ALCUNI CONCETTI SEGUITI IN ITALIA NELL' IMPOSTAZIONE DI RICERCHE GEOIDROLOGICHE CON METODI GEOFISICI

F. Mosetti

Premessa

Da vari anni l' Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste ta conducendo ricerche idrologiche un po' in tutt' Italia. Date le particolari condizioni geologiche e morfologiche delle zone via via esaminate, si è resa necessaria la discriminazione delle metodiche più appropriate ad ogni singolo caso, sia con l' intendimento di ottenere i risultati migliori, sia anche per rendere più economici i rilievi.

Nel corso di queste indagini, eseguite in gran numero. l'Osservatorio di Trieste ha avuto modo di saggiare così le varie possibilità offerte dalla Geofisica, di tarare mediante perforazioni i risultati ottenuti dall' applicazione di un singolo metodo, o di confrontare tra di loro risultati conseguiti attraverso vie diverse.

Riteniamo pertanto non priva di significato e di pratica utilità un' esposizione succinta degli elementi di questa preziosa casistica, specie se connessa ad una descrizione ragionata dei vari metodi impiegati e della loro applicabiltà.

Come del resto potrà apparire in questa stessa nota, non ci siamo praticamente mai limitati all' applicazione di un unico metodo ad un dato caso in esame; abbiamo bensì cercato, per quanto possibile, di risolvere con differenti metodi il problema oggetto di una determinata ricerca. E questo non certamente per un semplice desiderio di raccolta scientifica di dati, a scapito forse dell' economicità della ricerca, ma proprio seguendo un preciso concetto di successiva eliminazione delle troppe variabili presenti in ogni caso di ricerca geognostica e cioè infine proprio per giungere a dati concreti ed attendibili nel modo meno dispendioso.

1. Indagini geoelettriche.

I rilievi geoelettrici sono notoriamente i più validi mezzi che la Geofisica può mettere a disposizione delle ricerche idrologiche. Abitualmente, in questo genere di indagini, si può procedere sia con i sondaggi che con i profili di resistività: i risultati dei primi consentono la ricostruzione di sezioni del sottosuolo, dai profili consegue invece la rappresentazione mediante carte di resistività con andamento planimetrico. Sempre nell' am-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

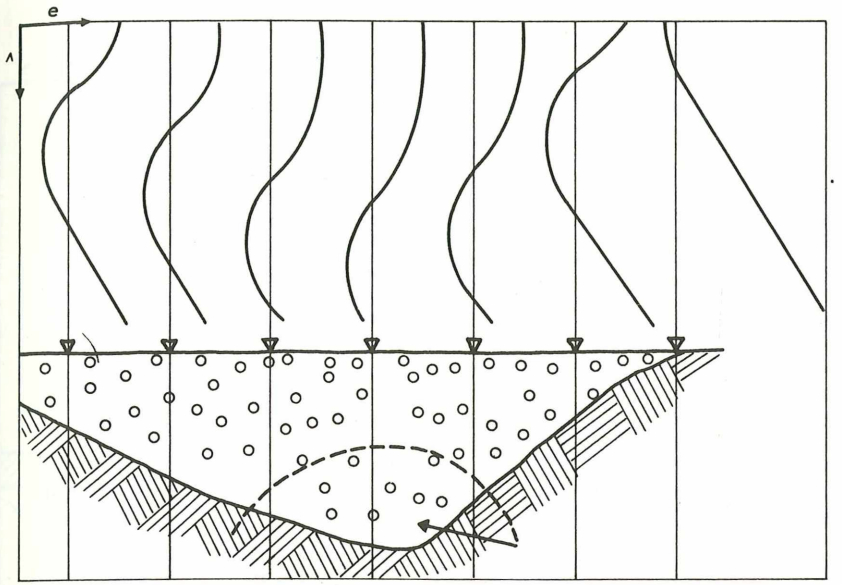

Abb. 1

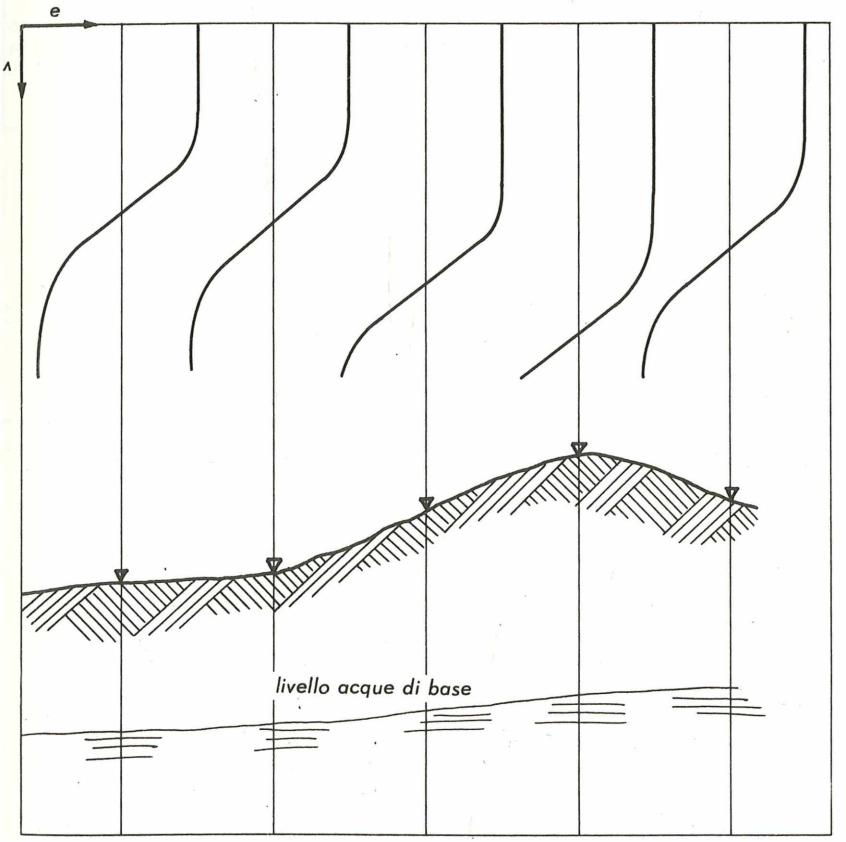

Abb. 2

©Landesmuseum Burgenland, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

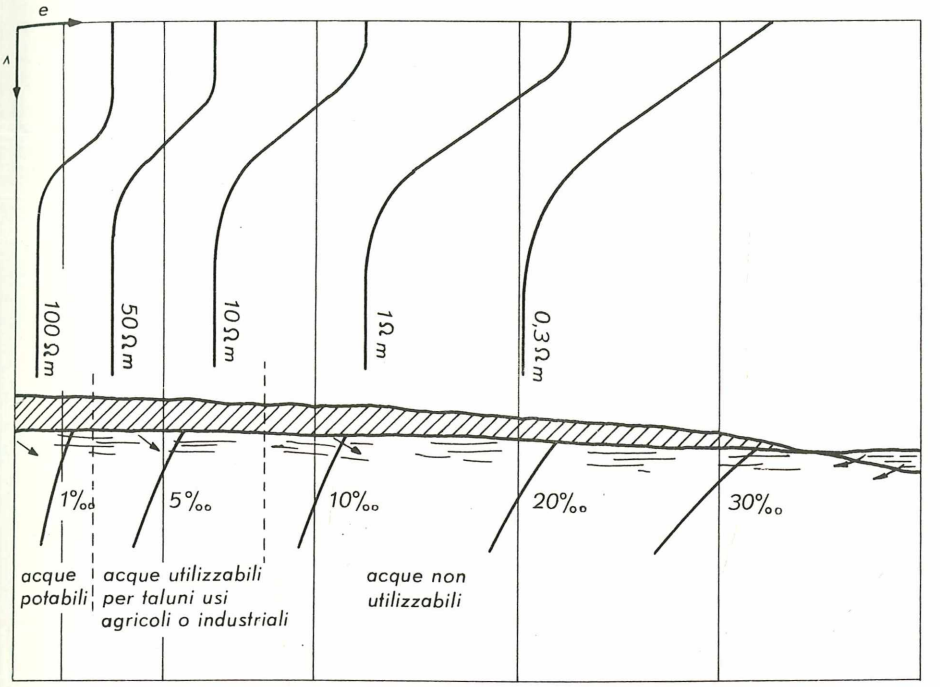

Abb. 3

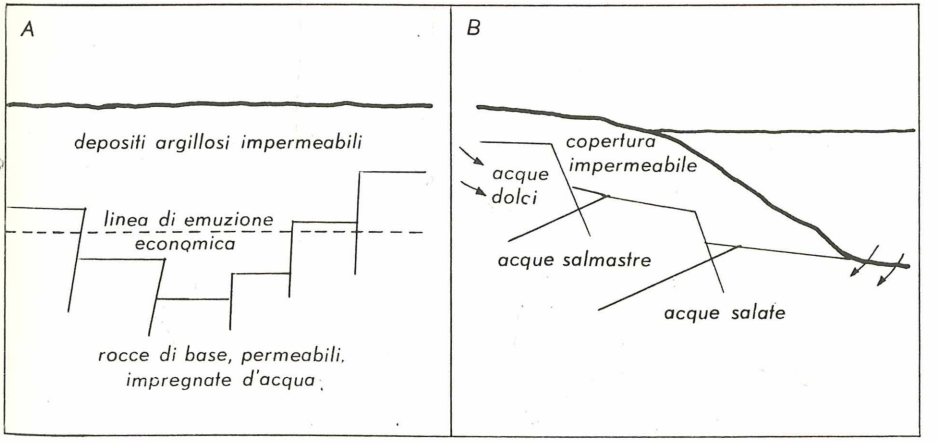

Abb. 4

©Ornithologische Gesellschaft Burgenland, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

zona collinare, superficialmente più o meno impermeabile, con corsi d'acqua perenni

zona ghiaiosa permeabile dove i corsi d'acqua vengono assorbiti

traccia di profilo geotermico

zona di sabbie-argille con risorgive (●) e corsi superficiali o con depositi ghiaiosi sepolti e falde localizzate

linee equiresistive

Mare

Abb. 5

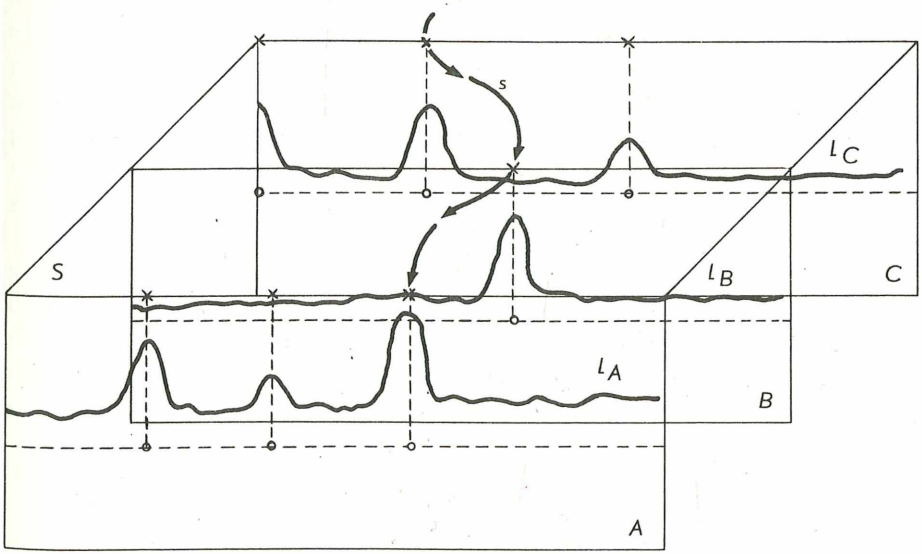

Abb. 6

bito dei metodi geoelettrici possono però venir introdotti altri sistemi, che si basano sul rilevamento di potenziali, prodotti naturalmente o artificialmente, o su altri effetti.

1. 1. Sondaggi elettrici.

I sondaggi di resistività sono consigliabili in tutti quei casi in cui occorre soprattutto conoscere la distribuzione in profondità delle caratteristiche geostratigrafiche.

1. 1. 1. Accade frequentemente di dover individuare zone più permeabili o zone in cui è più favorevole l' emunzione, in un'alluvione più o meno uniformemente distribuita lungo un paleoalveo o in rapporto ad una serie di paleoalvei. In circostanze del genere, sia per ragioni genetiche che per semplice azione di drenaggio gravitativo, se l'alluvione è omogenea, la sua parte più permeata corrisponde con la linea di valle del paleoalveo sepolto.

Poichè almeno in generale tra la copertura alluvionale e il fondo (sia che si tratti di rocce conduttive quali le argille, le arenarie o gli scisti, sia di rocce resistive quali ad esempio le dolomie o i calcari) esiste pur sempre una sufficiente differenziazione di resistivita, l'applicazione del sondaggio è corretta. Eseguendo lungo opportune sezioni dei sondaggi di resistivita si ha cioé modo di seguire la forma del paleoalveo e cosi di fornire l'ubicazione per le terebrazioni di sfruttamento più proficue (fig.1).

1. 1. 2. Un altro caso che impone spesso di ricorrere all'uso di sondaggi di resistività, occorre quando si tratta di rilevare, in seno ad una formazione permeabile, il livello di un' acqua di base, oppur di differenziare, sotto il livello idrostatico teorico, zone particolarmente permeabili o zone affato permeabili (ossia, ovviamente, zone con resistività molto o appena inferiore a quella generale della roccia).

Allora i sondaggi elettrici determineranno delle curve di resistività con bassi valori relativamente agli strati più profondi, e tanto più bassi, a seconda della effettiva permeabilita della zona sottostante il livello idrostatico nel punto esaminato. Cioè a dire, l'inflessione verso il basso chepuò risultare piu o meno evidente su successive curve di resistività dei sondaggi di una sezione, o anche non apparire, per una „locale" scarsa permeabilità; considerata nell' insieme di un rilievo, permette di tracciare il livello acquifero teorico (fig. 2). Il valore di resistività verso cui la curva si porta permette invece di valutare la permeabilità locale.

Tutto ciò vale peraltro se in tutto il livello si tratta sempre della stessa acqua, altrimenti la variazione di resistività indica un cambiamento delle caratteristiche dell' acqua stessa. Così ad esempio un abbassamento progressivo e continuo della resistività dello strato inferiore al livello idrostatico, in una determinata direzione, è spesso segno di mescolamento con acque salate o, più particolarmente, con acque di mare.

Se si ammette che la porosità o la permebilità siano costanti, il valore della resistività dello strato permeabile é, a parità di temperatura, in stretto rapporto con la quantità di sale disciolto; tale dato è particolarmente significativo a profondità notevoli (e per permeabilità non eccessive) in cui la variazione di temperatura è praticamente nulla anche entro grandi intervalli di tempo. In questo caso qualunque sia l' epoca di successive indagini, i dati ottenuti saranno sempre confrontabili.

Riportando allora su sezioni o su planimetrie le equiresistive rilevate con i sondaggi elettrici relativamente all' acqua di base, si può disporre di curve con andamento assai simile a quello delle isoaline. Se addirittura si possono ottenere delle tarature, o dei rapporti medi tra valore della resistività e valore dell' alinità (che variano di luogo in luogo con le caratteristiche della roccia permeabile), per esempio da misure dirette in pozzi, è addirittura possibile una traduzione delle equiresistive nelle isoaline.

Ovamente i risultati sono possibili sia se il livello idrostatico è prossimo alla superficie che se è profondo (fig. 3).

1. 1. 3. A volte la falda freatica non è libera, ad una data profondità, in una formazione permeabile; questa può trovarsi ricoperta da spessori più o meno rilevanti di rocce impermeabili. Il caso può verificarsi ad esempio quando una formazione calarea o dolomitica si trova sottoposta ad arenarie o ad argille. In generale si osserva sempre una differenziazione di resistività tra le coperture più conduttive e le formazioni di base, più resistive anche se sono imbibite di forti quantitiativi di acque più o meno salse. Il sondaggio elettrico allora, evidenziando il livello di contatto delle due formazoni, precisa la quota cui può trovarsi l' acqua e spresso anche, sia direttamente attraverso la resistività, che indirettamente, attraverso lo posizione, la qualità dell' acqua (fig. 4).

1. 1. 4. I tre casi sopra esposti sono i più importanti casi di applicazione del sondaggio di resistività in ricerche idrologiche. Tale mezzo può però veni impiegato in svariate altre circostanze quando si tratti di precisare situazioni in altro modo evidenziate.

1. 2. Profili elettrici.

Nel corso di indagini geoidrologiche, oltre che in più generali problemi di geofisica applicata, esistono delle situazioni in cui non è consigliabile ricorrere ai sondaggi elettrici, sia per le peculiari caratteristiche della zona esaminata, per cui i sondaggi non potrebbero dare risultati migliori dei profili, sia per ragioni di giustificata economia.

1. 2. 1. Una data formazione alluvionale ad esempio può esser costituita da un esteso mezzo fondamentale, praticamente omogeno per quanto riguarda le sue caratteristiche elettriche, nel quale possono trovarsi localizzate e spesso limitate in talune direzioni soltanto, delle formazioni aventi tutt'altre caratteristiche di resistività e di permeabilità. Un caso

© Landesmuseum für Burgenland, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

tipico è rappresentato da paleoletti ghiaiosi o ghiaio-sabbiosi o da formazioni lenticolari di alluvioni grossolane compresse entro sedimenti più fini ed uniformi, ampiamente estesi. Specie se queste differenziazioni strutturali sono sparsamente distribuite nel mezzo che le contiene, una loro evidenziazione mediante sondaggi di resistività, benchè rigorosamente applicabile, può risultare assai lunga e dispendiosa, per la vastità dell' area interessata. Se la resistività del mezzo può ritenersi uniforme e se l'incomportare eventuali variazioni dell' isotropia con la profondità, l' indagine può venir svolta con i profili di resistività. Le misurazioni geofisiche vengono cioè effettuate con disposizioni elettrodiche di dimensioni standard, che ricoprono tutta la zona.

In tale caso i paleoalvei o le inclusioni lenticolari risulteranno quali massimi di resistività che si elevano più o meno nettamente sull' andamento uniforme della resistività del mezzo; disponendo successivi allineamenti di profili, comunque orientati, i risultati possono venir raggruppati in carte di resistività, nelle quali l' andamento delle equiresistive rispecchia quello delle anomalie strutturali che le provocano (fig. 5).

Naturalmente nella pratica le condizioni non sono sempre così chiaramente definite e nell' andamento delle anomalie elettriche possono simultaneamente sovrapporsi altri, molteplici fattori, quali ad esempio inomogeneità o non perfette isotropie del mezzo, effetto di cause più profonde o di anomalie superficialissime. Abbiamo tuttavia elaborato dei metodi di calcolo, che vengono applicati ai dati di osservazione e permettono di „depurare" più o meno compiutamente un dato quadro „atteso" di anomalie de altri effetti spuri.

Le indagini così condotte, a mezzo di profili e, se necessario, con le conseguenti elaborazioni di calcolo, consentono una prima presentizione di risultati, cioè una discriminazione delle zone ove è piu probabile il ritrovamento di acqua. Naturalmente i dati possono risultare incompleti, specie per quanto riguarda la precisazione della profondità, e allora il rilievo deve venir integrato almeno con qualche sondaggio elettrico o con determinazioni di altro tipo, che però vengono applicate localmente e non in generale, su tutta l' area da esplorare.

1. 2. 2. Il metodo dei profili elettrici può venir impiegato proficuamente in talune ricerche di acque carsiche. L' idrologia carsica può notoriamente manifestarsi con due aspetti: o si tratta di un orizzonte acquifero estesamente distribuito e quindi facilmente individuabile con i sondaggi di resistività, oppure le acque circolanti sono costrette entro localizzati percorsi, attraverso fratture o cavernosità. In questo caso la zona interessata dall' acqua è cosi limitata che non sono in generale da attendersi risultati di una qualche importanza coi sondaggi elettrici; questi infatti sono poco influenzati da cause limitate, specie se profonde. Inoltre, se l' acqua fluisce entro caverne, tali vuoti possono generare vistose perturbazioni nell' andamento delle curve di resistività, tanto da renderle addirittura ininterpretabili.

Invece proprio la cavernosità, la cui presenza compromette i risultati di un sondaggio elettrico, può venir chiaramente messa in evidenza dal profilo di resistività che denota, in corrispondenza dei vuoti sotterranei, dei massimi di resistività. Naturalmente i vuoti vengono percepiti con un potere tanto maggiore quanto più grandi sono le caverne e nel contempo tanto minore quanto maggiore è la profondità cui le caverne sono situate.

L' identificazione dei corsi d' acqua sotterranei in questo caso non avviene direttamente, bensì tramite il rilevamento delle caverne, che pos-

sono esser interessate dai percorsi ipogei, ma possono anche essere sterili. Inoltre, è evidente, su un dato profilo risulteranno rispecchiate tutte le caverne che si trovano situate dalla superficie fino alla quota indagata, quindi anche le cavernosità il cui livello è incompatibile con quello dell' acqua.

A questo inconveniente, di rilevamento cumulativo, si può ovviare ripetendo un dato allineamento con distanze elettrodiche differenti, tanto da interessare separatamente profondità diverse. Inoltre, riunendo i risultati di più profili su carte di resistività, si ha modo di vedere direttamente quali massimi si susseguono più o meno regolarmente sulla superficie esplorata, tanto da far quasi intravvedere, attraverso questa continuità, il percorso dell' acqua sotterranea, e quali massimi invece risultano isolati, o derivati da vuoti posti non tutti alla stessa quota, tanto da render incompatibile la loro presenza con quella di un fiume sotterraneo (fig. 6).

1. 3. Altri metodi geoelettrici.

1. 3. 1. Talune ricerche idriche, specie quando si tratta di localizzare corsi d' acqua sotterranei nettamente isolati in terreni mediamente molto resistivi, ad esempio in terreni calcarei di uniforme costituzione, superficialmente aridi, possono venir condotte studiando la deformazione prodotta dal corso d' acqua (che si comporta come un' inclusione a bassa resistività) all' andamento di un campo elettrico artificiale opportunamente realizzato. Se tra due punti A, B comunque disposti sulla superficie del terreno, supposto questo ora perfettamente omogeneo ed isotropo, si immette una certa corrente, le linee di corrente si dipongono tra A e B regolarmente, in modo che misurando la differenza di potenziale $\triangle V$ tra successivi punti equidistanti, disposti ortogonalmente alla congiungente A—B, so noterà sempre $\triangle V = O$ a cavallo della congiungente stessa. Se invce nel sottosuolo presso A—B è situato un corso d' acqua sotterraneo localizato entro fratture o cavernosità della roccia (per il resto omogenea e molto resistiva), le linee di corrente tenderanno a passare da A a B più o meno confluendo attraverso l' inclusione conduttiva. Operando con misure di $\triangle V$ sempre tra punti equidistanti disposti ortogonalmente ad A—B, si noterà che i punti con $\triangle V = O$ non sono più situati in corrispondenza ad A—B ma risultano deviati rispetto a questa direzione, a seconda del percorso dell' acqua sotterranea. Operando successivamente su una certa area, con assi A—B comunque orientati, si troverà, per ogni posizione di A—B, delle linee con $\triangle V = O$, più o meno flesse, che si seguono evidenziando il percorso dell' anomalia sotterranea.

1. 3. 2. L' acqua fluente nel sottosuolo (come del resto anche le acque superficiali) determina un campo elettrico „proprio", che può esser messo in evidenza. Occorrendo però di misurare su distanze limitate, per evitare sia di uscire dalla zona interessata da questo campo elettrico, sia di racco-

gliere altri effetti, la differenza di potenziale misurabile è sempre piccola, dell' ordine al massimo di qualche mV. L' effetto è tanto più notevole quanto più resistivo è al terreno in cui si misura. La genesi di questo campo elettrico provocato dall' acqua fluente non è ancora perfettamente nota, si tratta comunque di un insieme di effetti, determinati da fenomeni elettrocinetici, dalla filtrazione dell' acqua attraverso le rocce che la circondano, da adsorbimento da parte di queste di ioni dell' acqua, ecc.

1. 3. 3. La quantità d' acqua presente nel sottosoulo, specie in terreni che hanno proprietà di imbeversi d' acqua, trattenedola contro l' effeto di drenaggio gravitativo, può venir valutata mediante l' emungimento elettroosmotico.

Tale processo è usato per prosciugare talune rocce (argille) ribelli ad ogni altra forma di trattamento, mediante l' azione di un intenso campo elettrico opportunamente creato. Le particelle d' acqua migrano lungo le linee di corrente e vengono raccolte in opportuni catodi. In genere anche altre rocce, di natura non argillosa, possono venir sottoposte a questo genere di trattamento, e a seconda di loro particolari caratteristiche l' emunzione può avvenire aall' anodo oppure al catodo. La quantità d' acqua estraibile, che è ovviamente legata alla quantita d' acqua presente, può venir misurata tenendo conto dell' acqua raccolta agli elettrodi e di quella evaporata per riscaldamento del terreno in prossimità degli elettrodi stessi.

1. 3. 4. In alcuni casi, benchè finora si disponga solo di pochi tentativi con questo mezzo, l' acqua presente nel sottosuolo può venir determinata dalla risposta che un dato terreno dà quando sia sottoposto all' azione di correnti elettriche rapidamente impulsive, od alternate a frequenza variabile. I dati che si ricavano in queste applicazioni non sono facilmente interpretabili; i metodi della geoelettrica classica danno, a parità di condizioni, risultati miglori. Tuttavia, dato che il metodo, benchè proposto varie volte da autori e con intendimenti diferenti in questi ultimi decenni, non è ancora entrato nella pratica normale, non è possibile per ora discuterne gli eventuali vantaggi.

2. Applicazione dei rilievi sismici e gravimetrici in ricerche idriche.

2. 1. Esistono alcuni casi (limitati per altro dal costo dei rilievi e dalla generale applicazione dei molto più economici rilievi geoelettrici) in cui anche il rilievo sismico può venir impiegato nelle ricerche idriche. Ciò può verificarsi in casi del tipo considerato al n. 1. 1. Può cioè accadere che la differenza di resistività tra gli strati di copertura e quelli del fondo non sia tale da contribuire in maniera inequivocabile all' andamento delle curve di resistività geterminate coi sondaggi elettrici. Oppure, per le condizioni stesse di diacitura e per la natura dei materiali, la resistività presenta, in seno ai singoli orizzonti, forti escursioni da punto a punto, tanto

che basandosi sui soli sondaggi si potrebbe venir indotti in false interpretazioni. In questi casi puo peraltro generalmente verificarsi che le caratteristiche elastiche dei terreni siano tali da consentire un giustificato impiego dei rilevamenti sismici. Col profilo sismico a rifrazione o, in determinati casi, operando con frequenze elastiche più elevate (metodi a „HIGH RESOLUTION") coi rilievi a rifessione, si può allora evidenziare il contatto tra le formazioni di diversa natura, raggiungendo lo stesso risultato che si sarebbe ottenuto coi sondaggi elettrici se questi fossero stati applicabili.

2. 2. Nel corso di studi dell' idrologia carsica può verificarsi il caso di dover esplorare un corso d' acqua pur cospicuo ma situato a grande profondità, difficilmente accessibile coi normali metodi della Geofisica. Può darsi d' altronde che questo corso sia accessibile almeno in un punto, ad esempio nell' inghiottitoio. Se sono soddisfatte talune condizioni di pervietà del percorso sotterraneo è possibile definir questo per punti facendovi esplodere delle cariche semigalleggianti che si lasciano trasportare dalla corrente. Le cariche, di forma e dimensioni tali da poter altrepassare i vari ostacoli eventualmente incontrabili nel percorso sotterraneo, esplodono con un comando ad orologeria, in tempi, e cioè in punti differerti. Sulla superficie nella zona esplorata si dispone di un certo numero di sismografi o di geofoni; mediante la registrazione in questi dei tempi di arrivo delle onde sismiche prodotte dagli scoppi è possibile localizzare il punto di scoppio e cioè un punto del percorso sotterraneo.

Per poter risalire col calcolo, dai tempi di registrazione dell' arrivo di un' onda sismica, alla localizzazione dello scoppio, sono necessari almeno tre registratori; in pratica si possono usare le disposizioni di geofoni e di chavi che sono normalmente impiegate nei rilievi sismici e si può cosi diporre di molto più numerose registrazione che permettono una localizzazione assai precisa.

2. 3. Anche la gravimetria può alle volte venir impiegata in ricerche idrologiche. Quando si deve indagare su vaste aree, ancora non troppo note neanche dal loro generale aspetto geologico, il rilevo gravimetrico può esser utile per una prima, sia pur approssimata discriminazione della struttura della zona. Tale metodo può però dare dei risultati anche in altri casi, di maggior dettaglio, pur sempre restando un metodo di indagine qualitativa. Il caso già trattato di un basamento roccioso permeabile sottoposto a formazioni impermeabili, per esempio di natura argillosa, del quale interessa conoscere l' andamento perchè questo è correlato sia con l' economicità di un eventuale sfruttamento dell' acqua in esso contenuta, sia anche perchè in base alla profondità del basamento stesso l' acqua può essere utilizabile oppure più o meno salata (e i casi in cui

questa condizione si verifica sono molto frequenti), può pure esser studiato mediante il rilievo gravimetrico. Se la copertura e il basamento sono di unforme costituzione, con densità costante, e, come di solito avviene, l' argilla ha una densità notevolmente inferiore di quella del calcare di base, l' andamento delle anomalie gravimetriche riprodurrà abbastanza fedelmente quello del contatto tra le due formazioni e i massimi di gravità corrisponderanno alle zone di maggior sollevamento dei calcari, cioè alle zone più interessanti per ogni successiva fase di ricerca o di sfruttamento. In un simile caso anche l' impiego dei sondaggi elettrici può venenir circoscritto, a tutto vantaggio dell' economicità della ricerca, eseguendo questi solo nelle zone di massimo di gravità, nel caso occora precisare quantitativamente le caratteristiche di giacitura.

Anche talune ricerche su lineee di valle sepolte possono venir condotte con l' impiego della gravimetria, specie se questa è favorita da una notevole potenza dei sedimenti e da un sufficiente salto di densità tra copertura e basamento. In ogni caso peraltro il successo del rilievo gravimetrico in queste ricerche è subordinato all' effettiva costanza delle caratteristiche dei terreni che si esplorano. Se questa condizione non è conservata, cioè se la densità varia comunque, non sarà più possibile un' adeguata interpretazione dei risultati e il significato del rilievo gravimetrico cadrà completamente.

3. Altri metodi geofisici.

Non soltanto nelle ricerche idrologiche, ma praticamente in ogni problema di geofisica applicata, l' impiego di un solo metodo non può generalmente portare ad un risultato conclusivo. Ciò può essere dovuto ad una certa indeterminazione o aspecificità dei risultati, ma spesso anche a difficoltà materiali che si incontrano nella stessa analisi dei dati di osservazione. Nel caso dei sondaggi di resistività ad esempio, talvolta le contizioni di giacitura dell' ogetto della ricerca possono essere tanto complesse da non permettere una facile analisi della relativa curva di resistività. Non è che manchino, specie nella più moderna letteratura, dei metodi per l' analisi anche di taluni dei più complessi casi di curve di resistività; peraltro si tratta di possibilità più teoriche che pratiche. Infatti l' applicabilità di taluni di questi speciali concetti interpretativi presuppone l' esistenza o la conoscenza di talune particolarità, sia di ordine geometrico che fisico, riguardo le strutture del sottosuolo, che spesso non sono facilmente raggiungibili; inoltre il lavoro di analisi implicherebbe una tal mole di calcoli e l' impiego di personale altamente specializzato, tanto da rendere antieconomica una tale soluzione. Poichè è preciso scopo della Geofisica applicata di far uso di metodi il più possibile semplici e maneggevoli, si preferisce allora cercare di risolvere un dato problema, che con un determinato metodo porterebbe a operazioni laboriose o a difficili e

malsicure interpretazioni con altri sistemi di più facile impiego, sempre ammesso che ciò sia possibile.

3. 1. Di primaria importanza per la soluzione di svariati problemi di ricerca idrologica, sia da solo che combinatamente ad altri metodi (ad esempio ai profili di resistività), è il metodo termometrico. In effetti oggi tale metodo è ancora assai poco introdotto nelle normali operazioni di ricerca geofisica, laddove meriterebbe assai maggiori interessi. Ci limiteremo a citare solo alcuni dei principali campi di impiego di questo metodo.

3. 1. 1. Da un punto di vista molto generale il regime termico superficiale di una zona qualsiasi è sottoposto principalmente a tre condizioni:

1) La trasmissione del calore dall' interno della terra verso la superficie o, all' opposto, dalla superficie verso l' interno della terri, che avviene sotto forma di flusso continuo o con carattere di periodicità è differentemente favorita dalle differenti entità della conducibilità termica superficiale (oltre, naturalmente che dalla conducibilità degli strati più profondi).

2) Nelle zone ove per la presenza di acqua sotterrane e per le particolari caratteristiche della porosità dei terreni superficiali, l' evaporazione è intensa, si verifica una perdita di calore e di conseguenza un abbassamento della temperatura.

3) Il regime termico superficiale viene alterato sia per la presenza della circolazione idrica, con temperatura media dell' acqua generalmente diversa da quella dei terreni circostanti (ad esempio per acque provenienti da zone con caratteristiche termiche differenti dalla zona in esame, o per acque a carattere „termale") sia per le differenti entità dell' escursione termica dell' acqua rispetto a quella del terreno. Quest' ultima caratteristica è legata ancora alle condizioni climatiche della zona ove acque superficiali si raccolgono per fluire nel sottosuolo ed inoltre alla velocità di flusso dell' acqua, alla sua profondità e al tipo dei terreni attraversati, nonchè ancora alle differenti caratteristiche fisiche dell' acqua rispetto al terreno riguardo la conduzione del calore.

Se il terreno esaminato può considerarsi omogeneo in senso superficiale, la causa 1) cade solo le due seconde regolano le condizioni termiche superficiali; è questo il caso di più favorevole impiego del rilievo geotermico.

Si consideri una formazione alluvionale, più o meno spessa e praticamente uniforme per costituzione, in cui il flusso dell' acqua sotterranea non interessi tutta la massa (o non la interessi egualmente), ma sia localizzato solo in una determinata direzione; interessi una piccola estensione dell' alluvione e avvenga a moderata profondità. Mediante profili di misure termometriche superficiali (condotte cioè con particolari geotermometri a circa 2 metri di profondità nel terreno, per evitare l' influsso delle

oscillazioni diurne di temperatura) verrà messo in evidenza in corrispondenza alle zone di maggior flusso un minimo termico. Tale minimo, il cui valore dipende dalle varie cause più sopra indicate, nonchè dalla profondità del flusso, non è di costante intensità nel tempo, appunto per l' escursione temporaria della temperatura sia dell' acqua che del terreno. Esso è però sempre evidente e la sua presenza può essere significativamente accettata quand' esso sia confermato da almeno due serie di misure ripetute in tempi diversi. La variabilità nel tempo del valore dell' anomalia consiglia di ripetere nel tempo le misure; benche ciò possa esser considerato poco pratico, la ripetizione consente invece di approfondire notevolmente le conoscenze che si ottengono sul regime idrologico di una data zona. Determinati tipi di escursione termica differenti da quella osservabile nel resto del terreno sono infatti imputabili solo a presenza di acqua circolante e anzi in certe semplici situazioni dalle modalità della escursione si può anche risalire alla velocità media di flusso dell' acqua sotterranea.

Qualora esso sia applicabile insomma, il metodo geotermico può, in determinati casi, dare informazioni molto più esatte di altri metodi nella localizzazione di acque circolanti nel sottosuolo, addirittura esso può portare molto vicino alla determinazione direttta dell' acqua. I casi in cui il metodo può esser applicato con sicurezza non sono però troppo frequenti: soprattutto le inomogeità superficiali, l' eccessiva profondità del corso d' acqua (che rende evanescente la relativa anomalia) o la presenza di successivi orizzonti d' acque circolanti con differenti caratteristiche, pertuurbandone i risultati rendono limitata l' applicabilità del metodo.

Peraltro la termometria è praticamente l' unico metodo impiegabile con qualche speranza di risultato quando la ricerca di acque percolanti si rivolge a talune rocce, quali le argille sabbiose o le arenarie (che pur posseggono un certo grado di permeabilità) in cui la presenza di acque non fa variare di solito la resistività in maniera apprezzabile e la cui stessa resistività anzi è assai facilmente confondibile con quella di altre rocce, prive di acqua utilizzabile, che possono coesistere.

3. 1. 2. L' esame delle condizioni termiche diventa addirittura necessario una volta raggiunta l' acqua del sottosuolo mediante pozzi, oppure anche nel caso di sorgenti o di risorgive, quando si tratta di studiare i rapporti esistenti con le presunte zone di alimentazione. Particolari ed interessanti relazioni possono venir trovate studiando il regime termico di falde sovrapposte, separate tra da loro di strati impermeabili, e aventi differente origine.

Questi esami sono assai significativi, benchè implichino un prolungato servizio di misure, se si esamina l' andamento dell' onda annua di temperatura.

Le oscillazioni termiche, che risultano sovrapposte all' andamento medio della temperatura (a sua volta dipendente dalle condizioni climatiche della zona di alimentazione, nonchè di quelle della zona esaminata e, in vario modo dalle caratteristiche fisiche di questa e dalle condizioni secondo cui si svolge il percorso sotterraneo), possono informare della dipendenza esistente tra l' acqua di una data falda o sorgente e quella che si affonda nel sottosuolo in una data zona.

In genere l' ampiezza e la fase di un' oscillazione termica di un' acqua del sottosuolo sono legate alla lunghezza e alla profondità del percorso sotterraneo, nonchè alla velocità di flusso. Acque che scorrono prossime alla superficie presentano, specie riguardo l' onda annua, fasi assai vicine a quelle dell' onda termica superficiale in sito, qualunque sia la provenienza e la lunghezza del percorso e tanto più quanto più piccola è la loro velocità di flusso. In questo caso anche l' ampiezza dell' onda sarà notevole. Se invece si tratta di acque che scorrono in profondità, le condizioni superficiali avranno ben poco influsso, mentre giocherà un ruolo importantissimo la temperatura del luogo di affondamento delle acque nel sottosuolo, la cui escursione sarà però più o meno modificata dalle condizioni del percorso. La fase dell' oscillazione termica sarà comunque anche molto differente, o addizittura invertita rispetto quella delle onde superficiali, e l' ampiezza piccola fino a diventare evanescente.

Le acque termali presentano altri caratteristici comportamenti: la presenza di oscillazioni nella loro temperatura può esser messa in rapporto col mescolamento con acque superficiali, specie quando si tratta di oscillazioni sincrone (anche se non in fase) con quelle della temperatura esterna. Nel caso di acque termali, specie di quelle aventi elevato grado di termalità, la conseguenza più immediatamente avvertibile è quella del riscaldamento dei terreni superficiali in corrispondenza. Questo riscaldamento è però generalmente in funzione del tempo, nel senso che l' ampiezza della zona riscaldata attorno alla sorgente è tanto maggiore quanto più prolungata è stata l' azione della sorgente stessa sul terreno. Cosi ad esempio in casi di vulcanismo recente l' anomalia termica attorno una sorgente termale a questo collegata è notevolmente più ristretta; ma con intensità maggiore che in casi di vulcanismo più antico, nei quali l' anomalia termica ha avuto tempo di estendersi ma nel contempo di appiattirsi. In questi ultimi casi tutta una vasta zona attorno la sorgente può costituire una zona anomalamente riscaldata, senza che nelle immediate vicinanze di questa si noti un andamento particolarmente anomalo delle temperature.

3. 1. 3. Talune acque termali, per le loro caratteristiche chimiche, possono venir rilevate anche mediante misure del tasso di CO_2 nel terreno

immediatamente prossimo alla superficie. Questo gas si trova normalmente nell' aria in proporzioni abbastanza costanti se si considera un' area non rilevante; se però localmente si verifica la presenza di acque termo-minerali ricche di CO_2, il gas può venir ceduto all' aria anche in notevole quantità, da cui la sua presenza nel terreno. La determinazione del CO_2 si compie nel terreno più agevolmente che nell' aria perchè così si evitano perturbazioni causate dalla circolazione atmosferica. Il metodo è peraltro significativo solo in presenza di anomalie molto forti rispetto la norma, per la molteplicità dei fattori che possono contribuire all' accrescimento del tenore di questo gas nel terreno (vegetazione ad es). Inoltre particolari accorgimenti devono venir tenuti presenti, riguardo il reale significato delle anomalie, nel senso che solo le anomalie non isolate ma continuantesi in determinate maniere possono essere effettivamente interessanti.

3. 1. 4. In taluni climi molto aridi l' evaporazione dell' acqua dal sottosuolo può essere favorita anche da notevoli profondità, essa viene accentuata dalla circolazione d' aria nel sottosuolo, specie in presenza di cavernosità. Nelle zone aride, pressocchè prive di precipitazioni, esiste un gioco tra l' acqua che si condensa al suolo e percola nel sottosuolo e quella invece che evapora dal terreno. In determinati tempi l' evaporazione può risultare massima, allora se la circolazione atmosferica in prossimità del suolo è debole, tanto da favorire il ristagno dei vapori, semplici determinazioni di umidià relativa, come quelle che abitualmente si fanno in meteorologia, possono dare indizi sulla presenza di acqua nel sottosuolo. Che la fuoruscita di vapori dal sottosuolo sia in rapporto alla presenza di acqua (più o meno circolante) è noto da tempo. Gli antichi ricercavano l' acqua sotterranea con questo mezzo, osservando le nubi di condensazione che nella stagione invernale si formavano in corrispondenza alle fuoriuscite di vapore. Anche l' accrescersi più rapido, o localizzato solo in alcune zone, della vegetazione su una data superficie, è indice di presenza d' acqua il fenomeno è particolarmente sensibile nelle zone aride in primavera. Esso può esser messo molto bene in evidenza con la aereofotografia.

4. Misure in pozzi.

Quando con uno o con l' altro metodo geofisico, o con la combinazione di più metodi, si riesce a localizzare una zona in cui è più probabile il rinvenimento di acqua, si fornisce in realtà appena un indizio che deve ancora venir precisato per diventare un dato sicuro e definitivo.

Prescindendo da certi tipi di rilievi, come ad esempio al gravimetrico, che dà soltanto delle generiche informazioni sulla struttura del sottosuolo, o i profili elettrici che forniscono delle informazioni per lo più qualitative, gli stessi sondaggi elettrici rivelano direttamente la presenza di acqua solo

©Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Digitized by Sistema Bibliotecario Nazionale

in condizioni particolari e non possono comunque precisare se si tratta di acqua ferma, stagnante nella porosità delle rocce, o di acqua in movimento in una formazione porosa più o meno collegata con opportune zone di alimentazione. Qualche informazione sul movimento delle acque sotterranee si può ottenere, per la verità, con le misure termometriche o con le misure di potenziale spontaneo, ma si tratta sempre di dati poco sicuri, difficilmente interpretabili e che possono venir perturbati da una molteplicità di cause. L' informazione che l' applicazione di questi metodi può dare non è mai quantitativa.

In un dato materasso alluvionale, che il sondaggio elettrico ha indicato come acquifero da un dato livello in poi, possono in realtà esistere differenti livelli privilegiati in cui l' acqua fluisce con una certa velocità e dai quali soltanto è quindi conveniente procedere all' emunzione, perchè altrove, lungo la medesima verticale, l' acqua proviene solo per capillarità o per drenaggio dai livelli predetti.

Per poter determinare questi orizzonti privilegiati non sono in genere sufficienti i normali metodi geofisici che agiscono dalla superficie; occorre poter disporre di almeno un pozzo nel quale si opera con particolari metodi di indagine. Precisamente si immettono nel pozzo delle sostanze (sali, coloranti, radioisotopi) la cui concentrazione, determinata in tempi successivi all' immissione, permette di risalire allo stato e alle caratteristiche di moto dell' acqua presente. Se l' acqua ristagna in tutto il pozzo, successive misure di concentrazione del tracciante eseguite lungo l' asse stesso del pozzo, daranno valori praticamente costanti con la profondità e solo lentamente variabili nel corso del tempo: la concentrazione del tracciante, che in trasferisce dal pozzo all' alluvione circostante varia, uniformemente in tutte le direzioni, per semplice diffusione. Solo se il tracciante impiegato modifica le condizioni di equilibrio del liquido nel pozzo (ciò che accade ad esempio usando forti concentrazioni saline che perturbano la distribuzione della densità), la concentrazione non risulta uniforme con la profondità dato che, sovrapposto alla diffusione, si determina un addensamento del tracciante verso il basso. Se invece almeno ad un certo livello vi è movimento dell' acqua in una certa direzione, si determinerà allora in corrispondenza una più o meno forte variazione della concentrazione del tracciante, man mano più evidente nel corso del tempo. La zona del pozzo in cui avviene la variazione più forte di concentrazione rivela allora la posizione del livello di massimo flusso dell' acqua; studiando la variazione della concentrazione nel tempo si ha modo di calcolare la velocità del flusso e quindi di conoscere in maniera quantitativa ed esatta la portata.

Disponendo di una serie di pozzi attorno a quello in cui venne immesso il tracciante si potrà rilevare in essi una più o meno forte concen-

trazione del tracciante stesso e precisare quindi anche la direzione del movimento. Se come tracciante viene usata una soluzione salina abbastanza concentrata, prescindendo dalla perturbazione che allora si genera nelle condizioni di equilibrio, la direzione di movimento dell' acqua si potrà determinare anche senza ricorrere ad altri pozzi, pur che lo strato in cui l' acqua si muove abbia una certa potenza e non sia troppo profondo. Si potrà cioè misurare, coi normali procedimenti della geoelettrica, su raggi che convergono al pozzo l' abbasamento di resistività prodotto dal flusso nel sottosuolo della soluzione salina.

Altre informazioni sul movimento delle acque si possono ottenere dallo studio delle temperature in pozzo, specie in occasioni di forti piovosità o di piene o di scariche di bacini (se si ritiene possibile una certa alimentazione della falda indagata da parte di questi); l' acqua con differenti caratteristiche termiche che in questi casi si immette nella falda si comporta come un vero e proprio tracciante naturale, la cui concentrazione viene messa in evidenza con le misure termometriche.

5. *Cenno a ricerche idrologiche eseguite in Italia coi vari metodi.*

Nel corso di varie ricerche eseguite a scopo idrologico in Italia l' Osservatorio Geofisico di Trieste ha avuto modo di sperimentare e di saggiare l' applicabilità dei vari metodi cui precedentemente sui è accennato.

Le indagini con sondaggi elettrici per la precisazione dell' andamento di valli sepolte risultano particolarmente interessanti in zone pedemontane. Se le condizioni climatiche sono tali da ammettere solo scarsi afflussi meteorici, l' acqua che fluisce nell' alluvione non sarà troppo abbodante e potrà trovarsi con una portata discreta solo in prossimità delle paleolinee di valle, ove essa viene convogliata per drenaggio. L' acqua di subalvea costituisce praticamente l' unica risorsa idrica di una certa importanza in talune regioni dell' Italia meridionale, specialmente della Calabria, dove le ricerche d' acqua nei paleoalvei assumono grande interesse.

Nelle grandi pianure dell' Italia settentrionale e nelle zone prealpine la ricerca idrica interessa invece soprattutto l' identificazione, in seno ad una alluvione più o meno differenziata, di zone più permeate da zone meno permeate, oppure in certi siti, la precisazione della profondità delle falde. Nell' Italia settentrionale, ricca in genere di risorse idriche sia superficiali che sotterranee, non si pone tanto il problema della ricerca e dello sfruttamento di poca acqua, quanto piuttosto la scelta di zone più favorevoli per l' economicità dell' emunzione.

Solo in rapporto a centri abitati o a complessi industriali già impiantati la ricerca d' acqua localizzata in un' area limitata assume significato. Allora, sia a fine potabile, che industriale od agricolo, anche per l' interdipendenza dei vari interessi, ha importanza la precisazione dei rap-

porti esistenti tra le acque sotterranee in un dato sito e la dipendenza di queste da una o dall' altra zona di alimentazione. In questi problemi intervengono allora, oltre alle normali ricerche geofisiche dell' acqua, condotte perlopiù con la geoelettrica, anche altri tipi di indagini quali le termometriche o quelle implicanti l' uso di traccianti.

Ricerche geoidrologiche particolarmente impegnative, e spesso difficili, sono quelle condotte in terreni calcarei, nei quali spesso la captazione di acqua riveste grandissima importanza sia dal punto di vista agricolo o potabile che di quello industriale. Problemi di tal genere sono particolarmente di attualità nella regione pugliese e nel Carso triestino. Nella Puglia, data l' odierna fase di evoluzione e sviluppo economico cui la regione va incontro attraverso la sua industrializzazione e il miglioramento dell' agricoltura, il poter disporre di notevoli quantità di acqua a prezzo economico riveste importanza enorme. Questa non è ricavabile da corsi superficiali, che sono praticamente inesistenti, ma può venir emunta dalla falda che si estende quasi ovunque nell' uniforme sottosuolo calcareo della regione.

La ricerca geofisica in questo caso si riduce, nelle zone in cui il calcare giunge fino alla superficie, alla precisazione della quota cui si trova l' orizzonte acquifero, fornendo eventuali informazioni sull' inquinabilità della falda da parte dell' acqua di mare. Questo penetra ovunque i profondita, nel sottosuolo della regione mettendo in comunicazione l' Adriatico con lo Jonio. Dove invece i calcari sono sottoposti a coperture impermeabili più o meno spesse la ricerca geofisica deve mettere in evidenza la profondità dei calcari, essendo questa ovviamente legata e all' economicità dell' emunzione e alla possibilità stessa di attingere acqua non inquinata dal mare.

Analoga importanza hanno le ricerche idrologiche nel Carso Triestino; nonostante la stretta analogia geolitologica tra il Carso Triestino e il Pugliese, le condizioni idrologiche sono profondamente diverse. Nella Puglia l' orizzonte acquifero si estende uniformemente nel sottosuolo, con le tipiche caratteristiche dell' acqua di base; nel Carso vero e proprio invece generalmente l' acqua è raccolta in strette vie che seguono l' andamento di cavernosità. L' acqua di base, nella stretta accezione del termine, non esiste in pratica, se si eccettua qualche caso singolo e circoscritto. Il problema della ricerca dell' acqua in questi territori è allora particolarmente arduo perchè si tratta perlopiù di evidenziare limitati corsi che si evolvono anche a profondità di 300—400 m. Non è possibile allora ricorrere ai sondaggi di resistività che non hanno più potere di percezione, nè a misure termometriche, data la profondità è l' inomogeneità superficiale. Qualche successo si è avuto con i profili eletrtici e

con le indagini basate sulla deformazione di campi elettrici artificiali. Se si tratta di corsi d' acqua accessibili in qualche punto è possibile anche la ricerca a mezo di cariche semigalleggianti che vengono fatte esplodere. Dobbiamo purtuttavia riconoscere che in questa zona, che è stata la culla dell' idrologia sotterranea, le effettiva cononscenze idrologiche sono ancora scarse e che nonostante gli sforzi finora condotti con tutti i mezzi, il problema non è ancora risolto. La sua soluzione avrebbe grandissima importanza teorica, perchè porterebbe alla conoscenza dell' idrologia della zona più tipicamente e complessamente carsica esistente. Ma non va trascurata l' importanza pratica di questa soluzione, che potrebbe fornire copiosa acqua a bassa prezzo, oltremodo preziosa nella attuale pose di trasformazione, da commerciale ad industriale, dell' economia Triestina.

BESCHRIFTUNG DER ABBILDUNGEN:

fig. 1

Caso di paleovalle il cui andamento sotto le coperture alluvionali viene evidenziato con i sondaggi geoelettrici (curve di resistività indicate superiormente). La zona prossima alla linea di valle (indicata dalla freccia)è la più favorevole all' emunzione se la copertura permeabile è omogenea ed uniforme.

Simile caso si presenta frequentemente in ricerche idriche sia nelle alluvioni di origine alpna che in quelle appenniche.

fig. 2

Caso di sondaggi di resistività che evidenziano in un sottosuolo permeabile un livello di acqua di base. Una tale situazione si presenta frequentemente in massicci calcarei e dolomitici, sia della catena alpina che dell' Italia Peninsulare o Insulare. La ricerca idrologica in queste circostanze assume particolare importanza nella Puglia.

fig. 3

Caso di progressivo inquinamento della falda acquifera in terreni permeabili prossimi alla costa ad opera dell' acqua di mare, evidenziato dai sondaggi geoelettrici. Tale circostanza ricorre sia nella fascia costiera della pianura Padano-Veneta-Romagnola sia in talune più limitate alluvioni di corsi d' acqua dell' Italia Centro-Meridionale.

fig. 4

© Landesmuseum für Burgenland, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Caso di rocce permeabili di fondo, impregnate di acqua e ricoperte da formazioni impermeabili. Il sondaggio geoelettrico o, in partiocolari condizioni di omogeneità dei terreni, anche il profilo geoelettrico o la gravimetria, permettono di ricostruire la topografia del fondo al di sotto della copertura, precisando le zone in cui l' emunzione è più favorevole economicamente o quelle in cui soltanto essa è possibile. Entrambi i casi interessano la Puglia in maniera particolare; il caso A il Tavoliere (zona di Foggia) ove i calcari acquiferi sono situati più o meno profondi sotto coperture argillose. Il caso B attorno Taranto e in altri punti della penisola Salentina. In quest' ultimo caso solo le zone corrispondenti ai maggiori sollevamenti del basamento calcareo sono interessate da acque dolci e occorre quindi differzeniare queste dalle zone più affossate.

fig. 5

Esempio schematico di disposizione di corsi d' acqua superficiali che spariscono appena entrati in una zona alluvionale permeabile. In questa, ad un certo livello, esiste sempre un orizzonte di falda che può venir messo in evidenza coi sondaggi elettrici ma è uniformemente distribuito. Esistono peraltro, più o meno in rapporto con la traccia dei corsi superficiali, delle linee in cui l' acqua scorre di preferenza. Queste non si possono mettere in evidenza coi metodi elettrici ma di solito vengono bene evidenziate con misure termometriche superficiali. Al di là di una certa linea si trova in superficie un deposito più fine e molto meno permeabile, spesso di origine marina. Qua le acque sotterranee possono radunarsi in superficie attraverso risorgive e confluire in vari corsi superficiali oppure possono percolare paleoalvei sepolti che si evidenziano molto bene con i profili geoelettrici e le carte di resistività (linee isoohmiche schematizzate i figura). Alcuni di questi paleoalvei possono però essere sterili; la differenziazione è ancora possibile con i metodi termometrici. L' acqua fluente in questi paleoalvei può venir in superficie attraverso risorgive poste più a valle della normale linea delle risorgive o confluire direttamente nel mare o in altri corsi superficiali più grandi.

Il caso si verifica, con molte varianti, in tutta la pianura Padana, nella pianura Veneto-Friulana, ecc.

fig. 6

Esempio di rilevamento di corso sotterraneo di fiume carsico mediante la localizzazione di sistemi di caverne. La superficie S è stata interessata con tre profili paralleli di resistività (interesezioni di S coi piani A, B e C). Su ogni piano è stato riportato il risultato dei profili (linee 1 A, 1 B e 1 C), in questi i massimi possono essere ritenuti causati da vuoti sotterranei: cioè da caverne isolate, poste anche a quote diverse da quelle in cui scorre l' acqua, o da caverne riunite con una certa continuità. La traccia *s*, che unisce in superficie i massimi che nei vari profili si saccedono con continuità e costanza, può rappresentare la traccia del corso sotterraneo che percorre le caverne stesse.

Il caso è stato verificato attuarsi col Timavo sul Carso Triestino.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland

Jahr/Year: 1961

Band/Volume: 030

Autor(en)/Author(s): Mosetti M.

Artikel/Article: Alcuni concetti seguiti in italia nell' impostazione di ricerche geoidrologiche con metodi geofisici. 80-97