

BENIAMINO SANTI

## **Sulle ricerche di forze endogene nell'Isola d'Ischia**

Spero che non resterete delusi se udrete parlare molto di difficoltà e di problemi incontrati ed in alcuni casi meno di risultati concreti. Limiteremo questa relazione alle aree italiane dando maggiore risalto a quella Flegreo-Ischitana e più specialmente alle zone nelle quali maggiore è stato il numero delle osservazioni prolungate nel tempo. I campi esalativo-idrotermali (a fumarole, a geyser) oggetto di indagini e di ricerche saranno richiamati soltanto per qualche confronto o riferimento.

La dizione « Forze endogene » è diventata di uso comune per indicare il vapore acqueo e le acque termali del sottosuolo suscettibili di utilizzazione diretta o indiretta, allo scopo di ricavarne energia. Fra le forze endogene si annovera anche il calore detraibile dal sottosuolo per riscaldare portate, industrialmente significative, di liquidi da immettere dall'esterno e da rendere, così, equivalenti ai fluidi (che vanno intesi nel senso generico di liquidi e aeriformi) naturali caldi.

La utilizzazione delle forze endogene per energia elettrica avviene in vari modi. Se il fluido captato mediante sondaggi è vapore acqueo, questo può essere immesso direttamente nelle turbine; in alcuni casi è preferibile destinarlo a fornire il calore necessario per evaporare acqua dolce o altri fluidi motori « intermedi ». Ambedue i tipi di utilizzazione sono impiegati a Larderello. Quando il fluido caldo rinvenuto è acqua allo stato liquido vi sono due possibilità di impiego: dell'acqua

termale a temperatura superiore ai 100° si utilizza la percentuale di vapore che essa può fornire alla pressione *scelta* di esercizio, oppure impedendone la ebollizione, se ne utilizza il contenuto di calore per riscaldare un fluido motore intermedio che può essere ugualmente acqua. La scelta è dettata da criteri tecnico economici legati, a loro volta, alle caratteristiche intrinseche dell'acqua, specialmente contenuto e quantità di sostanze disciolte ed a caratteristiche estrinseche di natura varia fra cui la distanza alla quale si rinviene acqua fredda da impiegare come refrigerante. Circa l'utilizzabilità del calore del sottosuolo (del cosiddetto gradino geotermico) la esperienza indiretta acquisita di perforazioni eseguite nei Campi Flegrei, quì ad Ischia ed anche a Larderello non giustifica eccessivi ottimismo. Infatti durante le perforazioni (con diametro fino a 60 cm) l'acqua e il fango di circolazione della sonda pur arrivando a contatto con formazioni contenenti fluidi aventi temperature superiori ai 200°C e potenti anche centinaia di metri, non ha mai realizzato, con portate di 20-30 litri secondo a ciclo aperto, un salto termico superiore ad alcune decine di gradi centigradi fra entrata ed uscita del foro. Ciò principalmente a causa del limitato tempo di contatto e successivamente del raffreddamento della superficie lambita dal fluido circolante. C'è anche da considerare il raffreddamento del fluido che si verifica durante la sua ascesa nel pozzo. Nella regione in esame l'importanza di quest'ultima fonte di energia appare molto subordinata rispetto a quella rappresentata dalla utilizzazione dei fluidi che si rinvennero, nonostante le difficoltà di cui parleremo fra breve.

Per la scelta delle aree di ricerca si è partiti dalla presenza nelle zone di esalazioni naturali di vapore acqueo.

Alcune di queste esalazioni non ricadevano in aree schiettamente vulcaniche o post vulcaniche ed erano a base di vapore acqueo surriscaldato sprigionantesi direttamente nell'atmosfera (soffioni) o nei stagni o laghetti (lagoni): era questo il quadro della regione borsicifera toscana detta di Lardorello. In altre aree le manifestazioni consistevano egualmente in esalazioni di vapore ma questo era saturo e le manifestazioni erano connesse più o meno palesamente ad acque sotterranee calde e ricadevano in zone vulcaniche storicamente attive o tutt'al più attive durante il Pliocene e il Pleistocene.

Nella regione boracifera toscana, nel sottosuolo si rinviene vapore surriscaldato con le stesse caratteristiche di quello che una volta esalava liberamente nell'atmosfera. Nei Campi Flegrei e nell'isola d'Ischia le fumarole si sono rilevate prodotto di evaporazione di acqua sotterranea molto calda.

Sulle realizzazioni effettive nella regione dei soffioni boraciferi mi limito a riportare i seguenti dati aggiornati alla produzione 1955.

Energia elettrica, Kwh 1.860.000.000

la potenza imballata è di Kw 265.000 di cui 24.000 in riserva

Prodotti borici, Tn. 4415

Prodotti ammoniacali, Tn. 619.

È ora in fase di esercizio un impianto per l'estrazione dello zolfo dalle  $H_2S$  associato al vapore. Con detto impianto si può trattare una produzione annua di Tn. 87601 S.

Anche qui però non è tutto roseo. Si osserva un decremento delle portate di vapore e questo in misura più o meno accentrata in tutti i pozzi della regione. Le variazioni discontinue sono dovute al fatto che in questi campi il decremento è accentuato dalle perforazioni successive che aprendo nuove vie di uscita modificano il regime del fluido nel sottosuolo. Si era anche pensato ad incrostazioni che facessero diminuire la portata, ma recenti livellazioni ubicate al centro di un triangolo avente ai vertici pozzi, divenuti improduttivi hanno dato nuovamente vapore e ciò fa ritenere che l'incrostazione non si estende nel terreno.

Circa l'origine del vapore molte sono le ipotesi emesse e per dire quale sia la più attendibile bisognerebbe conoscere molto di più di quanto si conosce, soprattutto dal punto di vista generale (sulle caratteristiche dei volatili puri endogeni iuvenili). Numerosi sono gli studi in corso, sui fluidi endogeni in molte parti del mondo: essi utilizzano i moderni mezzi di indagine sui gas, sulle caratteristiche dell'acqua nei suoi vari stati, sulla radioattività, sui gas rari, sugli isotopi, ecc.

I risultati di questi studi forniranno elementi di confronto più adeguati per la risoluzione del problema in cui il numero delle incognite supera tuttora di gran lunga quello delle relazioni obiettivamente riconosciute fra le incognite stesse.

Dal 1953 al 1955 veniva effettuata una serie di determinazioni sulle manifestazioni esalative allo scopo di rilevare qualche eventuale variazione nel tempo. Si è subito notato che le cosiddette fumarole non possono essere interpretate come fumarole tipiche (cioè di vapore magmatico) e che di regola le manifestazioni di vapore acqueo e la presenza di acque termali sono fenomeni fra loro collegati nel senso che le prime si originano dalle seconde. Per quanto riguarda i rapporti tra la distribuzione topografica delle manifestazioni, la loro termalità e la presenza di particolarità tettoniche o strutturali del sottosuolo in genere si è potuto osservare quanto segue.

Circa la distribuzione si rileva che molti gruppi di fumarole e sorgenti idrotermali sono situati lungo le linee vulcano tettoniche oppure localizzate in corrispondenza di antiche bocche crateriche. Ad esempio i gruppi fumarolici di Casa Verde-Roccia della Frana, Bosco della Serpentina, pendice NE e NW di montagna Nuova, Portella

Bianca sono ubicati in corrispondenza dell'orlo craterico di Montagna Nuova, analogamente i gruppi della Baia di S. Montano, Piede S W Pendice NW di Monte Vico in corrispondenza dell'orlo craterico di Monte Vico, i gruppi di Monte Rotaro e Tabor e di Citrunia.

Invece i gruppi di Bocca, Casa Bellomo, Vagnulo inferiore e superiore, Schiappa di Montecorvo sono in relazione col sistema di faglie determinanti il versante occidentale dell'Horst epomeico; in particolare i gruppi Vagnulo superiore ricade in corrispondenza della zolla più elevata. In relazione invece col sistema di faglie determinante il versante settentrionale *dell'horst* sono i gruppi di Cava Fasaniello, Monte Cito, Monte di Mezzo, Fasano, Bianchetto, Cratica, questi ultimi inattivi e riconoscibili solo dallo stato di alterazione delle rocce.

Altri gruppi si manifestano invece in zone ove non vi si notano particolarità tettoniche, come ad esempio Banchina di Lacco Ameno, Cava di Succhivo, Punta della Cima.

Sulle manifestazioni di vapore originantisi dalla falda e sulle loro caratteristiche e ubicazioni hanno influenza la temperatura della falda stessa, il grado di permeabilità al vapore e all'acqua del complesso dei terreni sede della falda e sovrastanti ad essa, non esclusa la più elevata permeabilità relativa di zone localizzate e a pari permeabilità, lo spessore della coltre dei terreni sovrastanti la falda. Le zone a permeabilità relativa più elevata, in corrispondenza delle quali si manifestano preferibilmente le esalazioni, possono essere legate a particolarità tettoniche (faglie, fature) o a particolarità strutturali del sottosuolo (colate laviche, dicchi).

Ciò spiega l'ubicazione delle manifestazioni che si sviluppano in corrispondenza di linee di frattura e di quelle non collegate ad evidenti elementi tettonici o in relazione con depressioni topografiche. Mettendo a confronto le manifestazioni esalative con le sorgenti termali planimetricamente prossime si rileva che le fumarole a più elevata temperatura sono prossime a sorgenti termali relativamente più calde.

In particolare la sorgente di Cava Scura nella quale è stata misurata una temperatura di 86° che è la temperatura più alta tra tutte le acque termali dell'isola, è relativamente vicina alla più calda delle manifestazioni esalative (Fondolille con 106°) e così i gruppi S. Michele, Carta Romana e Arso S. Geronimo sono vicini ai gruppi di sorgenti a temperatura notevolmente bassa. D'altra parte nelle zone ove a manifestazioni esalative non sono associate sorgenti termali planimetricamente vicine, i recenti sondaggi hanno messo in evidenza l'esistenza, a modesta profondità di falde idrotermali a temperatura più o meno elevata. Ad esempio nelle vicinanze delle fumarole di Regione Vagnulo e Bocca ove sono state registrate temperature dell'ordine di 100° a

circa 150 m. sotto il piano campagna è stata incontrata una falda termale con temperatura di 176° sotto un carico di 120 m. di colonna d'acqua. Invece nella zona di S. Michele ove la temperatura di alcune fumarole non supera i 30° mediante sondaggio è stata rinvenuta una falda termale con temperatura di 50° alla profondità di circa 50 m. sotto il piano campagna. Nella zona delle fumarole del Monte Tabor probabilmente in relazione con le sorgenti di Perrone e Castiglione un sondaggio ha messo in evidenza a 110 m. sotto il piano di campagna ossia all'incirca al livello del mare, l'esistenza di una falda termale con temperatura di 110° sotto un battente di 20 m. di acqua.

Notando che le temperature delle sorgenti termali sono talvolta inferiori a quelle delle fumarole planimetricamente prossime è da osservare che le temperature misurate nelle sorgenti non corrispondono alle temperature effettive della relativa falda termale in quanto le sorgenti stesse si manifestano in genere in vicinanza della linea di spiaggia ove già si deve risentire l'effetto di raffreddamento esercitato dalle acque del mare. Ciò per avvertire che le misure effettuate non infirmano il collegamento genetico fra le falde idrotermali e le manifestazioni di vapore che da esse si originano. Pertanto dovunque si manifestano fenomeni esalativi si riscontra la presenza nel sottosuolo di acque termali rilevate da sorgente o individuate da sondaggi. Esiste anche una correlazione diretta tra termalità delle esalazioni e termalità delle acque termali a queste più prossime. Appare quindi giustificato il legame fra i due tipi di manifestazioni nel senso che entrambe traggono la loro origine dalla stessa falda termale.

Torniamo ora alle forze endogene. Questa energia è connessa a masse magmatiche di cui sono prodotti visibili gli edifici vulcanici che ci circondano con le relative manifestazioni. A differenza della ricerca in altre zone qui si parte da manifestazioni dimostratesi secondarie nel senso precedentemente detto. Qui l'esistenza di vapore utilizzabile industrialmente è soltanto presupposto in base all'esistenza di bacini magmatici ancora attivi. Le ricerche furono iniziate nel 1939 e si erano protratte fino al settembre 1943 quando i lavori furono interrotti a causa degli eventi bellici. In questo periodo era stata eseguita una campagna sistematica di trivellazioni da poche decine di metri fino a 200 con prove di erogazione e misure varie. Le ricerche miranti al ritrovamento di vapore furono condotte contemporaneamente a quelle dirette ad accertare i quantitativi di acqua calda necessari ad impianti particolari. Durante questa prima fase di lavori si ebbero erogazioni talvolta spontanee, di miscugli di acqua e vapore a basso titolo proveniente dall'ebollizione parziale delle acque termali sotterranee. Queste furono interpretate come prodotto del mescolamento di fluidi di origine

più profonde con acque esogene costituenti falde idriche relativamente superficiali, più o meno in comunicazione con il mare. Le erogazioni avevano talvolta carattere esplosivo, più spesso si ebbero produzioni continuative anche per più di un anno.

Per giungere ad una utilizzazione, sia pure provvisoria, della energia termica resasi disponibile con le perforazioni si installarono a Citara e S. Angelo due piccoli impianti termoelettrici in uno dei quali di circa 300 KW l'acqua termale era utilizzata per provocare l'ebollizione di un fluido motore intermedio cloruro d'etile il cui punto di ebollizione è a 18°C e a 64° raggiunge una pressione di 5,5 At. Questo era il primo impianto che si concepiva nel mondo. Dopo l'interruzione bellica il problema venne riesaminato alla luce delle conoscenze acquisite ed in vista delle nuove disponibilità di mezzi. Si provvide innanzi tutto all'esecuzione di una campagna di ricerche geofisiche aventi lo scopo precipuo di fornire, nei limiti della possibilità, i primi ragguagli nella struttura del sottosuolo alle profondità non ancora investigate dai sondaggi. Ma il frequente prevalere delle variazioni orizzontali della natura dei terreni, del loro contenuto di acque e di sali e della temperatura su quelle verticali ha reso meno agevole del solito la interpretazione geologica ed idrogeologica dei risultati ottenuti con la prospezione geoelettrica. I lavori di perforazione iniziarono in località Cuotto che si fermò alla profondità di 385 m., successivamente in località Casa Giacobbe e arrivò alla profondità di m. 880, poi in località Casa Castaldi alle pendici di Monte Corvo alla profondità di 1100 e alla località Fumarole alla profondità di 1150 m. Altri pozzi a modesta profondità furono effettuati in località Citara aventi il precipuo scopo di mettere in azione la Centrale esistente.

Le perforazioni furono eseguite con sonde Rotary a circolazione di fango; con tale sistema, accompagnato da tutte le ricerche, indagini ed osservazioni che esso premette si sono potute raggiungere in pochi mesi profondità che con i sistemi precedentemente adoperati richiedevano qualche anno di lavoro. In cambio però si è resa più difficile e delicata l'opera di assistenza in campo petrografico, geologico ed idrogeologico, nonostante l'ausilio continuo dei cavotaggi elettrici, delle altre rilevazioni e dei mezzi della tecnica petrolifera mano a mano adattati al nuovo ambiente di impiego.

Dal punto di vista geologico si è dimostrato che il tetto del bacino magmatico che ha alimentato il vulcanismo locale non è più concepibile alle profondità dell'ordine di uno o due chilometri al massimo, come si pensava prima delle ricerche. Le ricerche hanno permesso di mutare, collegando anche i risultati ottenuti nella vicina terraferma alquanto le idee sulla diffusione del tufo verde Epomeo e delle marne fossilifere

tipo « tufiti ischitane » nel sottosuolo Flegreo, sullo spessore delle vulcaniti alcalitrachitiche flegree, sulle eruzioni laviche precedenti al tufo verde Epomeo, sui considerevoli abbassamenti della regione Fusaro. Licola durante il vulcanismo e sulle relative faglie, sulla grande dislocazione fra l'isola e la terraferma più prossima, sugli spostamenti nel tempo delle bocche eruttive e sulla storia in genere del vulcanismo campano dal Pliocene ad oggi.

In tutta la regione si deve immaginare una intrusione magmatica spinta (direttamente o più verosimilmente mediante apofisi) fin sotto il Pliocene il Calabriano e i propri prodotti vulcanici nella zona ischitano-flegrea e di regola, ristagnante sotto il Mesozoico nella regione Somma-Vesuviana e in quella Aurunca.

Infatti i rinvenimenti di scorie, di breccie vulcaniche e di vulcaniti in genere in punti isolati e periferici rispetto al centro più attivo flegreo, e di cui qualcuno è da attribuirsi con ogni probabilità a manifestazioni locali, indicherebbero una maggiore estensione della intuizione in profondità ed un inizio del vulcanesimo alquanto più remoto di quanto era lecito supporre in base ai dati geologici rilevabili dalla superficie esterna.

A tutta una serie di eruzione è dovuto il riempimento graduale dell'antico e molto ampio golfo Campano, nonostante che parzialmente il fondo intanto si abbassasse in zolle fagliate distinte, mentre in altri punti come qui ad Ischia si sollevava.

Depositi marini ed anche lagunari hanno a loro volta contribuito a colmare le fosse più di una volta ricostituitesi per effetto di faglie nuove e ringiovanite.

Ciò agli effetti pratici immediati indica che la ricerca non può dirsi limitata al migliaio di metri di profondità. Comunque il complesso vulcanitico supera 1200 m. di profondità.

Non si sono raccolti elementi che lascino prevedere prossimo lo inizio degli effetti della metamorfosi di contatto nei sedimenti; si è ancora ben lontani da una zona paragonabile a quella delle aureole metamorfiche di termochemiocontatto.

Dal punto di vista idrologico si possono sciogliere le riserve un tempo avanzate in quanto le acque sono presenti anche a maggiore profondità e sono più o meno salate. Nell'isola i fori, considerati nel loro insieme hanno permesso di intravedere molto verosimile un quadro idrologico riportabile a quello schematizzato da Barth per l'Islanda.: sotto una falda freatica di spessore crescente dalla periferia verso l'interno, l'acqua marina impregnante il sottosuolo è limitata da una superficie con concavità verso l'alto molto accentuata. Entro questo bacino sotterraneo sebranno rilevarsi qua e là zone di alta termalità. Tali acque,

più o meno salate, nel risalire nei fori, spontaneamente o dopo pistonnaggio bollono producendo vapore con rapporto vapore acqua di regola corrispondente alla temperatura di origine. Esse per lo più sono molto incrostanti e del tipo siliceo manganesifere. Il processo è spesso così rapido che già dopo qualche settimana il foro si restringe fortemente e l'erogazione diminuisce impedendo così quelle osservazioni per tempi sufficienti.

In tali condizioni non si è potuto trarre conclusioni dalle osservazioni miranti a stabilire se in qualche foro è possibile richiamare, con la depressione creata, il presumibile vapore o comunque fluido a più alta temperatura che a distanza sfocia nella falda acquifera. Le più alte temperature rinvenute fino a 235° con il continuare del loro incremento e con la persistenza di acque di tipo marino non lasciano prevedere vicino lo stato critico o sopracitato dell'acqua con le relative conseguenze. I dati finora raccolti non permettono ancora di decidere fra le due sorgenti ipotesi ugualmente ammissibili: 1) le acque sotterranee più o meno distinguibili fra loro costituiscono soltanto una specie di filtro per le correnti di vapore ascendenti; 2) la fenomenologia idrotermale sotterranea esiste soltanto in quanto esistono queste acque di modo che anche procedendo verso maggiori profondità, verso cioè la sorgente prima di calore l'ambiente resta sempre lo stesso.

In quest'ultima ipotesi non avrebbe senso distinguere fra l'acqua (gas endogeno ascendente) e l'acqua di origine esogena. Questo non è in contrasto con la disuniforme distribuzione della temperatura del sottosuolo investigato. In altri termini si porterebbe ad ammettere che le acque rinvenute traggano il calore dal vapore (con gas) proveniente dalle maggiori profondità e che prima di sboccare nella libera atmosfera incontri le acque sotterranee stesse ed in esse si condensino riscaldandole a spese principalmente del proprio calore di evaporazione.

Come non si può escludere che acque esogene fredde penetrino nel sottosuolo e risalgano poi verso la superficie dopo aver attraversato zone del sottosuolo più profonde e più calde; quest'ultime sarebbero divenute calde per solo effetto di conduzione termica da parte di corpi geologici a più elevata temperatura. Le forti disuniformità riscontrate in direzione orizzontale del gradiente geotermico rendono meno probabile tale eventualità.

Tali disuniformità perderebbero molto del loro significato qualora in un vasto bacino idrico sotterraneo costituito da una rete di fratture ed altre discontinuità e nel complesso stagnante si generassero moti riportabili ai cosiddetti effetti di termosifone.

Concludendo si può ben sperare che anche se non si è accertata direttamente l'esistenza di H<sub>2</sub>O allo stato di vapore non si è poi troppo



lontani dal realizzare ritrovamenti, infatti col progredire del gradiente termico è da prevedere se non altro il graduale approssimarsi alla temperatura critica e sopracritica dell'H<sub>2</sub>O stessa.

Per chiudere è bene dire che in altre regioni italiane si sono e si stanno effettuando delle ricerche. Nel Vitubese, fra il centro vulcanico Vulsino e quello Cimino esistono varie manifestazioni, tra cui il celebre bullicame ricordato anche dall'Alighieri nella Divina Commedia, nei colli Euganei, in Sicilia a Sciacca ed Alcamo, all'isola di Vulcano. In questa zona il quadro è quasi identico a quello della nostra isola.

In conclusione anche di fuori della regione dei soffioni di Larderello, le ricerche effettuate ed i risultati raccolti legittimano delle previsioni abbastanza soddisfacenti; in un modo o nell'altro credo che le regioni esplorate costituiranno tra qualche anno nuove fonti di energia.