'acqua bollente nel foro si conchiude con una esplosione (ritmica o continua).

In qualche foro, infatti, molto tempo dopo l'ultimazione ed anche senza chiusura, il livello dell'acqua va gradatamente aumentando fino a dare esplosioni (vedi foro II, n. 10, Tab. I) e talora erogazioni continue (vedi fori I2 e IFV1, n. 6 e n. 7, Tab. I).

In sostanza, si può dire che a determinare in ogni momento la posizione del pelo libero dell'acqua nel singolo foro, concorrono quasi tutti gli stessi elementi che influenzano i valori delle temperature direttamente misurabili; tutto, s'intende, è subordinato al livello originario della piezometria della falda idrica indisturbata.

Esame dei principali fattori influenzanti temperatura e livello dell'acqua nei fori di sonda. — Perciò e per brevità, i singoli fattori

(8) Il foro è tubato fino alla formazione di vulcanite argillificata, formazione da ritenersi impermeabile. L'acqua che si ritrova nel foro, se la tubazione è tenuta, dovrebbe essere solamente quella di circolazione della sonda ed immessavi durante la lavorazione; il suo livello dipenderebbe soltanto dalla quantità che se ne educe durante la manovra di estrazione della colonna dei tubi e dell'utensile tagliatore a fine lavorazione.

principali saranno illustrati in rapporto contemporaneamente a temperatura ed a pelo libero dell'acqua.

Tipo di sonda e tecnica di perforazione in genere. — I sondaggi sui quali è basata l'esperienza in esame sono stati eseguiti in parte con sonde a rotazione e in parte con sonde a percussione sempre con circolazione di acqua. L'avanzamento medio in tali terreni per un turno di 8 ore può raggiungere 1 m di profondità.

A proposito delle sonde adoperate bisogna ricordare che, mentre le sonde a rotazione presentano il vantaggio di fornire campioni interi (carote, testimoni) dei terreni attraversati e quindi permettono di seguirne meglio la successione e le altre caratteristiche, le sonde a percussione, date le minori quantità di acqua necessaria, complicano meno la interpretazione delle misure di temperature che si effettuano durante il lavoro. Vediamo, infatti, come nel CLV16, foro di 400 m di profondità eseguito con sonda a rotazione, durante l'avanzamento a causa delle forti quantità di acqua immessa, si era riscontrata una temperatura eccessivamente bassa; qualche tempo dopo (45 giorni) l'ultimazione del sondaggio l'acqua in superficie raggiunse la temperatura di 100 °C, la stessa cioè dei numerosi fori adiacenti; dalla superficie fino a m 300-320 si manteneva costante (102 °C ÷ 105 °C) e riprendeva ad aumentare notevolmente con la profondità (2 °C ogni 10 m da m 300 a m 350 e 7 °C ogni 10 m da m 350 a m 380).

D'altra parte, nel vicino foro CLV17, eseguito con sonda a percussione, la mancanza di « carote » non ha permesso una soddisfacente ricostruzione delle formazioni attraversate, e ciò naturalmente ha avuto influenza notevole anche sulla buona scelta della zona da cementare.

Per meglio comprendere il significato dei valori misurati e diagrammati va ricordato che i fori erano in genere iniziati con diametri fino a 400 mm; i terreni non presentavano durezza eccessive ed anche le lave si lasciavano perforare con discreta facilità sia dallo scalpello, sia dal tagliatore con denti o con graniglia.

L'avanzamento, in genere, era eseguito in due turni: di notte il foro era lasciato in quiete. Di regola, la mattina, prima di immettere gli attrezzi nel foro venivano eseguite le misure del pelo libero e della temperatura.

Tubaggi e loro tenuta idraulica. — Allorché le pareti del foro minacciano di franare è necessario tubare il foro stesso. La tubazione

viene eseguita con tubi Dalmine avvitati fra di loro. La tubazione talvolta viene cementata al piede. I fori, come si rileva dalle descrizioni allegate e dai diagrammi, in genere vengono tubati, per la maggior parte della loro lunghezza, con tubazione completa. Uno (il CLV7) è stato tubato con tubazione telescopica. I singoli tubi vengono avvitati l'uno con l'altro. Con la tubazione telescopica non v'è da pensare a tenuta idraulica in quanto le singole parti della tubazione sono separate l'una dall'altra, ed hanno la sola funzione di impedire il rirano delle pareti del foro. In una tubazione completa, invece, la colonna dei tubi, allorché questa è cementata al piede, dovrebbe costituire un diaframma fra la parte centrale e l'intercapedine del foro. Nei lavori eseguiti non si è riuscito, però, a stabilire se ciò si fosse realizzato; mentre in alcuni casi sembrava che la tubazione fosse a tenuta idraulica, in altri casi appariva il contrario. Allorché s'effettuava la cementazione al piede della tubazione, prima di forare il tappo di cemento, per provare la presa del cemento, il foro veniva riempito di acqua e poi svuotato; così facendo, si variava il livello dell'acqua rispetto a quello del foro a pareti libere. Si è sempre constatato (vedi CLV16 e IFV2) che il pelo libero si manteneva alla quota alla quale veniva portato, non sembrava cioè più in comunicazione con la falda idrica circostante. Ma ciò non fu confermato dai fatti posteriori e da alcune prove di colorazione. Così, per es., nel foro CLV17 si versò nell'intercapedine fra le tubazioni (cementate al piede) una soluzione di fluoresceina sodica. Dopo alcuni giorni, l'acqua prelevata nella parte centrale del foro mostrò tracce di fluoresceina. Non fu possibile arguire se la fluoresceina fosse passata all'esterno della cementazione attraverso i terreni, attraverso la cementazione stessa (questa era stata eseguita parecchio tempo prima), o attraverso i raccordi fra i tubi.

Per tutto ciò, nella interpretazione dei diagrammi, non bisogna fidare, di norma, sulla perfetta tenuta dei tubi.

Cementazione. — Questo della cementazione è forse il più importante problema che si presenta nelle trivellazioni di ricerca di *H₂O* ad alte temperature ed « aggressività ». Scopo principale della cementazione, unita alla tubazione, è quello di isolare la falda o le varie falde idriche che si incontrano.

La cementazione si è effettuata immettendo nel fondo del foro attraverso le aste e con l'aggiunta di un apposito tappo di legno (per impedire la fuoriuscita del cemento nell'interno della tubazione) una

miscela di una ventina di quintali di cemento comune ⁽⁹⁾ e acqua. La miscela di cemento viene inviata sotto pressione di 2-4 atmosfere. Successivamente il foro viene lasciato in riposo per alcuni giorni in modo che il cemento faccia presa. Per assicurarsi della avvenuta presa, prima di forare il tappo di cemento, al fondo del foro vengono eseguite prove di svuotatura o di riempimento del foro. Il permanere del pelo libero dell'acqua al livello in cui viene artificialmente portato indica l'avvenuta presa del cemento.

I fatti hanno però dimostrato che le cementazioni non avevano raggiunto lo scopo: temperatura, salinità e caratteri chimici in genere delle acque sotterranee con i relativi gas disciolti hanno quasi certamente frustrato nel tempo l'efficacia della cementazione; furono eseguiti dei tentativi di correggere il legante per renderlo più idoneo all'ambiente chimico fisico cui era destinato (aggiunta di silicato di sodio); ma i risultati furono sempre praticamente negativi. Occorre pertanto studiare volta per volta il tipo di miscela più adatta. Ricordiamo che in California, nella Valle dei Geysers, si ricorse addirittura a zinco fuso.

D'altra parte, la cementazione dovrebbe aver luogo o nei terreni più impermeabili possibili o al contatto fra due formazioni diverse. Ciò è avvenuto solo in pochi casi. In genere la cementazione è stata eseguita non in funzione delle formazioni incontrate, ma in funzione della sicurezza del foro e cioè quando si era resa inevitabile la tubazione per impedire « rifranni ».

In conclusione, neanche là dove la cementazione ha avuto luogo in corrispondenza dei terreni meno permeabili (come ad es. per quanto riguarda il foro CLV17 nella vulcanite argillificata), si può dire che con la cementazione si siano isolati i terreni e le acque sovrastanti da quelli inferiori.

Immissione dell'utensile e delle aste di sostegno durante la perforazione. — Durante la perforazione vera e propria in genere l'acqua trabocca dal foro in quantità presso a poco uguale all'acqua fredda immessa nel foro. Come si è detto, la perforazione, in genere, è effettuata in due turni di lavoro, mentre nella notte il foro viene lasciato in quiete. La mattina, dopo 8 ore di quiete, il pelo libero tende a portarsi al livello originario della falda, al disopra o al disotto di tale livello, come mostrano molti dei diagrammi riportati.

⁽⁹⁾ Nel periodo nel quale si lavorava era già difficile procurare perfino cemento comune.

Si presenta pertanto la domanda: come mai in un foro il pelo libero si trova talvolta sopra il livello originario e talvolta sotto? O per meglio dire, come mai in una fase di perforazione si trova al disopra e dopo tubazione e cementazione si trova al disotto o viceversa? ⁽¹⁰⁾ Non è da escludere che su ciò abbia la sua influenza la manovra per estrarre l'utensile e le aste con la quale si lascia un vuoto e si educe anche una certa quantità di acqua. Il pelo libero risente più o meno di tali manovre in dipendenza del regime idrico della falda e del minore o maggiore scambio che è reso possibile fra l'interno del foro e le acque sotterranee circostanti.

Immissione di acqua fredda durante la perforazione. — Durante la fase della perforazione i valori della temperatura sono notevolmente influenzati dall'acqua "d'alimentazione" della sonda, che deve essere fredda per refrigerare l'ambiente di lavorazione dell'utensile tagliente. Molte volte l'acqua fredda si immetteva per evitare esplosioni. Dai diagrammi allegati si può infatti notare che, non appena viene a cessare l'immissione dell'acqua fredda per una sosta nella lavorazione, la temperatura subisce un incremento spesso anche notevole. Tale incremento è talvolta immediato, come si può notare nei diagrammi sull'andamento della temperatura al fondo durante l'avanzamento, dei fori CLV7, CLV17 e IFV1, mentre altre volte è molto più lento: nel foro ICV1 la temperatura al fondo si è stabilizzata a 150 °C dopo oltre 4 mesi da quando il foro era stato ultimato e non era stata più immessa nel foro acqua fredda.

D'altra parte, non si può assumere come temperatura effettiva di un dato punto quella misurata dopo un certo tempo in cui non è stata immessa più acqua fredda nel foro, vale a dire allorché si è stabilizzata, in quanto; trattandosi di una colonna di acqua, la temperatura di questa tenderà ad assumere un andamento decrescente dal fondo verso la superficie esterna, ove al massimo si può avere qualche grado in più di 100 °C. Ciò è dovuto sia ai movimenti convettivi del-

⁽¹⁰⁾ Se si esamina il diagramma dell'andamento del pelo libero durante l'avanzamento si può osservare come nel foro IFV1 fino a m 33,9 il pelo libero si trova a 1 m circa sopra il livello del mare. Subito dopo la tubazione con $\varnothing 305 \times 289$ fino a m 24,50 e successiva loro cementazione il pelo libero si è mantenuto a m 1 sotto il livello del mare. A tale quota si è mantenuto anche dopo la tubazione di tubi $\varnothing 254 \times 241$ fino a m 110,40, cementazione ed il successivo avanzamento fino a che il foro ha raggiunto la profondità di m 200. A tale profondità il pelo libero si è riportato nuovamente sopra al livello del mare.

l'acqua, sia alla conduzione di calore operata dalle tubazioni di ferro che circondano tale colonna di acqua (per decine e talvolta centinaia di metri) e, quindi, dai terreni circostanti e sovrastanti.

Tuttavia, da un punto di vista qualitativo, di stima cioè del « grado di termalità » del foro, l'andamento generale delle temperature registrato durante l'avanzamento talora è più significativo di quanto non sembrino i diagrammi rilevati a distanza di tempo dalla lavorazione nel foro tubato.

Prove di « alleggerimento ». — Durante l'avanzamento del pozzo trivellato venivano effettuate alcune fermate per le misure di temperatura e di livello del pelo libero dell'acqua, qualche giorno dopo cessata l'immissione di acqua fredda. In base alle temperature che si rinvenivano alle varie profondità, seguendo la tecnica in uso in altra regione, si procedeva alle prove cosiddette di « alleggerimento ». Prove che erano ispirate dall'idea che eventuali « vene » di vapore magmatico fossero soffocate dalla colonna di acqua sovrastante; si dubitava che esse vene potessero non avere la pressione sufficiente per vincere quella (spesso di varie decine di atmosfere) dovuta alla suddetta colonna di acqua e che perciò il vapore si condensasse e innalzasse in conseguenza la temperatura dell'acqua freatica. L'alleggerimento consisteva pertanto nel togliere acqua dal foro in modo da diminuirne la pressione esercitata sul fondo o sulle pareti. Date le difficoltà proprie ⁽¹¹⁾ e contingenti ⁽¹²⁾ si doveva rinunciare a regolari pompaggi e perciò l'alleggerimento veniva realizzato o con il « serpente » (costituito da un embolo a tenuta che si inserisce nel foro e poi si solleva bruscamente per provocare una depressione) o estraendo l'acqua per mezzo della « cucchiara » della sonda.

Il serpente provocava spesso un'esplosione del foro. Nei casi esaminati le esplosioni però non si poterono attribuire a presenza di vapore liberatosi dall'acqua che lo « affogava »; esse erano piuttosto dovute ad una improvvisa e violenta ebollizione, provocata dalla depressione operata dal « serpente »; l'acqua, a temperature molto superiori alla pressione del vapore saturo, entrava immediatamente in ebollizione. Per alcuni fori (vedi IFV2 e CLV17), fatti esplodere ar-

⁽¹¹⁾ Con le temperature relativamente alte (superiori talvolta a 230°C) ed i battenti di acqua (superiori talvolta a 600 metri) dei fori in oggetto, il problema del pompaggio non è semplice tenendo conto anche degli effetti dell'esplosione da provocare. Probabilmente conviene ricorrere ad insufflazione d'aria compressa.

⁽¹²⁾ Le condizioni del momento (1939-43) non permettevano altra scelta.

tificialmente mediante « serpente », la fase esplosiva fu di brevissima durata; in altri perdurò per lungo tempo. Per liberare una eventuale venuta di vapore dalla colonna di acqua sovrastante si ricorse anche all'eduzione di parte dell'acqua contenuta dal foro mediante la cucchiaina della sonda; con questo sistema non si viene ad alterare troppo bruscamente l'equilibrio pressione-temperatura nell'interno del foro stesso e spesso anche nelle immediate adiacenze. Però il sistema non è sempre efficace ⁽¹³⁾ in quanto la manovra dell'immissione, dell'estrazione e dello svuotamento della cucchiaina è lenta e la capacità della cucchiaina è molto limitata.

Talvolta si è tentata l'esplosione di un foro mediante carburo di calcio. Il carburo di calcio a contatto dell'acqua sviluppa una forte quantità di gas che col suo gorgoglio agevola l'ebollizione dell'acqua (purché la sua temperatura sia superiore a 100 °C).

Infine si deve ricordare che in alcuni fori si sono provocate esplosioni, mantenendo chiusa per un certo tempo la bocca del foro e poi aprendo la saracinesca.

Disturbo d'equilibrio provocato talvolta dalla semplice immissione del termometro. — L'esperienza ha dimostrato che, non solo il carburo di calcio con lo sviluppo di gas può provocare l'esplosione di un foro nel quale la temperatura all'interno sia superiore ai 100 °C, ma anche l'immissione di un semplice attrezzo, di un sasso o di un termometro e tutto ciò che possa alterare l'equilibrio termico instabile del loro; nell'acqua che, pur essendo a temperatura maggiore di 100° C non bolle, possono talora bastare anche lievi depressioni perché si inizi l'ebollizione e si provochi quindi un'esplosione, vedi, per es., il foro II alle « Fumarole » (n. 10, Tab. I).

Sensibilità del termometro e tempo necessario per la misura, necessità di termometro a pinze termoelettriche. — Le misure di temperatura sono state effettuate tutte con termometro a mercurio a massima. Tali temperature risentono pertanto di tutti i difetti insiti nel sistema. Inoltre tale sistema di misura è lento in quanto per un pozzo

(13) Il 7/9/42 furono eseguiti in tal senso delle prove nel foro IFV2. Alle ore 15 il pelo libero era a m 21,75 sotto la quota di riferimento; alle ore 15,45 dopo 22 corse della cucchiaina il pelo libero era sceso a m 32; alle ore 16,15 dopo 40 corse, il pelo libero era sceso a m 32,45. Alle 16,35 dopo 46 corse il pelo libero era a m 32,65. Si può quindi concludere che con la cucchiaina (capacità mc 0,05) e l'argano di estrazione utilizzati si riuscì ad abbassare il livello dell'acqua soltanto di una decina di metri in un'ora e mezza.

profondo varie centinaia di metri occorre molto tempo (15-20 minuti di media per misura) per fare una misura (abbassare il termometro, aspettare che la colonna di mercurio si stabilizzi e poi ritrarlo fuori per la lettura). Pertanto misure di temperatura in relazione a prove di svuotatura non possono certamente essere eseguite. Infine, in un foro non tubato, se con la profondità si passa da una zona più calda ad una zona più fredda, un termometro a massima del tipo di quelli usati, difficilmente segnala la singolarità. È quindi necessario per tali misure l'uso di « pinze » termoelettriche che possano dare le temperature con la massima rapidità e con la massima sicurezza; mezzi, questi, che nel periodo in cui si lavorò non fu possibile procurare.

Profondità del pelo libero della falda rispetto alla bocca del foro. — Dall'esame dei vari diagrammi dei fori si può notare come, allorché un foro viene lasciato tranquillo, il pelo libero tenda a salire con il tempo fino a stabilizzarsi o meno a quota più elevata.

Ad un primo esame potrebbe sembrare che il pelo libero assuma la stessa posizione della falda idrotermale che in genere si trova, man mano che ci si allontana dal mare, ad un livello sempre superiore. Se però si esamina meglio il fenomeno, si constata che l'andamento del pelo libero, allorché il foro viene lasciato in quiete, è influenzato dall'aumento della temperatura dell'acqua. Tenendo conto del fatto che in un foro tubato con tubi di ferro il calore si propaga, oltre che per convezione, in gran parte anche per conduzione attraverso le pareti metalliche ed i terreni e che il vapore prodotto dall'evaporazione (e spesso dall'ebollizione) dell'acqua nel foro trova tanta maggiore difficoltà a smaltirsi nell'atmosfera, quanto più alta è la bocca del foro (aperto), si intravede quanto variabile debba essere la quota del pelo libero dell'acqua nel foro rispetto a quella originaria della falda freatico-termale; tutto ciò, ammesso che per questa si possa sempre parlare di una netta superficie di separazione fra liquido e vapore.

Tempo necessario per la stabilizzazione della temperatura ⁽¹⁴⁾. — Come si è già detto, l'andamento delle temperature rilevato durante la fase di avanzamento talora si approssima meglio a quello reale. Dopo che il foro è stato tubato, cementato, ma col fondo libero e lasciato in quiete, l'andamento della temperatura non è più quello dei

⁽¹⁴⁾ In altra nota si darà conto del tempo necessario per lo stabilizzarsi del pH, Na, Cl, ecc. specie dopo pompaggio in altri pozzi meno profondi, trivellati nelle stesse località dei pozzi qui esaminati.

terreni in quanto è influenzato sia dalle pareti metalliche del foro, sia dalla convezione. Ad ogni modo, dopo un certo periodo si nota la stabilizzazione della temperatura nei vari punti del foro. La temperatura si stabilizzerà allorché la quantità di calore addotta dalle zone più calde è uguale al calore dissipato dai tubi verso l'esterno del foro, e dalla superficie dell'acqua al pelo libero mediante evaporazione o ebollizione. Il tempo per raggiungere tale equilibrio dipende dalla quantità di calore apportato al foro. La temperatura dei singoli punti, allorché è raggiunto l'equilibrio, tende ad assumere un andamento che sembra spesso approssimarsi al rettilineo.

A tale proposito, vediamo che nel foro ICVI perché la temperatura a foro ultimato si stabilizzasse, sono occorsi circa 4 mesi; nel foro CLV16 ci sono voluti 45 giorni; il foro IFVI dopo poco più di un mese in cui non veniva immessa acqua fredda, ha esploso spontaneamente.

Tempo necessario per la stabilizzazione del pelo libero. — Come s'è detto a proposito della profondità del pelo libero della falda rispetto alla bocca del foro, la posizione del pelo libero dipende in buona parte anche dalla temperatura dell'acqua.

La stabilizzazione del pelo libero è quindi legata alla stabilizzazione della temperatura. Mentre in alcuni fori si può notare come tale stabilizzazione sia piuttosto rapida, in altri fori essa avviene molto lentamente. Nel foro ICVI, per es., al pelo libero per stabilizzarsi è occorso lo stesso tempo occorso per la stabilizzazione della temperatura. Nel foro CLV7, invece, a bocca chiusa dopo 3-4 anni dalla cessata erogazione, il pelo libero risultava a pochi centimetri dal piano di campagna, vale a dire ad oltre cinquanta metri sopra l'originario primo incontro della falda acquifera termale ⁽¹⁵⁾.

Influenza della chiusura della bocca del foro con saracinesche. — La chiusura del foro con le saracinesche provoca in genere l'effetto contrario di quello provocato dal serpente. Infatti con la chiusura del foro, sul pelo libero si viene a formare una colonna di vapor d'acqua saturo ove, quindi, la pressione è in funzione della temperatura. Si viene così a determinare sul pelo libero una pressione tale per cui a quella temperatura l'acqua non bolle più. L'acqua può però ascen-

⁽¹⁵⁾ Le manifestazioni dei fori non sono state seguite a partire dal settembre 1943, per cui non si può stabilire dopo quanto tempo l'acqua aveva raggiunto il livello suddetto.

dere, come s'è visto al foro CLV7. Se poi la saracinesca viene riaperta, l'acqua del foro rimane in equilibrio instabile e può reagire in diversi modi. Come si è già accennato, con un semplice giuoco di chiusura e successiva rapida apertura delle saracinesche, si può talvolta determinare l'esplosione del foro od anche un'erogazione continua a regime permanente (idraulico e termico) ⁽¹⁶⁾.

Vicinanza del mare o di altri pozzi in erogazione ⁽¹⁷⁾. — In tutti i fori eseguiti si è incontrata poco al disopra del livello del mare acqua in genere con caratteristiche chimiche talora prossime a quelle del mare e con temperatura intorno ai 100 °C.

Non si è riusciti finora ad eseguire un foro al difuori dell'influenza di questa acqua e tanto meno ad isolare la falda d'acqua o comunque a stabilire se essa continui o no in profondità. Pertanto si può dire che in nessun caso s'è potuto escludere l'influenza, sia idraulica, che termica (refrigerante) del vicino mare.

Per quanto riguarda la vicinanza di pozzi in erogazione si è potuto osservare:

a) L'esplosione dapprima e poi l'erogazione spontanea del foro I8 delle « Fumarole » (n. 4, Tab. I) profondo 80 metri, per quanto riguarda il livello dell'acqua, sembra aver influenzato i peli liberi di alcuni pozzi vicini, nei quali il livello ha subito un abbassamento per poi stabilizzarsi a valori che sembrano essere quelli relativi alle nuove condizioni di regime.

b) Si è potuto osservare che l'erogazione dell'IFV1 (foro profondo 283 m) non ha ridotto l'attività geiseriforme di un foro (meno profondo) situato nelle immediate vicinanze (ad una cinquantina di metri), né l'attività delle numerose fumarole naturali della zona.

c) Nulla per ora è dato dire sull'influenza reciproca fra i fori profondi in quanto non si sono avuti casi di due fori profondi vicini contemporaneamente in erogazione.

Conclusioni. — Nonostante le varie incongruenze e le numerose incertezze che le misure eseguite presentano all'atto della loro interpretazione, dai dati raccolti qui riportati in esteso e da quelli raccolti in altri fori meno profondi ubicati nelle loro adiacenze, e dei quali si disse schematicamente nella precedente nota del 1949, si può trarre qualche deduzione istruttiva a carattere particolare ed anche

⁽¹⁶⁾ Eventualmente di interesse pratico applicativo.

⁽¹⁷⁾ Su questo ultimo argomento si riferirà più dettagliatamente in altra nota.

generale nel campo oggetto specifico della presente nota, purché si tengano presenti le influenze estranee sopra ricordate. In particolare ⁽¹⁸⁾, per es., si può dedurre che alle « Fumarole » (fori IFV1 e IFV2) tutto lascia presumere che lo spazio interessato dalla circolazione di H_2O a temperatura più elevata non si spinga oltre i 150-160 metri di profondità, mentre nella zona delle « Mofete » le osservazioni indicano temperature ancora crescenti con la profondità, nonostante che si siano superati i 600 metri al disotto del livello del mare. Tale ultima constatazione si è potuta realizzare soltanto un paio di mesi dopo l'ultimazione del foro CLV16. Durante la fase dell'avanzamento di questo foro la temperatura non accennava, infatti, ad aumentare con la profondità; quando la temperatura si stabilizzò, si poté notare nell'ultimo tratto del foro il sensibile incremento della temperatura. Ciò, insieme con le constatazioni che si possono trarre dai diagrammi degli altri fori, può avere anche interesse generale in quanto indica la forte variabilità — da punto a punto anche di una stessa zona — del periodo di tempo necessario per ottenere una vera stabilizzazione della temperatura o comunque una situazione idonea ad essere assunta come caratterizzante la relativa verticale investigata. In ogni caso, l'insieme di diagrammi riportati, dopo aver inquadrato i relativi fori nell'ambiente geologico e geofisico sommariamente descritto nelle pagine precedenti e dai grafici stessi, mostra come l'interpretazione di ciascuna misura, di temperatura o di quota del livello d'acqua, non è realizzabile neanche, diciamo così, dal punto di vista qualitativo in senso assoluto. Tanto meno dalle misure eseguite si può pretendere di risalire a valori del gradino geotermico, il cui concetto stesso, nei casi esaminati, sembra svanire addirittura.

I valori misurati acquistano però discreto significato, se sono riferiti alle reali condizioni del momento della misura opportunamente criticati anche dal punto di vista di equilibri termodinamici.

Il complesso dei dati raccolti insegna pertanto che anche in ricerche a carattere pratico del genere, allorché si debba procedere razionalmente nell'interpretazione dei fatti e fenomeni, non è lecito trascurare l'aspetto termodinamico dei problemi; volerlo ignorare o ritenerlo di regola subordinato equivale ad affidarsi al mero caso.

Roma — Istituto di Giacimenti Minerari e di Geologia Applicata dell'Università (Ingegneria) — Dicembre 1950.

(18) Per altre conclusioni, vedi nota di uno di noi ne «La Ricerca Scientifica» del 1950.

RIASSUNTO

Sulla base di una serie di diagrammi rilevati durante la perforazione di sei sondaggi profondi da alcune a varie centinaia di metri nel sottosuolo vulcanico dell'Isola d'Ischia e dei Campi Flegrei (Napoli), gli autori rilevano l'influenza dei fattori estranei sui valori che si ottengono, misurando la temperatura dell'acqua nei fori in sottosuoli acquiferi di accentuata termalità. Molti di questi fattori sono connessi alla « storia » del foro fino al momento della misura. Fra essi vanno considerati: « tubaggi » e loro grado di tenuta idraulica, « cementazione », immissione di acqua (per refrigerare utensile ed ambiente) ed ogni altra manovra che rimescoli più o meno l'acqua; forte influenza ha inoltre lo stato di chiusura o d'apertura della bocca del foro con la sua altezza rispetto al livello originario della falda idrica sotterranea.

Da alcuni dei diagrammi riportati si rileva la differenza fra la distribuzione delle temperature lungo la verticale del pozzo ultimato (o comunque approfondito e poi tubato totalmente o parzialmente) e la successione dei valori delle temperature riscontrate in precedenza durante l'avanzamento interrotto da periodi di stasi.

Anche il livello del pelo libero dell'acqua nel foro può risentire delle temperature regnanti e delle manovre proprie della tecnica della perforazione e di altri interventi dall'esterno. Per esempio, a foro chiuso mediante saracinesche, con « tubaggio » a discreta tenuta, con opportune temperatura e profondità originaria della falda e con favorevoli condizioni morfologiche e geologiche locali, il livello dell'acqua può innalzarsi gradualmente nel tempo fino a raggiungere anche la bocca del pozzo ed ivi restare, purché lasciato indisturbato; altrimenti possono aversi esplosioni ritmiche o erogazioni continue.

Gli autori concludono, perciò, col dare forte rilievo anche all'aspetto termodinamico dei problemi che si presentano durante lo sviluppo razionale di ricerche geominerarie del genere.

FORO IFV1

Ischia, località Fumarole (1).

Quota sul mare m 11,08. Iniziato il sondaggio il 5-6-1941 con sonda a rotazione e con circolazione d'acqua. Ultimato il 4-12-1941 alla profondità di m 283,40. Il foro si trova nelle seguenti condizioni: dal piano di campagna fino a m 24,50 è tubato con tubi da 305×289 . Tale tubazione non è cementata. Dal piano di campagna fino a m 110,40 il foro è tubato con tubi da 254×241 . Questi tubi sono cementati al piede. Infine, dal piano di campagna fino a m 241,11 è tubato con tubi da 152×141 . Tale tubazione non è cementata al piede. Da m 241,11 a 283,40 il foro è scoperto. Il giorno 6-2-1942 il foro esplose spontaneamente sia nella parte centrale che nell'intercapedine erogando un getto di acqua con vapore che continuava ancora il 9-9-1943. Vedi i diagrammi allegati (fig. 1 e fig. 2).

Storia del sondaggio.

Dal 5-6-41 al 21-6-41: avanzamento fino a m 33,90.

Dal 22-6-41 al 10-7-41: fermata per procedere alla tubazione del foro fino a m 24,50 con tubi da 305×289 .

Dall'11-7-41 al 2-8-41: in avanzamento fino a m 90,10.

Dal 3-8-41 al 7-8-41: fermata per procedere ad un rilievo termico (4-8) e alla ripulitura del foro.

Dall'8-8-41 al 12-8-41: in avanzamento fino a m 110,80.

Dal 13-8-41 al 2-9-41: fermata per procedere alla tubazione del foro con tubi da 254×211 e alla loro cementazione al piede. Si sono inoltre eseguiti alcuni rilievi termici (11-8). Il giorno 16, durante la cementazione della tubazione al fondo, si è avuta una esplosione del foro attraverso l'intercapedine fra i tubi da 305×289 e da 254×241 con getto di vapore. Tale esplosione fu arrestata immettendo acqua fredda e poi una miscela di cemento, silicato di sodio, calce e acqua.

Dal 3-9-41 al 4-12-41: in avanzamento fino ad ultimazione del foro a m 283,10.

Dal 5-12-41 al 10-12-41: immissione di acqua fredda al fondo del foro.

Dall'11-12-41 al 13-12-41: rilievi termici e del pelo libero.

Dal 13-12-41 al 21-12-41: immissione di acqua fredda nel foro e della tubazione da mm 152×141 fino a m 241,11.

Dal 22-12-41 al 23-1-42: immissione di acqua fredda.

Dal 24-1-42 al 6-2-42: prove termiche.

6-2-42: esplosione del foro nell'intercapedine e nella parte centrale.

Dal 6-2-42: in erogazione continua con portata di acqua 5-6 lt/sec.

(1) Vedi fig. 1 e 2 e tab. I della nota di F. PENTA, *Temperature nel sottosuolo della regione «flegrea»* in *Annali di Geofisica*, vol. II, pag. 328-316, 1949.

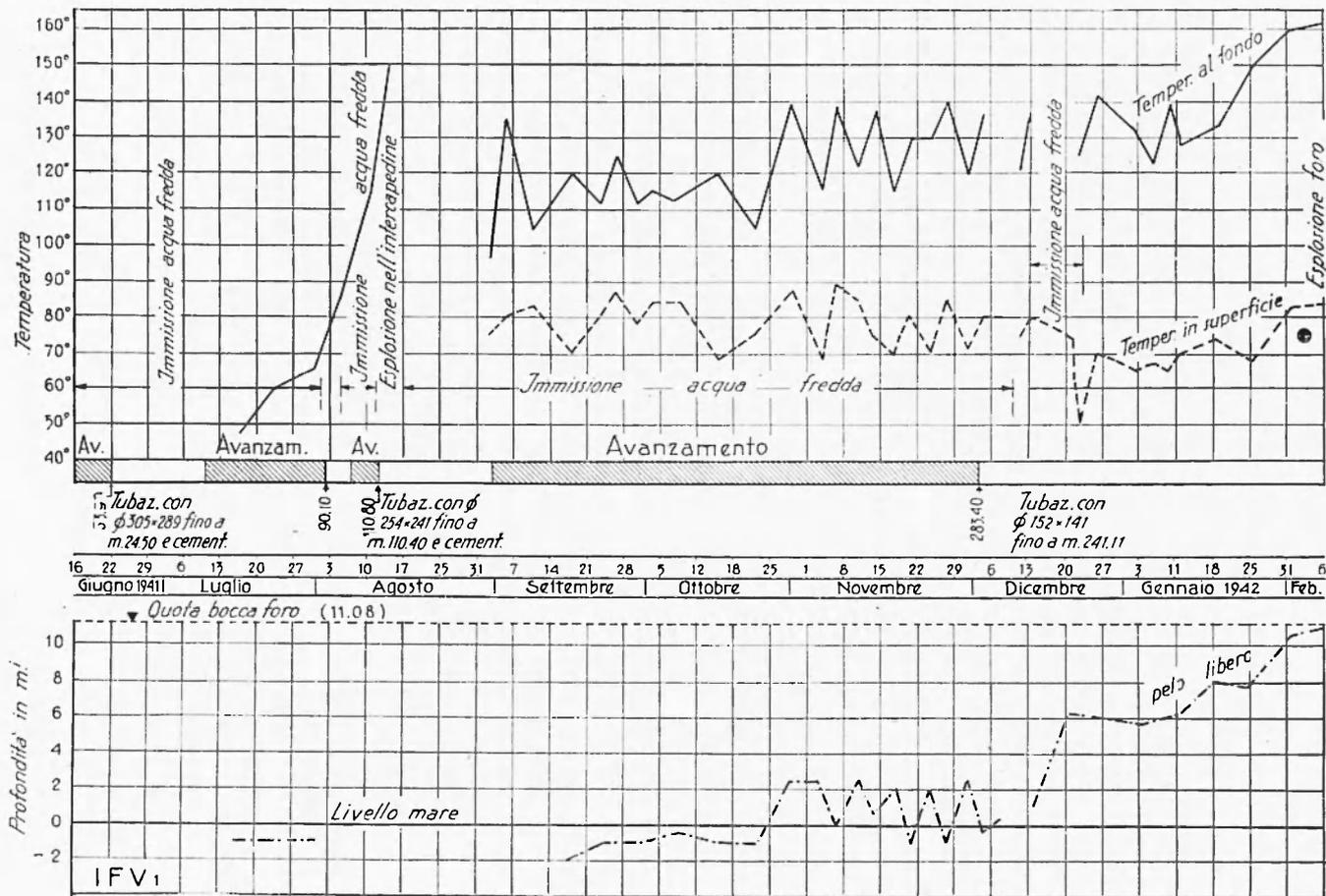


Fig. 1

Terreni attraversati

Fino a m 26,40 tufi di coerenza variabile con inclusi detriti vari di colore verdastro. Da m 26,40 a m 69,30 breccia vulcanica lavica costituita da detriti entro una massa tufacea verde-grigiastro di coerenza varia. Da m 69,30 a m 93: tufo grigio-chiaro con lieve tendenza al verde di aspetto, struttura e colore uniformi. Da m 93 a m 110 tufo breccioso violaceo con inclusi di natura varia, fra cui materiale argilificato. Da m 110 a m 263,40 tufo grigio chiaro tendente al verde, consistente, con considerevoli intercalazioni laviche e con pomici alterate. Da m 263 a 283,40 tufo breccioso verde-chiaro con inclusi vari.

Fig. 1 - Foro IFV1. *Variazioni della temperatura e del pelo libero dell'acqua durante l'approfondimento del sondaggio.*

Dai diagrammi si rileva fra l'altro: *a)* immediatamente all'inizio della perforazione la temperatura dell'acqua è elevata (dato che l'acqua fredda immessa nel foro è ancora poca) e coincide «grosso modo» con la temperatura della zona circostante rilevata mediante sondaggi esplorativi poco profondi; *b)* nonostante la immissione di acqua fredda nel foro, la temperatura aumenta con la profondità e, non appena viene sospesa la immissione di acqua fredda, la temperatura aumenta notevolmente fino a dar luogo ad una esplosione (16/8); *c)* l'immissione di acqua fredda nel foro per il resto dell'avanzamento provoca forti oscillazioni della temperatura; ciononostante, questa tende ad aumentare; *d)* ad ultimazione del foro ed al cessare dell'immissione dell'acqua fredda, la temperatura tende a crescere rapidamente fino a portare all'esplosione del foro; *e)* circa il pelo libero, si nota come, non appena cessata l'immissione di acqua fredda con le conseguenti oscillazioni, il livello dell'acqua, sale notevolmente con l'aumentare della temperatura. Ciò si osserva di regola ogni qualvolta (pure in fase di avanzamento) la temperatura dell'acqua aumenta sensibilmente.

Fig. 2 - Foro IFV1. *Distribuzione della temperatura lungo la verticale del foro in epoche diverse.*

L'andamento della temperatura del 4/8 (profondità del foro m 90,10, foro tubato fino a m 24,50), dopo un giorno che non veniva data acqua fredda, mostra delle anomalie dovute forse a difetto del termometro.

L'andamento della temperatura del 14 8 (profondità del foro m 110,80), rilevato durante la tubazione del foro e il giorno dopo in cui era stata data acqua fredda, mostra che alla profondità di 50-60 metri l'incremento con la profondità è più notevole e la temperatura al fondo del foro raggiunge 150°. Due giorni dopo, il foro esplose nell'intercapedine con getto di vapore che viene soffocato mediante immissione di acqua fredda prima e poi con una miscela di cemento e calce.

L'andamento delle temperature rilevate nei giorni 11-12-13 dicembre (profondità del foro m 283,40, foro tubato fino a m 110,40) mostra come il foro tenda a riscaldarsi non appena viene a cessare l'immissione di acqua fredda (10 dicembre). Inoltre, l'andamento delle tre curve, conferma il forte incremento delle temperature da circa 60 metri in giù, incremento che tende a cessare dalla profondità di 140 metri circa (per cui vedi anche diagramma del foro IFV2, distante da questo in esame di m 100 circa).

Le temperature dell'acqua a m 190 ed al fondo rilevate il 5/2/42, cioè il giorno prima dell'esplosione del foro, confermano che il foro, lasciato in quiete, si

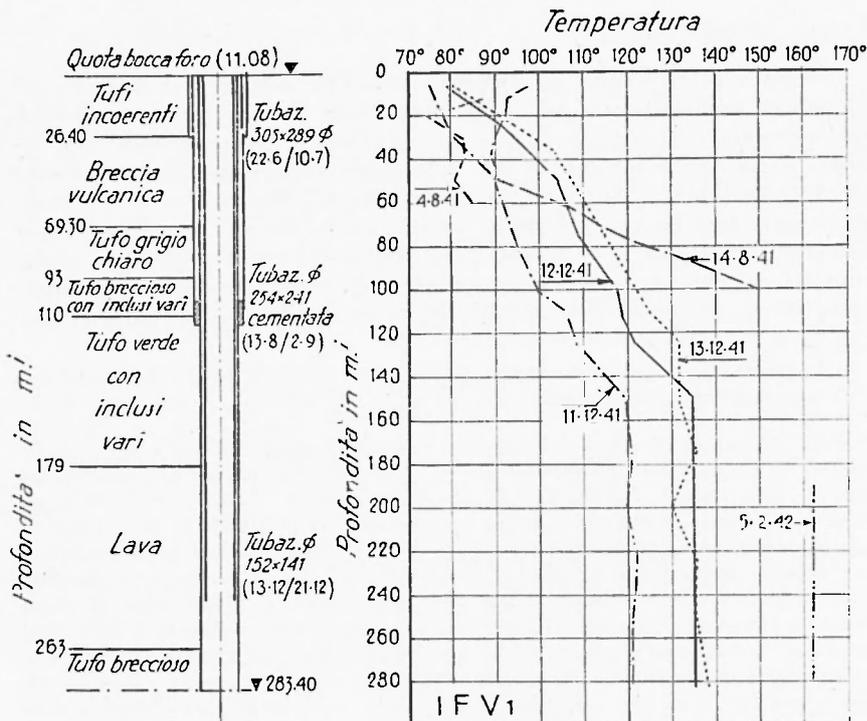


Fig. 2

riscalda ulteriormente e che da una certa profondità la temperatura permane quasi costante. Non furono misurate le temperature negli altri punti e perciò non si può avere un andamento preciso della temperatura lungo l'asse del foro.

FORO IFV2

Iscchia, località Fumarole (1).

Quota sul mare m 24,59. Iniziato il 22-4-1912 con sonda a rotazione e con circolazione d'acqua. Ultimato il 20-1-43 alla profondità di m 330. Il 5-5 il foro veniva ostruito con argilla e successivamente si iniziavano i lavori di ripulitura. A m 173 la sonda deviava dal vecchio foro e, raggiunti i 200 metri, l'8-6-43, si sospendeva l'avanzamento. Alla fine il foro risultava tubato con tubi Dalmine $\varnothing 254 \times 241$ fino alla profondità di m 155,30; da m 155,30 a m 200 era scoperto; da m 173 e fino a 200 m il vecchio foro era deviato. Vedi diagrammi delle figure 3-15.

(1) Vedi F. PENTA, *op. cit.*, figg. 1 e 2 e n. 15 della tab. I.

Storia del sondaggio.

- Dal 22-4-42 al 22-5-42: in avanzamento fino a m 60.
- Dal 23-5-42 al 2-6-42: fermata per immettere una tubazione provvisoria fino a m. 40.
- Dal 3-6-42 al 3-7-42: in avanzamento fino a m 160.
- Dal 4-7-42 al 9-8-42: fermata per togliere la tubazione provvisoria, tubare il foro fino a m 155,30 con tubi da 254×241 e cementare detta tubazione al piede.
- Dal 10-8-42 al 2-8-42: in avanzamento fino a m 197,50.
- Dal 25-8-42 al 15-9-42: fermata per eseguire alcuni rilievi termici e prove di alleggerimento del foro; le prove di svuotamento del foro con cucchiara furono eseguite il 7-9; le prove di alleggerimento con il carburo di calcio ed il serpente furono eseguite il 14-9, ma senza risultato.
- Dal 15-9-42 al 27-11-42: in avanzamento fino a m 301,50.
- Dal 28-11-42 al 9-1-43: fermata per eseguire rilievi termici e prove di alleggerimento del foro; il giorno 5-12 si sono eseguite prove di svuotamento del foro con la cucchiara; il giorno 6-12 si sono eseguite prove di alleggerimento con il carburo e il serpente, ma senza risultato.
- Dal 10-1-43 al 19-1-43: in avanzamento fino a m 330.
- Dal 20-1-43 al 4-3-43: fermata; il 2-2 si sono eseguite prove di svuotamento con cucchiara e prove di alleggerimento mediante serpente; durante tali prove il foro ha esploso con forte getto (alto 40 m) di acqua e vapore; l'esplosione, durata 15 minuti, è stata accompagnata da espulsione di materiale minuto compresi frammenti lavici. In seguito all'esplosione il foro si ostruì in parte.
- Dal 5-3-43 al 30-3-43: pulitura del foro.
- Dal 31-3-43 al 4-5-43: tubazione del foro con tubi da 216×203 fino a m 262,65; il giorno 14-4 si eseguivano prove di alleggerimento mediante serpente che non davano alcun risultato; veniva quindi tolta la tubazione da 216×203 ; il giorno 3-5 venivano eseguite prove di alleggerimento con serpente a seguito delle quali si ebbe una manifestazione esplosiva della durata di 20 minuti; presumendo dall'andamento della temperatura lungo l'asse del foro che questa non subisse ulteriori sensibili incrementi da m 200 in poi, i tecnici decisero di ostruire il foro da tale profondità in giù.
- Dal 5-5-43 al 9-9-43: ostruzione del foro con argilla; ripulitura del sondaggio; da m 173 deviazione della sonda dalla verticale del vecchio foro; avanzamento fino a m 200; il 3-8 venivano eseguite altre prove di alleggerimento che portavano ad una esplosione durata pochi minuti. Dopo di che la sonda veniva smontata ed il foro abbandonato.

* * *

Durante l'avanzamento il pelo libero si è mantenuto, pur con

lievi variazioni, al disopra del livello del mare, fino a quando il foro ha raggiunto la profondità di m 197,50. Dopo tale profondità il foro veniva tubato e cementato; durante l'avanzamento ulteriore il pelo libero si manteneva al disotto del livello del mare.

Terreni attraversati

Fino a m 23 tufi incoerenti con inclusi detriti lavici. Da m 23 a m 78: breccia vulcanica. Da m 78 a m 94 tufo grigio chiaro con lieve tendenza al verde, di aspetto, colore e struttura uniformi. Da m 94 a m 132 tufo breccioso con inclusi vari fra cui materiale argillificato. Da m 132 a m 330 tufo grigio chiaro tendente al verde, consistente, con intercalazioni di lave e con pomici alterate.

Fig. 3 - Foro IFV2. Variazioni della temperatura e del pelo libero dell'acqua durante gli approfondimenti e la sosta intermedia a 160 m.

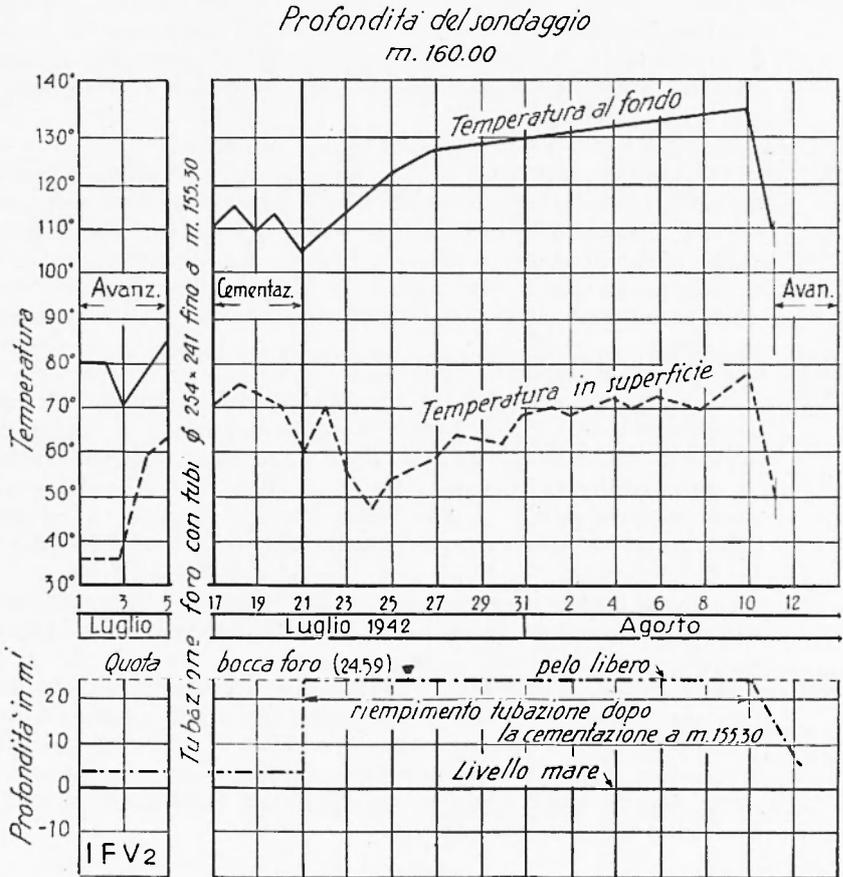


Fig. 3

I diagrammi indicano l'andamento della temperatura dell'acqua in superficie e al fondo del foro durante gli ultimi giorni dell'avanzamento con immissione dell'acqua fino a 160 m, durante il periodo in cui il foro venne lasciato in quiete e, infine, alla ripresa del lavoro di perforazione con immissione di acqua fredda. I valori delle temperature in superficie, dopo la cementazione, risentono del riempimento del foro fino alla bocca del pozzo con acqua fredda immessa per provare la presa del cemento al fondo del foro (m 155,30). Da notare come la temperatura al fondo risenta meno di tale immissione di acqua fredda.

Durante l'avanzamento il livello dell'acqua si era mantenuto al disopra del livello del mare, ma nel foro veniva immessa acqua fredda. Ancora 20 giorni dopo la cementazione del fondo del foro, l'acqua immessavi conservava il suo livello.

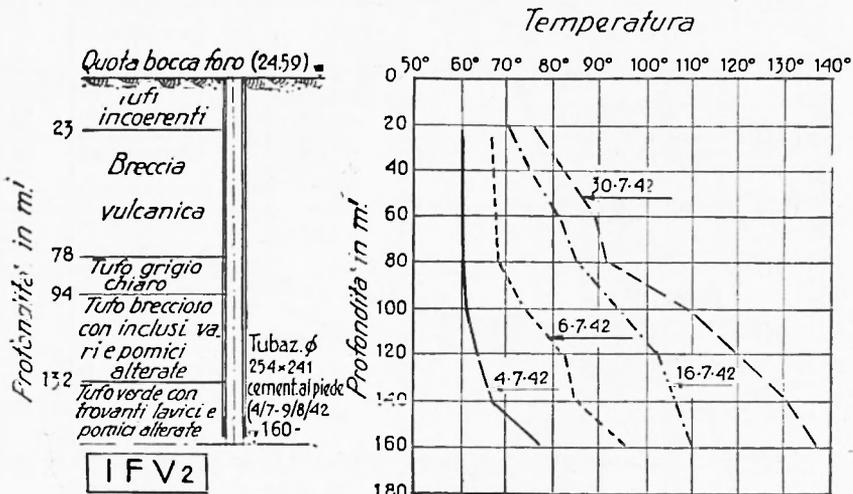


Fig. 4

Fig. 4 - Foro IFV2, profondo m 160. Distribuzione della temperatura lungo la verticale del foro.

Dai rilievi effettuati subito dopo la sospensione dell'avanzamento (accompagnato da immissione di acqua fredda) e nei giorni successivi si può notare come la temperatura dell'acqua vada aumentando. Si nota come l'aumento della temperatura non è uniforme con la profondità, ma subisce un maggiore incremento fra gli 80 e i 160 metri.

Fig. 5 - Foro IFV2. Variazioni della temperatura e del pelo libero dell'acqua durante l'approfondimento e la sosta a m 197,50.

Dall'andamento della temperatura dell'acqua in superficie e al fondo si può notare come, allorché viene a cessare l'immissione di acqua fredda nel foro, la temperatura subisce un incremento abbastanza rapido al fondo. L'abbassamento di temperatura al fondo del foro che si nota il 7/9/1943 è forse dovuto a prove di svuotamento del foro con cucchiaini. Il pelo libero, che prima della cementazione del 20/8 si era mantenuto, durante l'avanzamento, al disopra del livello del mare e, dopo la cementazione e sempre in fase di lavorazione, si trovava al di-

*Profondità del sondaggio
m. 197.50*

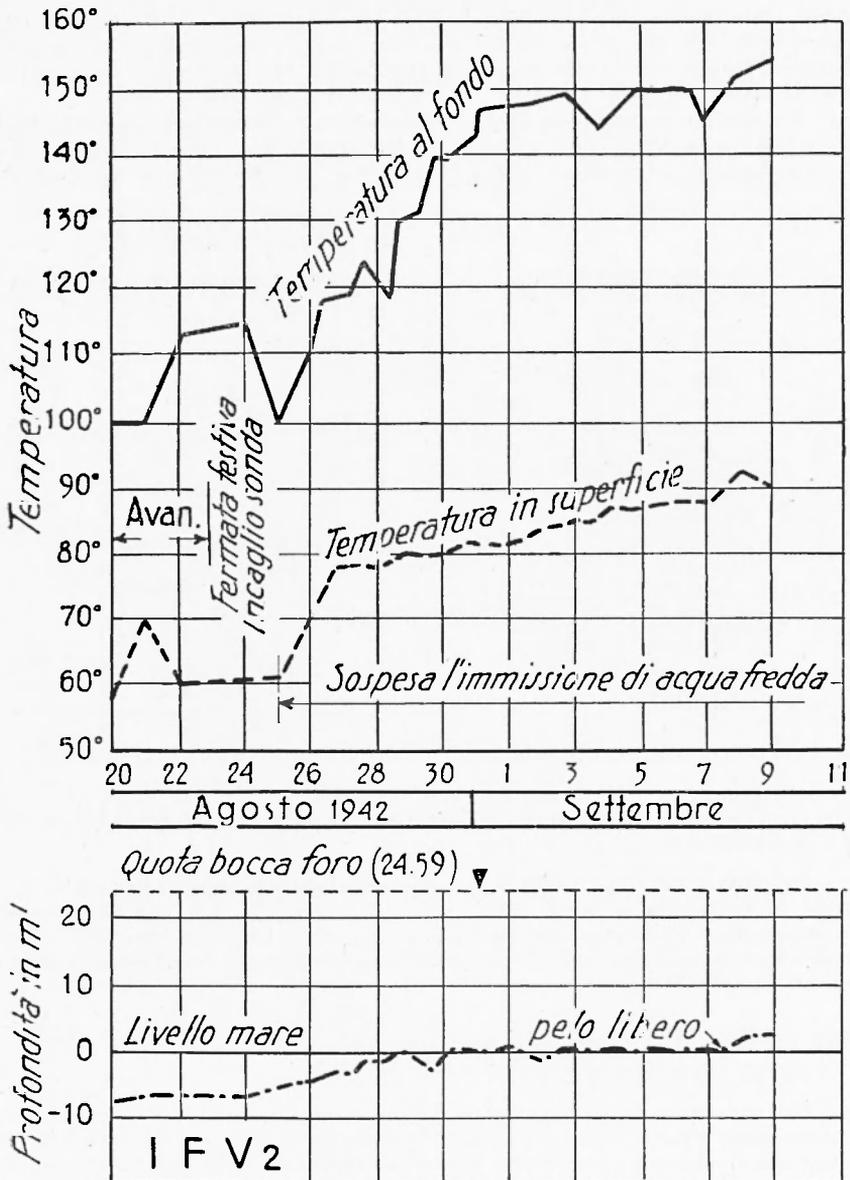


Fig. 5

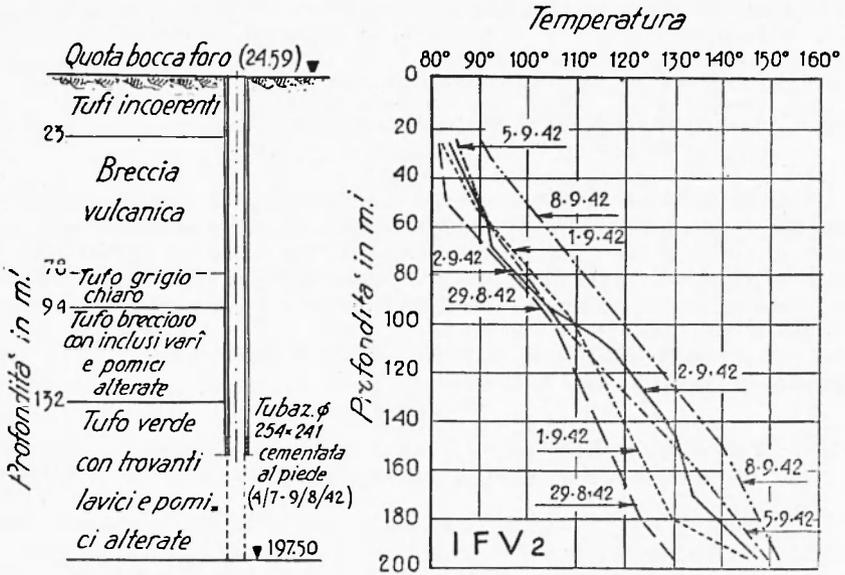


Fig. 6

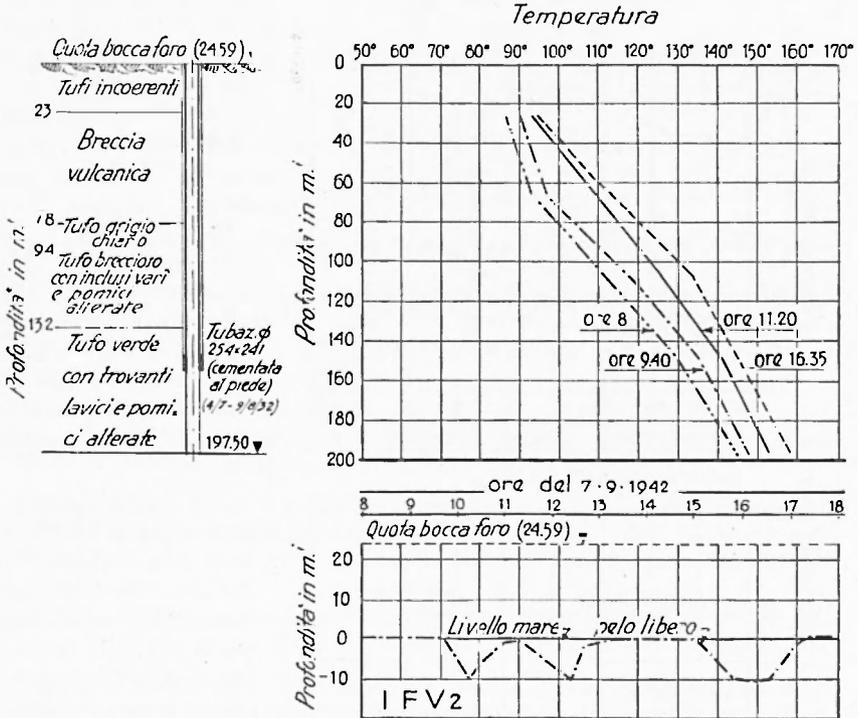


Fig. 7

sotto del livello del mare, tendeva poi a ritornare al livello del mare allorché il foro fu lasciato in quiete dal 24/8 all'8/9. Le variazioni sono dovute, forse, in gran parte alle manovre del sondaggio.

Fig. 6 - Foro IFV2, profondo m 197,50. *Distribuzione della temperatura lungo la verticale del foro.*

Dai rilievi effettuati lungo il foro nei giorni successivi alla fermata dell'avanzamento si nota che l'andamento della temperatura si mantiene, praticamente, lo stesso di quello già osservato precedentemente (v. fig. 4); la temperatura subisce un forte incremento in corrispondenza degli 80-100 metri di profondità e continua ad aumentare con la profondità. I risultati del rilievo termico effettuato l'8/9 diversificano da quelli dei giorni precedenti, forse perché il giorno precedente erano state eseguite delle prove di svuotamento parziale del foro (v. fig. 7) con conseguente rimescolamento dell'acqua.

Fig. 7 - Foro IFV2, profondo m. 197,50. *Distribuzione della temperatura lungo la verticale durante alcune prove di svuotamento parziale del foro (7/9/1942).*

Gli effetti dello svuotamento (massimo 10 metri di colonna d'acqua) sono espressi dal diagramma del livello del pelo libero. Dai rilievi termici si può notare: a) la temperatura dell'acqua tende ad aumentare man mano che si toglie acqua dal foro; b) la brusca variazione dell'incremento fra 80 e 100 metri tende a diminuire con l'edurre acqua dal foro forse anche a causa del rimescolamento dell'acqua che, con le manovre, certamente si prova.

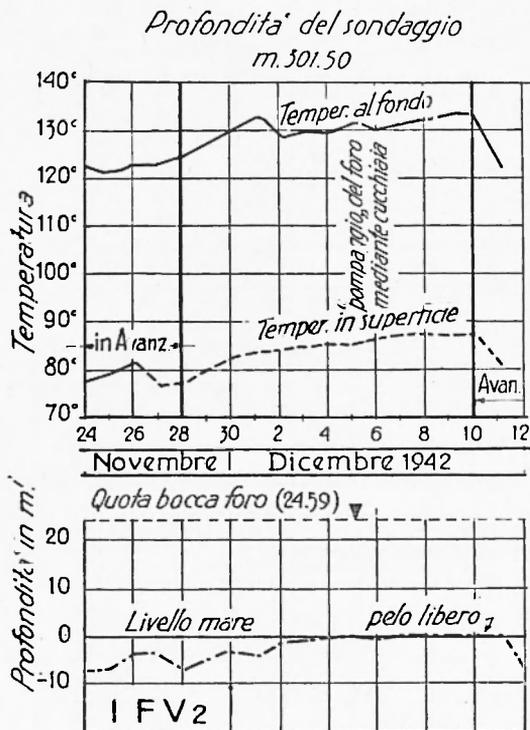


Fig. 8

Il diagramma in basso mostra come il pelo libero tenda a ritornare alla sua posizione normale dopo ogni prova di svuotamento con la cucchiara. Lo afflusso di acqua risulta in ragione media di circa 0,5 m³/ora.

Fig. 8 - Foro IFV2. *Variazioni della temperatura e del pelo libero dell'acqua durante gli approfondimenti e la sosta intermedia a m 301,50, con relative prove di svuotamento.*

Fig. 9 - Foro IFV2, profondo m 330,50. *Variazioni della temperatura e del pelo libero dell'acqua.*

Si nota come le prove di svuotamento parziale del foro effettuato il giorno 23/2/13 abbiano portato un abbassamento del pelo libero, che ha ripreso però

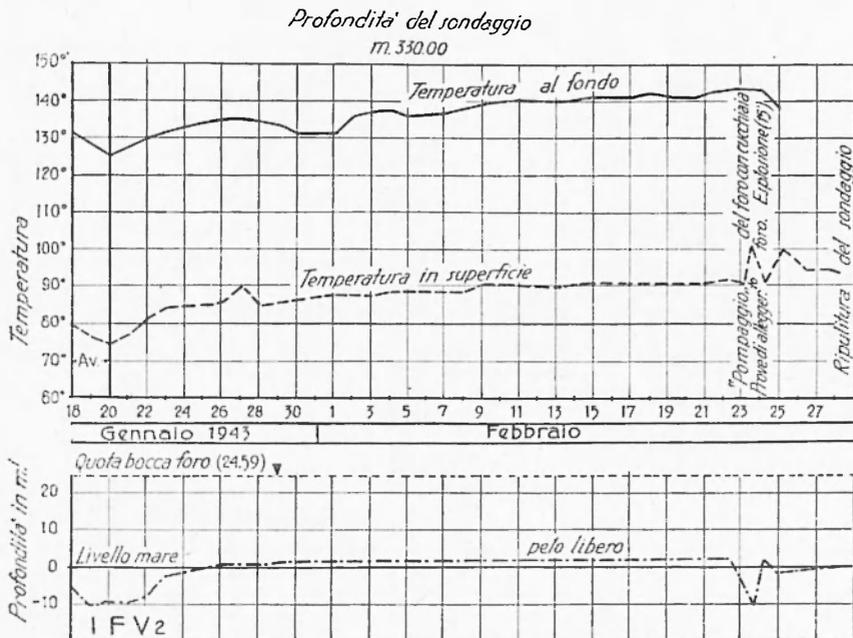


Fig. 9

la sua posizione normale, ed un aumento temporaneo della temperatura dell'acqua in superficie.

Le prove di alleggerimento con « serpente » del giorno 24 e la conseguente esplosione hanno provocato una diminuzione della temperatura al fondo; temperatura al fondo che nei giorni successivi non è stata misurata a causa del « rifranto » del foro.

Fig. 10 - Foro IFV2, profondo 330 m. *Distribuzione della temperatura dell'acqua lungo la verticale del foro.*

I rilievi termici lungo l'asse del foro mostrano un sensibile rallentamento dell'incremento di temperatura a partire dai 160 metri di profondità. Confronta però con la fig. 6.

Fig. 11 - Foro IFV2, profondo m 330. *Variazioni della temperatura e del pelo libero dell'acqua in seguito alle « manovre » di ripulitura e di alleggerimento.*

Dopo aver lasciato il foro in quiete per qualche giorno e dopo la posa della tubazione fino a 262 metri, con la ripulitura del foro si riporta il pelo libero alla posizione mantenuta durante l'avanzamento; la temperatura dell'acqua risulta

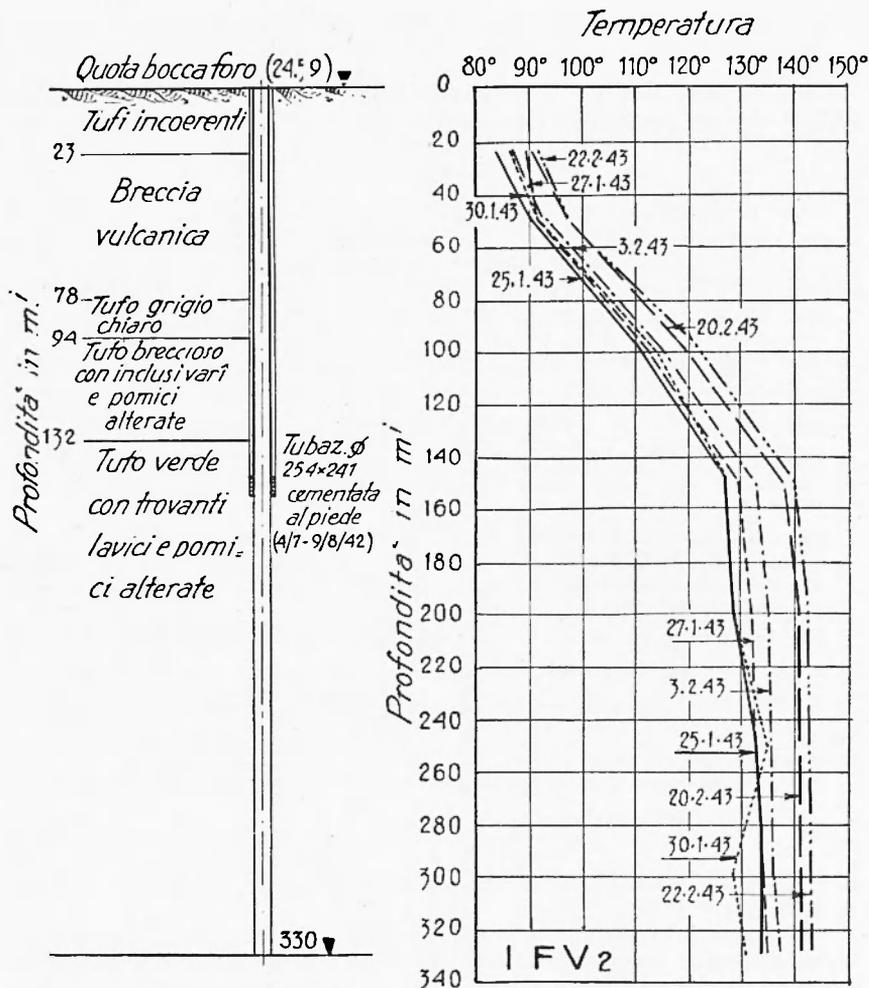


Fig. 10

invece un pò abbassata (v. fig. 10). I tentativi di alleggerimento mediante « serpente » del 16/4 hanno solo momentaneamente elevato la temperatura in superficie ed hanno provocato un lieve innalzamento del pelo libero dell'acqua. Con le prove di alleggerimento del foro del giorno 3/5 che hanno provocato un'esplosione del foro della durata di 20 minuti, si è avuto un temporaneo abbassamento del pelo libero e del valore della temperatura.

Fig. 12 - Foro IFV2, profondo m 330. Distribuzione della temperatura lungo la verticale del foro prima e dopo una « esplosione » artificialmente provocata.

Dei quattro rilievi termici, due si riferiscono a misure effettuate prima e dopo le prove di alleggerimento non riuscite del 16/4, e quando il foro era tubato fino alla profondità di 262 metri. Gli altri due si riferiscono a misure effettuate prima

e dopo l'esplosione del foro del 3/5 e quando il foro era tubato soltanto fino a 155 metri.

Dalle curve si può rilevare: a) le prove di alleggerimento del 16/4, che non produssero esplosioni, provocarono un elevamento della temperatura dell'acqua nella parte superficiale del foro; b) le prove di alleggerimento del 3/5 che provoca-

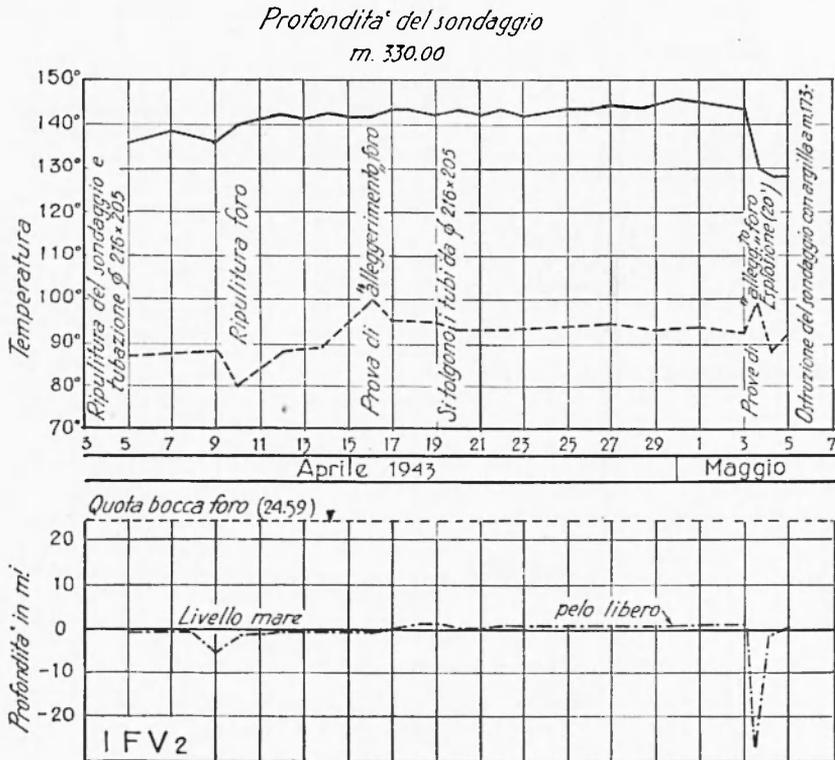


Fig. 11

rono una esplosione, fecero diminuire la temperatura del foro. Specie i rilievi eseguiti prima delle prove di alleggerimento (prove che, già in se stesse, hanno influenzato l'andamento della temperatura) confermano l'andamento della temperatura con la profondità notato in precedenza (v. fig. 10).

Fig. 13 - Foro IFV2, profondo m. 200. *Variazioni della temperatura e del pelo libero dell'acqua dopo il riempimento del foro fino a m. 173.*

Dopo tolta la seconda tubazione, che arrivava a 262 metri, e dopo ostruito il foro con argilla fino a 173 m, si perforò di nuovo fino a raggiungere (con la sonda deviata dal vecchio foro ostruito) la profondità di m. 200.

L'andamento della temperatura in superficie e al fondo (m. 200) durante l'avanzamento e durante la fermata è identico a quello riscontrato precedentemente.

È da notare che il pelo libero, anche nel periodo in cui il foro è in quiete, si mantiene al disotto del livello del mare, né accenna a riprendere la quota precedente di qualche metro al disopra del livello del mare (v. per es. fig. 9).

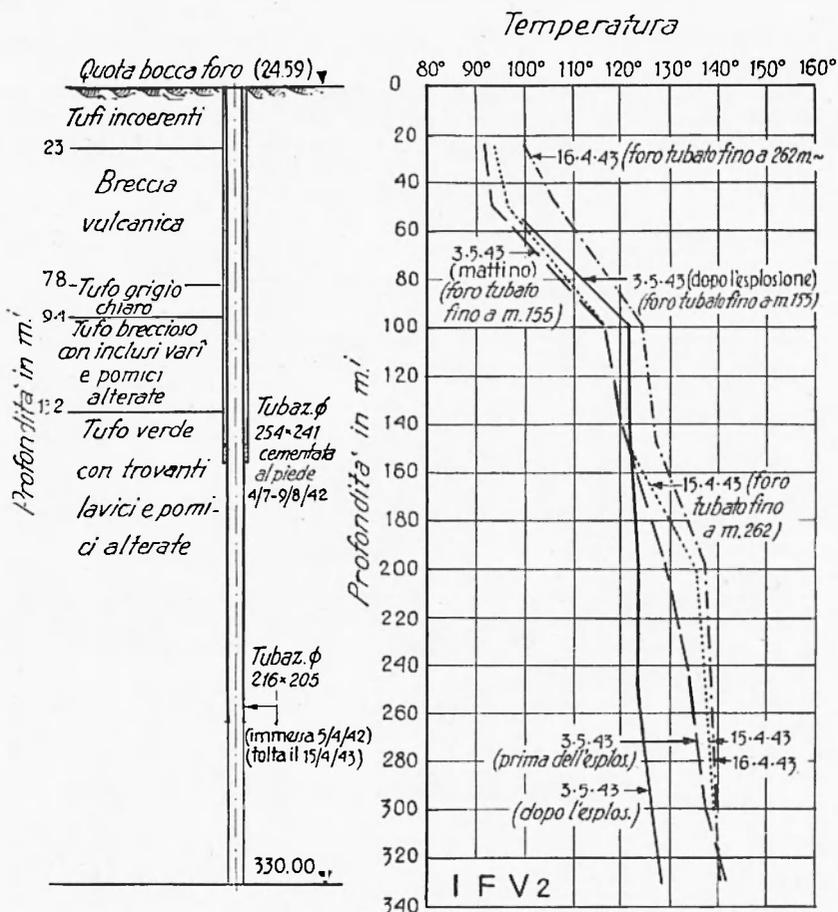


Fig. 12

Fig. 14 - Foro IFV2, profondo m 200. Distribuzione della temperatura lungo la verticale del foro in epoche diverse dopo il riempimento del foro fino a m 173 e successivo approfondimento.

I rilievi termici furono eseguiti lungo il foro durante l'avanzamento (10/5/13, dopo le prove di esplosione e il riempimento del foro con argilla fino a 173 metri) e dopo che il foro, raggiunta nuovamente la profondità di m 200, venne lasciato in quiete. Il rilievo eseguito il 3/8/43 corrisponde al giorno successivo ad alcune prove di alleggerimento che dettero luogo ad un'esplosione con erogazione di pochi minuti.

Si nota come la temperatura sia andata crescendo durante il riposo del sondaggio e come l'incremento della temperatura con la profondità seguiti a confermare un rallentamento, se non un arresto, dell'incremento di temperatura a partire dalla profondità di 150-160 m circa, profondità alla quale si spinge però la tubazione metallica.

Fig. 15 - Foro IFV2, profondo m. 200. Distribuzione della temperatura lungo la verticale del foro prima e dopo prove di «alleggerimento» (2/8/43).

L'esplosione con l'erogazione perdurata pochi minuti ha portato, da una parte, un innalzamento della temperatura nelle zone più superficiali per rimescolamento dell'acqua e, dall'altra, un abbassamento delle temperature al fondo forse per richiamo nel foro di acqua più fredda.

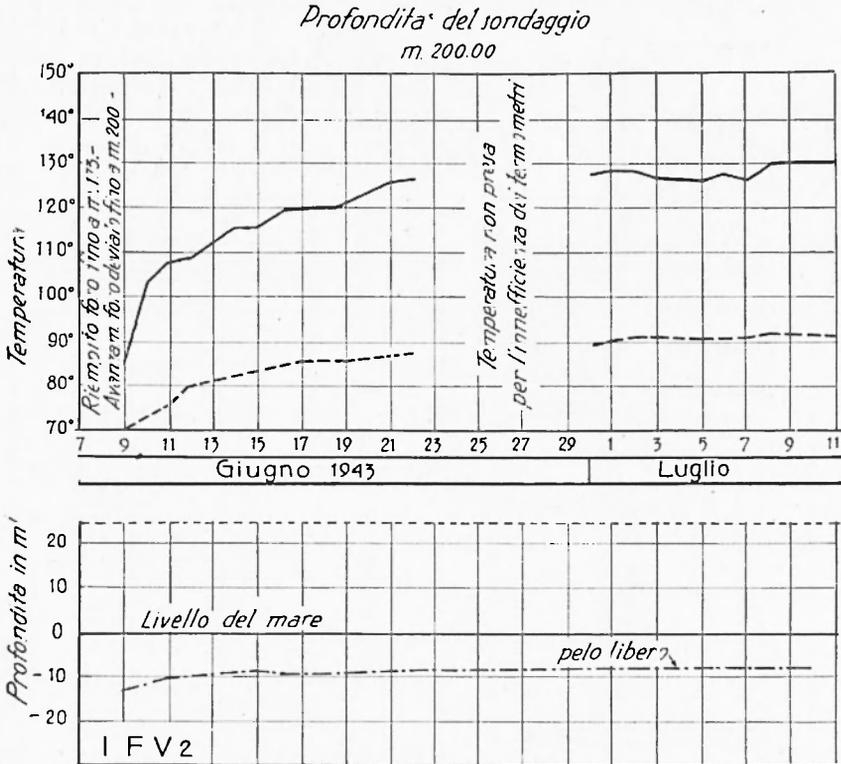


Fig. 13

FORO ICV1

Ischia, località Cetara (1)

Quota sul mare m 81,52. Iniziato il 16-3-40 con sonda a rotazione e circolazione d'acqua. Ultimato il 12-4-41 a m 290. Il foro fu rivestito con tubi $\varnothing 254 \times 241$ fino a m 119. Tale tubazione è cementata al piede. Tubazione 216×203 dal piano di campagna a m 231,90, anche essa cementata al piede. Da m 231,90 a m 290 il foro è scoperto. Vedi diagramma della fig. 16.

(1) Vedi F. PENTA, *op. cit.*, fig. 1 e n. 1 della fig. 2 e della tab. III.

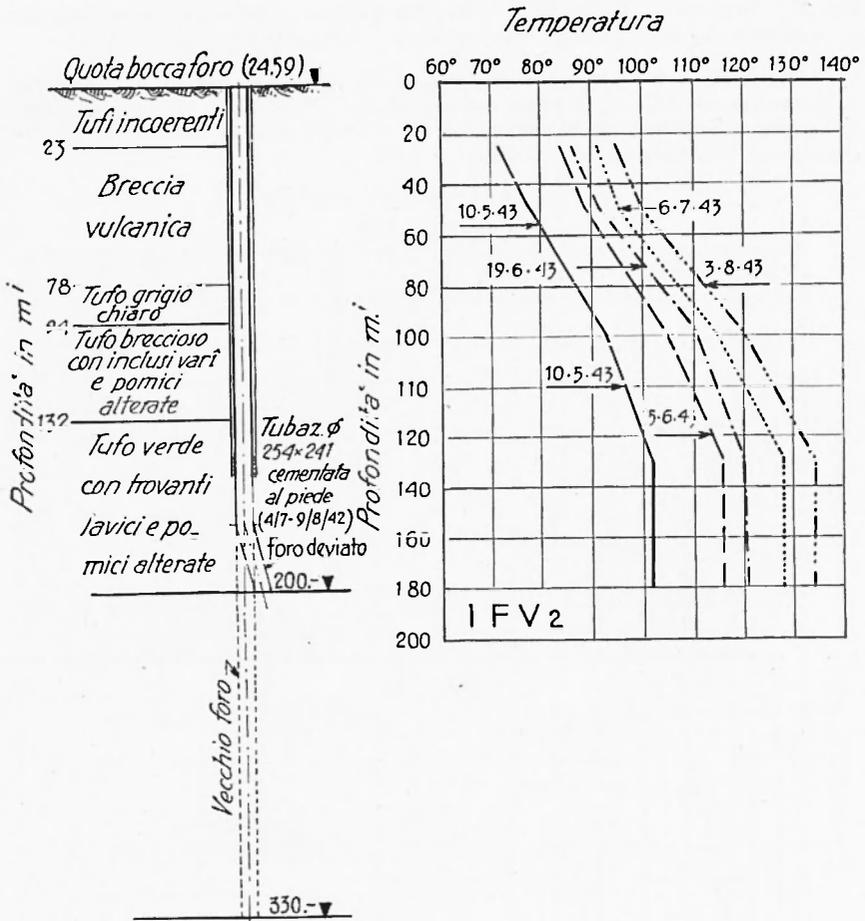


Fig. 14

Storia del sondaggio.

Dal 16-3-40 al 26-4-40: in avanzamento fino a m 121.

Dal 27-4-40 al 2-5-40: fermata, tubazione con tubi da $\varnothing 254 \times 241$ fino a m 119.

Dal 3-5-1940 al 5-5-1940: in avanzamento fino a m 127,40.

Dal 6-5-1940 al 26-6-1940: fermata per procedere alla cementazione dei tubi da 254×241 e alla osservazione del foro.

Dal 27-6-40 all'1-8-40: in avanzamento fino a m 221.

Dal 2-8-40 al 5-8-40: fermata per attendere l'arrivo di un tagliatore più piccolo.

Dal 6-8-40 al 10-8-40: in avanzamento fino a m 229,30.

- Dall'11-8-40 al 22-10-40: fermata per recuperare la sonda « incagliata » al fondo.
 - Dal 23-10-40 al 28-10-40: in avanzamento fino a m 237.
 - Dal 29-10-40 al 15-11-40: fermata per guasto alla pompa.
 - Dal 16-11-40 al 18-11-40: in avanzamento fino a m 240.
 - Dal 19-11-40 all'1-1-41: fermata per procedere alla tubazione con tubi da ϕ 216 \times 203 fino a metri 231,90 e cementazione dei tubi al fondo.
 - Dal 2-1-41 al 24-1-41: in avanzamento fino a m 264,05.
 - Dal 24-1-41 al 28-3-41: fermata per recuperare la sonda.
 - Dal 29-3-41 al 12-4-41: in avanzamento fino a m 290.
- Dopo ultimato, il foro è stato tenuto in osservazione.

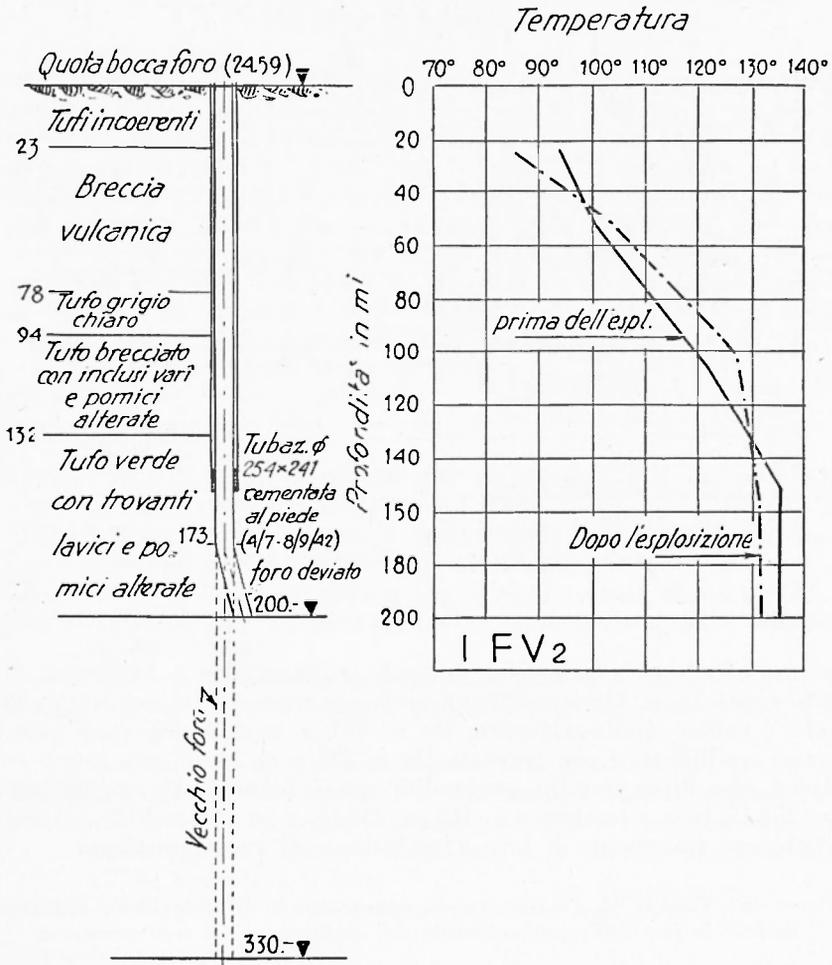


Fig. 15

Nei giorni 23 e 24 gennaio 1942 si sono effettuate alcune prove infruttuose di alleggerimento del foro mediante « serpente ». Altre prove effettuate nei giorni 5 e 6-2 non dettero alcuna erogazione.

Terreni attraversati

Fino a m 32 materiale vulcanico detritico incoerente. Da m 32 a m 45 tufo giallo compatto. Da m 45 a m 91,60 tufo di colore giallo,

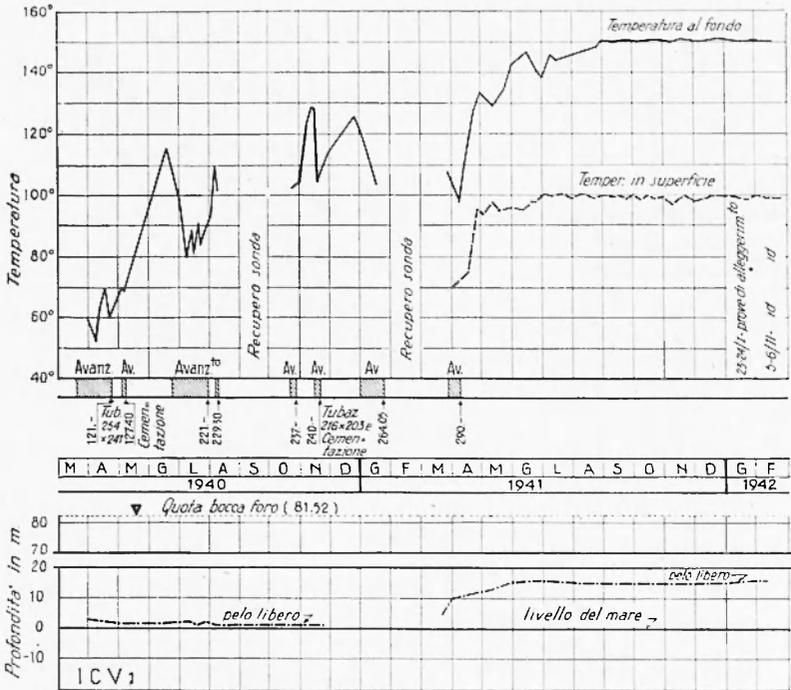


Fig. 16

poroso con grosse pomice alterate (tufo di Cetara). Da m 91,60 a m 116 tufo verde. Da m 116 a m 121 tufo verde con trovanti. Da m 121 a m 131 tufo e sabbie giallo-grigiastre. Da m 131 a m 228 tufo verde più o meno argillificati e con trovanti. Da m 228 a m 246,95 tufo grigio-verdastri che divengono in profondità quasi bianchi. Da m 246,95 a m 254,15 lava « trachitica ». Da m 254,15 a m 290 sabbie grigie e gialle con frammenti di lava « trachitica » di varia grandezza.

Figura 16 - Foro ICV1. Variazioni della temperatura e del pelo libero dell'acqua durante la fase dell'approfondimento del sondaggio e nei mesi successivi.

Dall'andamento della temperatura al fondo del foro si deduce: a) la temperatura aumenta gradatamente con la profondità; b) durante l'avanzamento, allorché

nel foro viene immessa acqua fredda, la temperatura è più bassa che durante le fermate. Allorché infatti l'avanzamento viene sospeso, la temperatura tende a portarsi rapidamente al massimo valore; c) dopo l'ultimazione del foro la temperatura raggiunge i 150°C e mantiene costantemente tale valore.

Per quanto riguarda l'andamento della temperatura in superficie si constata che, a foro ultimato, essa tende a raggiungere e quindi a mantenersi costantemente a 100°C.

Il pelo libero dell'acqua, che durante la fase dell'avanzamento si mantiene poco al disopra del livello del mare, a foro ultimato si porta a 15 metri sul livello del mare per ivi mantenersi definitivamente.

FORO CLV7

Campi Flegrei, località Mofete (1)

Quota sul mare m 52,90. Iniziato l'8 luglio 1939 con sonda a rotazione e con circolazione d'acqua. Ultimato il 10-2-42 alla profondità di m 585,50. Il foro fu tubato con tubazione $\varnothing 394 \times 378$ dal piano di campagna fino a m 124,20. Tale tubazione è cementata al fondo. Tubazione $\varnothing 343 \times 321$ dal piano di campagna fino a m 183,25. Tubazione $\varnothing 216 \times 203$ dal piano di campagna fino a m 266,65. Tubazione $\varnothing 178 \times 160$ da m 216,85 a m 367. Tubazione $\varnothing 152 \times 141$ da m 308,10 a m 449. Tubazione $\varnothing 121 \times 111$ da m 413 a m 542,90. Da m 542,90 a m 585,50 il foro è scoperto. Dal giorno 7-4-42 al giorno 5-8-42 il foro è stato in erogazione di acqua e vapore.

Vedi diagramma delle figure 17-19.

Storia del sondaggio

Dall'8-7-39 all'8-9-39: in avanzamento fino a m 135, a tale profondità la sonda rimaneva incagliata al fondo.

Dall'8-9-39 al 12-10-39: fermata per recuperare la sonda e tubare il foro con $\varnothing 394 \times 378$ fino a m 124,20.

Dal 13-10-39 al 14-10-39: pulizia foro e avanzamento fino a m 137.

Dal 15-10-39 al 9-11-39: fermata per la cementazione della tubazione da 394×378 .

Dal 10-11-39 al 12-2-40: in avanzamento fino a m 238,70.

Dal 13-2-40 al 28-2-40: fermata per tubare il foro con $\varnothing 343 \times 321$ fino a m 183,25.

Dal 29-2-40 al 14-3-40: in avanzamento fino a m 272,60.

Dal 15-3-40 al 27-8-40: fermata; la mattina del 15-3 si inchiodava al fondo la sonda; si cercava di allargare il foro con altra sonda, ma anche questa rimaneva inchiodata a m 183,60; pertanto da m 177,50 si deviava il foro.

Dal 28-8-40 al 19-10-40: in avanzamento fino a m 266.

(1) Vedi F. PENTA, *op. cit.*, fig. 1 e n. 4 della fig. 6 e della tab. V.

- Dal 20-10-40 al 2-11-40: fermata per tubare il foro con $\varnothing 216 \times 203$ dal piano di campagna fino a m 266,65.
- Dal 3-11-40 al 23-1-41: in avanzamento fino a m 374.
- Dal 24-1-41 al 13-2-41: fermata per tubare il foro con $\varnothing 178 \times 160$ da m 216,85 a m 367.
- Dal 14-2-41 al 17-4-41: in avanzamento fino a m 449.
- Dal 18-4-41 al 25-4-41: fermata per tubare il foro con $\varnothing 152 \times 141$ da m 308,10 a m 449.
- Dal 26-4-41 al 7-6-41: in avanzamento fino a m 528.
- Dall' 8-6-41 al 16-6-41: fermata per recuperare la sonda incagliatasi al fondo.
- Dal 17-6-41 al 20-6-41: in avanzamento fino a m 533.
- Dal 21-6-41 al 7-7-41: fermata per guasti nel motore e nell'argano.
- Dall' 8-7-41 al 17-7-41: in avanzamento fino a m 545.
- Dal 18-7-41 al 2-8-41: fermata per tubare il foro con $\varnothing 121 \times 111$ da m 413 a m 542,90.
- Dal 3-8-41 al 27-8-41: in avanzamento fino a m 584,80.
- Dal 28-8-41 al 9-2-42: fermata per recuperare la sonda che si era incagliata al fondo.
- Il 10-2-42: in avanzamento fino a m 585,50: nello stesso giorno a tale profondità, la sonda si incagliava al fondo; pertanto il foro veniva sospeso e si considerava ultimato.
- Dall' 11-2-42 al 7-3-42: è stata immessa acqua fredda nel foro.
- Dall' 8-3-42 al 7-4-42: il foro è stato tenuto in osservazione.
- Il 7-4-42: in seguito a manovra di alleggerimento con serpente il foro esplose con getto di acqua e vapore di portata di 9 l/sec; tale erogazione è durata, con portata via via decrescente, fino al 5-8-42 epoca in cui cessò.

Sulle cause della cessazione dell'erogazione dopo 4 mesi, non si hanno dati concreti. Se si scarta l'ipotesi di un raffreddamento del foro (la temperatura presa lungo la verticale del foro il giorno successivo alla cessazione della erogazione, non si discosta molto dalla temperatura presa nei giorni precedente all'esplosione) la ipotesi più plausibile è quella di un eventuale occlusione del foro. A conferma di ciò è il fatto che la portata era andata diminuendo nel tempo.

Terreni attraversati.

Fino a m 12,50 pozzolana e prodotti piroclastici in genere. Da m 12,50 a m 115 tufi verdi con piccole pomici. Da m 115 a m 135 tufi grigi coerenti. Da m 135 a m 147 sabbia vulcanica. Da m 147 a m 270 tufi grigi coerenti. Da m 270 a m 373 formazione di vulcanite argillificata. Da m 373 a m 419 lava « trachitica ». Da m 419 a m 430 tufo grigio coerente. A m 430 incluso di arenaria a cemento calcitico. Da m 430 a m 518 tufi grigi coerenti. Da m 518 a m 537 lava « trachitica ». Da m 537 a m 584 tufi grigi coerenti.

Fig. 17 - Foro CLV7. *Variazioni della temperatura e del pelo libero dell'acqua durante l'approfondimento del sondaggio.*

Nonostante le forti oscillazioni della temperatura causate da maggiori quantitativi di acqua fredda immessa (o per ingigire le tubazioni o perché in fase di avanzamento più rapido, o anche perché in fase di attraversamento di terreni molto duri), si nota come la temperatura sia andata aumentando con la profondità fino a m 135, da m 135 a m 200 circa ci sia stato un arresto nell'incremento della temperatura (e quindi una diminuzione della temperatura stessa durante l'avanzamen-

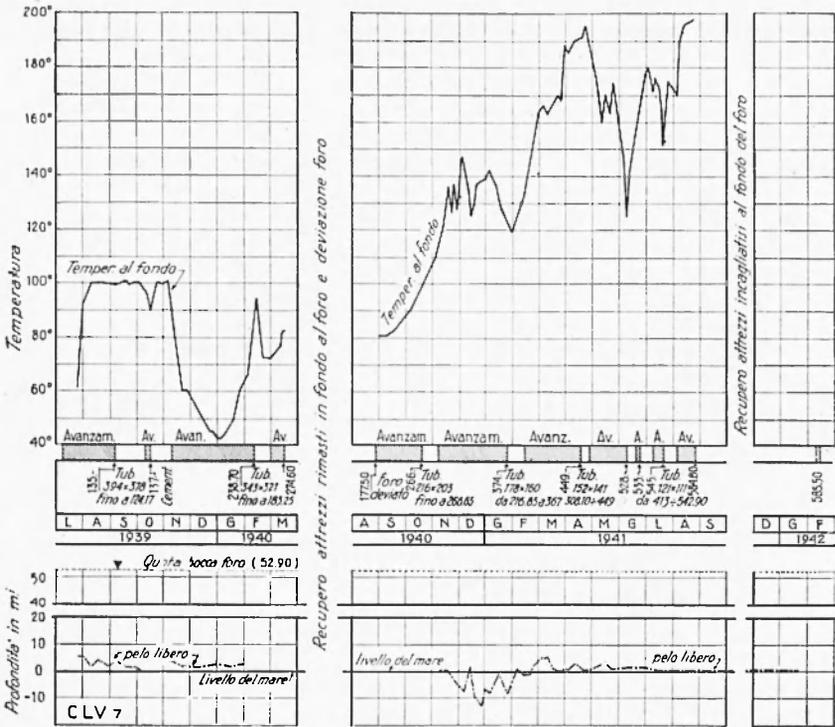


Fig. 17

to), da m 270 (inizio della formazione argillificata) la temperatura sia di nuovo andata aumentando rapidamente per mantenersi poi quasi costante dalla fine della formazione di vulcanite argillificata (m 373) fino a m 530 circa, ed infine come da tale profondità in giù sia andata di nuovo aumentando.

Il pelo libero, pur oscillando, si mantiene sopra il livello del mare.

Fig. 18 - Foro CLV7. Variazioni della temperatura e del pelo libero dell'acqua dopo l'ultimazione del sondaggio.

Per quanto riguarda la temperatura si può osservare: a) appena il foro viene ultimato e non viene ulteriormente data acqua fredda al fondo, la temperatura al fondo aumenta rapidamente per portarsi a un massimo che non viene poi più rag-

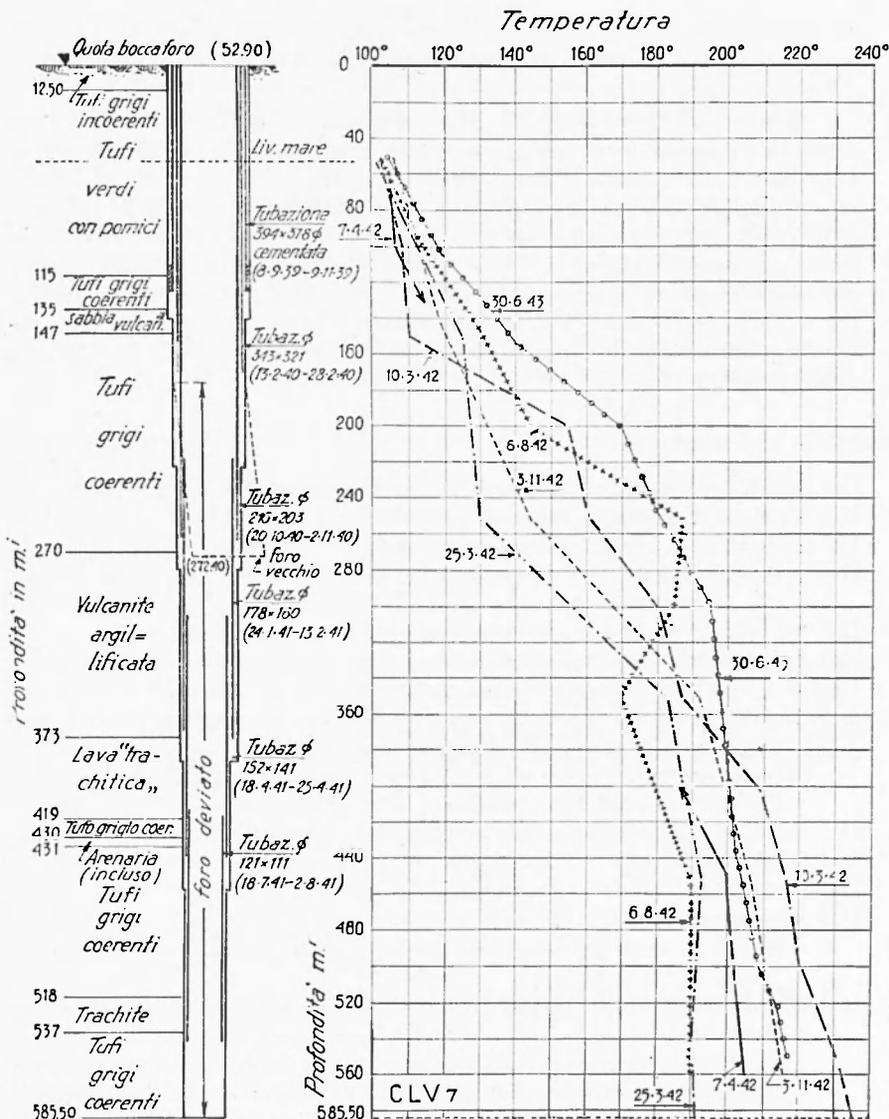


Fig. 19

Fig. 19 - Foro CLV7, profondo m 585,50. Distribuzione della temperatura lungo la verticale del foro in epoche diverse.

I diagrammi mostrano la distribuzione delle temperature nell'interno del foro, a sondaggio ultimato, prima e dopo l'erogazione di acqua e vapore durata dal 7/4/42 al 5/8/42.

FORO CLV17

Campi Flegrei, località Mofete (1)

Quota sul mare m 80,89. Il sondaggio fu iniziato il 5-8-42 con sonda a percussione e con circolazione d'acqua. Terminato il 24-4-43 a m 521,70. Il foro fu tubato con una prima tubazione per m 204,70 (tubi da 394×378 per m 31,93 e tubi rinforzati da 390×365 per m 172,77). Detta tubazione fu cementata al piede. Una seconda tubazione più interna (tubi da 305×289 per m 27,68 e tubi da 254×241 per m 330,70) arrivava fino a m 357,75 ed era pure cementata al piede. Da m 357,75 il foro era scoperto. Da m 360 il foro era franato. Al 9-9-43 con i lavori di ripulitura il foro era a m 365. Vedi diagrammi delle figure 20-28.

Storia del sondaggio.

Dal 5-8-42 al 22-9-42: in avanzamento fino a m 181.

Dal 23-9-42 al 30-9-42: fermata per alcune osservazioni.

Dal 1-10-42 al 3-10-42: avanzamento fino a m 207,10.

Dal 4-10-42 all'8-11-42: fermata per tubare il foro fino a m 204,70 e « cementare » la tubazione al fondo.

Dal 9-11-42 al 30-12-42: in avanzamento fino a m 401-80.

Dal 31-12-42 al 7-1-43: fermata per eseguire alcuni rilievi termici.

Dall'8-1-43 al 19-1-43: in avanzamento fino a m 433,70.

Dal 20-1-43 al 3-3-43: fermata per eseguire alcuni rilievi termici e per procedere a prove di alleggerimento del foro; il giorno 4-2 si sono eseguite prove di svuotatura e il giorno 20-2 si è tentata l'esplosione del foro mediante il « serpente ».

Dal 4-3-43 al 6-4-43: in avanzamento fino a m 519,20.

Dal 7-4-43 al 20-4-43: fermata per eseguire alcuni rilievi termici.

Dal 21-4-43 al 24-4-43: in avanzamento fino a m 521,70.

Dal 25-4-43 al 27-6-43: fermata; tubazione del foro fino a m 357,75, cementazione dei tubi al fondo e perforazione del tappo di cemento.

Dal 28-6-43 al 25-7-43: prove di svuotamento del foro e di alleggerimento mediante « serpente »; il giorno 30-6, durante le manovre di alleggerimento, il foro esplodeva; tale esplosione avveniva, sia nella parte centrale, che nella intercapedine fra le due tubazioni dando luogo ad una colonna d'acqua, vapore e detriti tufacei alta un centinaio di metri; dopo 20 minuti tale manifestazione decresceva, riducendosi ad un solo getto di vapore a 100 °C (pressione atmosferica) e salato; tale getto andò diminuendo fino a scomparire del tutto; il giorno 2-7, da uno scandaglio eseguito risultò che il foro era ostruito da m 360 in giù; nel foro, fino a tale profondità, non si rinveniva acqua; il 3-7 il

(1) Vedi F. PENTA, *op. cit.*, fig. 1 e n. 5 della fig. 6 e della tab. V.

foro esplodeva spontaneamente attraverso la tubazione centrale, con forte getto di vapore e materiali tufacci; tale getto però decresceva fino a scomparire del tutto nei giorni successivi; il giorno 6-7 in uno scandaglio del foro si rinveniva a m 330 l'acqua che nei giorni successivi andò aumentando fino a riportarsi al suo livello normale; il 13-7 sono stati versati nell'intercapedine 100 grammi di fluoreceina sodica; il quotidiano prelievo di acqua nella parte centrale del foro, nei giorni successivi, permise di constatare che la fluoreceina sodica si era lentamente diffusa dall'intercapedine alla parte centrale (nonostante che i tubi fossero stati cementati al piede).

Dal 26-7-43 al 9-9-43: ripulitura del foro; il 28-7 rimanevano inchiodati sul fondo alcuni attrezzi che il 22-8 venivano recuperati.

Terreni attraversati.

Fino a m 51: pozzolane e prodotti piroclastici in genere (tufi grigi incoerenti). Da m 51 a m 145: tufi verdi con pomici alterate. Da m 145 a m 340: tufi grigi. Da m 340 a m 426: vulcanite argillificata. Da m 426 a m 521,70: tufi grigi con «trovanti trachitici» e pomici alterate.

Fig. 20 - CLV17. *Variazioni della temperatura e del pelo libero dell'acqua, durante l'approfondimento e le soste a m 181 e a m 207.10.*

I diagrammi mostrano l'andamento delle temperature e del livello dell'acqua contenuta nel foro dal 19/9/42 al 9/11/42 durante due soste dell'avanzamento e con una cementazione intermedia.

Dal 19/9 al 22/9 il foro è in fase di avanzamento fino alla profondità di m 181 (parte sinistra della figura).

In questo primo periodo si nota come la temperatura dell'acqua al fondo del foro vada aumentando anche durante l'avanzamento nonostante la immissione di acqua fredda (non molta però, in quanto la sonda è a percussione) per la perforazione.

Dal 23 al 30/9 l'avanzamento è sospeso e non viene immessa acqua nel foro. Si nota come la temperatura al fondo vada stabilizzandosi.

Dal 30/9 al 29/10 vie-

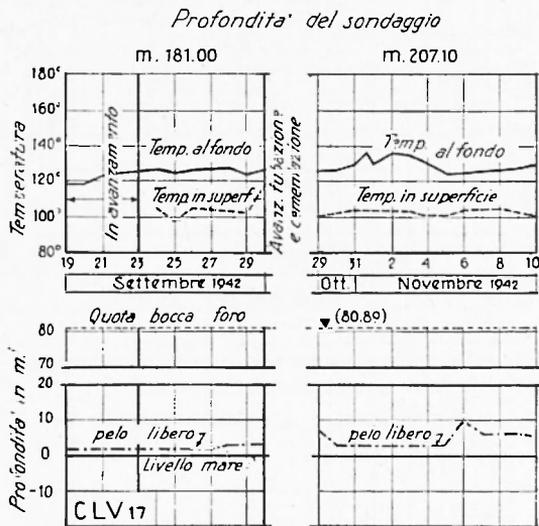


Fig. 20

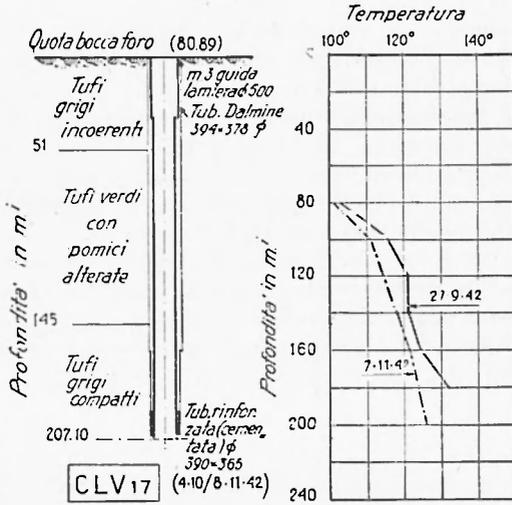


Fig. 21

ne proseguito l'avanzamento fino a m 207,10; s'esegui quindi la tubazione e poi si effettua la cementazione; vengono anche effettuate prove di pompaggio per controllare l'avvenuta presa del cemento. Non si effettuano pertanto misure di temperatura. Dal 29/10 al 9/11 il foro viene lasciato tranquillo; si eseguono soltanto misure di temperatura e della quota del livello dell'acqua.

Fig. 21 - Foro CLV17 alle profondità di m 181 e m 207,10. Distribuzione della temperatura lungo la verticale del foro.

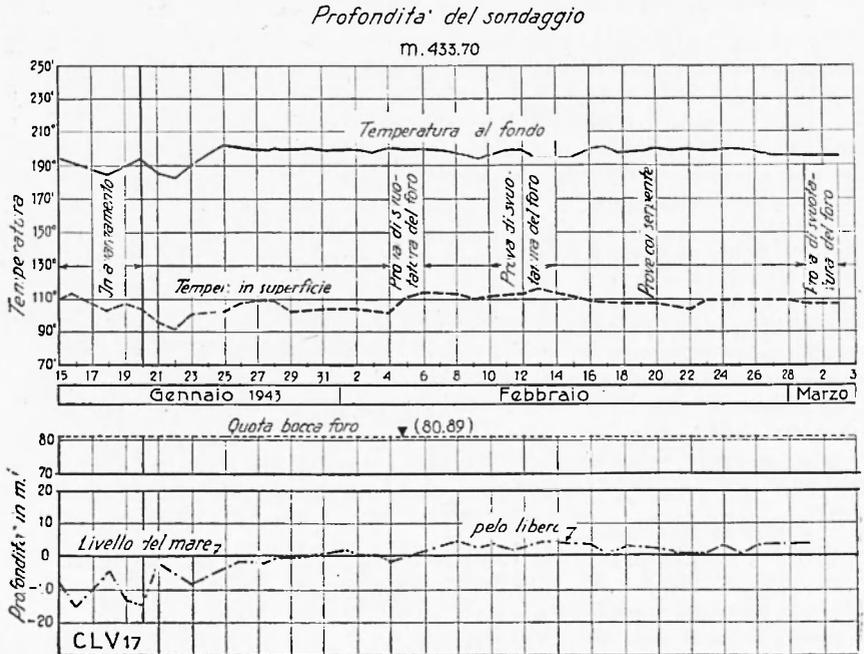


Fig. 22

I diagrammi mostrano l'andamento della temperatura lungo l'asse del foro prima che si effettuasse la tubazione con la cementazione del foro e dopo effettuate tali operazioni. Entrambi i rilievi venivano eseguiti dopo alcuni giorni di sospensione della immissione d'acqua fredda nel foro.

Fig. 22 - Foro CLV17. Variazioni della temperatura e del pelo libero dell'acqua durante l'approfondimento e la sosta a m 433,70.

I diagrammi mostrano l'andamento della temperatura e del pelo libero dal 21/1 al 4/3 nel foro avanzato fino a m 433,70 e tubato fino a 205 m circa. Durante questo periodo non fu data acqua fredda al foro, ma furono eseguiti svuotamenti parziali per tentare di provocare l'esplosione con esito negativo. Si nota come, dopo tali prove, temperature e pelo libero si ristabilivano piuttosto rapidamente.

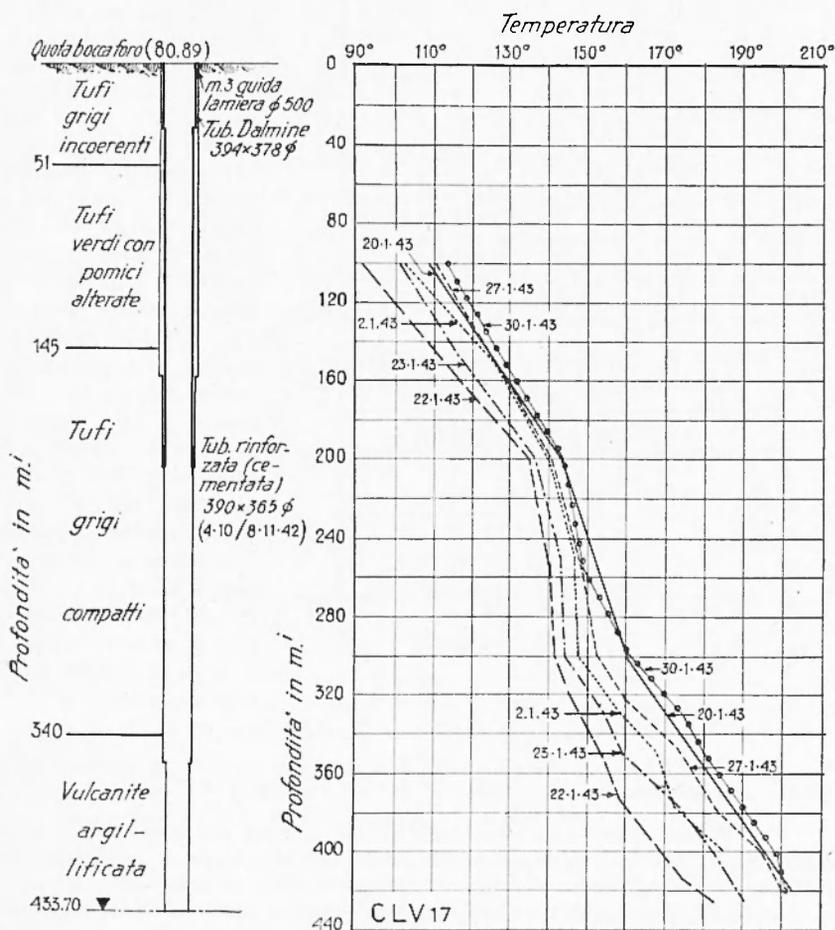


Fig. 23

Fig. 23 - Foro CLV17 profondo m 433,70. Distribuzione della temperatura lungo la verticale del foro.

Dall'andamento della temperatura si nota un aumento rapido con la profondità fino a m 200, cioè nel tratto lungo il quale il foro è tubato. Da m 200 a m 300 l'aumento diventa meno rapido; riprende ad aumentare quasi con la stessa rapidità dei primi 200 m con l'inizio di una vulcanite argillificata.

Fig. 24 - Foro CLV17. Variazioni della temperatura e del pelo libero dell'acqua durante gli approfondimenti e la sosta intermedia a m 519,20.

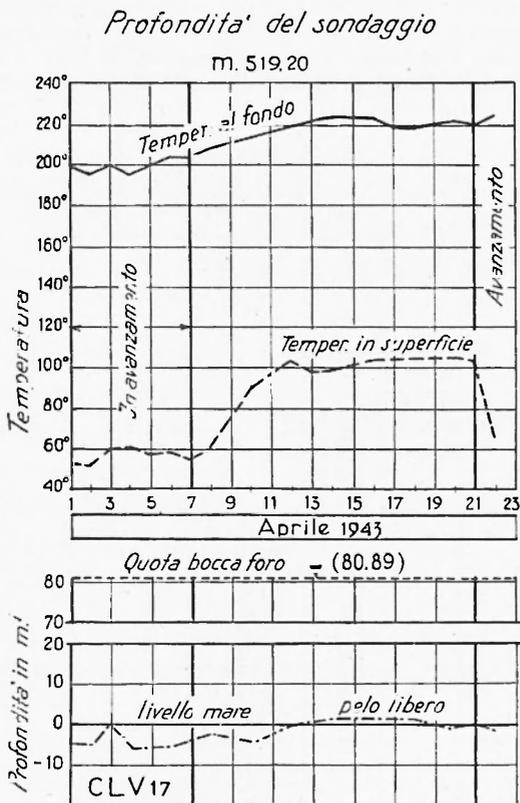


Fig. 24

I diagrammi si riferiscono agli ultimi giorni precedenti ad una fermata, durante la fermata di 15 giorni circa e all'inizio della ripresa dei lavori. Si può notare: a) la temperatura in superficie risente dell'acqua fredda immessa e durante la lavorazione si mantiene a valori molto più bassi che durante la sosta; b) la temperatura ad una profondità di circa 460 metri rispetto al pelo libero risente in misura molto minore dell'acqua fredda immessa, anzi, nonostante questa, durante l'approfondimento del sondaggio tende ad aumentare; c) il pelo libero, durante la lavorazione, subisce oscillazioni variabili mantenendosi sempre al disotto del livello del mare; allorché il foro viene lasciato in quiete, tende a stabilizzarsi poco al disopra del livello del mare.

Fig. 25 - Foro CLV17 profondo m 519,20. Distribuzione della temperatura lungo la verticale del foro.

I rilievi termici effettuati lungo l'asse del foro durante una fermata di 15 giorni confermano i dati riscontrati precedentemente (fig. 23) e cioè che la temperatura dell'acqua aumenta più rapidamente con la profondità fino a circa 200 m. A tale profondità l'aumento subisce un rallentamento per un centinaio di metri per riprendere ad aumentare rapidamente con la profondità all'inizio della formazione di vulcanite argillificata.

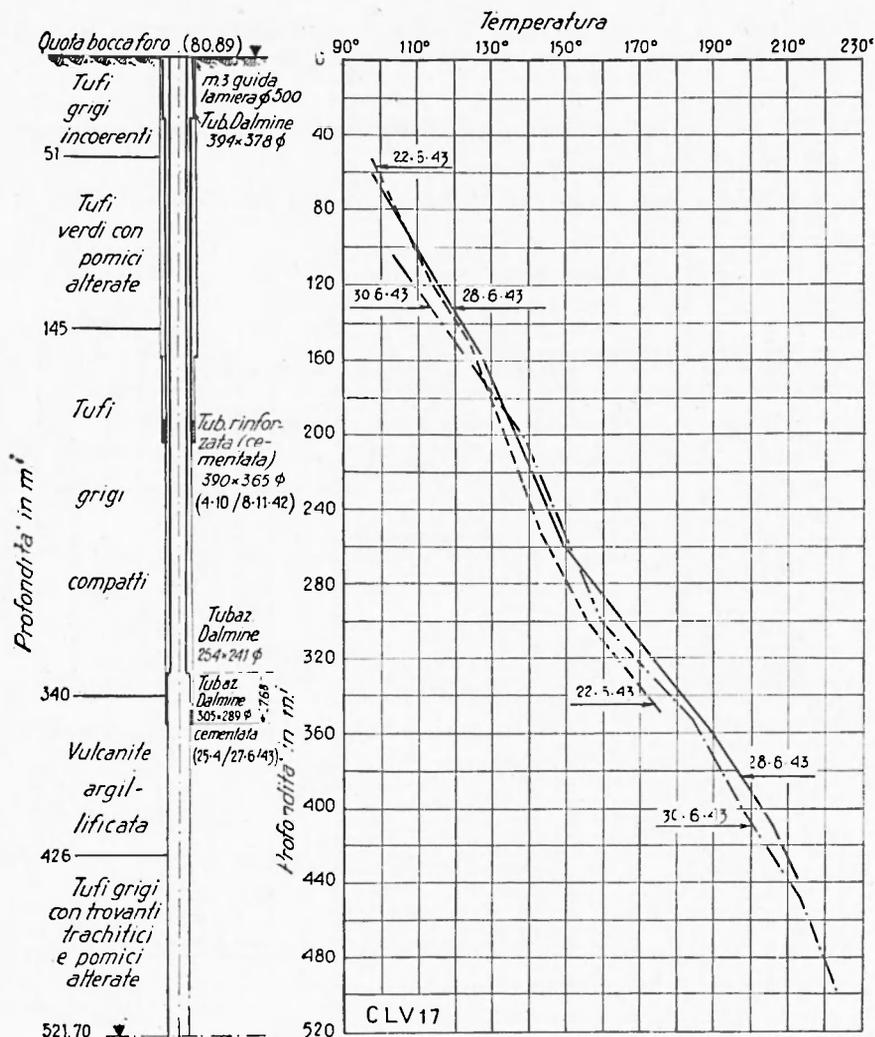


Fig. 25

Si può notare in più come alla fine di tale formazione l'incremento della temperatura sembra subire di nuovo un rallentamento.

Fig. 26 - Foro CLV17 profondo m 521,70. Variazioni della temperatura e del pelo libero dell'acqua dopo l'ultimazione del sondaggio.

Nulla di nuovo si riscontra, in quanto a temperatura e pelo libero rispetto a ciò che è stato rilevato nella precedente fermata. Intanto il foro viene tubato fino alla profondità di m 356. Le anomalie riscontrate, sia nel pelo libero, che nella temperatura in superficie nell'ultima decade di giugno, sono dovute al fatto che dopo essere stato tubato e cementato, il foro veniva riempito in parte con acqua

fredda. Dopo la foratura del tappo di cemento, sia la temperatura che la quota del pelo libero tendono a riprendere il loro valore normale.

Fig. 27 - Foro CLV17 profondo m 521,70. Distribuzione della temperatura lungo la verticale del foro.

L'andamento della temperatura dell'acqua lungo il foro dopo un arresto di

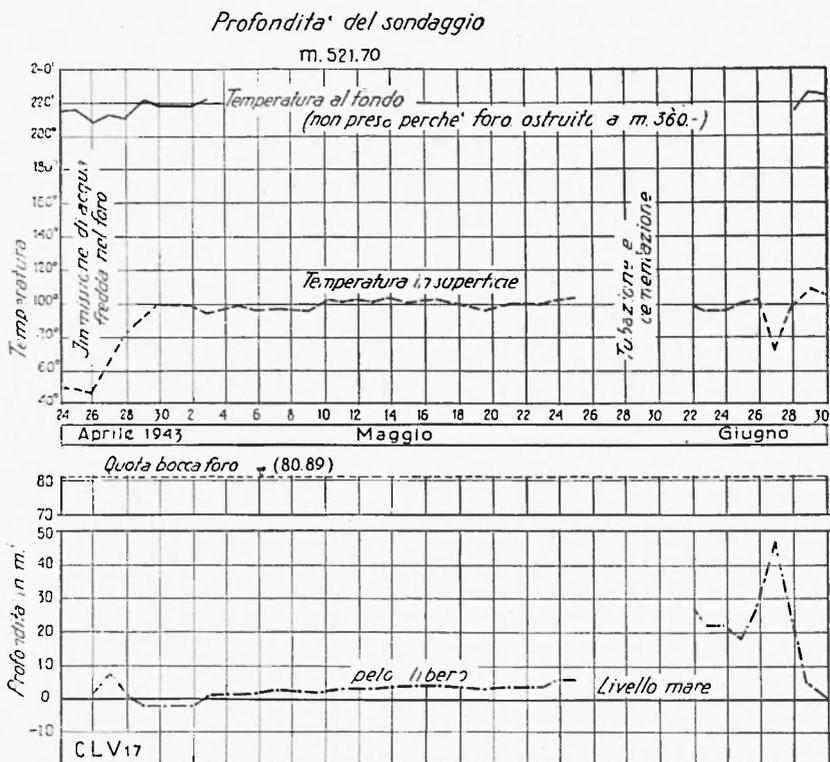


Fig. 26

una ventina di giorni concorda in sostanza con quelli precedenti (fig. 23 e 25). Non si rileva il rallentamento nell'aumento di temperatura nel tratto fra m 200 e m 300 circa, forse a causa della tubazione intanto immessa fino a m 356.

Fig. 28 - Foro CLV17 profondo m 521,70. Andamento del pelo libero dell'acqua prima e dopo le prove di alleggerimento e le esplosioni del giugno e luglio 1943.

Il pelo libero, dopo che il foro ha cessato l'erogazione tende a riprendere il suo livello normale. La temperatura dell'acqua in superficie si mantiene sempre sui 100°C.

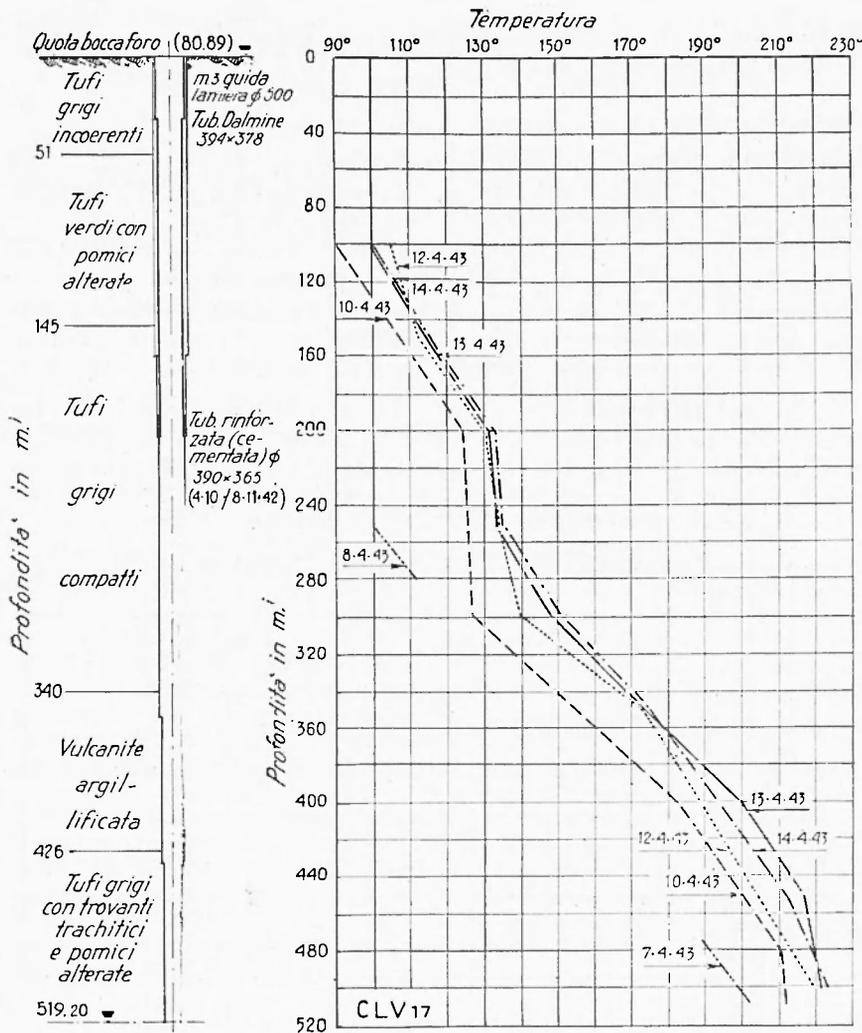


Fig. 27

FORO CLV 16

Campi Flegrei, località Mofete (1)

Quota sul mare m 64,10. Iniziato il 22-7-1942 con sonda a rotazione e con circolazione di acqua. Ultimato il 1°-4-43 a m 400. Il foro è tubato con tubi ϕ 394 x 378 dal piano di campagna a m 187,50.

(1) Vedi F. PENTA, *op. cit.*, fig. 1 e n. 10 della fig. 6 e della tab. V.

Tale tubazione è cementata al piede. Da m 187,50 il foro è scoperto. Vedi diagrammi della fig. 29.

Storia del foro.

Dal 22-7-42 al 22-8-42: in avanzamento fino a m 91,70.

Dal 23-8-42 al 25-8-42: fermata per procedere ad un rilievo termico.

Dal 26-8-42 al 9-10-42: in avanzamento fino a m 190.

Dal 10-10-42 al 25-11-42: fermata per tubare il foro con $\varnothing 394 \times 378$ fino a m 187,50 e procedere alla cementazione dei tubi.

Dal 26-11-42 al 1°-12-42: fermata per procedere a prove della avvenuta cementazione e a rilievo termico.

Dal 2-12-42 al 1°-4-43: in avanzamento fino a m 400.

Terreni attraversati. — Fino a m 40 tufi grigi incoerenti. Da m 40 a m 146 tufo verde. Da m 146 a m 178 tufo grigio coerente con pomici. Da m 178 a m 182 « trachite ». Da m 182 a m 185 tufo grigio

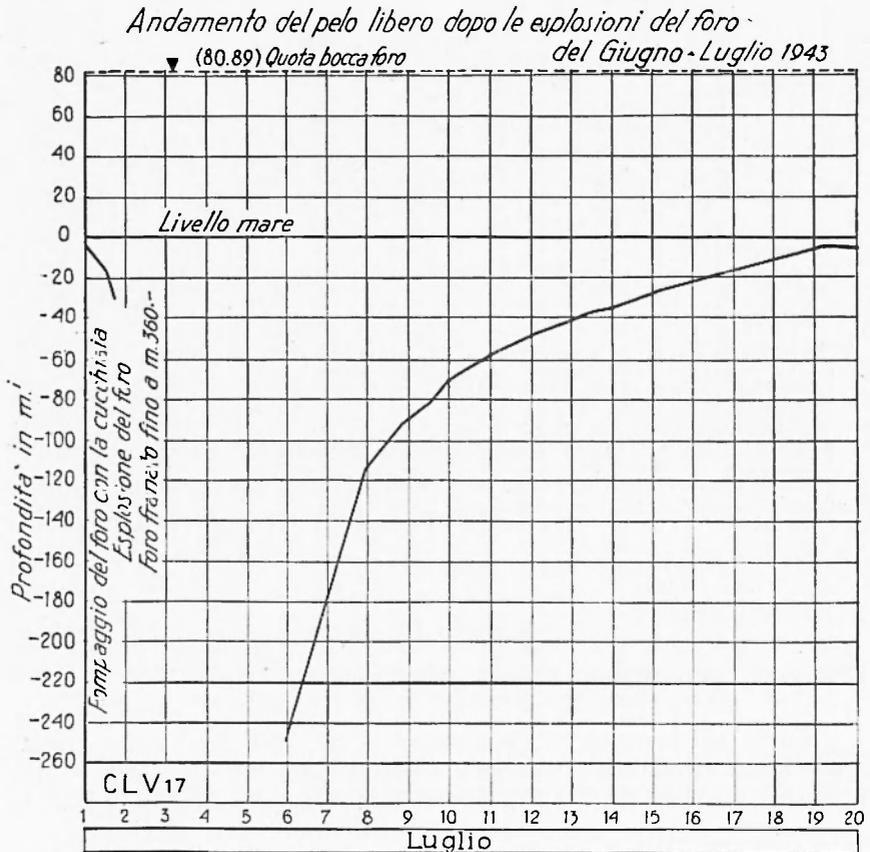


Fig. 28

coerente. Da m 185 a m 190 formazione di lapilli e sabbia vulcanica con piccoli trovanti di trachite. Da m 190 a m 399 tufi grigi compatti. Da m 399 a m 400 trachite con calcite di idrotermalizzazione.

Pelo libero. — L'acqua è stata incontrata a m 21,10 sul livello del mare, ma il pelo libero si è poi disposto a m 2,40 sul livello del mare. Durante tutta la fase dell'avanzamento il pelo libero ha oscillato sui 2 ÷ 3 metri al disopra del livello del mare. Un mese e mezzo dopo che era cessato l'avanzamento era a m 2,60 sul livello del mare.

Temperatura. — Durante la fase di avanzamento la temperatura dell'acqua, che quando si era incontrata era 39 °C, è andata aumentando con la profondità con forti oscillazioni (dovute alla grande quantità di acqua fredda immessa nel foro) fino a 90 °C.

Per quanto riguarda la temperatura durante i periodi in cui l'avanzamento è stato arrestato e dopo l'ultimazione del foro, vedi fig. 29.

Fig. 29 - Foro CLV 16 profondo m 400. *Distribuzione della temperatura lungo la verticale del foro.*

I diagrammi mostrano l'andamento della temperatura lungo l'asse del foro durante l'avanzamento (dopo che era cessata da 24 ore l'immissione di acqua fredda nel foro), dopo la perforazione del tappo di cemento al piede della tubazione (il foro era stato svuotato dell'acqua per provare la buona presa del cemento e successivamente il 29/11, era stato forato il tappo di cemento senza immettere nuova acqua) e dopo un mese e mezzo da quando il foro era stato ultimato. Si può notare: a) la temperatura è andata aumentando con il tempo fino a stabilizzarsi a 100°C in superficie e 135°C al fondo; i bassi valori della temperatura riscontrati durante l'avanzamento sono quindi da attribuire alle grandi quantità di acqua fredda immessa nel foro durante l'avanzamento; b) un incremento della temperatura lungo l'asse del foro fino a m 100 circa e successivamente un lievissimo incremento della temperatura con la profondità; i punti di massima riscontrati nel primo diagramma (foro ancora non tubato) si trovano spostati più in basso rispetto a quelli degli altri due diagrammi (forse a causa della tubazione?); c) Da 300 metri si ha di nuovo un discreto aumento della temperatura con la profondità; non si può, pertanto, dire che la « termalità » cessi con la profondità.

FORO CMV1

Nel fondo del cratere del « monte » vulcanico di Montenuovo formatosi nell'anno 1538 ⁽¹⁾.

Quota sul mare m 13. Iniziato il 10-1-40 con sonda a percussione con circolazione d'acqua. Ultimato il 2-6-42 alla profondità di m 676,90. Il foro fu tubato con tubazione $\varnothing 394 \times 378$ dal piano di campagna a m 112. Tale tubazione è cementata al fondo. Tubazione $\varnothing 334 \times 312$

(1) Vedi F. PENTA, *op. cit.*, fig. 1 e tab. VI.

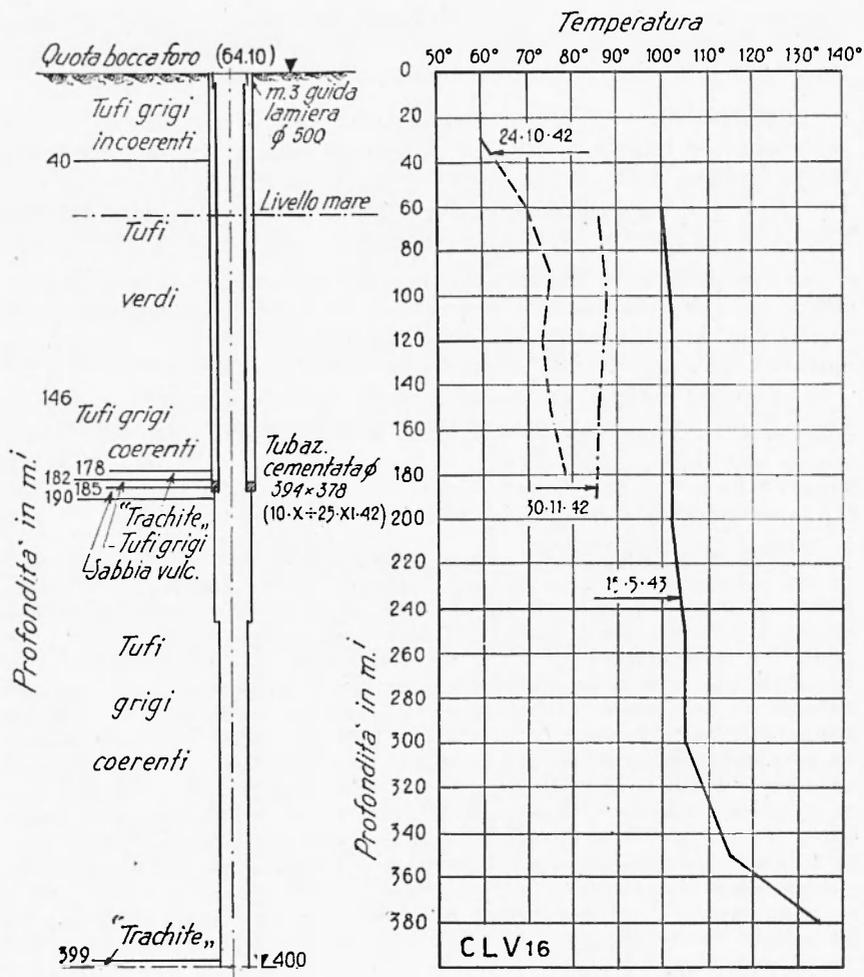


Fig. 29

dal piano di campagna a m 180. Tubazione ϕ 273 \times 252 da m 180 a 373. Da m 373 il foro è scoperto.

Storia del sondaggio.

Dal 10-1-40 al 20-3-40: in avanzamento fino a m 112.

Dal 21-3-40 all'8-4-40: fermata per tubazione con ϕ 394 \times 378 e cementazione dei tubi al fondo.

Dal 9-4-40 al 6-6-40: in avanzamento fino a m 240.

Dal 7-6-40 al 4-9-40: fermata per recuperare parte delle aste e sonda cadute al fondo.

Dal 5-9-40 al 9-10-40: in avanzamento fino a m 260.

- Dal 10-10-40 al 3-11-40: fermata per recuperare lo scalpello rimasto in fondo al foro.
- Dal 4-11-40 al 30-11-40: in avanzamento fino a m 275.
- Dal 1°-12-40 al 16-12-40: fermata per recuperare degli attrezzi.
- Dal 17-12-40 al 14-1-41: in avanzamento fino a m 308.
- Dal 15-1-41 al 5-2-41: fermata per rottura macchinario.
- Dal 6-2-41 al 20-2-41: in avanzamento fino a m 323.
- Dal 21-2-41 al 9-3-41: fermata per rottura attrezzi.
- Dal 10-3-41 al 16-4-41: in avanzamento fino a m 373.
- Dal 17-4-41 al 18-5-41: fermata per tubare il foro con $\varnothing 334 \times 312$ fino a m 180 e $\varnothing 273 \times 252$ da m 180 a m 373.
- Dal 19-5-41 al 20-5-41: in avanzamento fino a m 374.
- Dal 21-5-41 al 2-7-41: fermata per recuperare lo scalpello rimasto al fondo del foro.
- Dal 3-7-41 al 27-9-41: in avanzamento fino a m 444.
- Dal 28-9-41 al 14-10-41: fermata per riparazione attrezzi.
- Dal 15-10-41 al 28-12-41: in avanzamento fino a m 636.
- Dal 29-12-41 al 11-3-42: fermata per riparazione macchinario.
- Dal 12-3-42 al 30-4-42: in avanzamento fino a m 673.
- Dal 1°-5-42 al 29-5-42: fermata per riparazione macchinario.
- Dal 30-5-42 al 2-6-42: in avanzamento fino a m 676,90.

Terreni attraversati. — I terreni attraversati sono rappresentati dal materiale eruttato nel 1538, che forma tutto l'apparato ed è costituito in predominanza da scorie e brandelli lavici di una sanidinite ricca di sodalite e anortite. Ancora a 676,90 metri di profondità si è probabilmente entro il « tappo », cioè nel materiale franato (dopo l'eruzione) dall'esterno nel cratere e poi parzialmente cementato e alterato dalle postume manifestazioni esalative e idrotermali.

Livello acqua. — L'acqua si rinvenne a m 1 sul livello del mare; successivamente il pelo libero pare scendesse a 0,80 sotto il livello del mare, mantenendosi a tale quota fino a che il foro raggiunse circa 650 metri. Dopo tale profondità il pelo libero si sarebbe ulteriormente abbassato a circa m 2,80 sotto il livello del mare; non sono da escludere però errori di misura.

Temperatura. — La temperatura dell'acqua in superficie si è sempre mantenuta sui 60 °C, mentre quella del fondo non ha superato i 78 °C.

Di questo foro non si riportano diagrammi, data la scarsità di particolari degni di rilievo in rapporto all'argomento della presente nota.