

UNIVERSITA' DI BARI  
FACOLTA' DI INGEGNERIA  
ISTITUTO DI GEOLOGIA APPLICATA E GEOTECNICA  
via Re David, 200 - BARI

**AGENZIA PER LA PROMOZIONE DELLO SVILUPPO DEL MEZZOGIORNO**



**P.S. 35 - 11/AC**

**RICERCA RIGUARDANTE LA INDIVIDUAZIONE E LA CAPTAZIONE  
DI SORGENTI SOTTOMARINE E CORRELAZIONE CON LA "FALDA  
PROFONDA" SOTTOSTANTE AL MAR PICCOLO DI TARANTO**

**Prof. Ing. Vincenzo Cotecchia**

Dicembre 1991

## INDICE

1. PREMESSA	1
2. LINEAMENTI GEOLOGICI E MORFO-STRUTTURALI	4
3. CARATTERISTICHE DI PERMEABILITA' DELL'ACQUIFERO	12
4. LINEAMENTI IROGEOLOGICI DELL'AREA	13
5. DISTRIBUZIONE DEL CONTENUTO SALINO NELLE ACQUE DI FALDA	22
6. CHIMISMO DELLE ACQUE DI FALDA	29
7. CARATTERISTICHE DEL POZZO SPIA "LEGGIADREZZE"	32
7.1. Sistemazione del pozzo	
7.2. Accertamenti radioisotopici	
7.3. Sistema di monitoraggio installato	
8. EMERGENZE COSTIERE SUBAEREE	37
9. CENSIMENTO DI PICCOLE EMERGENZE NEI PRESSI DELLA POLLA PRINCIPALE GALESO	40
10. CARATTERISTICHE DELL'OPERA DI CAPTAZIONE	45
11. MODELLO IDRAULICO DEL SISTEMA DI CONTROLLO E MISURA DEL REGIME DELLA SORGENTE	47
11.1. Considerazioni generali sulle condizioni di efflusso da una sorgente sottomarina	
11.2. Considerazioni generali su regimi di moto in condotte in pressione	
11.3. Schema di calcolo per il moto permanente	
11.4. Primi risultati sperimentali quantitativi. Confronto con le deduzioni teoriche	
11.5. Interazione fra captazione e sorgente	
12. SISTEMA PER IL MONITORAGGIO AUTOMATICO DI PARAMETRI CHIMICO-FISICI DELLE ACQUE DELL'OPERA DI CAPTAZIONE	65
12.1. Architettura del sistema di monitoraggio	
12.2. Considerazioni finali	
13. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	71

### *BIBLIOGRAFIA*

*APPENDICE : Descrizione dei sistemi per il rilievo acustico  
con sistema Uniboom, Slide Scan Sonar ed Ecografo*

## ***RICERCA RIGUARDANTE LA INDIVIDUAZIONE E LA CAPTAZIONE DI SORGENTI SOTTOMARINE E CORRELAZIONE CON LA "FALDA PROFONDA" SOTTOSTANTE AL MAR PICCOLO DI TARANTO***

### ***1. PREMESSA***

In vaste aree del mezzogiorno d'Italia ed in particolare in Puglia, la cronica penuria di acqua ha da sempre costituito un forte impedimento ad uno sviluppo intensivo del settore agricolo, sul quale dovrebbe essere basata, oggi più ancora che nel passato, una forte ripresa economica del Sud stesso.

Analizzando in particolare la situazione della Puglia, è evidente che a tutt'oggi la sempre più pressante domanda di approvvigionamento idrico ha fatto sì che venissero pressochè completamente impegnate le risorse idriche disponibili nel territorio, rappresentate per la quasi totalità da acque sotterranee.

Considerando che le risorse idriche sotterranee pugliesi sono in gran parte costituite da acque di origine meteorica accumulate nel sottosuolo al di sopra di acque marine di invasione continentale, si è potuto assistere in molti casi ad un progressivo aumento della salinità delle acque emunte dal sottosuolo sino ad arrivare, per vaste aree, ad un tasso di salinità ormai inaccettabile nelle pratiche irrigue; fenomeni questi innescati da massicci prelievi, superiori alle naturali possibilità di ricarica della falda.

Dell'inquinamento marino prodotto da inconsulto uso della risorsa hanno fatto le spese anche pozzi per l'estrazione di acqua diretta al potabile e di proprietà dell'Ente Autonomo Acquedotto Pugliese. Tali circostanze hanno ormai imposto la ricerca di nuove vie da perseguire per l'approvvigionamento idrico in Puglia; diventano così di attualità, nonostante i notevoli oneri che comportano, le grandi adduzioni di risorse extra-regionali (Pertusillo, Sinni, ecc.), così come, almeno per il momento in piccola scala, si sono dimostrate utili le captazioni di acque salmastre da sorgenti costiere che, in miscelamento con acque dolci di altra origine, costituiscono un apprezzabile incremento delle portate disponibili (sorgenti Chidro Taranto e Idume Lecce).

Quanto sopra però non è certamente sufficiente ad assicurare il soddisfacimento della domanda idrica, in continuo aumento in Puglia, specie se i quantitativi di acqua disponibili vengono rapportati alle previste esigenze future.

E' necessario pensare oggi ad altre fonti, considerate finora inutilizzabili e che pure potrebbero contribuire notevolmente al fabbisogno idrico. Ci si vuole riferire in particolare a quelle cospicue portate di acque sotterranee che si scaricano a mare attraverso una miriade di sorgenti perlopiù sottomarine, alcune delle quali assai rilevanti, quali quelle già note nel Mar Piccolo di Taranto.

Su tale tematica la ex Cassa per il Mezzogiorno, ben sensibile ai problemi meridionali, ha stipulato una specifica convenzione con l'Università degli Studi di Bari e per essa l'Istituto di Geologia Applicata e Geotecnica della Facoltà di Ingegneria, diretto dal Prof. Vincenzo Cotecchia, per l'espletamento di studi ed indagini volti alla captazione delle acque della scaturigine sottomarina Galeso presente nel Mar Piccolo di Taranto.

Certamente la captazione di sorgenti sottomarine comporta difficili progettazioni ed esecuzione di opere costose; pur tuttavia è doveroso riflettere che attualmente più onerosa ancora risulta la captazione di acqua di falda con pozzi di notevole profondità, dell'ordine di svariate centinaia di metri, come oggi accade in alcune vaste aree interne della Puglia per portate talora assai esigue. E' superfluo, pertanto, sottolineare l'importanza che riveste l'individuazione e lo studio di tali sorgenti sottomarine, non solo in quanto potenziali fonti di approvvigionamento, ma anche per la migliore comprensione dei fenomeni che regolano la circolazione idrica sotterranea entroterra.

Gli studi eseguiti hanno teso soprattutto alla ricerca delle più idonee metodologie per l'individuazione e lo studio delle "sorgenti sottomarine", comprendendo tali studi l'acquisizione di tutti i dati utili e necessari per la successiva progettazione esecutiva delle opere di adduzione a terra.

Dato il carattere sperimentale e applicativo della ricerca, si è ritenuto utile indirizzare gli studi su una delle principali sorgenti di cui sono già note alcune caratteristiche. Ci si riferisce con ciò alla sorgente subacquea Galeso sgorgante nel Mar Piccolo di Taranto.

Sulle sorgenti del Mar Piccolo nel passato, quasi un ventennio addietro, l'Istituto di Ricerca sulle Acque del C.N.R. aveva condotto studi e accertamenti, giungendo anche alla installazione di una campana subacquea sulla sorgente Galeso per l'acquisizione di alcuni dati significativi. Gli studi furono poi interrotti avendo acquisito solo dati indicativi.

Col presente rapporto si illustrano:

- i risultati conseguiti con i rilievi, le indagini e gli accertamenti condotti sul territorio circostante il Mar Piccolo con lo scopo di definire i fondamentali lineamenti geologico-strutturali, idrogeologici ed idrochimici dell'acquifero e delle acque in esso circolanti che contribuiscono ad alimentare le sorgenti;
- le metodologie adottate per la captazione provvisoria della sorgente;
- le tecnologie con le quali si sono sviluppate le osservazioni in continuo dei fondamentali parametri idrochimico-fisici sulle acque erogate dalla sorgente;
- gli elementi scaturiti con le osservazioni condotte alla sorgente.

In particolare è stato condotto uno studio geologico di dettaglio del territorio in cui ricade la scaturigine sottomarina volto alla definizione:

- delle caratteristiche essenziali della circolazione idrica sotterranea condizionata peraltro dalle lineazioni tettoniche;
- delle modalità con cui la falda defluisce in pressione al di sotto del fondale marino (in ciò ci si è avvalsi di rilievi acustici tipi Side Scan Sonar e Uniboom);
- delle condizioni di emergenza.

Tale studio geologico ha interessato ampie porzioni di territorio circostante il Mar Piccolo in modo da comprendere le aree del bacino idrologico afferente alla sorgente.

Peraltro numerose e note sono le sorgenti del Mar Piccolo, ma si è ritenuto di focalizzare l'attenzione solo sulla polla Galeso, già presa in considerazione nel passato. Accanto al rilievo geologico è stato effettuato un censimento dei punti d'acqua esistenti nel territorio; di tali punti acqua, rappresentati da pozzi, sono stati rilevati elementi idrologici e chimico-fisici che hanno permesso di ricostruire ed evidenziare le direttrici principali del drenaggio idrico sotterraneo e valutare per mezzo di analisi chimico-fisiche la influenza entroterra dell'inquinamento salino dovuto alle acque di mare di ingressione continentale.

Inoltre dopo approfonditi e dettagliati sopralluoghi sono state definite le modalità da adottare per la progettazione e successiva realizzazione dell'opera di captazione delle acque erogate dalla polla principale "Galeso". A tal particolare opera sono state successivamente e in varie riprese apportati adattamenti per rendere più funzionale la captazione stessa, quali ad esempio: variazioni di diametro della colonna di adduzione delle acque alla superficie, sistemazione di valvole e del by-pass, realizzazione di giunti elastici colleganti tratti di colonna rigida, adeguamenti della boa di ancoraggio, riposizionamento dei corpi morti, messa in opera alla sommità, a livello mare, di un sistema telescopico per variare manualmente il carico idraulico sulla sorgente.

Nel corso dell'esercizio dell'opera di captazione è stato necessario effettuare frequenti operazioni manutentorie per liberare l'intero sistema dall'aggressione di mitili e alghe che peraltro, appesantendo notevolmente la struttura, provocano sensibili danni ai giunti elastici.

Già sulla base dei primi dati acquisiti, nel corso di rilievi periodici, era possibile elaborare un modello di simulazione del funzionamento idraulico e chimico-fisico della sorgente in rapporto ai processi di alimentazione e deflusso e dei carichi del mare insistenti sulla bocca della sorgente. Tale modello va adeguato ai dati che scaturiscono dal sistema automatico di monitoraggio installato, che prende in considerazione numerosi parametri: idraulici, chimici e fisici.

Attualmente tale sistema di rilevamento, appositamente progettato e realizzato, è in avanzata fase di taratura e messa a punto.

Di analoga concezione è il sistema di monitoraggio installato sul pozzo spia espressamente realizzato a terra nell'area prospiciente la sorgente.

I dati raccolti nel pozzo spia (livello, conducibilità e temperatura) e relativi alle tre celle che lo caratterizzano, vengono correlati con gli analoghi parametri rilevati in un pozzo spia a suo tempo perforato in agro di Statte e con quelli derivanti dal monitoraggio alla polla Galeso.

Di quanto sopra esposto, nelle pagine che seguono si fornisce ampia e approfondita descrizione e documentazione grafica e fotografica.

Gli studi e le indagini si sono protratti ben oltre i tempi preventivati, a causa di difficoltà insorte nell'ambito dei rapporti amministrativi tra Università e Agenzia, di lungaggini amministrative all'interno dell'Università e per i notevoli e complessi problemi insorti nelle ristrutturazioni e modifiche del sistema di captazione e dei complicati sistemi elettronici di monitoraggio. Tuttavia in varie sedi scientifiche nazionali ed internazionali, i risultati via via conseguiti sono stati oggetto di importanti comunicazioni.

Allo studio dell'argomento ha fornito la sua collaborazione anche il Centro di Studio sulle Applicazioni di Tecnologie Avanzate nel campo dell'Idrogeologia del C.N.R., avente sede presso l'Istituto di Geologia Applicata e Geotecnica della Facoltà di Ingegneria di Bari.

Hanno preso parte alla ricerca in varia misura e talora con compiti differenziati:

- ISTITUTO DI GEOLOGIA APPLICATA E GEOTECNICA – Facoltà di Ingegneria – Università di Bari

Prof. Ing. Vincenzo Cotecchia – Direttore della Ricerca

Prof. Ing. Tiziano Tadolini

Dott. Ing. Federica Cotecchia

Per. Min. Marcellino Daurù

Dott. Ing. Michele Spizzico

Dott. Ing. Roccaldo Tinelli

Geom. Mario Dragone

Per. Chim. Donato Sciannamblo.

- CENTRO DI STUDIO SULLE APPLICAZIONI DI TECNOLOGIE AVANZATE NEL CAMPO DELL'IDROGEOLOGIA, del C.N.R., Bari

Dott. Ing. Giorgio Lollino

Dott. Ing. Rosamaria Trizzino

Dott. Ing. Rosa Pagliarulo.

Inoltre, alla ricerca, hanno collaborato o eseguito lavori specialistici:

Società cooperativa "ACQUARIUS" – Milano

Istituto di Biologia del mare del C.N.R. – Venezia – Prof. Antonio Stefanon, direttore di detto Istituto.

ECOSURVEY S.r.l. – Treviso

SE.TE.PE.T. S.r.l. – Taranto

N.E.P. S.r.l. – Bari

ELSIM S.r.l. – Milano

STES s.n.c. – Mola di Bari

Comando Carabinieri di "Bari Centro"

Nucleo subacqueo dei Carabinieri di Napoli e Genova

Gruppo NUL della Marina Militare di Taranto

Ditta f.lli COSTA fu Ernanio - Taranto

Hanno curato la parte grafica e dattilografica rispettivamente la sig.ra Maria Rosaria Paiano e la Sig.ra Annabella Cursorsi dell'Istituto di Geologia Applicata e Geotecnica della Facoltà Di Ingegneria di Bari.

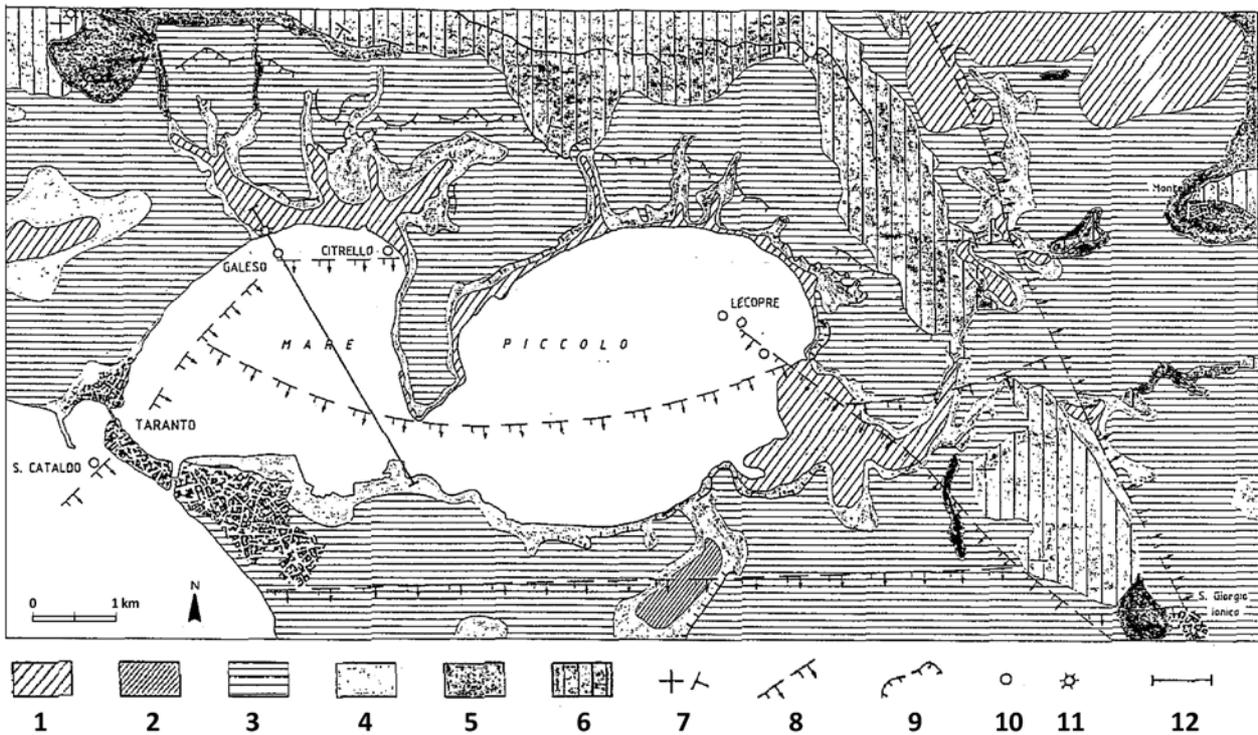
## 2. LINEAMENTI GEOLOGICI E MORFO-STRUTTURALI

L'area oggetto di studio è localizzata tra il bordo più meridionale delle Murge ed il Mar Jonio, comprendente la città di Taranto e i suoi dintorni.

Le caratteristiche geologiche generali si inquadrano nell'ambito dell'intera regione pugliese e, più precisamente, trattasi di un potente basamento mesozoico su cui poggiano, in trasgressione, depositi post-pliocenici.

Nella zona affiorano le seguenti formazioni elencate a partire dalle più antiche (Fig.1):

- calcari e calcari dolomitici del Cretacico inferiore
- biocalcareni e biocalciruditi del Pliocene superiore Calabriano
- argille siltoso-marnose del Calabriano
- calcareniti del Tirreniano
- depositi alluvionali e palustri dell'Olocene
- limi e ghiaie alluvionali, recenti.



**FIG. 1 - Carta geologica**

1) Limi e ghiaie alluviali (Olocene); 2) Limi lagunari e palustri (Pliocene-Olocene); 3) Calcareniti (Tirreniano); 4) Argille marnoso-siltose (Pliocene Inf. Calabriano); 5) Biocalcareni e biocalciruditi (Pliocene sup. Pleistocene inf.); 6) Calcari e calcari dolomitici (Cretaceo sup. Senoniano - Turoniano); 7) Giaciture; 8) Faglie pre-plioceniche; 9) Terrazzi morfologici; 10) Sorgenti sottomarine; 11) Pozzi - spia; 12) Traccia di sezione.

Le ultime formazioni, cioè le calcareniti del Tirreniano e i depositi alluvionali e palustri dell'Olocene rappresentano le coperture trasgressive, mentre le biocalcareni plioceniche e le argille siltoso-marnose, appartengono al ciclo sedimentario dell'Avanfossa.

La formazione dei calcari e calcari dolomitici è riferibile al Cretacico superiore (Turoniano-Senoniano) ed è rappresentata da calcari compatti, ceroidi, grigio nocciola, talvolta rosati, calcari cristallini, vacuolari e localmente calcari dolomitici.

Dal punto di vista petrografico possono essere considerate come micriti in cui sono immersi intraclasti e resti fossili rappresentati da Rudiste e grossi foraminiferi.

La formazione, che si presenta come stratificata, è fessurata con evidenti fenomeni di erosione per dissoluzione carsica, per cui agli effetti idrogeologici è da considerarsi generalmente permeabile per fessurazione e carsismo, tenendo però conto delle anisotropie che tali caratteri impongono all'ambiente roccioso. Le superfici di frattura sono sempre incrostate da una patina rossastra e, localmente, giallastra a composizione limonitica.

In trasgressione sui calcari affiorano in aree più o meno estese o in lembi residui, le calcareniti del Calabriano costituite da calcareniti organogene variamente cementate, porose, biancastre. I macrofossili sono rappresentati da Echinoidi o Molluschi. Dal punto di vista della permeabilità possono essere classificate come scarsamente permeabili.

Il contatto trasgressivo è evidenziato da un orizzonte di terra rossa, da un livello di conglomerato o comunque da una superficie di erosione, La formazione calcarenitica passa superiormente e lateralmente alle Argille siltoso-marnose con le quali è parzialmente in eteropia. Questa formazione rappresenta il termine batimetricamente più profondo del ciclo sedimentario ed è costituito da argille e argille marnoso-siltose fittamente stratificate. Alla sommità della formazione spesso si rinviene un sottile livello sabbioso-calcareo.

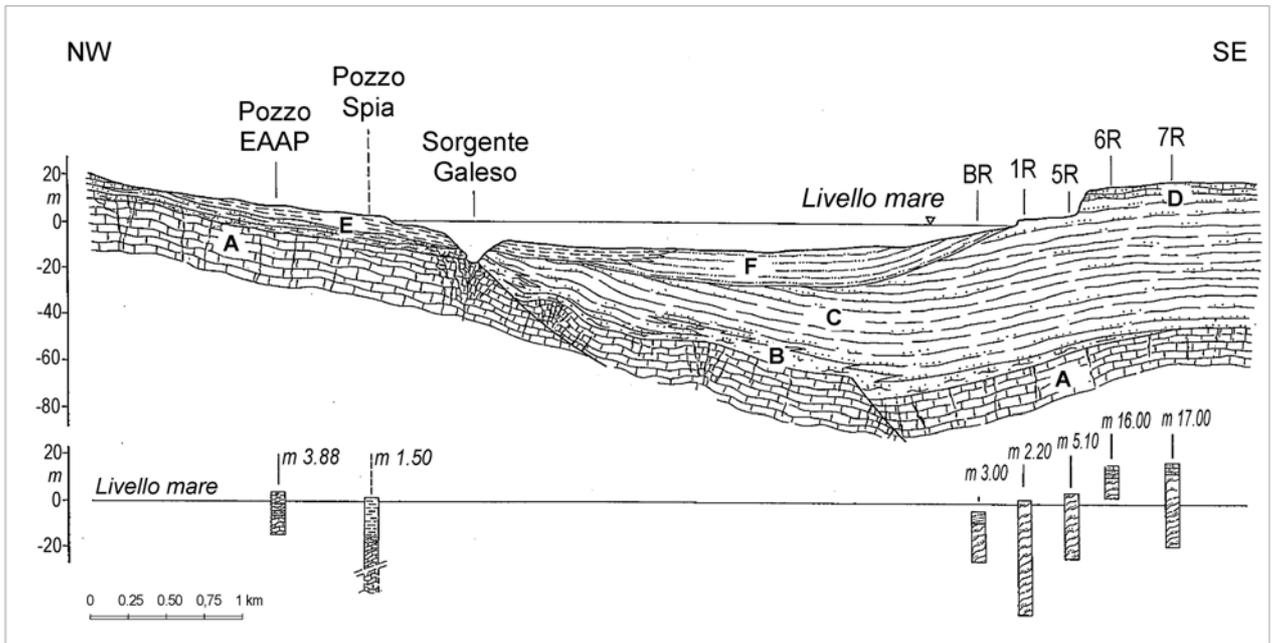
La presenza delle argille riveste una grande importanza ai fini idrogeologici poiché, essendo attualmente impermeabili, costituiscono una barriera di deflusso delle acque di falda.

Estesamente nella zona affiorano le calcareniti del Tirreniano, trasgressive sui depositi di Avanfossa appena descritti. Trattasi di calcareniti compatte, vacuolari, a grana grossolana con elementi arrotondati immersi in una matrice calcarea contenente resti organici, costituiti essenzialmente da Molluschi. Ai fini idrogeologici queste rocce possono essere considerate come scarsamente permeabili.

Infine, i depositi alluvionali palustri, talvolta torbosi, costituiscono il prodotto di una sedimentazione recente di ambiente continentale e sono da considerarsi praticamente impermeabili.

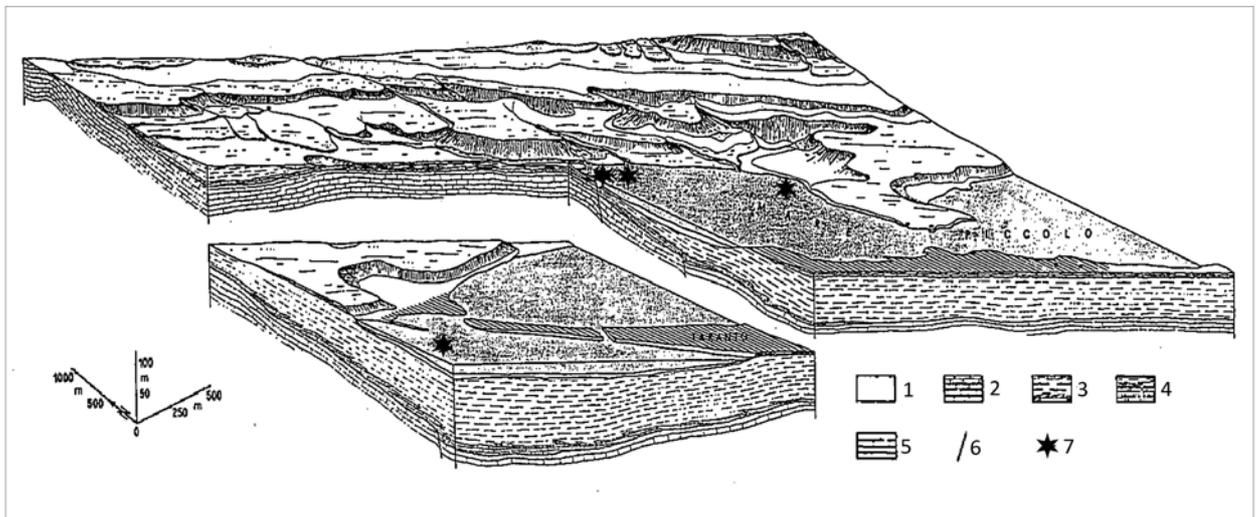
I rapporti stratigrafici esistenti tra le varie formazioni sono messi in evidenza dalla sezione geologica tracciata lungo il Mar Piccolo (Fig.2); nella figura compare un altro termine formazionale, "muds", che costituisce il prodotto della sedimentazione attuale nel Mar Piccolo. Morfologicamente la zona presenta i caratteri di una piana degradante verso il mare con modestissimi rilievi in corrispondenza dei lembi calcarei, i quali anche se non molto elevati, spesso si staccano nettamente dal terreno circostante, essendo limitati da scarpate più o meno ripide coincidenti, nel caso della zona di S. Giorgio Jonico, con elementi strutturali.

L'elemento dominante è rappresentato da una serie di terrazzi che si sviluppano in corrispondenza di tutte le formazioni affioranti a partire da quota 450 m fino a 5 m sul livello del mare. Questi terrazzi marini sono delimitati spesso da un evidente gradino che, a seconda dei luoghi, è inciso parzialmente o totalmente fino ad intaccare le sottostanti formazioni più antiche. I gradini che individuano i singoli terrazzi risultano corrispondere ad antiche linee di costa dovute a variazioni glacioeustatiche, verificatesi durante tutto il Quaternario, successivamente sollevate e contrassegnate da antichi cordoni di dune costiere consolidate. Quanto sopra esposto viene bene evidenziato dal block-diagram di Fig. 3.



**FIG. 2 - Sezione geologica lungo il mar Piccolo**

A) Calcari; B) Biocalcareniti (Pliocene Superiore); C) Argille marnose-siltose; D) Calcareniti (Tirreniano); E) Limi; F) Muds.

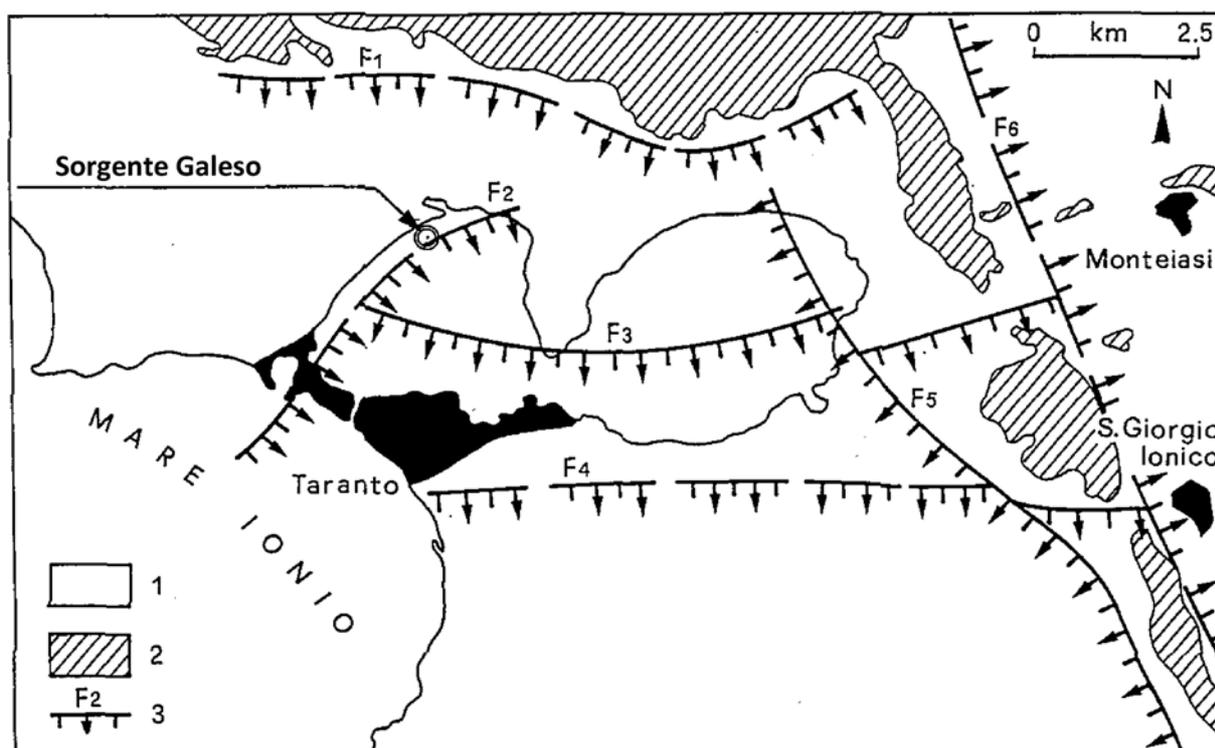


**FIG. 3 - Block-diagram**

1) Depositi alluvionali e palustri (Olocene); 2) Calcareniti (Pliocene Superiore); 3) Argille marnose-siltose (Plio-Pleistocene); 4) Biocalcareniti e biocalciruditi (Plio-Pleistocene); 5) Calcari e calcari dolomitici (Cretaceo superiore); 6) Faglie; 7) Sorgenti sottomarine.

Per quanto riguarda i lineamenti tettonici, l'area va inquadrata nel più vasto ambito del territorio murgiano e si può dire che in generale, l'assetto tettonico del substrato carbonatico mesozoico è riferibile ad un'ampia monoclinale immersa verso SW, caratterizzata dalla presenza di blande strutture plicative a prevalente direzione E-W e WNW-ESE su cui si sono impostate le strutture disgiuntive a direzione NW-SE e WNW-ESE.

Lo schema tettonico-strutturale (Fig.4) è stato realizzato sulla base di dati stratigrafici desunti da perforazioni profonde e tramite rilievi acustici con UNIBOOM, SIDE SCAN SONAR ED ECOGRAFO.



**FIG. 4 - Schema tettonico-strutturale**

1) Sedimenti post-mesozoici; 2) Affioramenti carbonatici; 3) Faglia

Più in particolare, l'area in esame risulta essere stata interessata da una notevole attività tettonica distensiva, che ne ha determinato l'assetto strutturale ad horst e a graben.

Su queste strutture, allungate essenzialmente in direzione NW-SE, si sono impostati, con un susseguirsi di episodi trasgressivi, i bacini di sedimentazione Cenozoici e Quaternari.

Buon parte delle faglie che hanno interessato il basamento Mesozoico sono state sepolte da sedimenti più recenti risultando, quindi, di non facile individuazione.

La fase di tettonica distensiva, di minore entità, diede luogo alla formazione di una gradinata di faglie dirette con orientazione circa E-W, che ribassò l'attuale Mar Piccolo interrompendo la continuità degli affioramenti mesozoici in prossimità degli abitati di S. Giorgio Jonico e Monteiasi. Successivamente, una seconda fase distensiva, di maggiore entità, riscontrabile non solo nell'area studiata ma anche in tutta la Penisola salentina, generò un sistema di faglie dirette, con orientazione NW-SE e NE-SW. Questo sistema di faglie coniugate ribassò ulteriormente la zona in cui attualmente si trova il Mar Piccolo.

Successive fasi tettoniche, distensive e compressive, testimoniate da studi di microtettonica e di telerilevamento (Aurox et al., 1985), hanno in parte rimobilizzato nell'area studiata, durante il Plio-Quaternario, le discontinuità tettoniche preesistenti, soprattutto quelle orientate NW-SE.

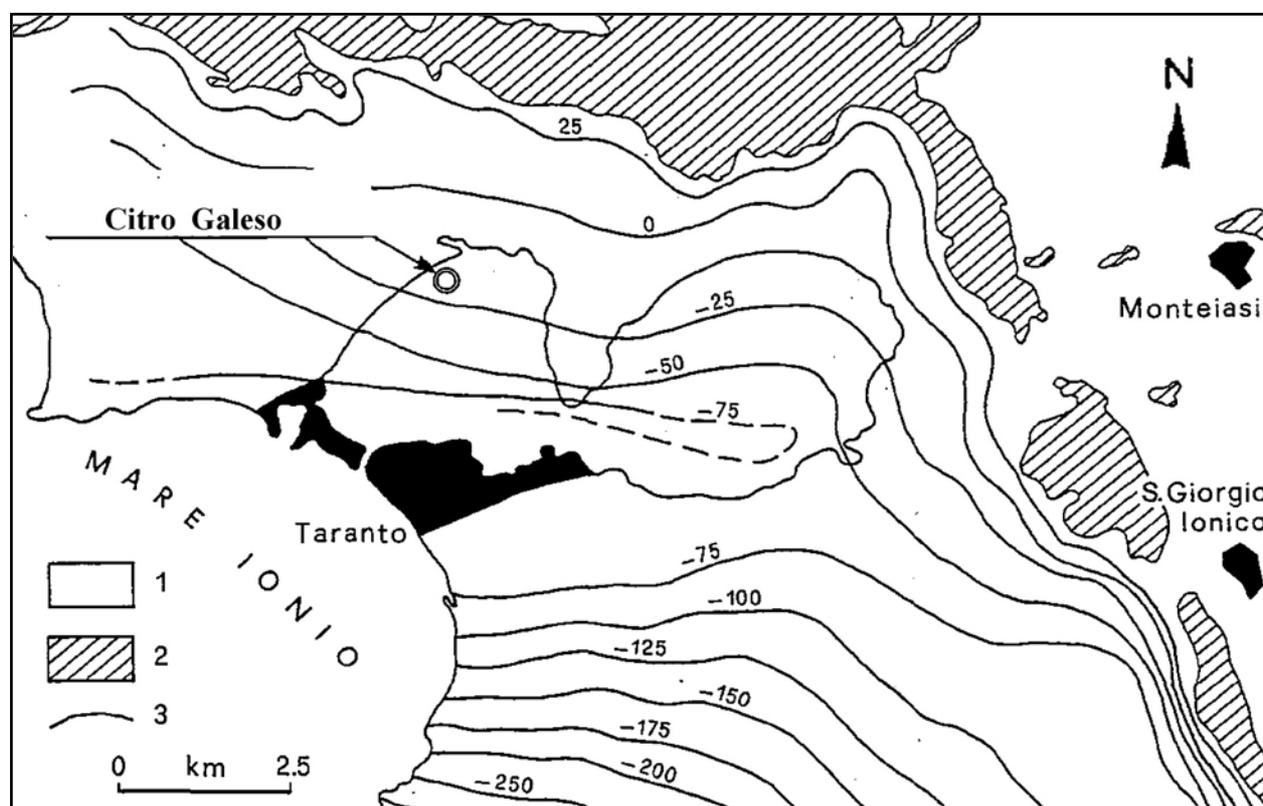
La rimobilizzazione, dovuta alle spinte compressive, determina una relativa chiusura di alcuni piani di faglia con conseguente diminuzione del grado di permeabilità secondaria dell'acquifero in corrispondenza di detti piani.

Questo fenomeno si riscontra nell'area studiata così come in altre aree del Salento (Bruno e Tadolini, 1989), in corrispondenza delle discontinuità orientate NW-SE.

Le faglie con orientazione E-W, essendo invece state soggette prevalentemente ad una tettonica di tipo distensivo, presentano dei piani di faglia tendenzialmente più beanti.

Inoltre sulla base di dati stratigrafici di perforazioni eseguite nell'area di interesse, essenzialmente a scopo irriguo, e tramite i risultati ottenuti da rilievi acustici, è stato possibile ricostruire l'andamento del substrato Mesozoico.

Dall'esame della figura (Fig. 5) si evince che il basamento calcareo-dolomitico affiora, con una certa continuità, a Nord del Mar Piccolo, mentre ad Est risulta essere interrotto in due punti nei pressi degli abitati di S. Giorgio Ionico e Monteiasi.



**FIG. 5 - Schema tettonico-strutturale**

1) Sedimenti post-mesozoici; 2) Affioramenti carbonatici mesozoici; 3) Isobate del substrato

L'andamento delle isobate presenta alcune peculiarità, infatti, nelle immediate vicinanze degli affioramenti il substrato risulta trovarsi ad una quota media di 25 m sul livello del mare, mentre allontanandosi dagli affioramenti la morfologia del substrato cambia a seconda che si consideri la zona a Nord o ad Est del Mar Piccolo.

Questa irregolarità del tetto dei calcari non può essere ascritta solo alle evoluzioni morfologiche avvenute in età cretacea, ma anche alle innumerevoli piccole faglie e/o fratture che interessano tutta la formazione, come precedentemente detto, anche se solo quelle a maggior rigetto sono direttamente identificabili sui monogrammi (UNIBOOM).

La buona penetrazione acustica dell'UNIBOOM ha consentito di rilevare la presenza sia di abbondanti diffusioni gassose (metano?), specie nel II seno, la cui origine è da attribuirsi alla decomposizione di materia organica diffusa nei fanghi recenti di riempimento del bacino, sia di tre superfici erose sepolte (senza contare il contatto tra calcari cretacei e le formazioni sovrastanti) ascrivibile a diversi cicli erosivo-deposizionali, anche con possibili fasi di emersione, che devono evidentemente essersi verificate a carattere regionale. Tali superfici modellano con la più antica, il tetto delle argille del Calabriano-Siciliano, mentre le altre due evidenziano cicli erosivo-deposizionali precedentemente non segnalati nella zona.

Non è però certo che la prima di queste superfici modelli effettivamente il tetto della formazione Plio-Quaternaria in quanto in mancanza di sondaggi di taratura si può avanzare l'ipotesi che essa rappresenti solo una fase evolutiva e che anche gli strati immediatamente sovrastanti possono ascrivere alla medesima formazione.

I livelli calcarei cretacei e quelli della formazione argillosa si presentano debolmente inclinati in direzione S-SE. Le profondità massime del tetto dei calcari acusticamente rilevabile sono state localizzate nella zona dei bacini di ormeggio dell'Arsenale Militare, ove sfiorano i 90 metri sotto il livello del mare.

Se non esistono dubbi sul riconoscimento e sulla differenziazione tra calcari ed argille, le calcareniti sono acusticamente identificabili con sicurezza solo in alcune zone e di solito ove il Cretaceo è più vicino alla superficie.

Sorge pertanto spontaneo l'interrogativo se vi siano discontinuità laterali e se al contatto con il calcare esistano delle ampie tasche o lenti di calcarenite, o se la non chiara identificazione acustica di quest'ultima sia dovuta alla copertura che può mascherare i segnali quando sono piuttosto deboli, come in questo caso.

In alcuni casi i disturbi tettonici interessano pure la copertura in argille del Calabriano-Siciliano, ma sembrano però arrestarsi nei fondi più recenti.

E' da ritenere che la localizzazione delle scaturigini delle sorgenti subacquee site in questa zona, sovente abbastanza allineate lungo determinate direzioni, sia legata non solo alla maggior vicinanza del sistema acquifero alla superficie, ma proprio alla presenza di tali fratture che hanno localmente aperto la via, nella copertura impermeabile, alla fuoriuscita sul fondo marino delle acque di falda in pressione.

La mappatura Side Scan Sonar ha confermato i dati dei rilievi UNIBOOM ed ecografici, consentendo inoltre il riconoscimento di particolari morfologici altrimenti non interpretabili. A conferma delle qualità delle registrazioni acustiche, nell'allegato viene riprodotta l'immagine del fondo del I Seno nell'intorno del Citro Galeso. Sono facilmente riconoscibili sia la campana che l'ombra della boa e quella dei cavi di ormeggio; sono altresì visibili i corpi morti di ancoraggio.

Nei pressi dei bacini di carenaggio dell'Arsenale Militare i profili UNIBOOM ed ecografici hanno evidenziato una piccola depressione del fondale a pareti ripide. Essa è facilmente interpretabile come una zona dragata al fine di consentire più agevoli manovre alle navi in entrata ed in uscita.

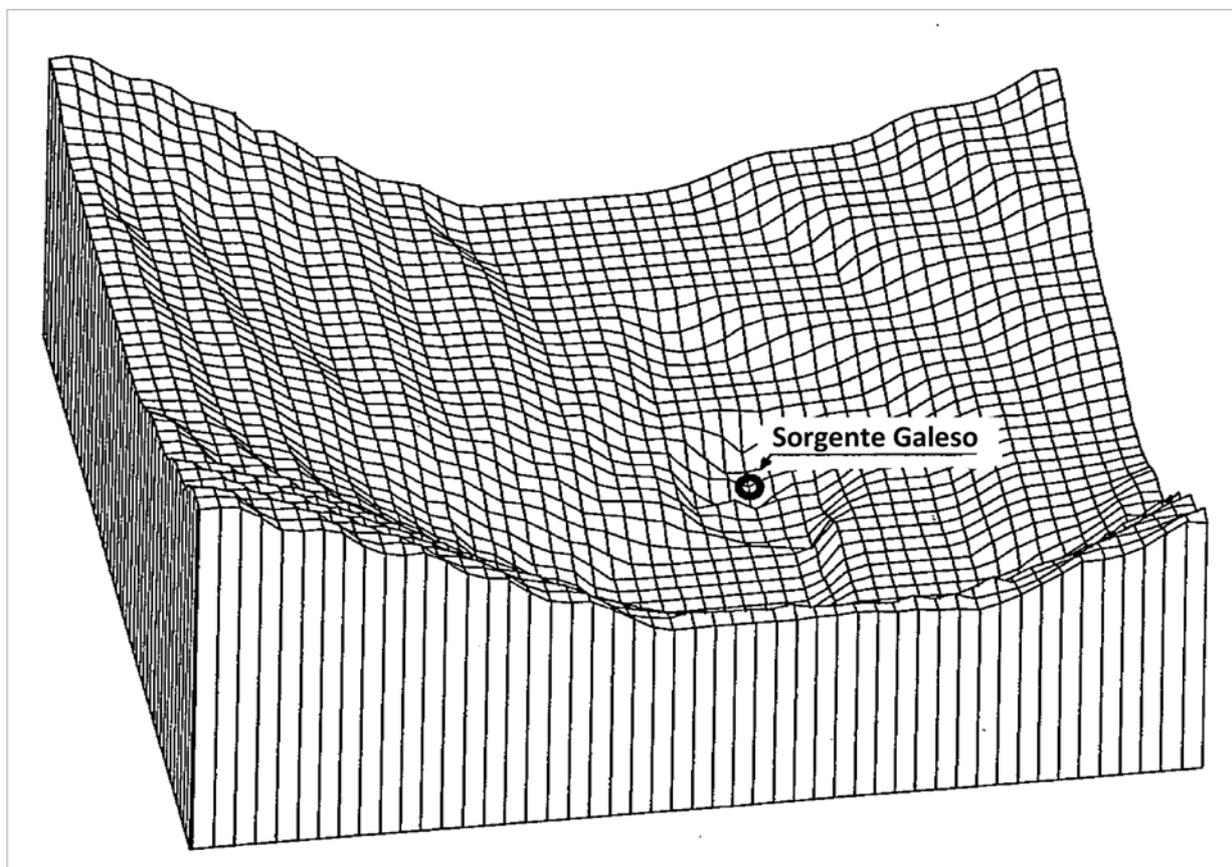
Sempre nel I Seno sono state localizzate altre due depressioni. La prima, di forma irregolare e con profondità massima di circa 6 metri, non presenta traccia di disturbi tettonici tali da poterla considerare un piccolo "graben"; potrebbe essere interpretata come la scaturigine di una polla inaridita o intermittente e quindi ignota ai più; la notevole profondità alla quale risulta sepolto il tetto del Cretaceo induce a considerare con riserva tale ipotesi.

La seconda è a pareti subverticali, con dimensioni di circa 120 m per 250 m, di profondità massima di circa 7 metri. La chiara assenza di disturbi tettonici evidenziata dai profili UNIBOOM, la rapidità degli orli e la limitata estensione, unitamente alla localizzazione su di un fondale orizzontale, e specialmente la forma regolare, inducono a considerare questa depressione come una zona dragata, anche se riesce difficile ipotizzare lo scopo.

Un'altra zona di fondo depresso è stata individuata nel II seno grazie a vari profili che l'hanno intersecata e ne hanno permesso la mappatura. Trattasi di un'area di forma perfettamente rettangolare, di circa 110 metri di larghezza e di circa 400 metri di lunghezza, con profondità di circa 50–100 centimetri rispetto al fondo circostante. Sui profili UNIBOOM appare come una zona di fondo eroso mentre sui sonogrammi Side Scan Sonar appare come una zona rettangolare, uniformemente depressa, a fondo piano. Una forma così regolare non può essere dovuta che all'opera dell'uomo, ma è difficile immaginare perché si sia proceduto ad uno scavo, o meglio ad una decorticazione, in una zona lontana da qualsiasi attività di tipo militare o industriale.

Di particolare interesse deve invece essere considerata la zona di fondo depressa ed erosa incontrata nei pressi del gruppo di sorgenti localizzate nel quadrante di NE del II Seno (sorgenti Le Copre e Viciniori). In base alla struttura evidenziata ed alle immagini Side Scan Sonar essa è stata interpretata quale zona di distacco e scollamento di una colata di fango di modeste dimensioni. Il riempimento non sarebbe avvenuto data l'energia di cui è dotato il flusso idrico di scaturigine.

Le profondità della superficie del mare del tetto della formazione cretacea sono state elaborate al calcolatore in modo da fornire la rappresentazione della morfologia sotto forma di carte ad isopache ed immagini orto-prospettiche. Nella Fig. 6 si riporta l'elaborato del calcolatore, relativo ad una maglia rettangolare di elaborazioni dei dati.

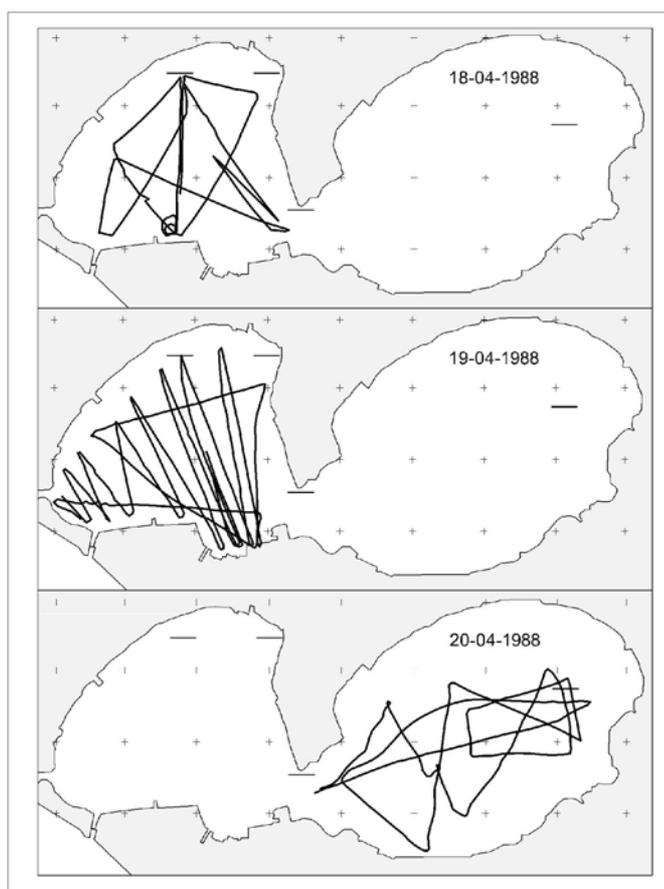


**FIG. 6 - Stereogramma del fondale della Sorgente "Galeso".**

E' stato inoltre effettuato un breve rilievo esplorativo del Citro di San Cataldo, in Mar Grande. La scaturigine giace al fondo di una depressione imbutiforme che, partendo da un fondale di una decina di metri, attualmente raggiunge e supera abbondantemente i 40 metri di profondità. Essa è localizzata a poca distanza dalla testa di una piccola diga che serve di protezione e di attracco a vari mezzi di sorveglianza portuale e dei piloti; la sua posizione è conosciuta ed è segnata anche sulla carta nautica, che riporta una profondità massima di 42 metri. Questa sorgente era un tempo nettamente quella di maggiore portata e la più nota di tutta la zona. A detta di esperti locali la sua scaturigine si apriva a ben 60 – 61 metri di profondità, mentre le carte nautiche dell'epoca davano un massimo di -52 m. Durante i lavori per la costruzione della banchina Italsider, ben distante dalla polla, si ebbe il cedimento improvviso di uno dei cassoni, che si abbassò di quasi due metri più del previsto. Immediatamente la polla si inaridì e la sua ampia manifestazione superficiale non fu più visibile per oltre una quindicina d'anni. Evidentemente era crollato, ostruendosi, il condotto di alimentazione.

Da qualche tempo il Citro San Cataldo ha ripreso ad erogare, come ci testimonia una debole ed irregolare evidenza in superficie. La minor profondità della depressione è con ogni probabilità dovuta a fenomeni di smottamento lungo i suoi ripidi fianchi. Non è improbabile, ora che la polla ha ripreso ad erogare, che l'acqua sorgiva dilavi a poco a poco i materiali franati ripristinando la profondità originaria.

Con il sistema di navigazione adottato non è stato possibile effettuare un flottaggio esatto dei percorsi eseguiti, che sono comunque riportati, seppur a titolo indicativo, nella Fig. 7. I profili UNIBOOM hanno confermato anche in questa zona la struttura tipica del Mar Piccolo, con il tetto del Cretaceo sepolto a 60 metri sotto la sorgente.



**FIG. 7 - Carta delle rotte seguite per l'effettuazione dei rilievi UNIBOOM, Side Scan Sonar ed ecografici**

### 3. CARATTERISTICHE DI PERMEABILITA' DELL'ACQUIFERO

La formazione carbonatica cretacea in parola è sede della falda profonda; detta falda circola in pressione laddove la formazione carbonatica è ricoperta dalle Argille azzurre Pleistoceniche. Le caratteristiche di permeabilità dell'acquifero si sono dedotte attraverso l'analisi di dati disponibili e relativi a prova di portata eseguite nel passato, soprattutto a cura dell'Ente Irrigazione. Come è noto, la portata estraibile da un pozzo è fondamentalmente funzione del grado di permeabilità della formazione acquifera nei dintorni del pozzo stesso. Vale inoltre la pena ricordare che si è in presenza di un acquifero fortemente anisotropo, specie lungo la verticale.

Come già si è accennato, in realtà l'acquifero stesso è costituito da una serie di livelli idrici corrispondenti a orizzonti rocciosi particolarmente carsificati, separati tra di loro da livelli a più ridotta permeabilità. Può comunque capitare che il grado di fratturazione della roccia sia più o meno uniformemente diffuso in senso verticale tanto da non potersi più parlare di livelli idrici preferenziali. Invero quest'ultima circostanza è assai meno ricorrente rispetto alla prima.

Quanto sopra significa che i valori delle portate specifiche possono essere assimilati al parametro trasmissività; non è neanche riferibile e da tener presente tuttavia che la penetrazione del pozzo nell'acquifero è determinante nelle intercettazioni dei livelli di preferenziale circolazione idrica. In altre parole, una stessa portata specifica può essere attribuibile ad uno o più livelli idrici preferenziali ben identificati, ovvero all'intero spessore di acquifero attraversato dal pozzo.

Nella Fig. 8 è riportata la distribuzione delle aree caratterizzate da determinati campi di portata specifica, intendendo per questa la effettiva portata estraibile da un pozzo con un metro di depressione dinamica. Chiaramente una tale carta ha valore solo indicativo, essendo il risultato della estrapolazione di dati puntiformi e certamente in numero abbastanza limitato. Come si può osservare, l'area in studio viene caratterizzata per valori delle portate specifiche inferiori a  $15 \text{ l/s} \times \text{m}$ , comprese tra  $15$  e  $50 \text{ l/s} \times \text{m}$  e superiori a  $50 \text{ l/s} \times \text{m}$ . Percentualmente più estese risultano le aree caratterizzate da portate specifiche inferiori a  $15 \text{ l/s} \times \text{m}$ , corrispondenti ovviamente ad aree a più ridotto grado di permeabilità dell'acquifero.

Di discreta estensione risultano anche le aree caratterizzate da portate specifiche superiori a  $50 \text{ l/s} \times \text{m}$ . Al riguardo è significativo osservare come alcune di tali aree siano grossomodo orientate secondo una direzione perpendicolare alla costa, dando ragione dell'esistenza di direttrici di preferenziale deflusso sotterraneo, peraltro già evidenziate dall'analisi della morfologia della superficie piezometrica.

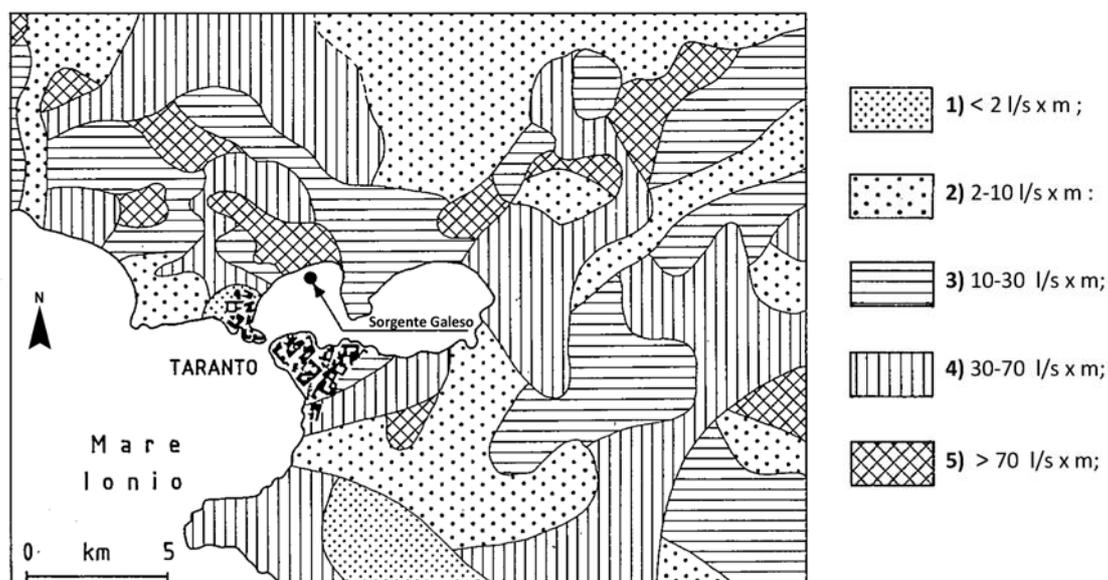


FIG. 8 - Distribuzione dei valori di portata specifica rilevata nei pozzi presenti nel territorio

#### **4. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI DELL'AREA**

Nella formazione carbonatica-mesozoica, che in parte affiora ed in parte è ricoperta da formazioni trasgressive mio-plio-quadernarie, ha luogo una imponente circolazione idrica che ha come livello base l'orizzonte marino.

Nell'area in studio detta circolazione può considerarsi in parte come appartenente al sistema idrico sotterraneo della Murgia e, più limitatamente, a quello Salentino. Ne consegue che i principali lineamenti idrologici della falda hanno caratteristiche quasi intermedie tra quelle dei sistemi dianzi detti.

V'è poi da sottolineare subito la circostanza che la falda in parola galleggia su acqua di mare di invasione continentale e ciò costituisce un fattore assai limitante alle possibilità di pieno utilizzo di tali risorse idriche.

Lo studio idrogeologico nell'area è stato condotto tenendo a base tutti i dati ad oggi disponibili nonché quelli rilevati nel corso di un accurato censimento; nella Fig. 9 sono riportati tutti i punti acqua considerati, mentre nella Tab. 1 sono riportati i dati ad essi relativi. Nella Fig. 10 è riportato l'andamento della superficie piezometrica della falda profonda nell'area interessata.

Come ben si può osservare, di norma, in tutta l'area i carichi piezometrici risultano piuttosto elevati nonostante la relativa vicinanza della costa.

L'andamento delle cadenti, che denunciano valori dell'ordine dello 0.6‰ nella fascia più costiera e già sull'ordine del 3‰ nelle zone premurgiane, mostra l'esplicarsi di un discreto drenaggio della falda operato dalla serie di sorgenti costiere sottomarine che abbondano nel Mar Piccolo, nel Mar Grande che lungo la fascia costiera a SE di Taranto.

Al contrario, assai scarso risulta il drenaggio lungo la fascia costiera a NO di Taranto; qui infatti non sono note sorgenti costiere, ma sorgenti subaeree sgorganti ben entroterra e che traggono diretta alimentazione dalla circolazione idrica dei massicci murgiani.

Dall'andamento dei carichi piezometrici in tutta l'area, ben ci si può rendere conto del ruolo di sbarramento idrogeologico esercitato dalle argille addossate alla formazione carbonatica mesozoica. È questo infatti il motivo principale per il quale carichi elevati sono presenti anche in prossimità della costa.

L'andamento delle curve isopieziche dimostra, poi, che la circolazione idrica sotterranea in tutta l'area considerata, si esplica essenzialmente per vie di preferenziale deflusso; ciò è da porre in relazione con la forte anisotropia idrogeologica dell'acquifero mesozoico.

Le principali direttrici di deflusso, coincidenti quindi con aree ove la roccia è dotata di un più elevato grado di permeabilità per fessurazione e per carsismo, sono quelle che grossomodo hanno origine dalle zone di Mottola e Palagiano dirette verso SSE, da Crispiano dirette verso S e da Grottaglie verso SO. Alcune di queste direttrici sono orientate verso tratti di costa sicuramente sede di cospicui deflussi sottomarini.

Del pari l'analisi della morfologia della superficie piezometrica evidenzia la presenza in seno all'acquifero di rocce dotate di scarsissimo grado di permeabilità, tanto da operare un ruolo di barriera idrogeologica. Tale può considerarsi la zona compresa tra Lizzano e Pulsano e quella ubicata tra Massafra e Statte; queste zone fungono peraltro da veri e propri spartiacque idrogeologici.



FIG. 9 - Ubicazione dei punti di acqua censiti

**Tab. 1 – Dati caratteristici dei punti acqua considerati**

n. rif	Località o denominazione	Profondità pozzo (m)	liv. statico dal p.c. (m)	Portata (l/s)	Depressione (m)	Q s p (l/s.m)	TDS (g/l)
1	ACCETTA GRANDE	140	100	30			
2	ACCETTA PICCOLA	165	118	25			
3	CAMPO DI STATTE	96	75	16	0.20	80	
4	CAMPO DI STATTE	117	91	17	0.60	28.3	
5	TUDISCO	119.20	97.60	40	0.80	50	
6	TUDISCO	107.60	104				
7	S. GIOVANNI	62	27.70	20			
8	GRAVINOLA NUOVA	30	21	12	0.30	40	
9	LEUCASPIDE	68.40	54	50	0.00		
10	S. FRANCESCO	70	53.70	30	0.00		
11	PANTANO	40	30	10	5	2	
12	FELICIELLA	90	50	30	0.00		
13	MURIMAGGIO NUOVA	93.70	36.80	50			
14	MASSERIA NUOVA	84.40	66.40	16.8	2.15	7.81	1.70
15	TUDISCO	90	64	45	2	22.5	1.98
16	LA GIRONDA	117	113	10			
17	COLOMBO	97.50	58.17	24.7	3.70	6.67	2.25
18	S. TERESA	215.25	30.80	20	4.20	4.76	2.80
19	CASABIANCA			20			
20	CARMINE	76.50	50	20	6	3.33	
21	CARMINE	70.20	27.35	25	4.95	5.05	
22	CARMINE	65	16	26	3	8.66	2.02
23	TACCONE	31.70	21.04	38	6.90	5.51	2.13
24	TACCONE	60	46.35	7	0.00		1.00
25	TACCONE	80	51	12	0.00		
26	S. ANDREA	80	60	14	2.65	5.28	2.09
27	FERRARA	80	52	15	1.10	13.63	
28	LEVRANO DELLE MONACHE	70	41.90	25	10.50	2.38	2.29
29	LEVRANO D'AQUINO	84	47	20	0.00		
30	LEVRANO D'ACQUINO	78	48	30	0.00		
31	LEVRANO D'ACQUINO	111.50	53.20	24	1.95	12.31	0.51
32	AZ. S. NICOLA	78	60.20	40	1.10	36.36	1.97
33	S. NICOLA	132	103,78	9	0.00		2.25
34	S. NICOLICCHIO	95.40	77	40	0.30	133	
35	ABBADIA	150	90	20	10	2	
36	ABBADIA	87	62	30	2	15	
37	ABBADIA GRANDE	155	70	30	4	7.5	
38	VITRETI	63	50	40	1.60	25	
39	ZUCCHERO	25	15	10	1.00	10	
40	ZUCCHERO	20	8	30	2.00	15	
41	FOGGIONE	25	12	50			
42	MASSERIA NUOVA	37	12.50	16	0.50	32	
43	PEPARULI	40	14	20	0.00		
44	MURIMAGGIO	42	36	20	0.00		
45	VACCARELLA	22.80	21.50	30	0.00		
46	BAGNARA	35	12.60	60	0.00		
47	NATRELLA	35.50	15.35	50	0.00		
48	NATRELLA	43	15	20	0.30	66.6	
49	MASS. PIZZARIELLO	60					2.22
50	NASISI	24.50	18	30	0.50	60.0	

Tab. 1 – segue

n. rif	Località o denominazione	Profondità pozzo (m)	liv. statico dal p.c. (m)	Portata (l/s)	Depressione (m)	Q s p (l/s.m)	TDS (g/l)
51	NASISI	29	15	30	0.50	60.0	
52	S. CHIARA	57	2	100	0.00		
53	ITALSIDER 20	47.70	4	60			
54	ITALSIDER 19	59.50	4.50	80			
55	ITALSIDER 18	59	6	60			
56	TRE PALMENTI	30	1.80	15	0.00		
57	LOIUCCO	80	4.40	10	5.60	1.78	
58	ITALSIDER 11	45	16	70			
59	MASSERIA NUOVA	38	12	20			
60	ABATEMELE	65	20	20	3	6.66	
61	CERASA	51	4	35	0.00		
62	FOGGIONE	112	12.36	27.05	6.70	4.10	2.11
63	MASS. DEGLI ARCHI	26	11.70	20	0.30	66.6	
64	RONDINELLA	168.70	11.90	12	39	0.31	
65	ZUCCARELLI	140	0.30	20	5	4	
66	INSEGNA-PORTOLANO	120	16	5			
67	PORTOLANO SANAC/ARC	115	16.40	16.6	9.70	1.71	
68	FOGGIONE	72	4.80	25	1.00	25	
69	S. CHIARA	113.60	13	33	0.60	55	
70	CANTORO	67	13	29	0.50	40	
71	CAPPIELLO	80.10	13.20	54	3.27	16.51	
72	SAPIO	109.10	9	7	15	0.46	
73	S. MICHELE	27.50	8.94	62	0.08	7.75	2.13
74	ITALSIDER 25	37	10	56			
75	S. ANGELO	41.50	10.20	50	4.60	10.87	
76	TERESIOLA	24	10	20			
77	NASISI	10	4	100	1.50	66.66	
78	TORRE ROSSA	88	48	20		1.308	3.04
79	S. ANDREA 44	44	28.40	18	2.40	7.5	2.82
80	S. PIETRO MARRESE	52	12.10	36	3.07	11.73	3.60
81	AIEDDA	84	45	25	0.50	0.5	
82	LA TORRE	62.20	42.65	11.50	2	5.75	2.51
83	VITRETI	56	44	50	0.10	5.00	2
84	MARRESE	46	18	10	0.00		
85	S. PAOLO	38.50	12.50	11.5	21	2.07	
86	S. PAOLO	104	8.70	5.3	31.90	0.16	3.36
87	S. PAOLO	93	12	10	3	3.33	
88	S. PAOLO	107.10	16.60	18	5.20	3.46	3.92
89	MONTEFUSCO	97	18	30	4	7.5	1.80
90	MONTEFUSCO	105	13	20	0.00		
91	PILONE	115	22.50	20	6.50	3.0	
92	SAN FRANCESCO RESURGE	95	40	25.00	0.00		2.25
93	S. TERESA	96	22	25	0.00		
94	PUTRANO	116		15	0.00		3.40
95	SERBATOIO EEAP	190.20	143	13	0.00		1.98
96	LEMARINE	107	97	5	2.30	2.17	2.17
97	LEMARINE	100	76	25	2	12.5	0.71
98	BARBUZZI		62	18	2.50	7.2	
99	PALOMBARA	90	60	20	1	20	
100	NUOVA			25			

Tab. 1 – segue

n. rif	Località o denominazione	Profondità pozzo (m)	liv. statico dal p.c. (m)	Portata (l/s)	Depressione (m)	Q s p (l/s.m)	TDS (g/l)
101	CARMINE	220	187.60	20			
102	ANGIULLI	196	168.80	20			
103	MONTESALETE	182	108	23	2	11.5	
104	GRONCI DISOTTO	157.50	131.50	7	0.7	10	
105	GENZANO	110	88.50	20	6	3.33	0.82
106	BELVEDERE	140	75	20	0.00		
107	MANNARA			25			
108	GENZANO GRONCI	149	115	25	0.15	166.6	
109	LAMACCHIA	190	85.90	45	0.15	300	
110	S. MATTEO	162	81	35	1.5	23.3	
111	CAPITOLO	165	85	40	0.35	114.3	
112	FICAIO	133	103	16	0.83	19.28	
113	MUTATA	95	83.70	29	2.90	10	
114	GIULIANELLO	155.30	67.37	15	2.32	6.46	1.69
115	CAPITOLO	76	56.90	20	0.25	80	2.43
116	MADDALENA	150	62.50	40	0.30	133	
117	MONTECASTRO	160	80	45	2.50	18	
118	LAZZARO	168	80	48	4	12	
119	CAPITOLO	114.60	86.25	28	0.95	29.48	2.85
120	MONTECASTRO	98	68.40	13	1.90	6.84	0.32
121	GROTTAGLIE	97	82	10	1.90	5.26	0.32
122	LEVERANO DELLE MONACHE	105	41	30	6	5	
123	VITRETI	72.50	44	33	16	2.06	3.00
124	PASTANI	70	50.50	30	0.10	300	
125	SASSOLO	65	56	10	0.00		
126	STAGLIATI	105	64.50	18	10.90	1.65	1.47
127	ROSARIO	70.20	50.90	26	0.16	162.5	2.10
128	ROSARIO	75	50	40			
129	LITUTRARI	70	49	30	0.00		
130	MADONNA DEL PRATO	190	113	25	3.50	7.14	
131	SCASSERBA	145	95	26	3.00	8.66	
132	MONTE DELLA FOGGIA	180	78	30	2.50	12	
133	GALEASI	250.50	85.50	38	1.30	29.23	
134	GALEASI	182	87.50	22	0.20	110	
135	GALEASI	141	67	14	0.20	70	
136	GALEASI	252	79.35	2			
137	LE LENZE	143	82.70	9	3	3	1.45
138	MONACHE	100	80	15	0.00		
139	GALEASI	206	73.90	9.8	6.56	1.49	4.34
140	FONTIGNANO	168	90	28	2	14	
141	VICENTINO	151	86.60	10	0.00		
142	MONTEVERDE						1.65
143	PALAZZI	69.20	57.20	30	0.00		
144	CAPPELLA	109	70	30	0.30	100	
145	POZZO BUONO	120	103.30	27	0.00		
146	CAPPELLA	109.10	84.30	31	0.40	77.50	
147	PUTRANO	123	18.10	20	5.80	3.45	3.45
148	MASS. RUINA	123.15	21.05	43	1.15	37.40	2.62
149	PUTRANO	30	22	10	3	3.33	
150	PONTE	60	45	10	0.00		

Tab. 1 – segue

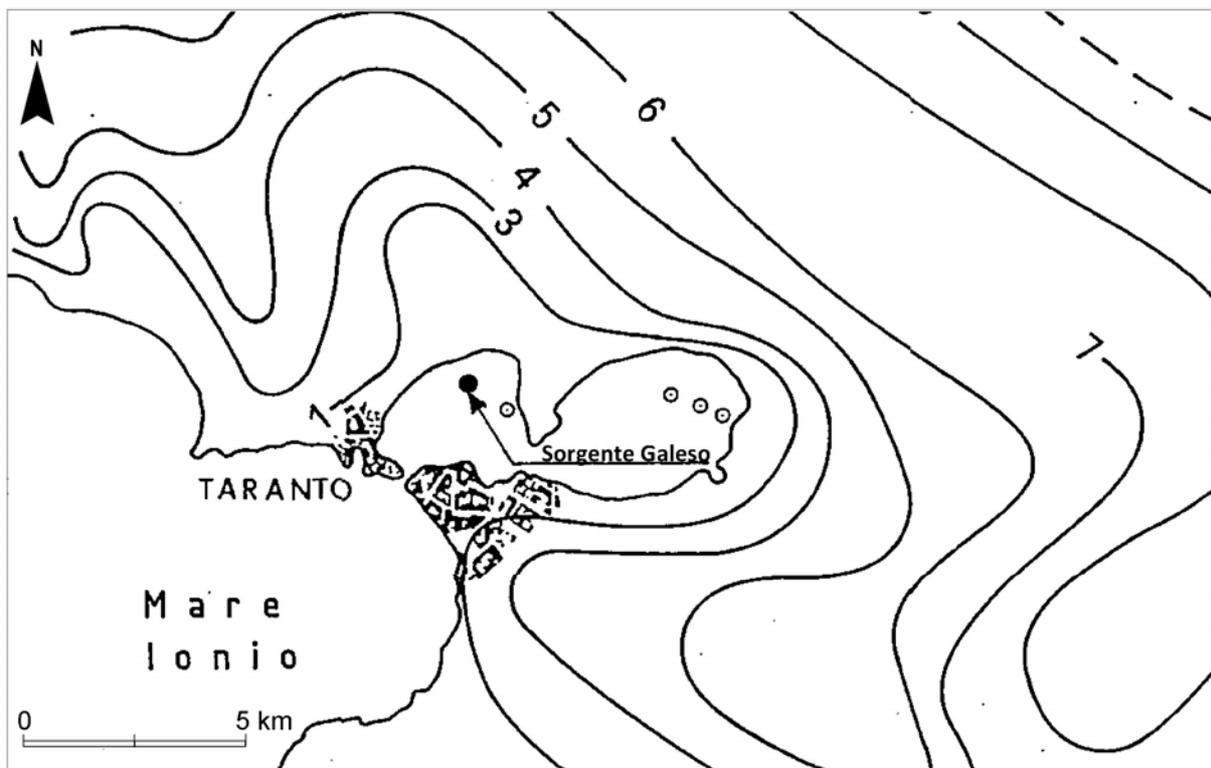
n. rif	Località o denominazione	Profondità pozzo (m)	liv. statico dal p.c. (m)	Portata (l/s)	Depressione (m)	Q s p (l/s.m)	TDS (g/l)
151	GIOMMATA	144	25.30	48	0.85	56.47	3.30
152	GIOMMATA	80	42.30	35	0.25	140	0.78
153	AMOSSO	75	38.56	27	14	1.93	1.12
154	AMOSSO	118	40	20	1	20	
155	MONTEMARINO	70	50	20	0.10	200	
156	S. GIOVANNI	34.35	15.60	58	0.68	85.30	2.36
157	CICENA	92	48.5	30	0.50	60	
158	CHIANCATELLA	73.50	51.20	28	0.00		
159	BARONIA	104.40	10.65	21	1.87	11.23	2.88
160	BARONIA	40	21.30	30	0.30	100	
161	CASABIANCA	51	30	14			
162	POZZELLE	108	27	22	10	2.2	
163	CASABIANCA	44	30	20	0.00		
164	CHILORIO	61	28	17	5	3.4	
165	POZZELLE	60	23	20	1	20	
166	CASABIANCA	50	23	30			
167	MONTEFUSCO	107	16	18	0.00		
168	CASABIANCA	83.77	21.10	12.5	0.80	15.62	1.50
169	FEUDO	98.70	75	35	0.00		
170	CASINA PARABITA	110	59	18	0.20	90	
171	CASINA LATORRETTA	98.70	75	35	0.00		
172	MASSERIA ERA	121	96	14.4	2.95	4.88	2.69
173	MAD. DELLA CAMERA			10			
174	CAPPELLA	101	71.20	9	0.10	90	2.64
175	S. NICOLA	145	64	34	2.20	15.45	
176	S. COSIMO	72.60	50.50	15	0.70	21.42	
177	TORRE S. SERGIO	61	48.60	50	1.00	50	
178	PALOMBARA	69.30	38.92	44	1.32	33.3	3.12
179	PASTANI	80	35	15	15	1	
180	PALOMBARA	64	40	16	0.40	40	1.25
181	MASS. GRANDE	98.10	17.50	54	0.50	108	2.90
182	MASS. FOGGIONE	112	12.32	27.5	6.70	4.10	2.23
183	STATTE (CNR)	302	57.80				
184	MASS. S. MICHELE	27.50	8.94	62	0.08	775	2.13
185	GALESE EAAP 1	14	1.65	53	0.38	139.5	1.77
186	GALESE EAAP 2	14.75	0.48	16	0.90	17.8	1.70
187	GALESE EAAP 3	14.25	1.60	13	0.47	27.66	1.80
188	GALESE EAAP 4	14.50	0.29	10.00	0.63	15.9	
189	GALESE EAAP 5	10.30	0.15	28	0.14	200	1.78
190	GALESE EAAP 6	10.85	0.17	55	0.52	105.76	1.74
191	GALESE EAAP 7						
192	GALESE EAAP 8	13.00	0.59	59	0.53	111.32	1.74
193	GALESE EAAP 9	14.00	1.02	60	0.25	240	1.80
194	GALESE EAAP 10	15.60	2.05	34	0.55	61.81	1.74
195	GALESE EAAP 11	16.30	2.10	25	1.03	24.27	1.50
196	GALESE EAAP 12	16.00	0.68	50	0.28	178.6	1.69
197	CONTRADA SALINELLA	95.00	16.59	57.5	0.91	63.18	4.33
198	MASS. MONACELLE	95	7.52	62	5.00	12.4	3.67
199	S. GIOVANNI	34.35	15.60	58	0.68	85.3	2.60
200	MASS. COTUGNO	132	19.52	20	16.20	1.23	4.25

**Tab. 1 – segue**

n. rif	Località o denominazione	Profondità pozzo (m)	liv. statico dal p.c. (m)	Portata (l/s)	Depressione (m)	Q s p (l/s.m)	TDS (g/l)
201	CASINA CARELLI	144	25.30	48	0.85	56.4	3.54
202	SERBATOIO ROCCA FORZATA	190.20	143	13	0.00	2.13	
203	GIOACCHINO	74	49.90	20.5	10.45	1.96	2.75
204	MASS. TAVERNA	158.70	42.45		0.19		
205	VILLACINIERI	320.50	19.93	1.3	91.95	0.04	40.69
206	ENTE REGIONE	50					2.56
207	LECORTI PALAZZI						2.75
208	CASINA SCASSERBA						2.64
209	VIGNA DEL DUCA						3.26
210	FATTIZZO	72					2.18
211	MASS. SERRO				8		0.54
212	MOLINELLE	186	174	22			1.80
213	MASS. MONTICELLI						2.30
214	S. GIOVANNI	217	203.5	25			1.74
215	MASS. PASONE	44					2.29
216	FONTANA	159					1.83
217	MASS. MENNOLE	85					1.17
218	CONTRADA SERRO						3.09
219	CONS. BON. STORNARA						2.91
220	CURTI VECCHIO	124.50	18	25			2.97
221	POZZO DI QUERO	57	55				2.07
222	PERTOSI	110					1.25
223	PASTANI	87					4.03
224	MASS. CAPITOLO						
225	FAGGIANO	91	24.4				2.2
226	ITALSIDER 2	110	40	45			
227	ITALSIDER 3	93.70	36.80	50			
228	ITALSIDER 6	40.20	36.50	25			
229	ITALSIDER 7	46	17.50	70			
230	ITALSIDER 8	59.50	15.10	50			
231	ITALSIDER 9	42.90	37.35	27			
232	ITALSIDER 10	44	18	70			
233	ITALSIDER 12	48.20	12	57.50			
234	ITALSIDER 13	35	15	35			
235	ITALSIDER 15	25	12	50			
236	ITALSIDER 16	25	12	50			
237	ITALSIDER 17	29	3.70				
238	ITALSIDER 21	63	0.50	90			
239	ITALSIDER 22	40	15	50			
240	ITALSIDER 23	40	13	45			
241	ITALSIDER 24	44	15.70	70			
242	STATTE						
243	CAMPO DI STATTE	140	120				
244	CAMPO DI STATTE	120					
245	CAMPO DI STATTE						
246	STATTE	120					
247	STATTE	100					
248	PROP. CECERE						
249	LA BATTERIA						
250	SOC. S M I	150					

**Tab. 1 – segue**

n. rif	Località o denominazione	Profondità pozzo (m)	liv. statico dal p.c. (m)	Portata (l/s)	Depressione (m)	Q s p (l/s.m)	TDS (g/l)
251	AZ. GIGANTE			10			
252	CAMPO DI STATTE	150		5			
253	MASS. GENNARINI						
254	OVILE CARDUCCI						
255	TUDISCO			40			2.31
256	GIRANDA			20			
257	MASSRIA NUOVA			25			
258	MASSERIA SPAGNOLO	100		20			2.47
259	CASA BIANCA			20			
260	TUDISCO			20			
261	TUDISCO			40			
262	TORRE BIANCA			30			
263	TORRE BIANCA			30			
264	GIACOBETTI	146	127.6	18			
265	GRAVINA	141		23.33			
266	LEVRANO DELLE MONACHE	74	40				2.89
267	MASS. DELLA MUTATA						
268	MASSERIA LELLA	250					
269	MASS. DELLA MUTATA	120					
270	MASSERIA BUCCITO	190					
271	MASS. GENZANO						
272	MASS. CASABIANCA						
273	MASS. GIULIANELLO						
274	L'INCHIUSA						
275	L'INCHIUSA						
276	VIGNA DEL DUCA						
277	MONTEIASI						
278	MONTEIASI						
279	MONTEIASI						
280	MONTEMARINO			8			
281	GALESO	215					
282	ITALSIDER 1	45	40				2.58
283	LEGGIADREZZE	20.60	0.20				0.52
284	SEMINARIO ARC. TARANTINO	70.20	32.30	25			2.07
285	CONTRADA S. TERESA						1.86
286	CONTRADA CARMINE	120					2.37
287	CONTRADA BAGNARA	30					4.15
288	AZ. MALVASEA	30	13				4.79
289	SIFI IPP. PAOLO VI	130	80	20			2.54
290	MASS. FOGLIANO						0.96
291	AZ. MAGGI						3.53
292	CONTRADA LELAMIE	60	15				3.40
293	CONTRADA LELAMIE						3.40
294	IAZZO CARDUCCI	23	17	6.5	0.00		
295	MUCCHIO	95	5	35	1.50	23.3	
296	SERBATOIO EAAP	77.10	66.90	25	3	8.33	
297	CONTRADA LARICCIA	120	45				1.56



**FIG. 10 - Morfologia della superficie piezometrica (in m s.l.m.) della falda contenuta nei calcari cretacei, alimentanti, fra le altre sorgenti sottomarine, la sorgente Galeso**

La ricostruzione mette chiaramente in evidenza come nel Mar Piccolo di Taranto si attui lo sversamento delle acque di falda; a ciò contribuisce, in maniera determinante, il drenaggio operato dalle sorgenti sottomarine.

La cadente piezometrica media si aggira intorno al 2‰. Le altezze piezometriche decrescono rapidamente da quote superiori a 8 metri, a circa 10 km dalla costa del Mar Piccolo, a 1 metro in prossimità della costa stessa.

La pressione idraulica, in corrispondenza delle sorgenti, è tale da non essere controbilanciata dal carico idrostatico dell'acqua di mare, per cui, fatti salvi i fenomeni di miscelazione, tra acqua dolce e acqua di mare, si deduce che l'acqua di falda risale fino alla superficie del mare provocando una agitazione della superficie stessa.

Dall'andamento della superficie piezometrica si nota che la direzione preferenziale di deflusso sotterraneo dell'acqua della falda profonda, nella zona del Mar Piccolo, è essenzialmente verso SSW.

In corrispondenza di sistemi di faglie con orientazione circa E-W, e limitatamente alla parte di esse che interessa la terraferma, si nota che le isopieziche risultano più distanziate, indicando così una maggiore mobilità dell'acqua di falda dovuta alle già citate discontinuità tettoniche, quindi una maggiore apertura e permeabilità.

Per contro, invece, le isopieziche in prossimità delle discontinuità orientate NW-SE sono più ravvicinate mostrando così una cadente piezometrica più elevata, legata ad una minore permeabilità secondaria dell'acquifero in prossimità del piano di faglia che, evidentemente, presenta una scarsa conducibilità idraulica.

## 5. DISTRIBUZIONE DEL CONTENUTO SALINO NELLE ACQUE DI FALDA

Come già accennato, una delle peculiari condizioni di esistenza della falda nella zona in studio è data dal fatto che essa è sostenuta alla base da acque di mare di invasione continentale.

Sussistono pertanto particolari condizioni di equilibrio tra acqua dolce e acqua salata, che fanno sì che quest'ultima si rinverga ad una profondità dal livello mare essenzialmente dipendente dal carico piezometrico che la falda ha zona per zona.

È noto poi che la separazione fra le acque non è assolutamente netta, ma esiste una cosiddetta "zona di transizione" nella quale vi sono acque salmastre il cui contenuto salino aumenta più o meno rapidamente con la profondità, fino ai valori propri dell'acqua di mare.

Questa situazione fa sì che processi vari di diffusione o di miscelamento definiscano le acque di falda sicché esse, sin quasi dalla superficie piezometrica verso il basso hanno un contenuto salino alquanto superiore rispetto a quello delle acque di origine meteorica che annualmente ravvenano la falda. Inoltre quasi sempre vi è una vera e propria stratificazione salina lungo la verticale della falda.

Gli squilibri di cui sopra possono spesso subire delle profonde alterazioni, dovute soprattutto a processi estrattivi che superano le reali possibilità di ricarica della falda stessa. Per poter valutare per la zona in studio lo stato di contaminazione salina delle acque di falda, si è provveduto alla ricostruzione della distribuzione del contenuto salino delle stesse. Allo scopo si sono considerati, oltre ai dati rilevati sul campo nel corso del presente studio, anche quelli disponibili e riferiti a indagini svolte, in varie epoche del passato. I dati, riportati nella Fig. 11, riguardano in particolare la salinità delle acque drenate durante il pompaggio, e quelle campionate in condizioni statiche.

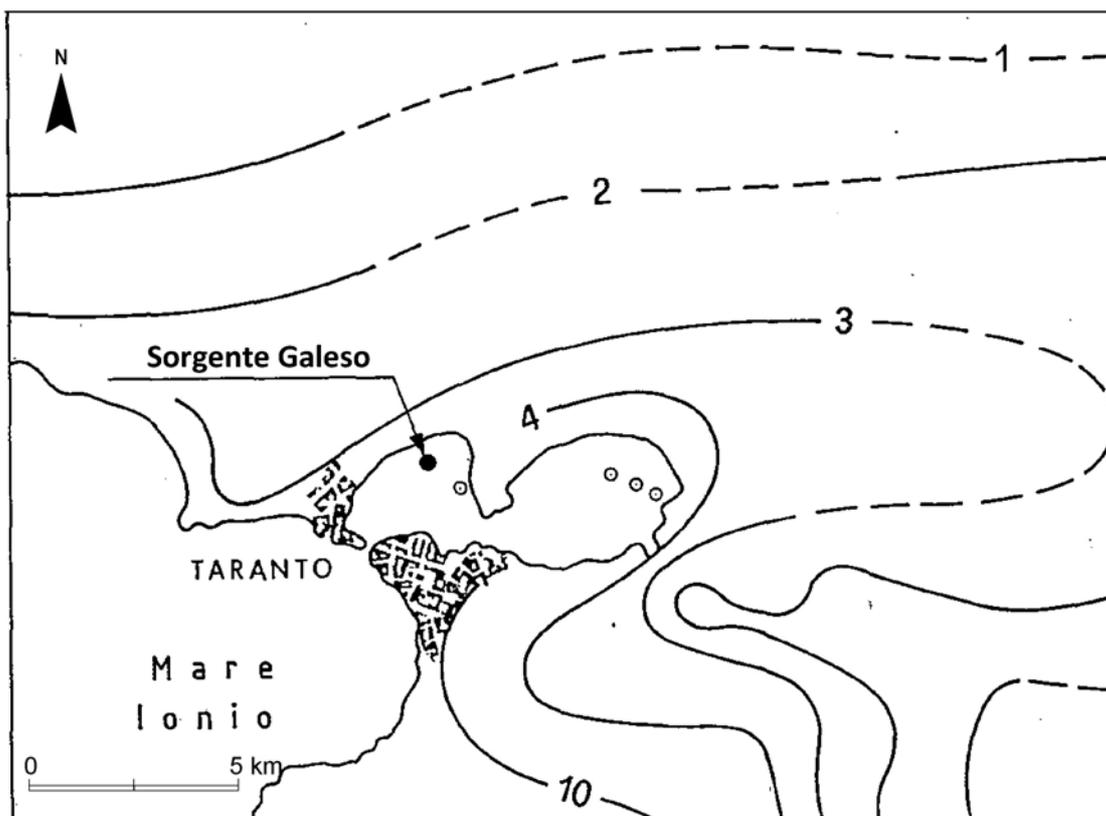


FIG. 11 - Distribuzione del contenuto salino nelle acque di falda, in g/l

Come si può osservare in tutta l'area in studio, le acque sotterranee presentano più o meno marcato grado di miscelamento con acque di origine marina. L'andamento delle isoaline evidenzia peraltro quelle zone ormai irrimediabilmente contaminate, quelle cioè in cui le acque della falda denunciano contenuti salini superiori ai 2 g/l. Particolarmente evidente è la forte ingressione marina che si è verificata in tutta la fascia costiera larga mediamente 5 km, ubicata a SE di Taranto; infatti ivi si hanno contenuti salini superiori ai 4 g/l. Vi è però da tenere presente che nella zona l'acquifero soggiace ad una notevole profondità sotto il livello mare ed il carico idraulico delle acque è tale che non permette l'esistenza di acque dolci al di sopra delle acque salate; infatti a carichi sull'ordine del 4 m sul l. m. corrisponderebbero ad una profondità teorica dell'interfaccia dell'ordine dei 200 m; è chiaro quindi che, essendo il tetto della formazione acquifera ubicato ad una profondità dello stesso ordine di grandezza, lo stesso acquifero non può che contenere acque salate o salmastre.

Con la situazione evidenziata dalla distribuzione del contenuto salino delle acque di falda è chiaro che prelievi d'acqua per uso irriguo possono avvenire solo nelle aree poste a monte della isoalina 1 g/l, per intercettare acque immediatamente utilizzabili, e per non turbare ulteriormente gli equilibri acque dolci- acque salate in quelle aree ove già si sono verificati processi di contaminazione salina.

Per approfondire ulteriormente le conoscenze sulla circolazione idrica sotterranea e sui rapporti acqua dolce di falda e acqua di mare di ingressione entroterra, sulla costa prospiciente il Mar Piccolo, in prossimità della sorgente Galeso (Fig. 12) è stato realizzato un pozzo- spia "Leggiadrezze", che si attesta nell'acqua di mare di invasione continentale e del quale si riferisce in dettaglio nel paragrafo seguente.



FIG. 12 - Ubicazione del pozzo-spia "LEGGIADREZZE"

Il pozzo è stato attrezzato con celle, tra loro isolate, interessanti rispettivamente la porzione dolce delle acque di falda, la zona di transizione acque dolci - acqua salata e le acque di intrusione marina che sostengono le acque di falda. Accanto ai rilievi in questo pozzo, Fig. 13, sono state effettuate osservazioni nel pozzo-spia realizzato nel passato in località Statte sempre nell' hinterland di Taranto (Figg. 14 e 15), e in numerosi altri pozzi presenti nell'area (Figg. 9 e 16).

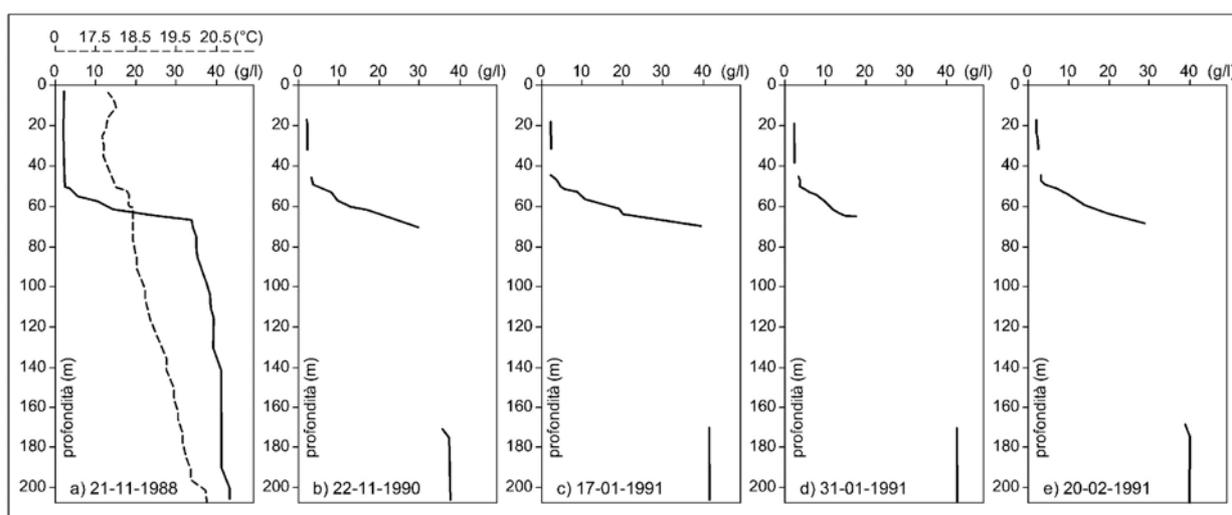
Dai carotaggi, effettuati periodicamente nel pozzo spia ubicato in fregio alla costa, emerge chiaramente come la distribuzione del contenuto salino delle acque di falda si mantenga pressoché costante, su valori di circa 2 g/l sino alla profondità di circa 50 m, per poi raggiungere una concentrazione dell'ordine di 32 g/l alla profondità di circa 65 m. Da ciò si trae come la zona di transizione risulti sufficientemente ristretta non superando i 15 m. Da tale profondità la concentrazione salina raggiunge gradualmente i 42 g/l a fondo pozzo, a 205 m.

La limitata espansione della zona di transizione è significativa di una scarsa attività estrattiva nelle zone di monte e di una elevata permeabilità di insieme della formazione acquifera. Anche i rilievi della distribuzione della temperatura delle acque evidenziano una significativa mobilità delle acque dolci di falda circolanti nella porzione di acquifero più superficiale.

Con i rilievi effettuati periodicamente nelle tre celle interessanti significative porzioni di acquifero, è emerso che nel tempo la posizione della zona di transizione subisce modeste variazioni legate essenzialmente alle variazioni del livello mare; la porzione di acqua dolce di falda non ha evidenziato significative variazioni di concentrazione salina. Ciò risulta chiaramente dai diagrammi di figura 13.

I rilievi effettuati nel pozzo spia ubicato in agro di Statte (figura 15) evidenziano per contro che la porzione di acquifero interessata dalla acque dolci di falda presenta uno spessore di circa 145 m e la zona di transizione acque di falda-acqua di mare assume uno spessore di ben 35-40 m, evidenziando così come le aree in cui ricade il pozzo siano interessate da una modesta attività estrattiva di acque di falda.

I rilievi termoconduttimetrici espletati in alcuni pozzi privati della zona e aventi penetrazioni in falda limitate a poche decine di metri al massimo, mostrano che nei pozzi prossimi alla costa la concentrazione salina varia ampiamente in una porzione di acquifero assai ridotta (pozzo 8C Lizzano e Faggiano 319) mentre nelle zone più interne (pozzo 289 Carosino) si osservano variazioni significative di concentrazione salina in pochi metri. Infine, dalla distribuzione delle isoaline e dalle risultanze dei carotaggi termici e salini condotti, risulta chiaro come le acque sorgentizie non possano che essere caratterizzate da una concentrazione salina dell'ordine di 2.5-3 g/l e oltre.



**FIG. 13 - Distribuzione del contenuto salino e dei valori di temperatura rilevati nel pozzo-spia "LEGGIADREZZE"**

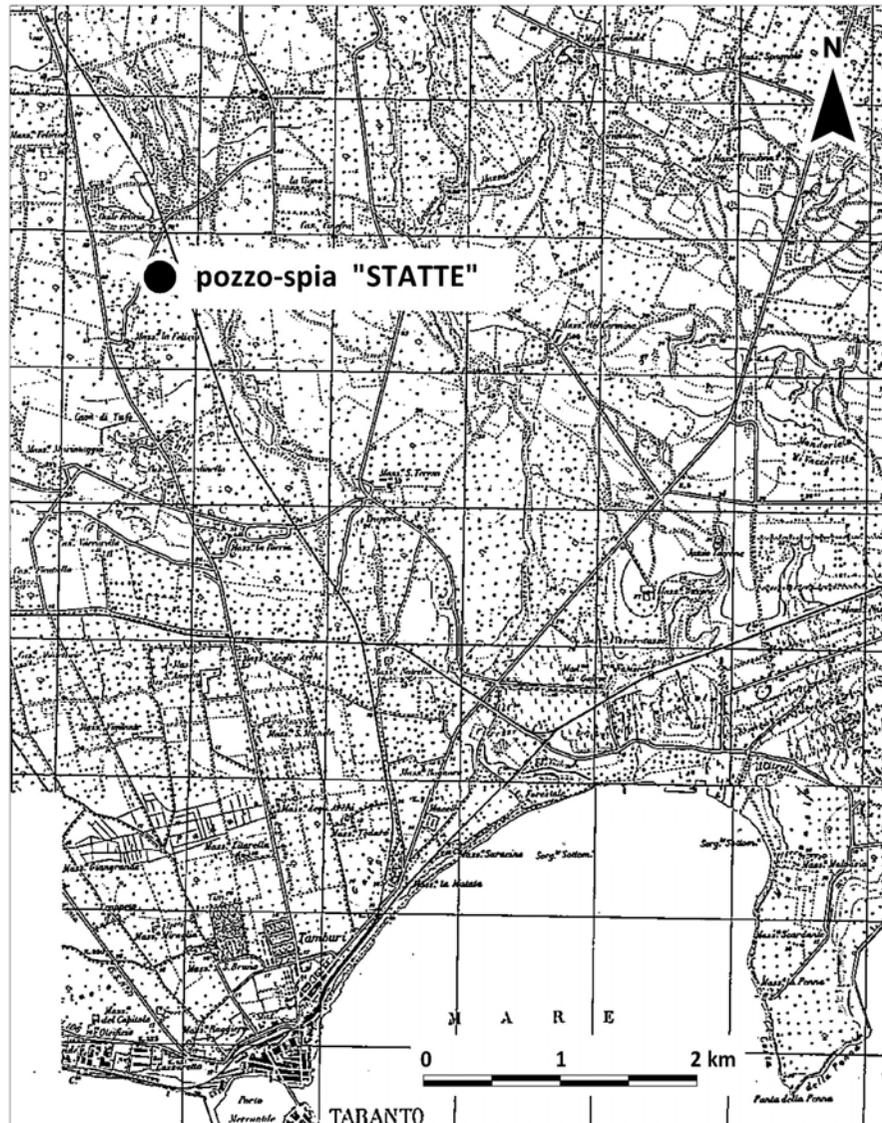


FIG. 14 - Ubicazione del pozzo-spia "STATTE" (Taranto)

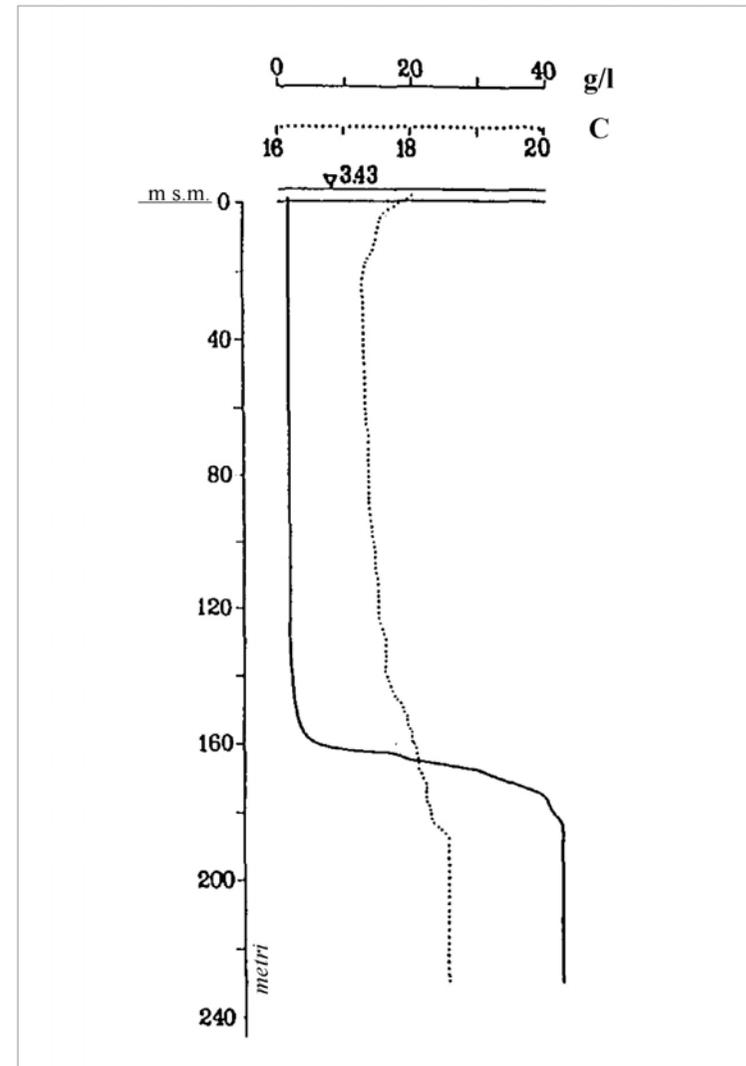


FIG. 15 - Distribuzione del contenuto salino e dei valori di temperatura rilevati lungo la colonna idrica del pozzo spia ubicato in località "STATTE" (Taranto)

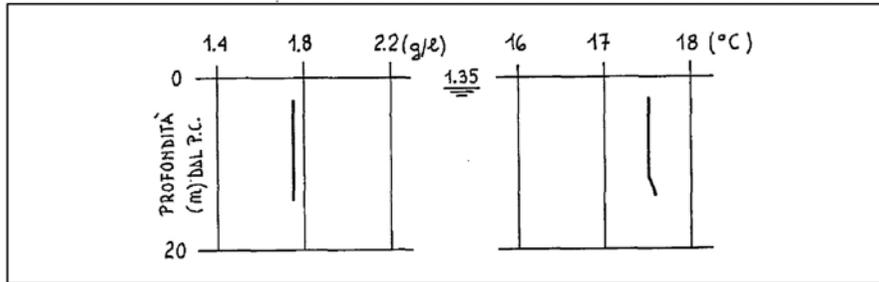


FIG. 16/a - Carotaggio termosalinometrico delle acque presenti nella colonna idrica del pozzo 3 EAAP

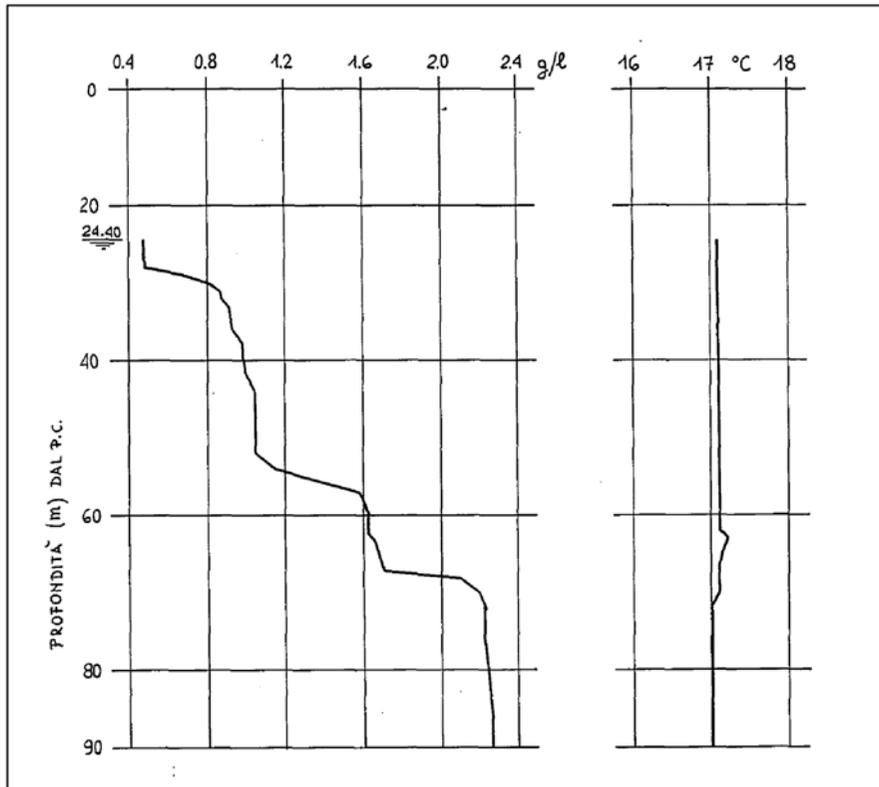


FIG. 16/c - Carotaggio termosalinometrico delle acque presenti nella colonna idrica del pozzo n. 319 - Faggiano

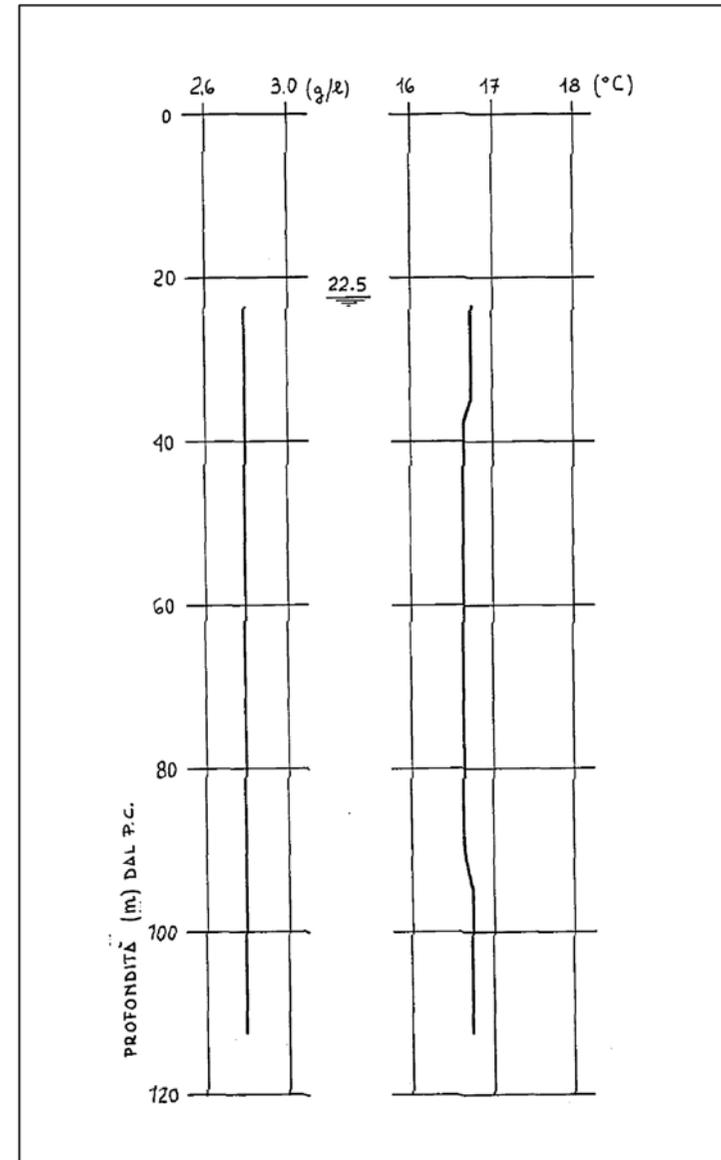


FIG. 16/b - Carotaggio termosalinometrico delle acque presenti nella colonna idrica del pozzo n. 332

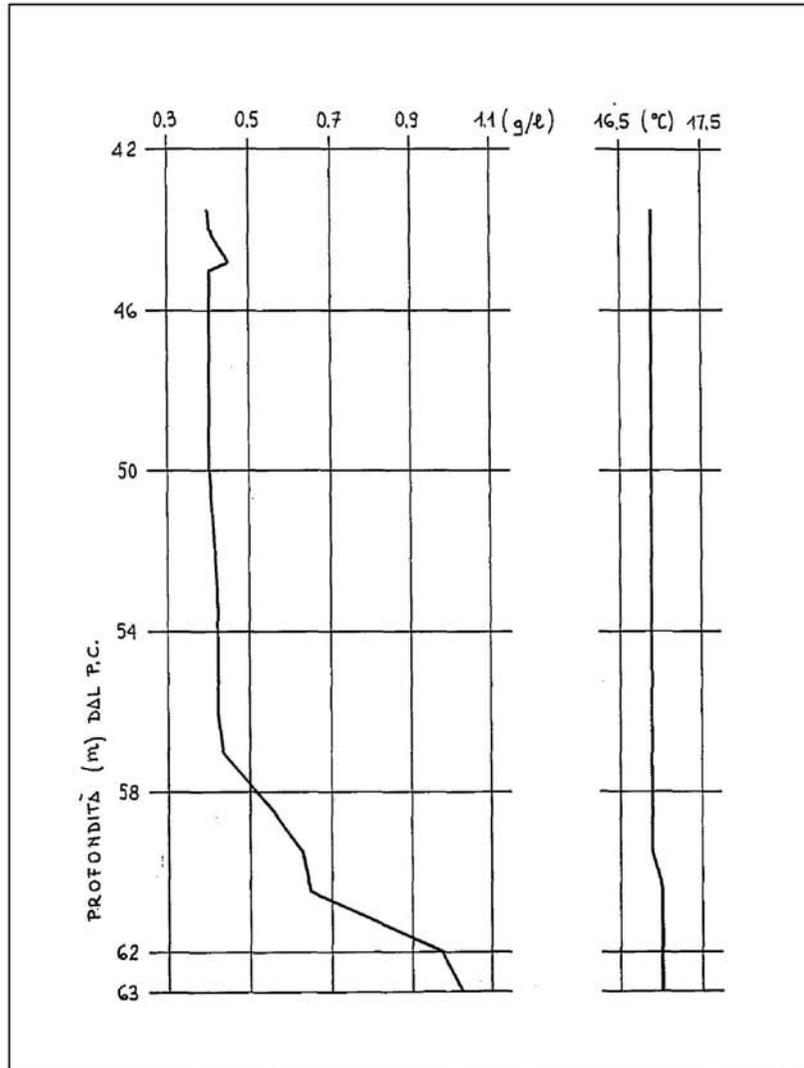


FIG. 16/d - Carotaggio termosalinometrico delle acque presenti nella colonna idrica del pozzo B - Monteiasi

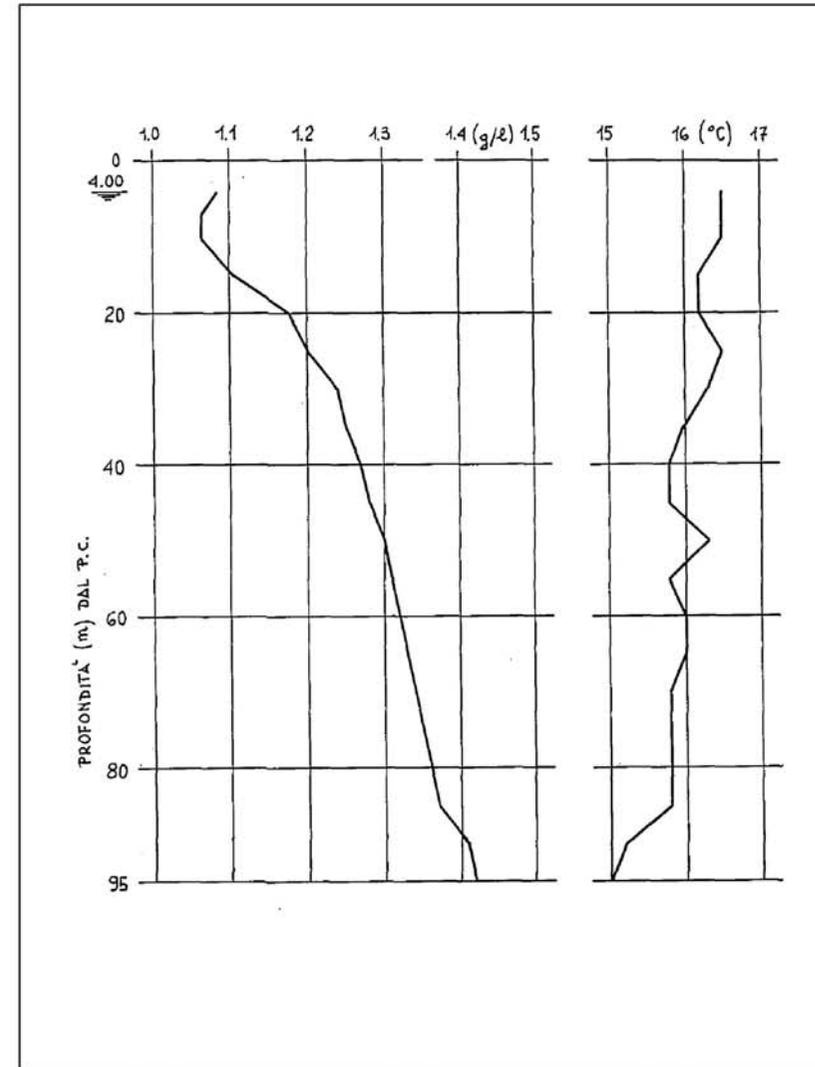


FIG. 16/e - Carotaggio termosalinometrico delle acque presenti nella colonna idrica del pozzo n. 176/TA

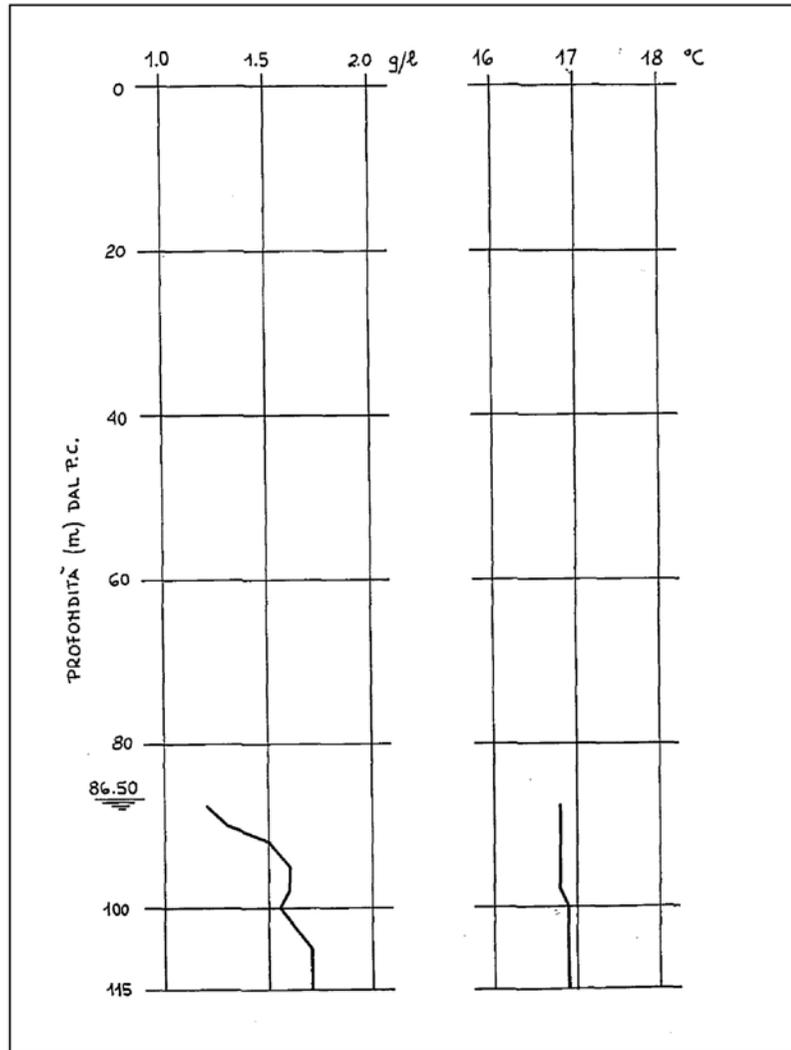


FIG. 16/f - Carotaggio termosalinometrico delle acque presenti nella colonna idrica del pozzo n. 289 - Carosino

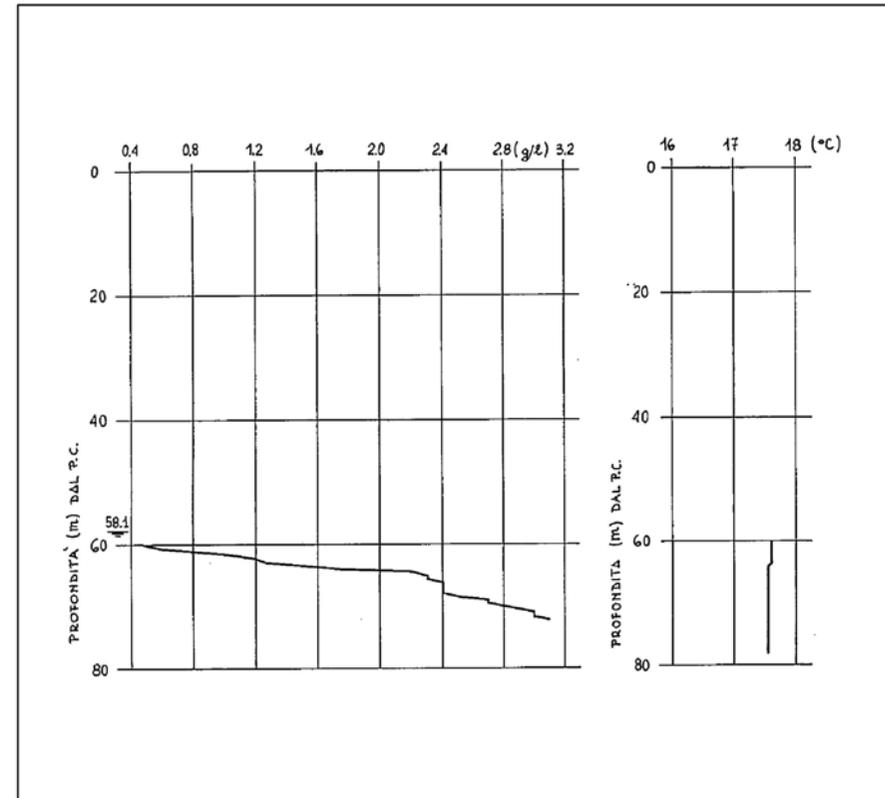


FIG. 16/g - Carotaggio termosalinometrico delle acque presenti nella colonna idrica del pozzo n. SC-Lizzano

## 6. CHIMISMO DELLE ACQUE DI FALDA

Le caratteristiche chimiche delle acque di falda sono la risultante di tutti quei processi che avvengono allorché le acque meteoriche, infiltrandosi nel terreno, vengono a contatto per tempi più o meno lunghi con le rocce costituenti la zona non satura e quella satura, subendo infine ulteriori modificazioni per l'influenza esercitata dalla presenza nell'acquifero di acqua di mare.

Nel prendere in esame le caratteristiche chimiche delle acque della falda profonda, si sono considerati oltre che i dati idrochimici già disponibili anche quelli derivanti da analisi su campioni di acqua espressamente prelevati nel corso delle indagini espletate; questi ultimi dati sono riportati nel diagramma semilogaritmico di Fig. 17 e nella Tab. 2.

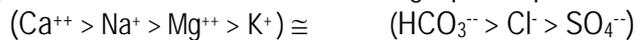
Già da ricerche precedentemente effettuate si era constatato che la composizione chimica delle acque di falda è legata alla originaria composizione delle acque di alimentazione che, a loro volta, derivano i caratteri idrochimici dalle acque meteoriche; queste, prima di infiltrarsi nel sottosuolo nel periodo invernale, sciolgono e trasportano in falda i sali depositati sul terreno dalle precipitazioni estive totalmente evaporate.

A sua volta la composizione originaria delle acque meteoriche varia in funzione dei diversi parametri, quali l'altitudine del terreno, la distanza dalle coste le condizioni climatiche, etc, etc..

Successivamente le acque, circolando nell'acquifero, subiscono ulteriori modificazioni del loro chimismo.

Nell'osservare le composizioni delle acque di falda, si è riscontrata che mediamente queste possono raggrupparsi in cinque tipi fondamentali, rispondenti alle seguenti caratteristiche:

1 – acque con residuo secco medio di 0.4 g/l, per le quali è:



2 – acque con residuo secco medio di 1.5 g/l, per le quali è:



3 – acque con residuo secco medio di 3 g/l, per le quali è:



4 – acque con residuo secco medio di 20 g/l, per le quali è:



5 – acque con residuo secco medio di 40 g/l, per le quali è:



Le acque dei primi tre tipi sono acque di falda p.d., mentre quelle del quarto e del quinto tipo sono rispettivamente acque della zona di transizione e di mare di invasione continentale.

Le acque di falda del primo tipo sono in genere non contaminate dalle acque di mare e hanno una composizione del tutto simile a quella delle acque di alimentazione; quelle del secondo e terzo tipo, nonostante i contenuti salini ancora relativamente bassi, presentano già gli effetti di un miscelamento, ancora in basse proporzioni, con acque di origine marina.

Le acque del secondo e terzo tipo, anche se a diverso tasso di miscelamento con l'acqua di mare, presentano taluni caratteri comuni tra di loro.

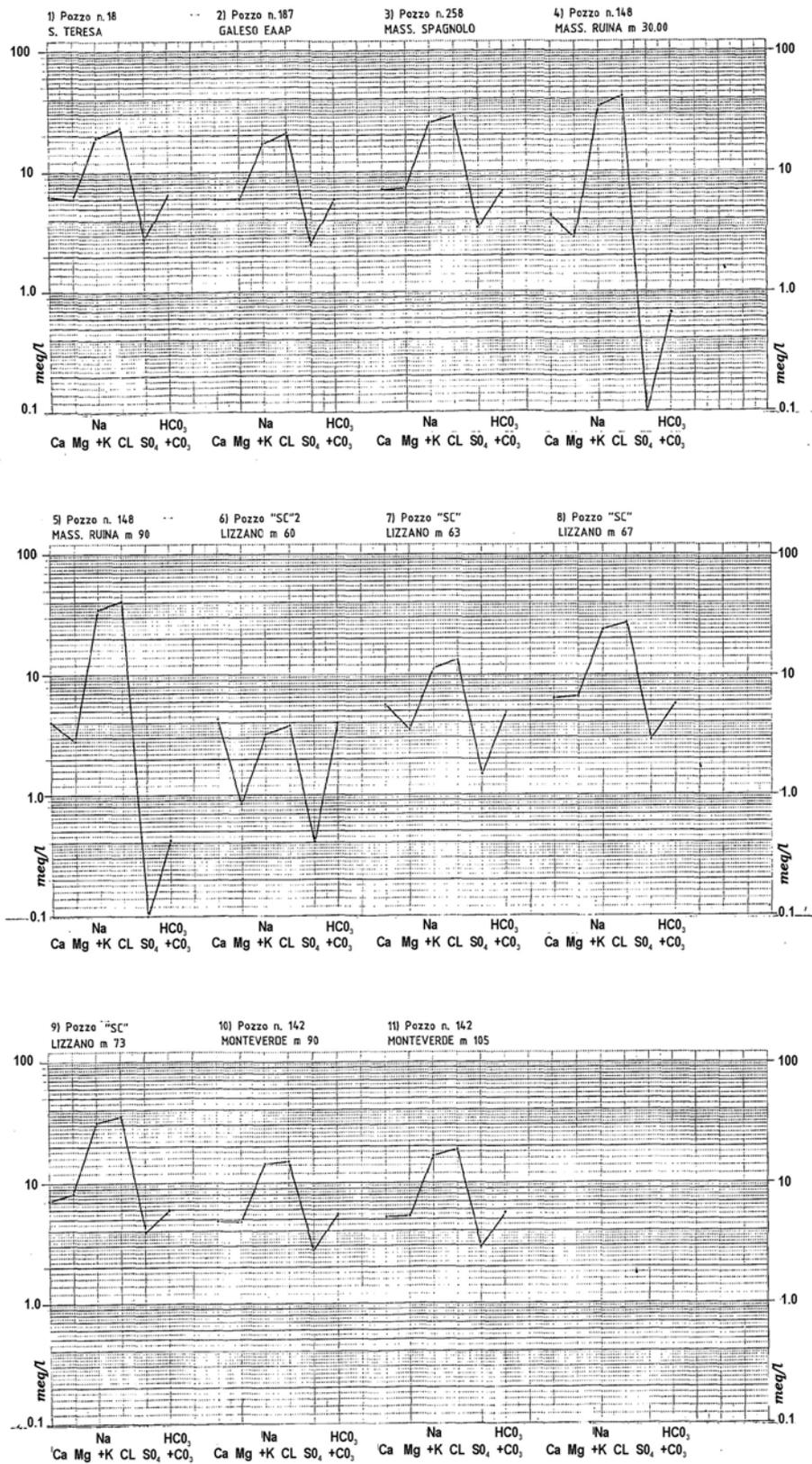


FIG. 17 - Diagrammi mostranti la composizione chimica delle acque di falda campionate in alcuni pozzi censiti

**Tab. 2-**

**Risultati delle analisi chimiche effettuate su campioni di acqua di falda campionate in alcuni pozzi censiti**

POZZO	18	187	258	148	148	sc	sc	Sc	sc	142	142
Località	Mass. S.Teresa	EAAP (Ta) n. 3	contrada Spagnolo	Mass. Ruina	Mass. Ruina	Lizzano	Lizzano	Lizzano	Lizzano	n.289 Carosino	n.289 Carosino
Prelievo Prof dal p.c. (m)		8		30	90	60	63	67	73	90	105
Data prelievo	16.3.88	15.3.88	17.3.88	15.3.88	15.3.88	24.3.88	24.3.88	24.3.88	24.3.88	25.3.88	25.3.88
Calcio (meq/l)	6.410	6.000	7.179	4.204	4.000	4.358	5.589	6.256	7.076	4.820	5.281
Magnesio (meq/l)	5.907	5.992	7.276	2.820	2.800	0.833	3.501	6.530	8.194	4.749	5.306
Sodio (meq/l)	19.181	17.354	25.314	33.600	33.708	3.044	10.917	23.009	30.533	13.614	16.180
Potassio (meq/l)	0.554	0.478	0.608	1.029	0.984	0.190	0.368	0.588	0.890	0.572	0.629
Litio (meq/l)	0.0049	0.0026	0.0034	0.0043	0.0045	ass.	0.0013	0.0027	0.0037	0.0026	0.0024
Stronzio (meq/l)	0.029	0.024	0.034	0.034	0.033	0.007	0.021	0.025	0.028	0.020	0.021
Bicarbonato (meq/l)	6.65	6.130	7.050	0.660	0.420	4.000	4.870	5.850	6.150	5.600	5.750
Carbonati (meq/l)	ass.	ass.	ass.	ass.	tracce.	ass.	ass.	ass.	ass.	ass.	ass.
Cloruri (meq/l)	23.080	21.065	29.785	41.584	41.441	3.798	13.382	27.109	36.088	15.569	18.821
Solfati (meq/l)	2.802	2.554	3.421	ass.	ass.	0.400	1.577	2.938	3.922	2.704	2.917
Nitrati (meq/l)	0.344	0.420	0.214	0.287	0.299	0.976	0.512	0.430	0.468	0.276	0.406
Res. fisso a 110°C (g/l)	1.917	1.803	2.473	2.620	2.577	0.507	1.233	2.188	2.845	1.427	1.656
Res. fisso a 180°C (g/l)	1.818	1.699	2.345	2.543	2.479	0.467	1.145	2.058	2.689	1.360	1.571
Conduc. Spec. 20° μ s	3045	2824	3811	4275	4276	732	1823	3171	4085	2107	2408

## 7. CARATTERISTICHE DEL POZZO SPIA "LEGGIADREZZE"

Per correlare il comportamento e le caratteristiche idrauliche e chimiche delle acque della sorgente col regime ed i caratteri idrologici e chimico-fisici delle acque di falda drenate dalla sorgente stessa, si sono effettuati accertamenti periodici nel pozzo spia eseguito a Sud dell'abitato di Statte, a circa 6 km dal mare ed in un pozzo spia espressamente realizzato, ubicato sulla costa in corrispondenza della emergenza sottomarina.

Tale pozzo spia è stato eseguito con la tecnologia della rotazione a carotaggio continuo ed è stato spinto fino alla profondità di 215 m interessando l'acquifero caratterizzato dalle acque dolci di falda, da quelle di transizione acque dolci-acque salate e dall'acqua di mare di penetrazione entroterra.

Scopo di tale pozzo è quello di controllare la evoluzione che le caratteristiche chimico-fisiche delle citate acque subiscono nel tempo; in particolare vengono tenuti in osservazione i seguenti parametri:

- livello idrico;
- conducibilità specifica;
- temperatura.

### 7.1. Sistemazione del pozzo

Per un controllo più accurato di tali parametri il pozzo spia è stato attrezzato con tre "celle" interessanti significative porzioni di acquifero; tali "celle" sono state tra loro isolate a mezzo di cementazioni e collegate al piano campagna da tubazioni piezometriche di raccordo. Le celle interessano rispettivamente:

- l'acqua di falda, a basso tenore salino;
- la zona di transizione;
- la porzione di acquifero caratterizzata dalla presenza di acque di mare di invasione continentale.

In tali celle vengono periodicamente effettuati i carotaggi termici e conduttimetrici.

Particolare cura è stata posta nella realizzazione delle cementazioni di isolamento al fine di evitare la comunicabilità tra le diverse porzioni dell'acquifero senza pregiudicare lo stato di fessurazione e incarsimento dei tratti interessati con le "celle".

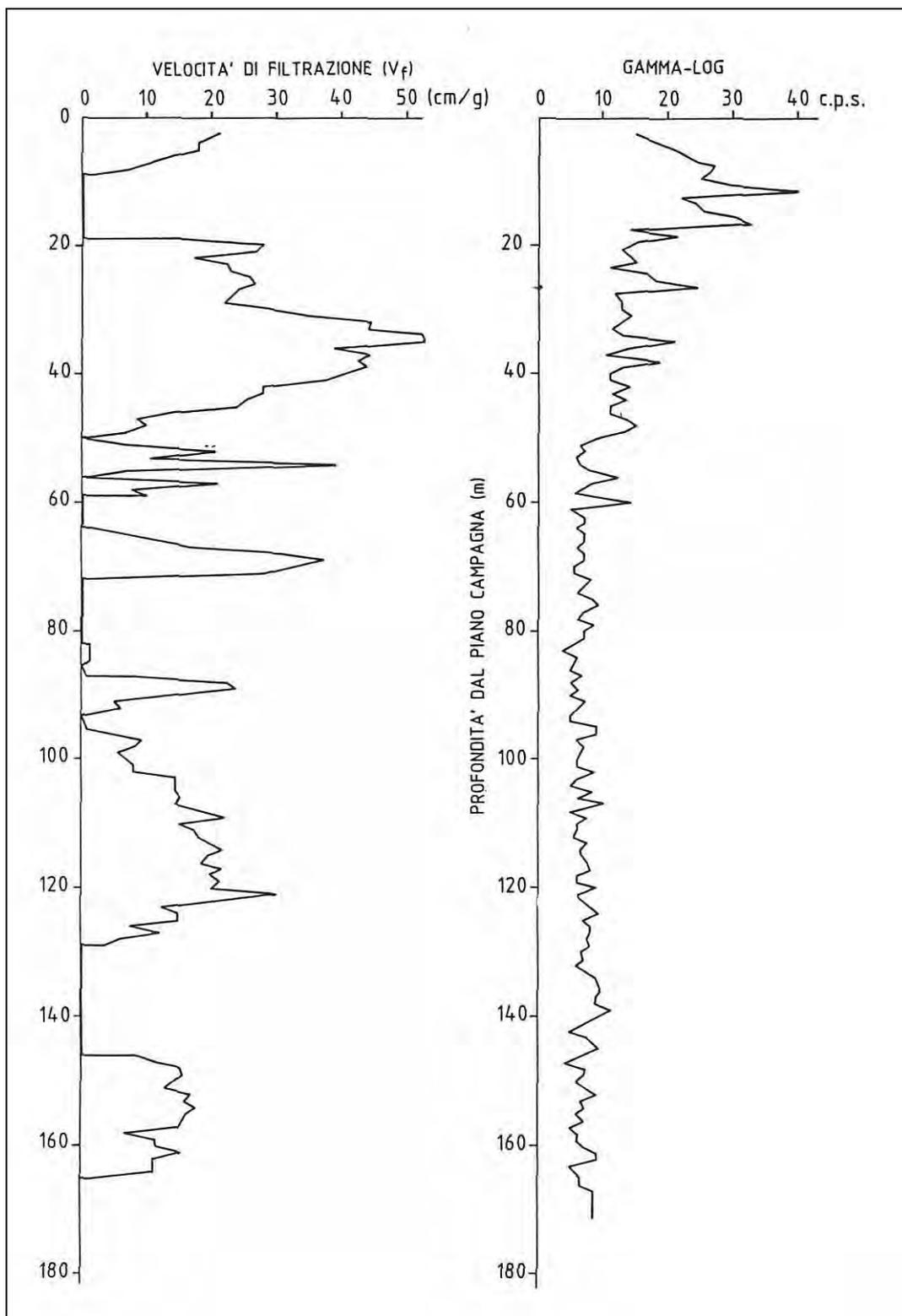
L'esatta definizione delle profondità ove posizionare le suddette celle ed i tratti ove eseguire le cementazioni di isolamento tra le celle stesse è scaturita a seguito dei risultati conseguiti con: l'analisi delle carote estratte in fase di perforazione, la verifica litostratigrafica effettuata a mezzo del carotaggio della radioattività naturale gamma delle formazioni attraversate (Fig. 18), rilievi termici e salini e misure della velocità di filtrazione delle acque impiegando tecniche radioisotopiche.

I particolari costruttivi ed i dettagli della sistemazione definitiva del pozzo sono illustrati in Fig. 19 e nelle Foto da 1 a 18.

### 7.2. Accertamenti radioisotopici

Per l'espletamento delle misure della velocità di filtrazione delle acque con l'impiego di traccianti radioattivi artificiali si è adottato con il metodo del pozzo singolo basato sulla variazione di concentrazione subita nel tempo dal tracciante con cui sono state marcate le acque di falda presenti nel pozzo. Tale variazione di concentrazione è causata da fenomeni di diluizione per diffusione delle velocità di deflusso delle acque di falda e da eventuali correnti verticali ascendenti o discendenti, instauratisi nel pozzo a seguito della sua perforazione.

Ai fini del calcolo della velocità di filtrazione si considerano solo le variazioni di concentrazione dovute al movimento orizzontale delle acque di falda.



**Fig. 18 – Distribuzione della mobilità delle acque circolanti nell’acquifero carsico rilevata con misure della velocità di filtrazione (Vf) e distribuzione della radioattività naturale gamma della formazione calcarea e calcareo-dolomitica**

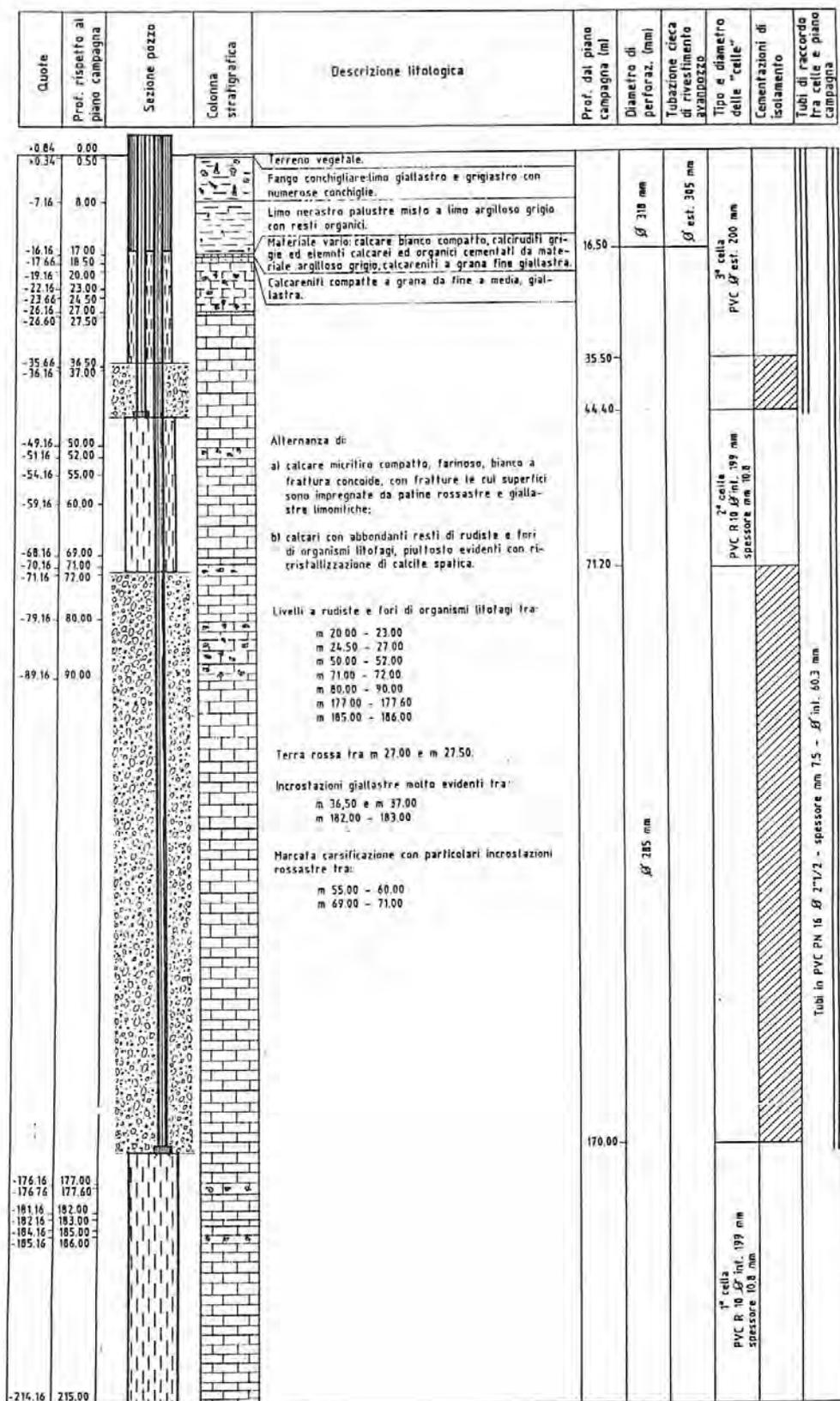


Fig. 19 – Caratteristiche litostratigrafiche della perforazione e sistemazione del pozzo-spia "Leggiadrezze"

La diluizione di un tracciante, omogeneamente distribuito nel volume V della colonna idrica presente nel pozzo in esame, è espressa da una equazione differenziale la cui soluzione, in condizioni di flusso uniforme, è data da:

$$V_f = \frac{V}{\alpha S t} \ln \frac{C}{C_0}$$

con:

- V<sub>f</sub> Velocità apparente di diluizione (o velocità di filtrazione)
- V Volume di acqua marcato dal tracciante
- S Sezione del volume marcato, ortogonale alla direzione del flusso indisturbato della falda
- α fattore di correzione che tiene conto della distorsione indotta nei filetti liquidi dalla presenza del pozzo (filtro e tubi filtro)
- t tempo intercorso fra le misure di contrazione di valore C<sub>0</sub> e C.

Per il marcamento della colonna idrica, si è adottato il radioisotopo iodio I 131, emettitore di radiazioni gamma avente un periodo di dimezzamento pari a 8,07 g.

Prima di dare corso alle misure della velocità di filtrazione è stato eseguito un carotaggio della radioattività naturale gamma dei terreni al fine di determinare il valore di fondo tenendo presente che le rocce carbonatiche hanno una loro specifica radioattività.

Il marcamento uniforme della colonna idrica, lunga 170 m, è stato effettuato impegnando adeguate attrezzature.

Le concentrazioni del tracciante sono state rilevate con attrezzature portatili di produzione SAPHYMO-PHY, costituite da sonde a scintillazione, integratori di registratori e impulsi.

Le indagini condotte non hanno evidenziato la presenza di correnti idriche verticali ascendenti.

Le osservazioni sulla diluizione del tracciante sono state condotte per un arco di tempo sufficientemente lungo, tale da consentire una corretta interpretazione ed elaborazione dei dati acquisiti.

I risultati conseguiti sono illustrati nella figura 18 che mostra il carotaggio della radioattività naturale gamma dei terreni e la distribuzione lungo la verticale dell'acquifero della velocità di filtrazione media. In quest'ultimo diagramma si possono osservare diversi livelli a velocità di filtrazione nulla che delimitano altrettanti tratti nei quali si riscontrano velocità di filtrazione medie oscillanti fra un minimo di 10 cm/g ad un massimo di 30 cm/g. In particolare intorno ai 35 m dal p.c. si registra la massima velocità di filtrazione pari a 57 cm/g.

### 7.3. Sistema di monitoraggio installato

Onde poter seguire l'evoluzione dei parametri di temperatura e conducibilità delle acque in corrispondenza delle citate tre celle, il pozzo è stato attrezzato con un sistema di controllo e monitoraggio in continuo consistente in cinque sonde multiparametriche, posizionate rispettivamente (Fig. 20): una nella cella superiore in corrispondenza delle acque dolci di falda; tre nella cella intermedia che interessa la zona di transizione rispettivamente al tetto, in una posizione intermedia ed al letto; la quinta sonda nella cella profonda, in corrispondenza dell'acqua di mare.

Le sonde di rilevamento sono elettricamente connesse ad un sistema di acquisizione locale (foto 19) dotato di memoria solida, dalla quale i dati vengono sistematicamente acquisiti con intervalli di circa 30'. Lo scarico dei dati avviene generalmente con frequenza mensile tramite un PC portatile.

I dati raccolti vengono successivamente immessi in un sistema informativo per la loro trattazione, correlazione e successiva archiviazione.

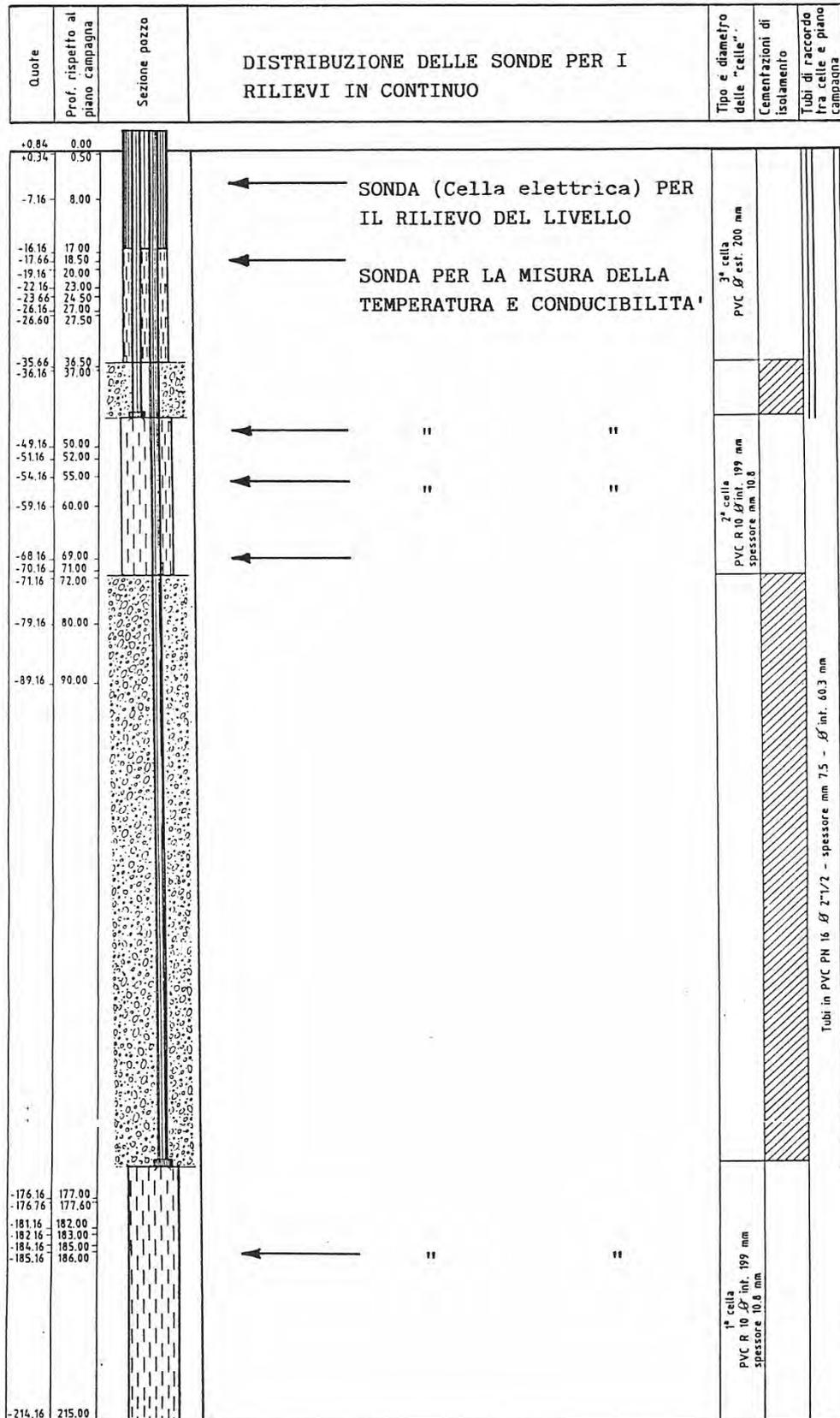
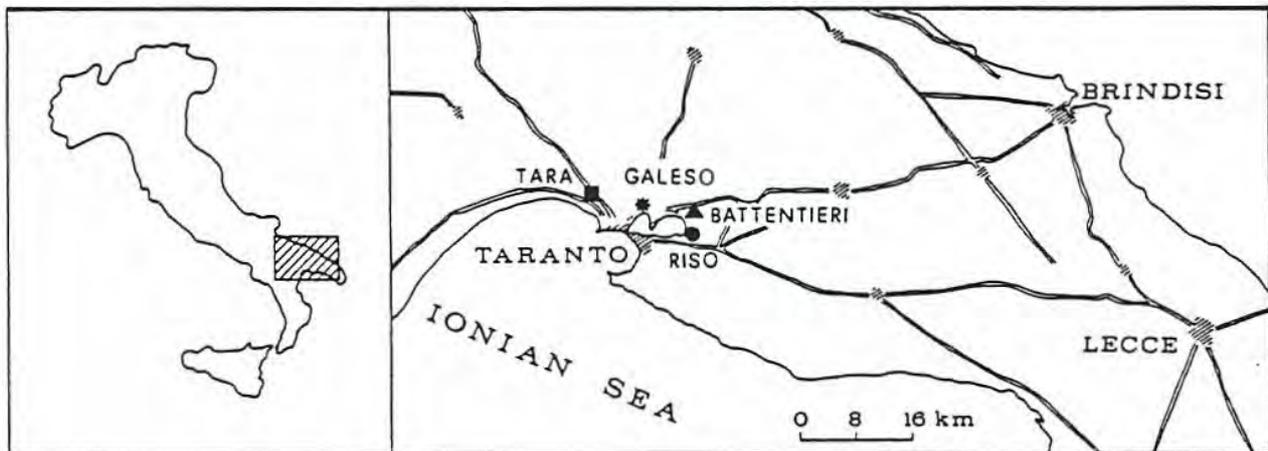


Fig. 20 – Distribuzione delle sonde per il rilievo dei valori chimico-fisici delle acque nelle celle del pozzo-spia "Leggiadrezze"

## 8. EMERGENZE COSTIERE SUBAEREE

Al fine di riconoscere il regime idraulico della falda sono stati condotti nel passato recente, indagini e studi sulle emergenze costiere subaeree presenti nel Golfo di Taranto ed in particolare alle sorgenti Galeso, Battentieri e Riso (Fig. 21).



**Fig. 21 – Ubicazione delle sorgenti considerate**

Le scaturigini sono ubicate a ridosso della linea di costa e si presentano in maniera diffusa, spesso non ben delineata, e immettono le loro acque in specchi liquidi le cui quote sono in genere prossime a quelle del livello mare.

Un canale a marea convoglia indi a mare le acque drenate. Le osservazioni condotte hanno riguardato essenzialmente le caratteristiche idrauliche dei deflussi e quelle chimico-fisiche delle acque fluenti. Si sono rilevati inoltre i livelli del mare nonché i carichi idraulici delle sorgenti stesse.

Le indagini venivano espletate su ciascuna sorgente effettuando cicli di misure giornaliere in stazioni fisse, con registrazione di alcuni parametri e con misure periodiche per taluni altri.

Dall'insieme dei rilievi effettuati è emerso che, per tutte le sorgenti considerate, sia i contenuti salini che i valori della temperatura delle acque, nell'arco di tempo giornaliero, si mantengono pressochè costanti come conseguenza delle modestissime variazioni dei livelli idrici che le acque sorgentizie mostrano avere nella zona di emergenza per effetto delle variazioni del livello, mare dovute alle sue oscillazioni periodiche, peraltro di limitata entità.

Per contro le variazioni di portata riscontrate nel corso dei rilievi giornalieri sono esclusivamente dovute alle variazioni del livello mare prodotte dalle maree che influenzano il deflusso delle acque dolci di falda nei canali di eduazione; le variazioni del campo barico giornaliero non hanno particolare influenza sui livelli idrici delle vasche delle sorgenti.

Inoltre, per quanto attiene all'aspetto chimico delle acque sono stati presi in considerazione pH, ossigeno disciolto,  $CO_2$  e  $HCO_3$  al fine di caratterizzare le eventuali variazioni che le acque possono subire nel tempo (Fig. 22).

Se tuttavia nell'arco della giornata non venivano osservate variazioni di rilievo nei parametri idraulici, chimici e fisici, allorchè si esaminano i dati emersi dalle osservazioni condotte nell'intero periodo di studio, si osserva che a lungo termine questi parametri mostrano delle variazioni significative.

Si è potuto osservare che la portata delle varie sorgenti subisce delle variazioni periodiche annuali legate al regime idrologico della falda: infatti i minimi di portata vengono riscontrati, per le sorgenti del versante ionico, nei primi mesi autunnali.

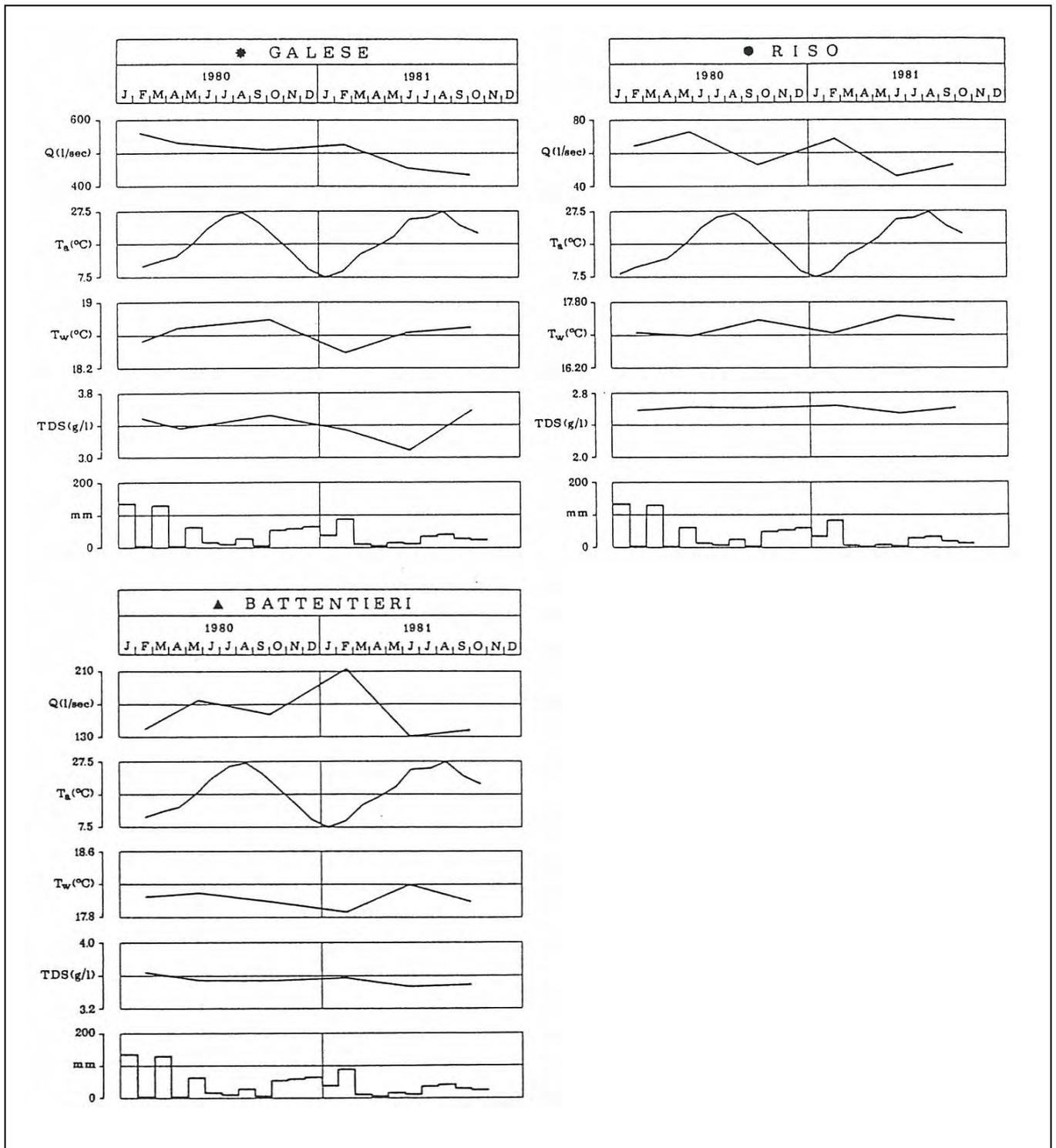


Fig. 22 – Andamento nel tempo dei parametri rilevati alle sorgenti ioniche subaeree

Vi è da osservare che il regime idrologico delle sorgenti è pressochè analogo a quello già osservato in passato nel corso di studi di dettaglio effettuati alle sorgenti del Salento, Chidro e Boraco.

Si può constatare come le sorgenti del versante ionico mostrano che alle portate maggiori corrispondono i contenuti salini più bassi. Fa eccezione su quest'ultimo versante la sorgente Riso che, pur presentando valori della portata bassi, ha le sue acque con una salinità bassa.

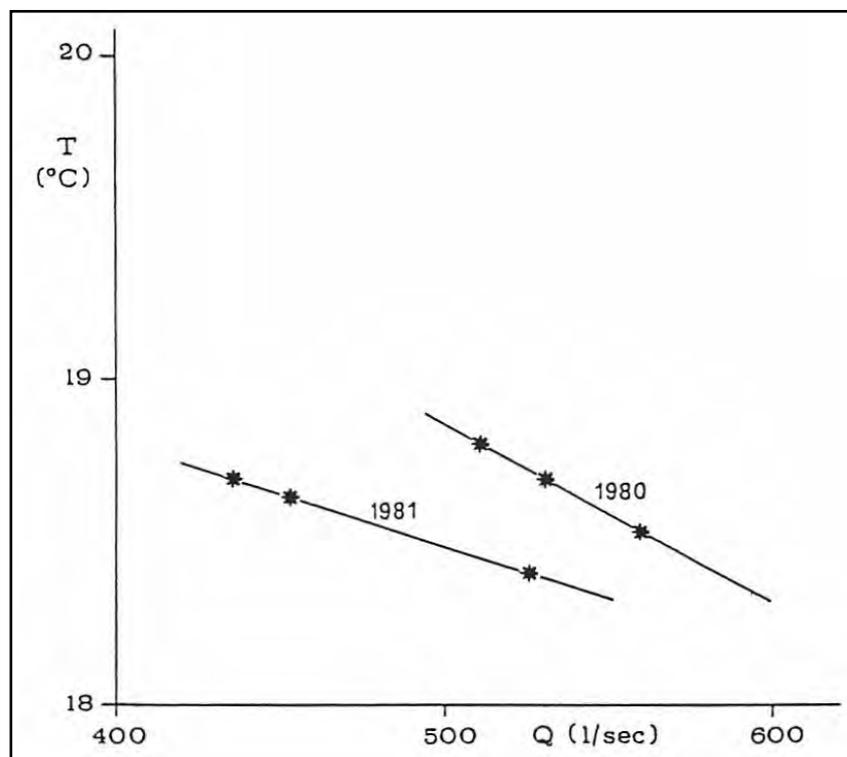
Anche l'andamento annuale della temperatura delle acque sorgentizie evidenzia che per le sorgenti ioniche i due parametri viaggiavano in opposizione, e cioè, ad un incremento di portata fa riscontro un abbassamento di temperatura. La correzione esistente fra questi due parametri è in genere molto elevata.

Particolare significato assume quanto è stato riscontrato alla sorgente subaerea Galeso, per la quale è possibile distinguere una caratterizzazione annuale del regime idrologico come conseguenza della correlazione dei due parametri in argomento (Fig. 23); questa correlazione tuttavia mantiene inalterate le osservazioni dianzi svolte, riguardanti il comportamento generale.

Dalle osservazioni condotte su tutte le sorgenti costiere subaeree è emerso che la temperatura delle acque risulta compresa in un campo sufficientemente ristretto, tra i 17°C ed i 19°C. Di contro il campo di variazione termica di ogni singola sorgente non supera in genere i 0.5°C.

Il contenuto salino delle acque sorgentizie, durante tutto il periodo delle indagini, si è mantenuto pressochè costante presentando escursioni dell'ordine di 0.5 g/l. Tali escursioni non sembrano correlabili con i valori della portata e della temperatura. Pur tuttavia si è riscontrato che l'andamento del contenuto salino delle acque è generalmente in opposizione all'andamento della temperatura.

In definitiva il dato saliente emerso dalle osservazioni è che le sorgenti del versante ionico presentano contenuti salini non eccedenti i 4 g/l legati comunque a quelli che si riscontrano in falda non al suo tetto, che presenta valori non eccedenti 1 g/l anche in prossimità della costa, ma più in profondità. Di tale circostanza si ha evidenza anche dai valori di temperatura che le acque presentano.



**Fig. 23 – Correlazione annuale esistente alla sorgente subaerea Galeso tra i valori delle portate erogate e i valori della temperatura delle acque drenate**

## 9. CENSIMENTO DI PICCOLE EMERGENZE NEI PRESSI DELLA POLLA PRINCIPALE GALESO

Avendo rilevato nel corso dei numerosi sopralluoghi alla sorgente principale una presenza di modeste manifestazioni idriche, sia concentrate che diffuse, si è ritenuto necessario effettuare un censimento ed un rilievo quotato di tutte le scaturigini esistenti in prossimità della sorgente Galeso ( Fig. 24 ).

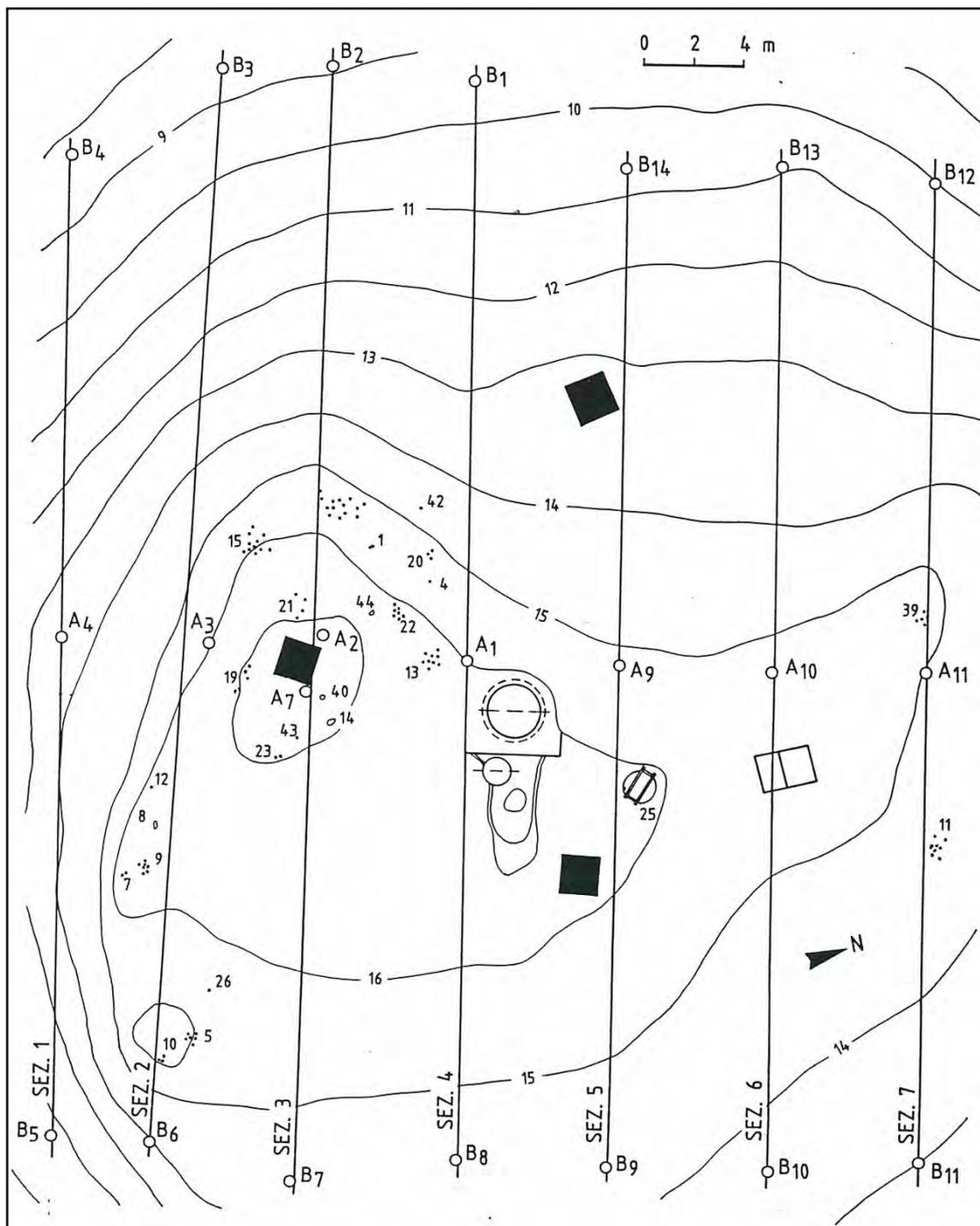
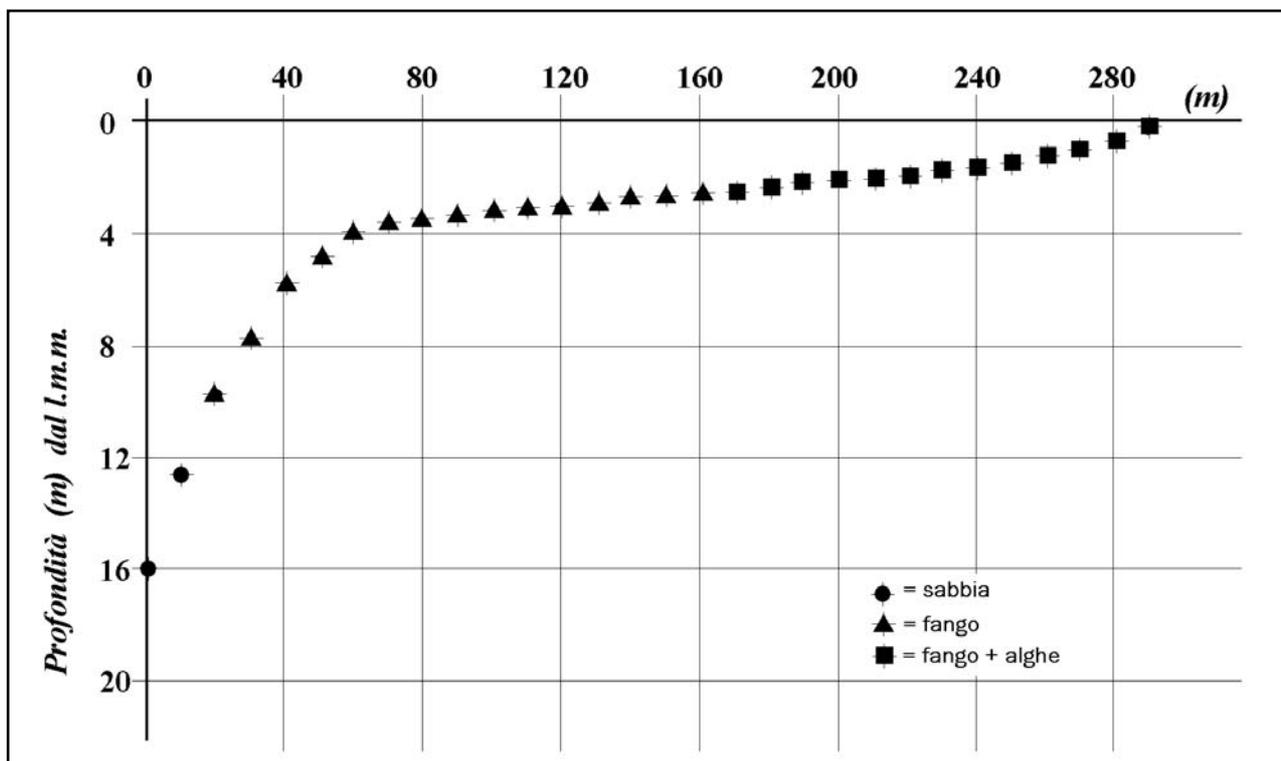


Fig. 24 – Corografia del fondale nelle vicinanze della sorgente principale con indicazione delle tracce delle sezioni ricostruite, localizzazione delle manifestazioni idriche, sia concentrate che diffuse e ubicazione dei manufatti ivi presenti.

Accanto alla polla principale, dal fondale di natura calcarenitica, sgorgano molte altre polle di diverso diametro e portata; sono altresì presenti manifestazioni diffuse non ben localizzabili e quantificabili. Una di queste polle era stata chiusa in precedenza, per mezzo di una specie di chiusino in ferro, dato che il suo orifizio si era allargato a seguito dell'erosione provocata dall'incanalamento delle acque della polla principale.

Fra gli scopi delle indagini vi era quello di eseguire un rilievo quotato delle polle di acqua dolce disseminate sul fondo e ricostruire una planimetria completa, indicando anche la natura del fondale (Fig. 25).



**Fig. 25 – Sezione del fondo marino dalla "campana" alla riva con orientamento 330°**

La zona dove sgorga l'acqua dolce di falda è costituita da calcarenite in parte ricoperta da sabbia, anche a grossa granulometria, il cui spessore diventa sempre più potente man mano che ci si porta sui limiti della zona esaminata. L'aspetto è pertanto, grazie ai fenomeni di erosione creati dalla fuoriuscita dell'acqua dolce ed al ridotto accumulo di sedimenti che si verifica in tale area, quello di un cono rovesciato con il vertice in corrispondenza della polla principale.

Si è proceduto al rilievo suddividendo il campo in quattro settori nei quali si è operato creando delle sezioni grossomodo parallele alla direzione Est-Ovest (Fig. 26). Lungo tali sezioni sono state misurate tutte le quote che hanno permesso di ottenere le isobate del fondale; sono state quindi posizionate tutte le polle, quotandole. Si è anche rilevata e posiziona la base della campana. Di ogni polla si sono rilevate le caratteristiche e la natura del fondale circostante. Sono state censite oltre quaranta polle (Tab. 3).

Delle polle più significative è stata eseguita anche una documentazione fotografica; l'esecuzione delle fotografie è stata resa difficile dalla diversa densità dell'acqua e dalla conseguente opacità (Foto da 20 a 24). E' stata eseguita inoltre una perlustrazione dell'area indagata fino alla costa Nord per rilevare il tipo di fondale e le quote (Foto 25).

Come sintesi delle indagini subacquee svolte si è elaborata una cartografia del fondale con assonometria (Fig. 27).

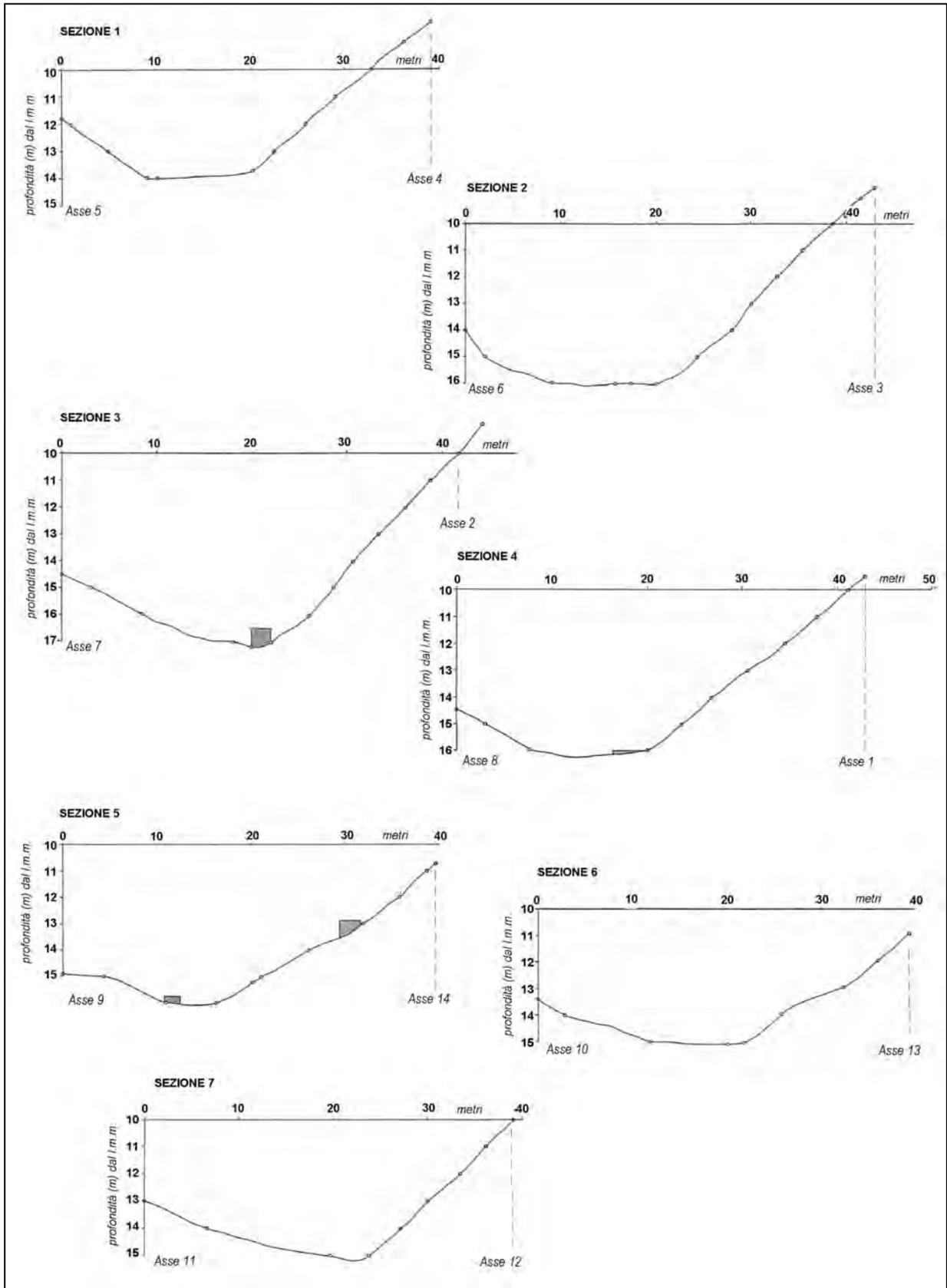
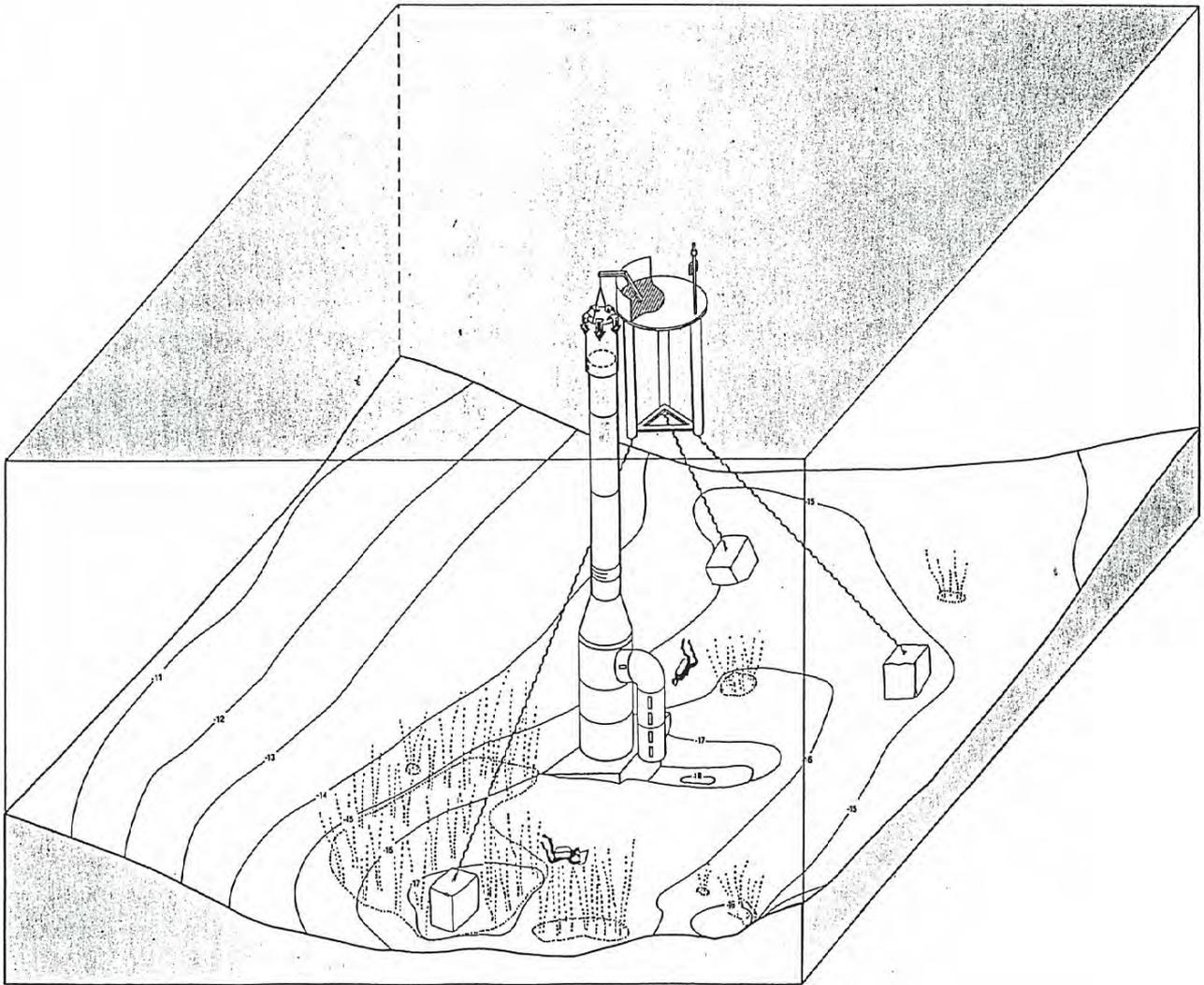


FIG. 26 – Sezione del fondo con andamento Est-Ovest

**Tab. 3 – Elenco e descrizione delle polle rilevate**

<b>Polla</b>	<b>Posizione rispetto all'asse e n. asse</b>	<b>Quota rilevata Con l'orologio</b>	<b>Caratteristiche polla e fondo</b>
1	Lato Nord – Asse 2	- 15.80	Piccole fessure – Sabbia conchiglifera mista a rocce
2	Lato Nord – Asse 2	- 15.40	A N dei sacchetti di sabbia che coprono un'area con emergenze diffuse (ml x 0.60) - Sabbia conchiglifera mista a rocce
3	Lato Sud – Asse 2	- 15.30	Idem al limite S - Argilla
4	Lato Sud – Asse 1	- 15.50	Buco, cm 5x5 - Ghiaia
5	Lato Nord – Asse 6	- 16.00	Area cm 50x50 emergenze diffuse - Sabbia
6	Lato Nord – Asse 2	- 16.90	Fessura Ø 20 cm - Calcare
7	Lato Sud – Asse 6	- 16.70	Due polle - Sabbia
8	Lato Sud – Asse 6	- 16.60	Polla di cm 30x5 – Conchiglie e sabbia
9	Lato Sud – Asse 6	- 16.60	Emergenze diffuse su un'area di m 2x2 – Conchiglie, sabbia
10	Lato Nord – Asse 6	- 16.00	Piccole polle - Sabbia
11	Lato Nord – Asse 11	- 14.50	Emergenze diffuse - Fango - Sabbia
12	Lato Sud – Asse 6	- 16.60	Sabbia conchiglifera
13	Lato Sud – Asse 1	- 16.20	Area di m 1x1 con emergenza diffusa - Ghiaia
14	Lato Nord – Asse 7	- 17.20	Polla Ø 30 - Conchiglifera
15	Lato Nord – Asse 3	- 16.00	Area di m 2x2 con emergenze diffuse (Ø 10 e 1x5) – Fondo sabbia e sassi
19	Lato Nord – Asse 3 e Lato Sud – Asse 7	- 17.20	Area con piccole polle distribuite su m 1x1 C igliata di calcare alta cm 40, sabbia
20	Lato Sud – Asse 1	- 15.30	Area di cm 30 x 30 - Ghiaia
21	Lato Sud – Asse 2	- 16.90	Area di m 2x2 con emergenze diffuse (Ø 10 e 15) – Fondo sabbia e sassi
22	Lato Sud – Asse 1	- 16.20	Emergenza diffusa - Ghiaia
22*	Lato Nord – Asse 2	- 15.90	Emergenze diffuse, Ø 20 – Sabbia conchiglifera mista a rocce
23	Lato Sud – Asse 7	- 17.00	Polla Ø 13 - Sabbia conchiglifera
25	Lato Nord – Asse 9	- 15.10	Polla Ø 130 cm, chiusa con elemento in ferro – Fango/sabbia
26	Lato Nord – Asse 6	- 15.90	Piccola polla - Sabbia
39	Sotto l'Asse 12	- 15.20	Emergenze diffuse - Sabbia
40	Lato Nord – Asse 7	- 17.30	Foro nel calcare, Ø 13 - Sabbia
42	Lato Sud – Asse 1	- 14.60	Buco cm 5x5 - Ghiaia
43	Lato Sud – Asse 7	- 17.30	Foro circolare Ø 10 – Sabbia, fango, calcare
44	Lato Nord – Asse 2	- 16.00	Foro Ø 26 cm – Sabbia conchiglifera mista a rocce

(\*) = doppia lettura



**FIG. 27 – Assonometria del sistema di captazione e convogliamento delle acque sorgentizie alla superficie del mare con indicazione delle manifestazioni idriche rilevate nelle immediate vicinanze**

## 10. CARATTERISTICHE DELL'OPERA DI CAPTAZIONE

Il "citra" Galeso è costituito da un orifizio di notevole ampiezza e da altre bocche acquifere minori, distribuite sui fianchi e al centro di un'ampia depressione ad andamento imbutiforme, avente diametro di circa 20 m. L'acqua fuoriesce sia da piccole fenditure della roccia, sia da zone di fondo a contorno poco definito,

Nella parte più profonda è localizzata la zona sub-circolare dalla quale scaturisce una discreta quantità d'acqua a debole velocità. La polla principale è localizzata alla profondità di circa 18 m all'estremità interna di una piccola gola dalle pareti verticali, incisa trasversalmente al pendio della depressione.

L'acqua proveniente da una grotta, la cui imboccatura è franata e parzialmente ostruita, fuoriesce attraverso un condotto di sezione romboidale inclinato verso l'alto di circa 45°. Allo sbocco, per la presenza di un masso, il getto è costretto a dividersi in tre flussi principali.

L'orifizio, regolarizzato con un piastrone in calcestruzzo (Fig. 28 e Foto 25), è stato incapsulato con una struttura in vetroresina, dalla caratteristica forma a "campana", costituita da tre moduli cilindrici del diametro di 2 m sui quali si innesta un tratto tronco-conico.

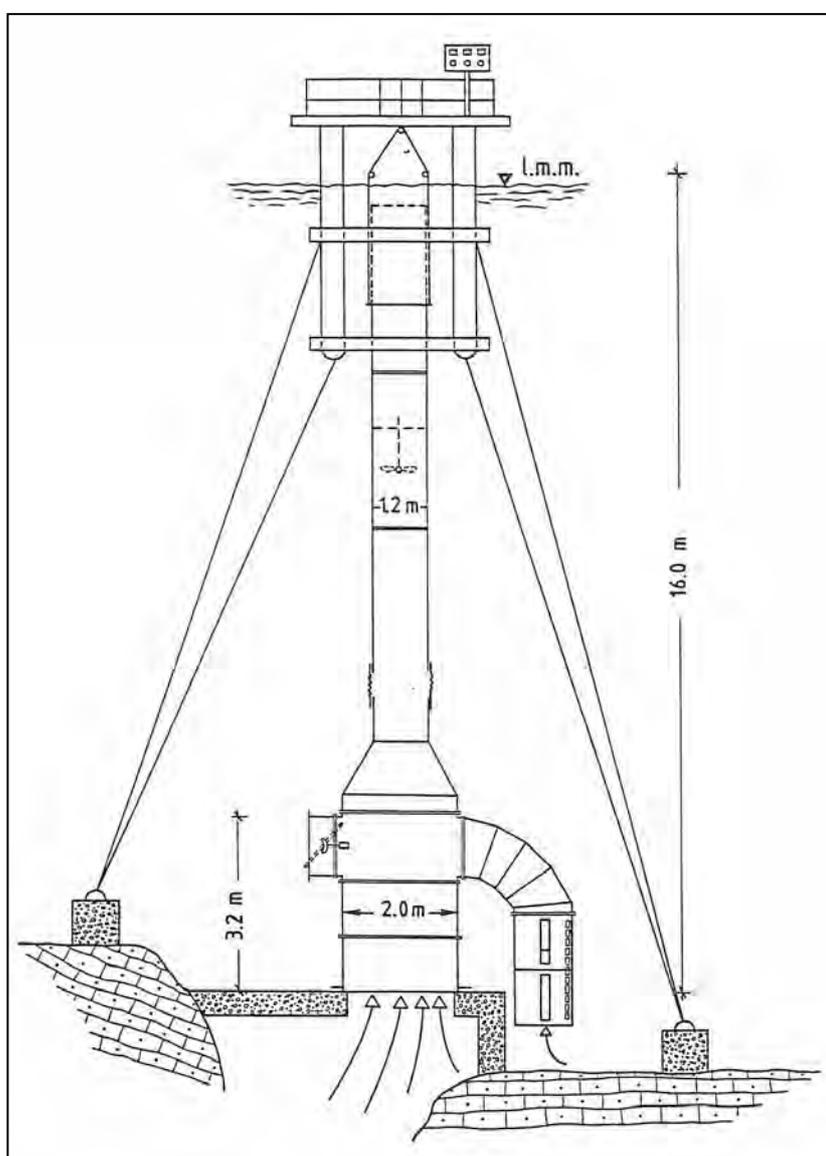


FIG. 28 – Schema dell'opera di captazione

La struttura, che ricopre interamente la bocca principale, è ancorata alla base in calcestruzzo, con barre filettate in acciaio e sigillata tutt'intorno con resine epossidiche. Dalla struttura si innalza, fino alla superficie del mare, una tubazione del diametro di m 1.20, collegata in superficie ad una boa praticabile, anch'essa in vetroresina, saldamente ancorata al fondale con 3 corpi morti. La tubazione termina con un tratto mobile a "cannocchiale" che permette di variare la lunghezza del tubo verticale. La "campana" è inoltre munita di un dispositivo laterale di tipo "by-pass", che costituisce l'unica via di comunicazione con il serbatoio marino.

L'acqua dolce, captata dal sistema descritto, in parte risale in superficie attraverso la tubazione ascendente, in parte fuoriesce sotto battente dal by-pass, il quale ha la duplice funzione: da un lato di ridurre le perdite di carico che hanno luogo in corrispondenza della variazione del diametro tra campana e colonna di eduazione delle acque, dall'altro di predisporre un dispositivo di misura di tipo Venturi della portata di acqua dolce fluente, che assolve quindi la duplice funzione di "valvola di sicurezza" per la sorgente e di piezometro per la condotta. Poichè la lunghezza del tubo ascendente condiziona i regimi di moto nel sistema, operando opportune manovre col tratto a cannocchiale, è possibile annullare la portata transitante nel by-pass; in questo modo si evita fuoriuscita di acqua dolce ed ingressione di acqua di mare, onde tutta l'acqua captata risale in superficie attraverso la condotta verticale. Con tale configurazione del sistema, la portata della sorgente è isolata e quindi è possibile effettuare la misura del flusso ed affrontare lo studio del regime idraulico stabilitosi nel sistema stesso, ciò al fine di valutare il carico idraulico proprio dell'acqua della sorgente e, quindi, definire in maniera ottimale i parametri di progetto dei successivi interventi finalizzati alla captazione definitiva. Si vedrà che l'elemento di comunicazione col serbatoio marino (by-pass) ha un ruolo fondamentale in tale studio, poichè l'analisi degli equilibri che in esso si instaurano, quando la portata transitante si annulla, fornisce utili informazioni sulle variabili in gioco.

La struttura in vetroresina ha subito nel corso dello studio delle modificazioni resesi necessarie per un convogliamento delle acque alla superficie del mare più regolare, in considerazione anche della variabilità delle portate erogate. E' stato anche variato il diametro della condotta di adduzione delle acque alla superficie del mare, portandolo dalla dimensione iniziale di m 0.60 all'attuale dimensione di m 1.20, con ovvia conseguente diminuzione delle perdite di carico.

Particolare impegno ha richiesto la manutenzione della struttura, a causa della notevole aggressione da parte di mitili e alghe che si depositavano sia all'interno che all'esterno della struttura stessa.

Pur essendo la struttura ubicata in una zona del Mar Piccolo sufficientemente protetta, mareggiate di particolare veemenza hanno provocato danni alla parte sommitale della struttura e spostato addirittura i corpi morti di ancoraggio della boa di sostegno della condotta di adduzione.

Per meglio controllare la portata sorgentizia si è ritenuto di occludere le modeste emergenze presenti nell'intorno della polla principale con opere di tipo provvisorio consistenti in sacchi di sabbia finissima. A seguito di tali interventi, più volte ripetuti nel tempo, che hanno interessato non solo le polle presenti nell'immediata vicinanza della scaturigine principale, ma anche quelle ubicate ad alcune decine di metri di distanza, si è osservato che l'erogazione della sorgente avveniva senza più drenare acque di mare specie quando i carichi del mare erano più elevati.

Nelle foto da 26 a 34, sono illustrate le fasi più significative delle operazioni di varo dei maggiori componenti l'opera di captazione e riprese subacquee di dettagli riguardanti il sifone, la valvola ed i giunti elastici.

## 11. MODELLO IDRAULICO DEL SISTEMA DI CONTROLLO E MISURA DEL REGIME DELLA SORGENTE

Per poter procedere allo studio del regime della sorgente ed elaborare una progettazione ottimale dei successivi interventi di captazione e convogliamento a terra delle acque sorgentizie, nel rispetto degli equilibri dinamici naturali, si è intrapresa un'analisi in termini matematici, dei regimi idraulici che regolano il funzionamento della sorgente stessa e di come questi vengano a modificarsi a seguito dell'intervento di captazione su descritto.

Le presenti considerazioni costituiscono un primo approccio allo studio dei problemi di carattere idraulico connessi alla captazione di acqua dolce dalla sorgente sottomarina. Tale tipo di emergenza idrica sul fondo del mare, configura un fenomeno piuttosto diffuso, particolarmente lungo le zone costiere di acquiferi carbonatici fessurati, ove in genere il deflusso superficiale è scarso, in quanto le acque di alimentazione sono per lo più "indirizzate" in profondità in sistemi di fratture e condotti carsici, alimentanti falde acquifere aventi recapiti a mare. Talora l'acquifero è ricoperto, lungo le fasce costiere, da formazioni geologiche più recenti, prevalentemente impermeabili, onde l'emergenza sottomarina della falda ha luogo laddove la copertura presenta condotti che consentono la comunicazione diretta fra l'acquifero e il mare.

In molti casi le zone di sbocco di tali condotti sotterranei, formati in epoche remote, erano originariamente subaeree, ma risultano oggi sommerse per locali subsidenze, ovvero a causa del generale innalzamento eustatico del livello marino o per migrazione della bocca acquifera a seguito del naturale sviluppo del carsismo in strati sottostanti, con attivazione di vie principali di deflusso più profonde e conseguente apertura di nuove bocche sottomarine. Dal punto di vista idrogeologico, tali emergenze possono essere definite e classificate alla stessa stregua delle sorgenti subaeree, dalle quali si differenziano solo per la circostanza di essere sommerse.

Limitando qui l'analisi all'ambiente carsico, il fenomeno può essere esemplificato attraverso lo schema riportato in Figura 29.

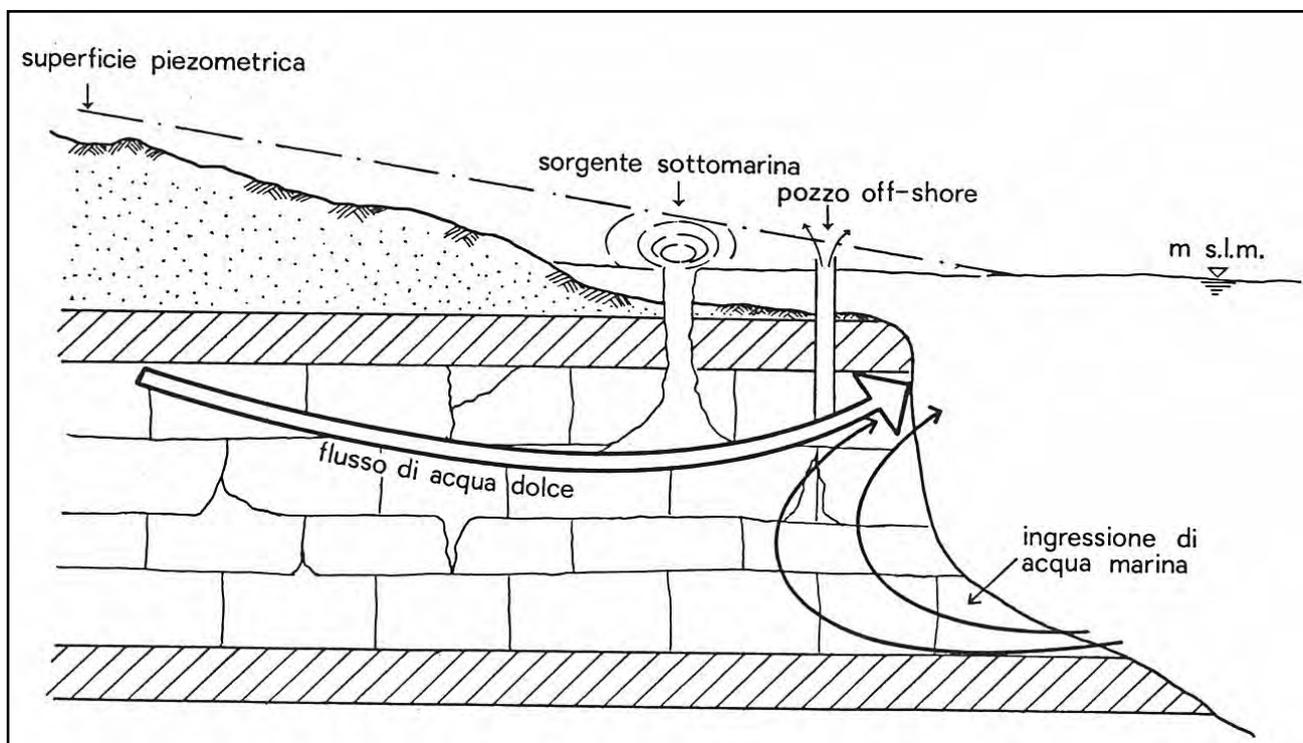


FIG. 29 – Schema di acquifero carsico confinato con efflussi sorgentizi sommersi (da Koho, 1966)

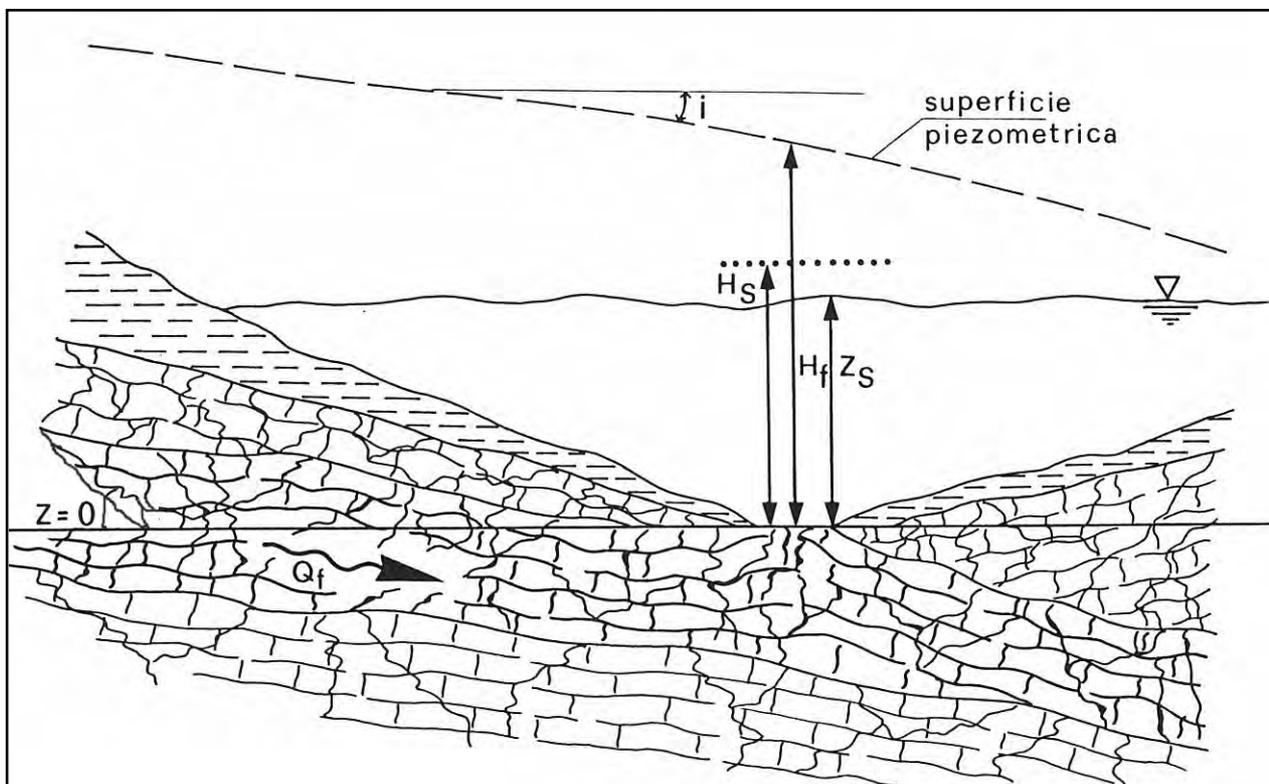
Nella parte dell'acquifero posta sotto il mare, l'acqua dolce defluisce attraverso la formazione calcarea fessurata confinata da un tetto impermeabile. Seguendo la via di minor resistenza, essa prosegue il suo deflusso al largo della costa, fino al punto in cui il tetto termina o è troncato da una particolare morfologia sottomarina.

Nel caso mostrato in figura 29 la zona di arrivo della falda profonda coincide con la scarpata continentale. Potranno qui essere localizzate emergenze sottomarine puntuali o diffuse.

Può verificarsi tuttavia il caso in cui lungo il percorso lo strato di confinamento abbia subito una rottura per crollo o per dissoluzione chimica o per movimenti tettonici. L'acqua in pressione, allora, risalirà in superficie attraverso questa "breccia" naturale, così come avverrebbe in un pozzo artesiano.

### 11.1. Considerazioni generali sulle condizioni di efflusso da una sorgente sottomarina

Considerando un acquifero a falda imprigionata del tipo mostrato in Fig. 30, poiché la velocità di filtrazione nella falda sono di solito molto ridotte, l'incidenza della quota di energia cinetica posseduta dall'acqua in pressione è trascurabile.



**FIG. 30 – Configurazione dei carichi idraulici presenti sulla sezione di sbocco di una sorgente sottomarina**

Per cui sostanzialmente l'acqua dolce, di peso specifico  $\gamma_f$ , in corrispondenza dell'emergenza sottomarina possiede un'energia esprimibile in termini di carico piezometrico  $H$ , pari a:

$$H_f = \frac{P_f}{\gamma_f} + z_0 \quad (1)$$

dove:  $P_f$  è la pressione di falda nella sezione di sbocco;  
 $z_0$  la quota geodetica rispetto ad un piano di riferimento arbitrario.

Se si considera che l'acqua di mare sovrastante raggiunge quota  $z_s$  sul piano di riferimento, che qui si fa passare per il centro della sezione di sbocco ( $z_0 = 0$ ), in corrispondenza dell'emergenza è presente una pressione esterna  $P_s$ , pari a :

$$P_s = \gamma_s z_s \quad (2)$$

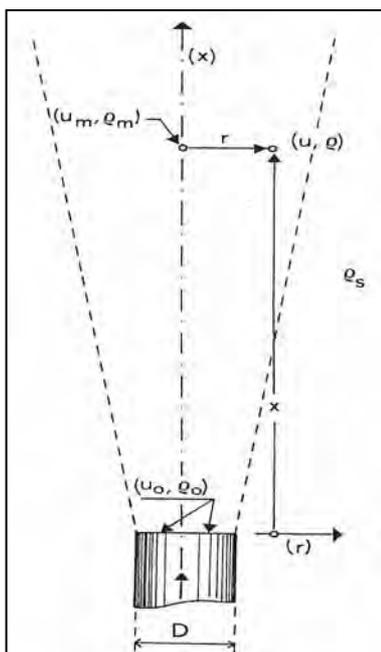
dove:  $\gamma_s$  è il peso specifico dell'acqua di mare.

A tale pressione corrisponde un carico idraulico  $H_s$  che, espresso in termini di altezza equivalente di acqua dolce, è pari a :

$$H_s = \frac{P_s}{\gamma_f} = \frac{\gamma_s}{\gamma_f} z_s \quad (3)$$

Nella zona dell'emergenza si configura quindi uno squilibrio energetico pari a  $\gamma_s (H_f - H_s)$ , che procura un flusso ascensionale di acqua dolce nel serbatoio marino. Il fenomeno idraulico che si instaura si può ricondurre alla diffusione di un getto liquido verticale immerso attraverso una luce in una massa fluida in quiete ed indefinita, avente densità maggiore del liquido del getto. Tale fenomeno, com'è noto, si può catalogare, ad una certa distanza dalla sezione di efflusso, tra i cosiddetti "processi di turbolenza libera", retti cioè soltanto dalle azioni che si esercitano tra particella e particella, in conseguenza del moto relativo, ed ampiamente studiati. Esso rientra nel quadro più generale delle "correnti di densità", le quali notoriamente sono le correnti che risultano dal movimento di due o più masse di fluido, di densità leggermente diversa, che si conservano indipendenti oppure si mescolano tra loro.

La quantità di energia  $\gamma_f (H_f - H_s)$ , disponibile nella sezione di efflusso, in parte si andrà convertendo lungo l'asse del getto in quote di energia cinetica ed energia potenziale (associata al livello raggiunto ed alla pressione ivi esplicantesi), in parte verrà dissipata in perdite di carico viscoso e turbolento, ed infine in parte sarà ceduta all'acqua più pesante del liquido in quiete, che verrà messo a sua volta in movimento. Le particelle di acqua dolce, infatti, entrano in collisione con quelle di acqua salata cedendo a queste, nell'urto, parte della propria energia, che accelera le stesse e le coinvolge nel moto ascensionale. Ha luogo, quindi, un miscelamento turbolento tra i due fluidi e, procedendo verso l'alto lungo l'asse del getto, la salinità del liquido in moto aumenta. La traiettoria originaria dei filetti viene in parte deviata nell'urto e la forma del getto, in condizioni di "regime", si presenta tronco-conica, come mostrato in Fig. 31.



**Fig. 31 - Grandezze caratteristiche del fenomeno di diffusione di una vena liquida effluente da una luce circolare di un liquido in quiete**

Per la conoscenza dal punto di vista teorico delle leggi che regolano questo processo di efflusso, ci si può riferire agli studi compiuti da ABRAHAM (1963) nel laboratorio di Delft.

Con riferimento allo schema riportato in figura 31, il processo di diffusione è caratterizzato dal parametro:

$$F_o = \frac{u_o^2}{\frac{\rho_s - \rho_o}{\rho_o} g D} \quad (4)$$

rapporto fra le forze inerziali e le forze di galleggiamento, legate al geopotenziale ed alla differenza di densità in forma di un numero di Froude. Un valore di  $F_o$  vicino allo zero si realizza se la velocità di efflusso  $u_o$  è piccola, condizione che si verifica se il carico motore ( $H_f - H_s$ ) del getto è piccolo e se  $\rho_s \gg \rho_o$ .

In questo caso il getto viene definito "getto di galleggiamento" e l'ascensione dell'acqua dolce è dovuta fondamentalmente alla sua minore densità rispetto a quella del fluido in quiete.

Se al contrario  $\rho_s = \rho_o$  si ha  $F_o = \infty$ ; il moto del getto è dovuto solo al carico motore ( $H_f - H_s$ ) ed il getto stesso viene detto "senza galleggiamento". Nel caso in esame  $F_o$  possiede un valore finito e saranno entrambi i contributi citati a guidare il movimento. Abraham schematizza il processo di movimento e di mescolamento nel modo seguente: nella corrente vengono individuate due zone (Fig. 32), la prima detta di "establishment flow", subito a valle della sezione di efflusso, caratterizzata dalla presenza di un nucleo centrale della corrente, avente la forma di un cono, costituito unicamente dal liquido della luce ( $\rho = \rho_o = \text{cost}$ ). Nella porzione del getto all'esterno del nucleo avviene, invece, un processo di mescolamento per turbolenza tra il liquido direttamente effluito, che viene perciò rallentato, e quello circostante, che viene trascinato nel movimento. Il fenomeno può essere rappresentato attraverso la variazione del parametro definito qui "concentrazione":

$$c = \frac{\rho_s - \rho}{\rho_s - \rho_o} \quad (5)$$

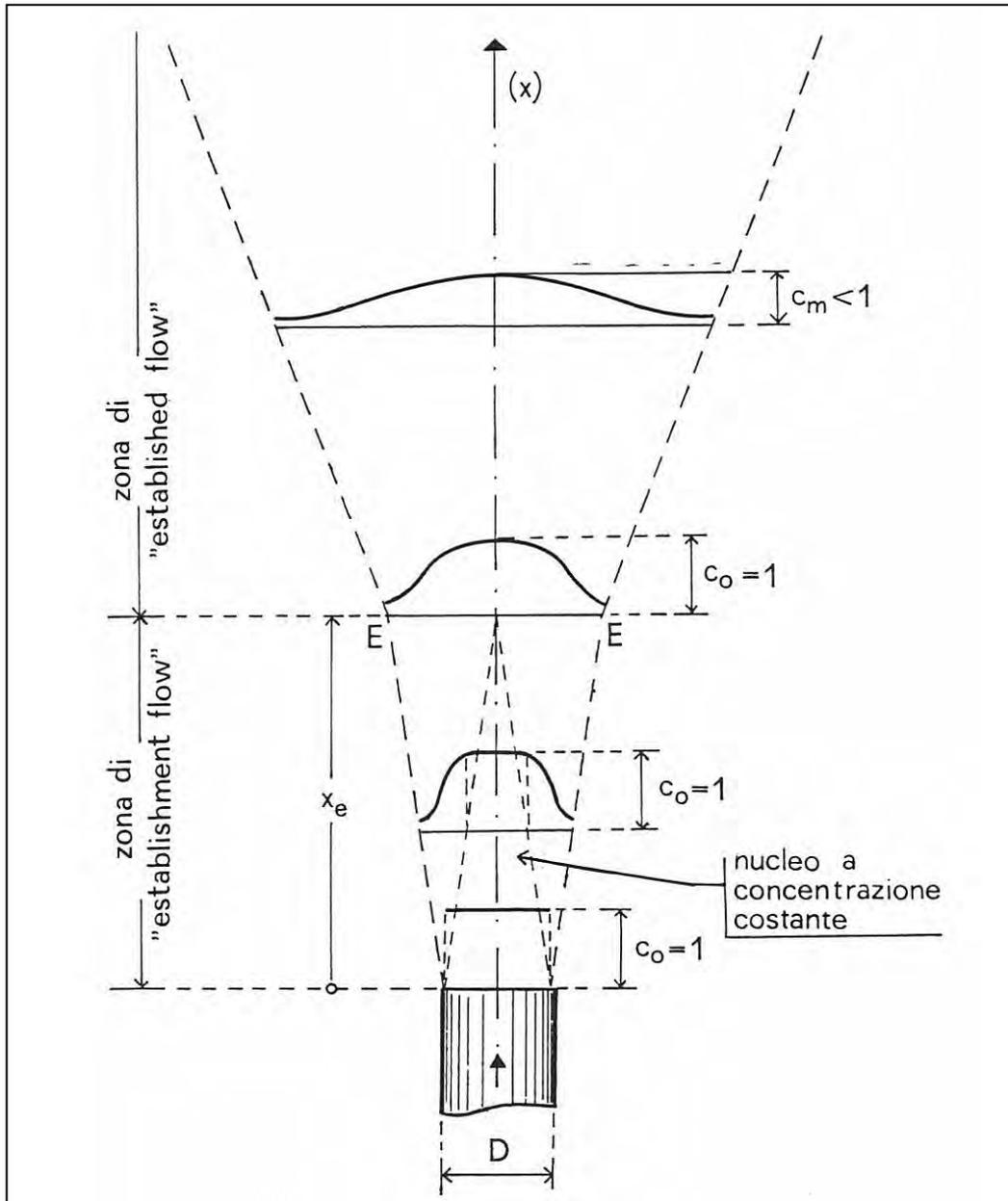
il quale esprime, in funzione della variazione di densità, il "grado di miscelamento" raggiunto alle diverse quote lungo il getto. Esso assume valore unitario in tutti i punti del nucleo, mentre al suo esterno esso diminuisce con l'aumentare della distanza dall'asse del getto, fino ad azzerarsi in corrispondenza del fluido più denso ancora in quiete.

Analogamente, la velocità  $u$  si mantiene costante in tutti i punti di ogni sezione trasversale del nucleo, mentre nella zona di miscelamento laterale essa decresce all'aumentare della distanza dall'asse del getto.

La seconda zona, detta di "established flow", è caratterizzata dal fatto che i diagrammi di  $c$  e di  $u$  in ogni sezione trasversale mancano del tratto centrale rettilineo. Si ammette che queste curve siano affini tra loro e che le equazioni che le rappresentano siano del tipo Gaussiano:

$$\frac{u}{u_m} = e^{-k \left(\frac{r}{x}\right)^2} \quad \frac{c}{c_m} = e^{-\mu k \left(\frac{r}{x}\right)^2} \quad (6, 7)$$

dove i coefficienti numerici  $\mu$  e  $k$  dipendono dalle particolari condizioni del moto, essendo funzioni di  $F_o$  e dell'ascissa  $x$  lungo l'asse del getto.



**Fig. 32 – Andamento qualitativo dei diagrammi di “concentrazione” nelle sezioni trasversali al getto**

Dalle espressioni di  $u$  e  $c$ , applicando l'equazione dell'equilibrio dinamico alla corrente e l'equazione di continuità del soluto, si individuano i valori massimi  $u_m$  e  $c_m$  in funzione di  $x$ , di  $F_o$  (e quindi di  $u_o$ ) e dei parametri  $u$  e  $\kappa$ , che vanno valutati sperimentalmente.

I cenni fatti sulla trattazione di Abraham sono già sufficienti a mostrare come la concentrazione massima  $c_m$  e quindi la salinità, siano correlati alla velocità di sbocco  $u_o$ , e quindi alla portata effluente.

Sulla scorta di tali risultati, vari autori hanno cercato di risalire alla portata effluente dalla luce a partire da misure della salinità dell'acqua in movimento. In particolare Curto (1968) con riferimento proprio a questa trattazione teorica, esprime  $F$  in funzione di  $Q$  :

$$F_o = \frac{205,25 Q^2}{S_s D^5} \quad (8)$$

dove :

$S_s$  è la salinità del mezzo indisturbato, intesa come il rapporto, espresso in per mille, tra la massa delle sostanze solide e la massa totale di una certa quantità di acqua di mare che le contiene disciolte in soluzione;

$D$  il diametro della luce di efflusso.

Tenendo conto che:

$$C_m = \frac{\Delta S_m}{S_s} \quad (9)$$

dove:

$\Delta S_m$  è la diminuzione di salinità lungo l'asse del getto, si ottiene la relazione seguente:

$$S_m = f (F_o, u, \kappa) \quad (10)$$

che permette di valutare, noto  $F_o$ , la salinità  $S_m$  in ogni punto dell'asse della vena. Viceversa, nota  $S_m$  tramite una misura di salinità in un punto qualsiasi lungo l'asse del getto, ed in particolare in superficie, si può risalire al numero di Froude  $F_o$  e da questo, attraverso la relazione (8), alla portata effluente  $Q$ .

Il procedimento teoricamente ineccepibile, è peraltro inficiato, all'atto pratico, dalla scarsa documentazione circa i valori sperimentali dei parametri del modello teorico adottato. Il problema di risalire da misure di salinità in superficie ai valori della portata effluente dalla scaturigine è stato quindi affrontato in maniera alternativa.

V. Cotecchia e A. Federico (1983) suggeriscono una metodologia basata sull'immissione di una portata addizionale di un tracciante di densità nota  $k_1$ . Assumendo un miscelamento completo tra l'acqua salata e l'acqua dolce, la legge della conservazione della massa risulta espressa dall'equazione seguente.

$$Q_o \rho_o + \Delta Q \rho_s = (Q_o + \Delta Q) \rho_h \quad (11)$$

dove:

$Q_o$  portata di acqua dolce effluente dalla bocca della sorgente;

$\Delta Q$  portata indotta di acqua salata coinvolta nel flusso ascendente;

$\rho_o$  densità dell'acqua sorgiva;

$\rho_s$  densità dell'acqua marina

$\rho_h$  densità del getto di acqua salmastra a quota  $z = h$ .

Essendo la densità collegabile con la salinità (11), si giunge all'espressione della portata Q:

$$Q = \beta Q_0 \quad \text{essendo} \quad \beta = \frac{S_h - S_0}{S_s - S_h} \quad (12)$$

dove:

$S_h$  è la salinità a quota h dell'acqua miscelata.

L'introduzione di una portata addizionale  $q$  di tracciante di concentrazione  $k_1$  comporta che l'equazione di massa diventi:

$$q k_1 = (Q_0 + \beta Q_0 + q)^{k_h} \quad (13)$$

e poichè

$$q \ll (Q_0 + \beta Q_0) \quad (14)$$

si ha

$$Q_0 = \frac{q k_1}{(1 + \beta)^{k_h}} \quad (15)$$

La validità di detta formula non è stata però mai verificata sperimentalmente.

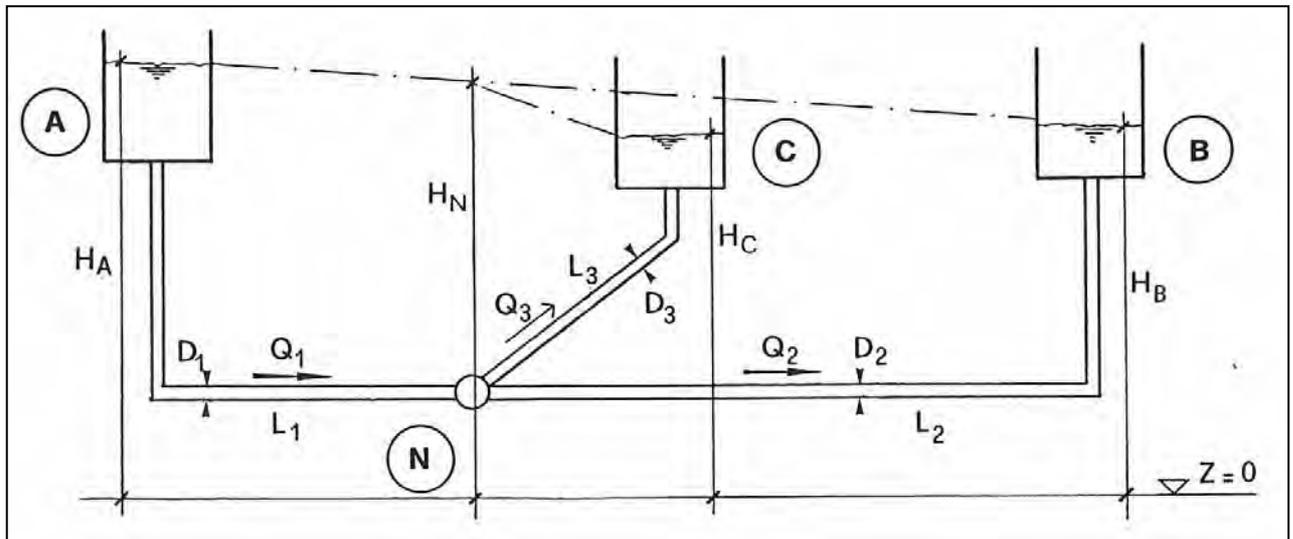
I metodi precedentemente presentati, a causa delle necessarie semplificazioni da cui procedono, sono di problematica applicabilità a situazioni reali di mare aperto, dove il getto sommerso è influenzato dal moto ondoso e dalla presenza di correnti. E' necessaria quindi un'analisi dell'influenza di tali fattori sulla misura dei parametri in gioco, in termini di incertezza del risultato.

Per altri versi anche lo sviluppo di una modellistica di laboratorio, atta a configurare le fenomenologie in esame, risulta oltremodo complesso. Tale modellistica trova oggi una grossa limitazione per i problemi relativi alla necessaria taratura del modello e, quindi, al trasferimento dei risultati ai casi reali.

L'impostazione di base riveste in ogni caso un notevole significato concettuale, il che considerate le esigenze pressanti di fare ricorso in più casi ad una concreta captazione di sorgenti siffatte, nonostante le su citate difficoltà connesse alle metodologie di approccio del problema, motiva la ricerca di alternativi procedimenti di caratteri sperimentale in sito. A tal riguardo si evidenzia l'importanza dell'intervento sperimentale in corso nel Mar Piccolo di Taranto, che isola la portata effluente attraverso un sistema provvisorio di captazione, messo in opera proprio per lo studio diretto dei parametri idraulici e chimico-fisici caratterizzanti il regime di efflusso della sorgente sottoposta a studio.

## 11.2. Considerazioni generali sui regimi di moto in condotte in pressione

Per un primo approccio ad un modellamento idraulico dei regimi di moto nel sistema, si è fatto riferimento ad uno schema idraulico composto da tre serbatoi collegati fra loro tramite un nodo intermedio di giunzione delle condotte che da essi si dipartono (Fig. 33).



**Fig. 33 – Schema del sistema di condotte adottato**

Nel caso specifico i “serbatoi” sono rappresentati dalla sorgente alla captazione (A), dal mare allo sbocco del by-pass sommerso (C) e dall’uscita libera in superficie (B).

Come noto, le equazioni che regolano il moto vario in un sistema di condotte in pressione derivano dalla applicazione, ai diversi componenti, dell’equazione di continuità e dell’equazione dinamica ricavata dal teorema della quantità di moto. Opportune condizioni di congruenza legano poi le quantità caratteristiche del moto nelle condotte, nelle sezioni di estremità comuni.

La possibilità di semplificare questo schema generale è legata alle condizioni di funzionamento ipotizzabili per il sistema. In particolare ci si riferisce alle semplificazioni derivanti:

- i) dal considerare rigide le pareti delle condotte e incompressibile il fluido;
- ii) dal ritenere costante nel tempo la “sollecitazione” del sistema e quindi permanente il moto che vi si realizza.

Ritenendo verificata la prima ipotesi, che configura un moto “in blocco” per oscillazioni di massa entro le condotte, le equazioni del moto vario, per ciascuna condotta, si possono scrivere (in forma integrale) come segue:

$$\begin{cases} Q = \text{cost} \\ \Delta H = \frac{L}{g} \frac{du}{dt} + \frac{u|u|}{2g} \left[ \lambda \frac{L}{D} + \sum_j \xi_j \right] \end{cases} \quad (16)$$

In cui  $\lambda$  è il termine dissipativo per perdite distribuite d’attrito;  $\xi_j$  sono i coefficienti relativi alle perdite concentrate per vorticosità indotte da singolarità nella geometria delle sezioni.  $H$  indica la perdita di carico totale nel verso previsto per il moto nella condotta: il moto nel verso opposto è caratterizzato da portate e perdite negative. Entrambi i termini dissipativi possono essere quantificati con le formule valide per il moto permanente.

La congruenza nel nodo di giunzione impone che sia nulla la somma algebrica delle portate:

$$+ Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \quad (17)$$

Il sistema quindi diventa:

$$\begin{cases} \Delta H_i = \frac{L_i}{g} \frac{d u_i}{d t} + \frac{u_i |u_i|}{2 g} \left[ \frac{\lambda_i L_i}{D_i} + \sum_j \xi_j \right] & \text{con } i = 1, 2, 3 \\ \sum Q_i = 0 \end{cases} \quad (18)$$

Il sistema dovrà poi essere ulteriormente specificato con opportune condizioni al contorno libero costituito dai tre "serbatoi" e con la specificazione dello stato iniziale.

Se si assumono noti i carichi nei serbatoi:  $H_A$ ,  $H_B$ ,  $H_C$ , le incognite risultano essere la velocità nelle condotte  $u_i$ , ed il carico nel nodo  $H_n$ , pari a  $(i + 1)$  incognite. La soluzione può essere ricercata per via numerica adottando uno schema implicito di "differenze finite" risulta invece più immediata la risoluzione dei problemi di moto permanente.

L'attendibilità di tale ipotesi nei casi reali è determinata dalla possibilità o meno di trascurare, nelle equazioni risolutive, i termini costituiti dalla derivata della velocità rispetto al tempo. In altre parole, per variazioni temporali molto lente le condizioni del moto sono calcolabili con ottima approssimazione come una successione di diversi stati "quasi permanenti", tramite le equazioni del moto permanente.

In sintesi, il calcolo del moto permanente può tornare utile per interpretare, nelle sue connotazioni essenziali, il funzionamento idraulico del sistema e per valutare condizioni quali si possono verificare per costanza del carico idraulico nella falda artesianica profonda e assenza di sensibili disturbi allo sbocco in mare (moto ondoso, correnti sottomarine, ecc.). Ciò è giustificato dalla circostanza che la frequenza del disturbo è nell'ordine dei secondi mentre le tecniche di misura offrono dei valori delle grandezze mediati su intervalli di tempo non inferiori al minuto (ad es. nel caso della misura di portata).

Dette condizioni possono essere ipotizzate in via di prima approssimazione in riferimento ai valori medi nel tempo delle variabili di controllo, e quindi al "regime medio" della sorgente captata.

### 11.3. Schema di calcolo per il moto permanente

In base all'ipotesi di moto permanente, per la configurazione idraulica in esame il sistema risolutivo è dato da :

$$\begin{cases} \Delta H_i = \left[ \lambda_i \frac{L_i}{D_i} + \sum_j \xi_j \right] \frac{u_i |u_i|}{2 g} & \text{con } i = 1, 2, 3 \\ u_1 A_1 + u_2 A_2 + u_3 A_3 = 0 \end{cases} \quad (19)$$

dove  $A$  sono le aree delle sezioni delle condotte.

Le quattro equazioni così scritte rendono determinato il problema nel momento in cui si sia assegnata una qualsiasi combinazione di 3 valori noti, purchè almeno uno dei valori sia un carico.

Il sistema idraulico in esame necessita però di qualche commento aggiuntivo. Anzitutto si deve tenere presente che la diramazione laterale ("by-pass") è in comunicazione diretta con l'ambiente esterno, cioè con l'acqua di mare; attraverso tale tratto, quindi, l'acqua dolce giunge a contatto con l'acqua marina, incontrando, come resistenza esterna, la pressione da questa esercitata.

Come si è già descritto in precedenza, per una serie di valori della lunghezza del tubo verticale, si verifica che la portata transitante nel "by-pass" si annulla ( $Q_3 = 0$ ).

All'attuarsi di un tale regime di flusso, all'interno del by-pass viene a crearsi una zona di interfaccia tra i due fluidi a densità diversa, riferibile ad uno strato orizzontale abbastanza ben definito e facilmente individuabile per l'effetto ottico di opalescenza; al di sotto di questa interfaccia è presente solo acqua di mare ed al di sopra solo acqua dolce.

In condizioni di mare calmo ed assenza di correnti, ossia con riferimento alle condizioni che rendono realistica l'ipotesi di moto permanente, si è potuto osservare che la posizione dell'interfaccia risulta stazionaria; prende significato, quindi, l'ipotesi che nel "by-pass" l'acqua dolce stazioni in condizioni idrostatiche. Tale ipotesi ha trovato conferma anche nell'osservazione svolta operando l'immissione di fluorescina nella parte superiore del "by-pass"; questa è risultata stagnare nell'acqua dolce qui presente e solo molto lentamente si è diffusa nell'ambiente circostante.

In coerenza con l'impostazione di funzionamento semplificato del sistema, l'interfaccia viene qui assimilata ad una superficie piana di equilibrio tra due fluidi non miscibili; con riferimento alla Fig. 34 la pressione che agisce su detto piano è pari a :

$$P_1 = (z_s - z_i) \gamma_s \quad (20)$$

ove  $z_i$  e  $z_s$  sono rispettivamente le quote dell'interfaccia e del livello mare rispetto al piano di riferimento ( $z = 0$ ). Con questa ipotesi in realtà si trascura di analizzare il complesso equilibrio che si instaura al passaggio tra i due fluidi in realtà miscibili, e che si configura con gradienti di densità, salinità e temperatura all'interno dello spessore dello strato di opalescenza.

Il carico piezometrico, secondo l'assunzione fatta, è lo stesso in tutti i punti del by-pass occupati da acqua dolce in quiete, e risulta pari a :

$$h = z_i + \frac{P_1}{\gamma_f} = z_i + (z_s - z_i) \frac{\gamma_s}{\gamma_f} \quad (21)$$

Si può affermare, coerentemente con quanto detto in precedenza, che nella configurazione in esame il by-pass costituisce un piezometro presente sul nodo N delle condotte, per cui risulta che:

$$Q_3 = 0 = Q_1 = Q_2 = Q \quad (22)$$

e

$$h_N = h = z_i + (z_s - z_i) \frac{\gamma_s}{\gamma_f} \quad (23)$$

Il carico totale nel nodo allora risulta :

$$H_N = z_i + (z_s - z_i) \frac{\gamma_s}{\gamma_f} + \frac{Q^2}{2g \left[ \frac{\pi D_i^2}{4} \right]^2} \quad (24)$$

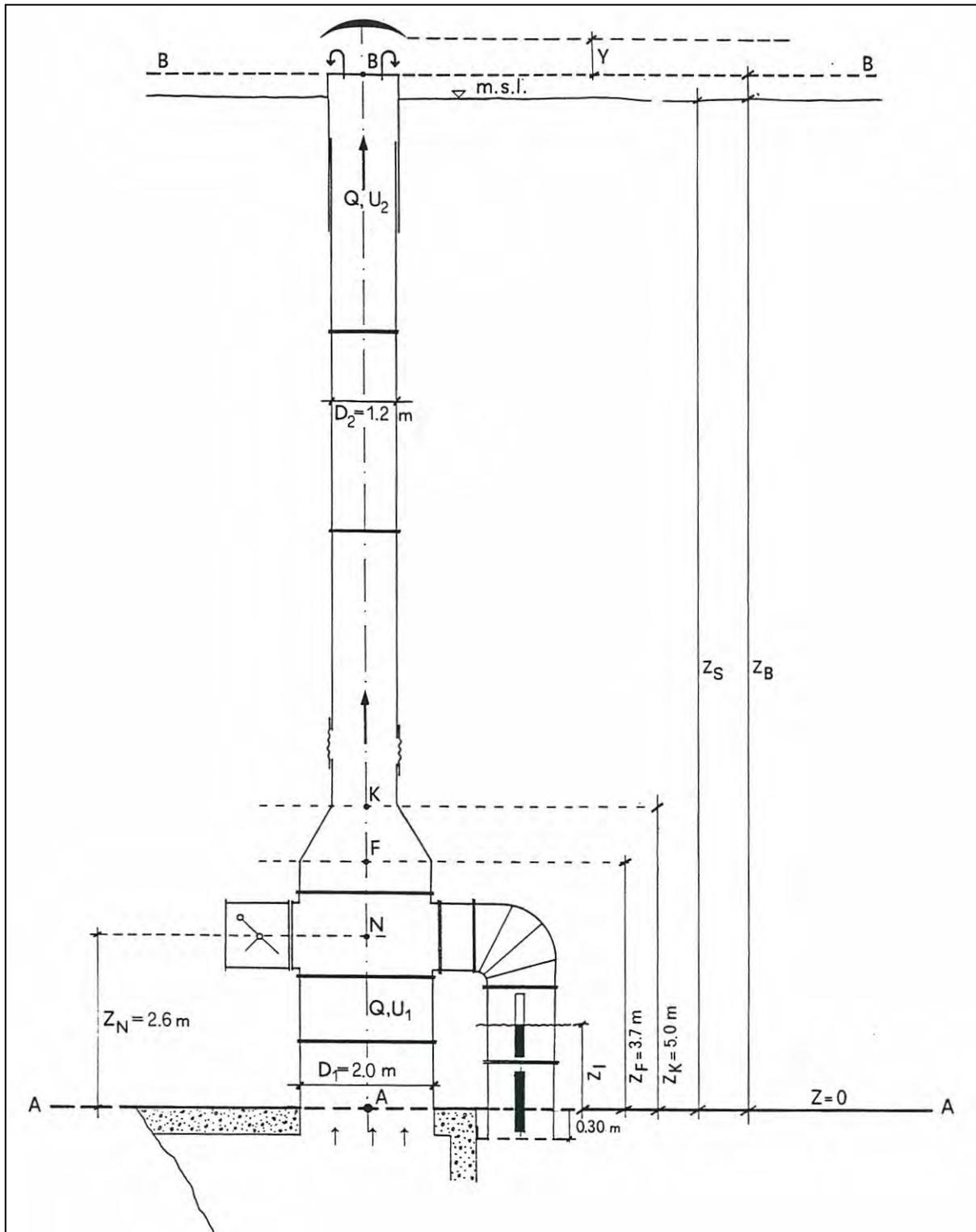


Fig. 34 – Rappresentazione quotata del complesso di captazione

Nel sistema analitico (19) sono quindi noti il valore del carico nel nodo  $H_N$  ed il valore della velocità  $u_3 = 0$ ; tale sistema può essere quindi posto nella forma seguente:

$$\begin{cases} H_A - H_N = \left[ \frac{\lambda_1 L_1}{D_1} + \sum_j \xi_j \right] \frac{Q^2}{2g \left[ \frac{\pi D_1^2}{4} \right]^2} \\ H_N - H_B = \left[ \frac{\lambda_2 L_2}{D_2} + \sum_j \xi_j \right] \frac{Q^2}{2g \left[ \frac{\pi D_2^2}{4} \right]^2} \end{cases} \quad (25)$$

ove  $L_1 = z_N$  ed  $L_2 = (z_B - z_N)$  con riferimento alla figura 34, e le incognite sono  $H_A$  e  $Q$ .

L'esplicitazione delle equazioni del moto per le condotte porta ad alcune riflessioni riguardanti i termini dissipativi. Come indicato in precedenza, questi si compongono di termini di perdite distribuite "per attrito" e di perdite concentrate, determinate da discontinuità localizzate nella geometria del condotto.

Le prime sono valutabili tramite la legge di Darcy-Weisbach:

$$\Delta H = \lambda \frac{L}{D} \frac{U |U|}{2g} \quad (26)$$

Il cui coefficiente può essere espresso con la forma data da Colebroock per i tubi commerciali o da altra analoga, tenendo comunque conto per ciascuna del rispettivo campo di validità.

Le seconde sono date tramite coefficienti empirici in termini proporzionali al carico cinetico:

$$\Delta H = \zeta \frac{U |U|}{2g} \quad (27)$$

Le condotte in esame sono di lunghezza relativa estremamente ridotta ( $L/D \approx 1 \div 10$ ). Di conseguenza le perdite di carico concentrate, di imbocco, di sbocco, dovute ai giunti, alla presenza del nodo, delle curve, ecc., risultano preponderanti rispetto a quelle di attrito ed il loro computo deve essere fatto con estrema cura ed eventualmente verificato globalmente con opportune misurazioni dirette.

Di converso, risulta di minore rilevanza la precisione nel calcolo del coefficiente relativo alle perdite distribuite. Parimenti sarà trascurabile la variazione di lunghezza del condotto verticale, che può essere realizzata con manovre del tubo a cannocchiale, in ordine al computo delle resistenze al moto.

Esprimendo nelle equazioni del sistema (25) i singoli termini dissipativi, esso assume la forma:

$$\begin{cases} H_A - H_N = \left[ \lambda_1 \frac{z_N}{D_1} + \xi_1 + n_1 \xi_2 \right] \frac{Q^2}{2g \left[ \frac{\pi D_1^2}{4} \right]^2} \\ H_N - H_B = \left[ \lambda_2^2 \frac{(z_B - z_N)}{D_1} \right] \frac{Q^2}{2g \left[ \frac{\pi D_1^2}{4} \right]^2} + \left[ \lambda_2^2 \frac{(z_B - z_k)}{D_2} + \xi_3 + \xi_4 \right] \frac{Q^2}{2g \left[ \frac{\pi D_2^2}{4} \right]^2} \end{cases} \quad (28)$$

ove

$\lambda_1, \lambda'_2, \lambda''_2$	coefficienti per le perdite distribuite per attrito; nel tronco 2 si evidenziano due termini rispettivamente riferiti alle 2 porzioni di diverso diametro $D_1$ e $D_2$	
$\zeta_1$	coefficiente per la perdita di imbocco alla sorgente	
$n_1 \zeta_1$	coefficiente per la perdita dovuta ai restringimenti di sezione } in corrispondenza di cerchiaggi di rinforzo interni alla campana }	tronco A – N
$\zeta_3$	coefficiente per le perdite nel restringimento tronco conico }	tronco
$\zeta$	coefficiente per le perdite allo sbocco in superficie }	N – B

I valori numerici di detti coefficienti, con riferimento a quanto suggerito in letteratura, vengono qui scelti come segue.

$$\lambda_1 = \lambda'_2 = 0.014 \quad (\text{scabrezza } \varepsilon = 0.5 \text{ mm})$$

$$\lambda''_2 = 0.019 \quad (\text{scabrezza } \varepsilon = 1 \text{ mm})$$

nell'ipotesi di moto assolutamente turbolento e tenendo conto delle perdite nei giunti.

Per quanto riguarda le perdite concentrate:

$$\zeta_1 = 0,5$$

$$\zeta_2 = 0.90$$

$$n_1 = 6$$

$$\zeta_3 = 0.122 + 0.3544 \lambda''_2 = 0.129.$$

Il sistema risolutivo diventa:

$$H_A - H_N = 6.21 \frac{u^2}{2g} = 0.03 Q^2 \quad (29)$$

$$H_N - H_B = 1.311 \frac{u^2}{2g} = 0.0523 Q^2 \quad (30)$$

#### 11.4. Primi risultati sperimentali quantitativi. Confronto con le deduzioni teoriche

Il ciclo di misure cui si fa qui riferimento costituisce il primo approccio alla valutazione diretta delle grandezze che regolano il processo di moto che si svolge nel sistema di captazione.

Lo scopo principale di queste misure è stato quello di inquadrare l'ordine di grandezza di tali parametri ed ottenere i dati sufficienti per una verifica di prima istanza, del modello teorico predisposto per il funzionamento idraulico del sistema. La strumentazione adottata in questa fase è di tipo tradizionale; i dati ottenuti in questo modo hanno però permesso di procedere ad una progettazione ottimale della strumentazione per il monitoraggio continuo del sistema, essendo stati resi noti gli intervalli in cui oscillano i valori delle grandezze da misurare. Per la misura della velocità del flusso si è adottato il mulinello ad elica classico; questo, montato su un sistema opportunamente realizzato, ha permesso una prima misura dei valori di velocità in vari punti lungo il diametro della condotta, ad una profondità rispetto alla quota di efflusso in

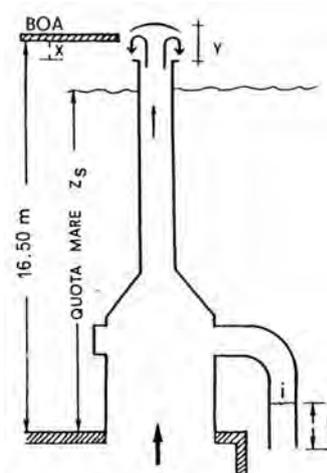
atmosfera tale da poter ritenere ivi presente una corrente gradualmente variata. Dal diagramma delle velocità lungo il diametro si è risaliti al valore della portata fluente media. Di volta in volta sono state misurate anche alcune caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua effluente, quali la temperatura, misurata con un termometro a mercurio, e la salinità, valutata mediante analisi di laboratorio per campionamento.

Nella Tab. 4 sono mostrati i risultati delle misure ritenute più significative.

**Tab 4 – Rilievi alla sorgente Galeso nel periodo luglio 1988 – febbraio 1989**

		Quota mare Zs (m)	Quota Interfaccia l (m)	Velocità (m/s)	Portata (mc/s)	Salinità (g/l)	Temperatura acqua dolce	Temperatura acqua marina
Data	7.09.1988							
Ora		16.15	-	0.266	0.300	3.78	-	-
X	0.21 m							
y	0.05 m							
Data	7.09.1988							
Ora		16.15	-	0.422	0.478	3.84	-	-
X	0.27 m							
y	0.08 m							
Data	7.09.1988							
Ora		16.15	-	0.518	0.585	3.85	-	-
X	0.31 m							
y	0.11 m							
Data	7.09.1988							
Ora		16.15	-	0.521	0.589	3.88	-	-
X	0.36 m							
y	0.11 m							
Data	7.09.1988							
Ora		16.15	-	0.533	0.600	3.90	-	-
X	0.45 m							
y	0.14 m							
Data	14.11.1988							
Ora	12.30	16.01	1.0	0.670	0.803	-	19.6	14
X	0.38 m							
y	0.2 m							
Data	24.11.1988							
Ora	15.30	16.10	1.0	0.628	0.711	4.0	19.80	14
X	0.24 m							
y	0.16 m							
Data	31.01.1989							
Ora	11	15.60	0.45	0.624	0.706	3.4	19.80	11.40
X	0.65 m							
y	0.12 m							
Data	14.02.1989							
Ora	11	-	-	0.698	0.789	3.95	19.6	11.60
X	0.45 m							
y	0.18 m							

x = distanza boa dal tubo  
y = altezza acqua sul bordo tubo  
Zs = Quota mare  
l = Interfaccia



Volendo a questo punto procedere ad una verifica di massima del modello teorico, proposto in precedenza, si riconsiderano le equazioni (29) e (30), valide nel caso in cui si verifichi  $Q_3 = 0$  (presenza dell'interfaccia acqua dolce-acqua salata nel by-pass). In particolare si considera l'equazione (30) che esplicitando il termine  $H_N$  assume la forma seguente:

$$z_I + (z_s + z_I) \frac{\gamma_s}{\gamma_I} + \frac{Q^2}{2g \left[ \frac{\pi D_1^2}{4} \right]^2} - H_B = 0.0523 Q^2 \quad (31)$$

ove  $H_B$  costituisce il carico piezometrico allo sbocco in atmosfera.

Questa equazione mette chiaramente in evidenza che nel funzionamento idraulico del sistema si esplica una interdipendenza tra la portata  $Q$ , la posizione dell'interfaccia  $z_I$ , l'altezza del tubo verticale  $z_B$ , e il livello mare  $z_s$ ; in tale equazione si trova quindi definita la connessione tra la lunghezza del tubo verticale ed il regime di deflusso nel by-pass, che era stata inizialmente ravvisata solo in termini qualitativi.

Nella Tab. 5 sono riportati i dati più significativi per i fini del calcolo, riferiti cioè agli interventi in cui le condizioni del contesto risultano circa stazionarie, ossia congruenti con l'impostazione adottata con riferimento a un moto permanente nel sistema.

**Tab, 5 - Confronto tra i valori calcolati di portata ed i valori risultati dalle misure**

DATA	$Z_1$ (m)	$Z_s$ (m)	$Z_B$ (m)	$Y$ (m)	$Q$ Misurata (m <sup>3</sup> /s)	$Q$ Calcolata (m <sup>3</sup> /s)		$H_a$ (m) con rif. alla portata misurata
						a)	b)	
14/11/1988	0.70	16.01	16.12	0.20	0.803	2.40	1.300	16.440
24/11/1988	0.70	16.10	16.29	0.16	0.711	2.03	0.860	16.518
31/01/1988	0.15	15.60	15.85	0.12	0.706	2.84	0.600	16.019

Le operazioni di misura in sito sono risultate oltremodo difficili, e per esse è stata necessaria la collaborazione di operatori subacquei per le misure in profondità.

In fase di calcolo una particolare attenzione si è dovuta porre alla valutazione del carico piezometrico allo sbocco  $H_B$ , adottato nello schema di calcolo (figura 34).

L'efflusso della portata in atmosfera allo sbocco del tubo si svolge in maniera rigurgitata: qui i filetti liquidi vengono deviati verso il basso dal campo gravitativo, ma detta deviazione procura una interazione tra la massa d'acqua in arrivo e quella discendente, con una azione di rallentamento nei confronti dei volumi ascendenti. Questo effetto di rallentamento non interessa in maniera uniforme i filetti in tutta la sezione del tubo, ma è risentito maggiormente nella zona centrale.

Una interpretazione rigorosa di tale fenomeno può essere fornita solo da una complessa trattazione termoidraulica del getto verticale libero in atmosfera (Pozzi, 1961), il cui studio in termini idraulici di "corrente" ha ricevuto finora scarsa attenzione nella letteratura scientifica. In termini qualitativi si può ritenere che all'interno della sezione di sbocco si abbiano dei gradienti di pressione, cui è associata una distribuzione di carichi piezometrici che condizionano il regime di moto a monte. Il carico  $H$  adottato nello schema di calcolo sarà allora costituito da una aliquota di carico piezometrico, correlata alla distribuzione delle pressioni in seno al getto, e in parte, da una ulteriore aliquota di carico, che viene dissipata dagli attriti che qui si destano.

Allo scopo di valutare l'influenza di questo carico sul regime nella condotta si sono fatte due ipotesi limite:

- a) carico piezometrico allo sbocco pari all'altezza geometrica  $z_B$ , ossia pressione nulla in tutti i punti di tale sezione ed assenza di dissipazioni nel getto;
- b) presenza di un carico piezometrico medio ( $z_B + Y$ ) allo sbocco, pari alla quota della superficie di contorno del volume di acqua qui presente, misurata nella zona di bordo, ove tale superficie ha quota minima. In questo caso cioè si è interpretato il fenomeno di efflusso secondo uno schema semplificato, che pone sulla sezione superiore del tubo verticale la presenza di una condizione idrostatica con pelo libero dell'acqua a quota ( $z_B$ ) (figura 34).

Il calcolo è stato svolto con riferimento ad entrambe le ipotesi e rispettivamente le equazioni risultano:

$$a) \quad z_1 + (z_s - z_1) \frac{\gamma_s}{\gamma_f} - z_B = 0.0471 Q_2 \quad (32)$$

$$b) \quad z_1 + (z_s - z_1) \frac{\gamma_s}{\gamma_f} - z_B - \gamma = 0.0471 Q_2 \quad (33)$$

Sostituendo i valori misurati per  $z_1$ ,  $z_s$ ,  $z_B$  e  $\gamma$  e assumendo  $\gamma_s = 1.027 \text{ g/cm}^3$  e  $\gamma_f = 1.001 \text{ g/cm}^3$  in funzione della salinità (Tadolini e Tulipano, 1977), si sono ottenuti i valori di portata  $Q$  presentati nella tabella 5.

Come si può notare, l'ipotesi di assenza di carico piezometrico aggiuntivo rispetto a quello geodetico allo sbocco conduce a valori di portata molto maggiori di quelli reali; l'introduzione del battente d'acqua misurato al bordo del tubo verticale, invece, fa rientrare le portate di calcolo nello stesso ordine di grandezza di quelle misurate.

Si può così valutare come sia incidente sul regime di moto la presenza allo sbocco di un carico aggiuntivo rispetto alla sola aliquota geodetica. E' altrettanto evidente però, che una configurazione idrostatica allo sbocco non è realistica, dato che questo carico si genera in seno alla complessa dinamica del getto effluente. E' d'altronde possibile che una aliquota del carico aggiuntivo interpreti quella porzione di perdite di carico realizzatesi all'interno del complesso sistema in esame, non contemplate dalla trattazione classica per le condotte in pressione (di piccola lunghezza relativa) che è stata di riferimento nel calcolo dei coefficienti di perdita. In base a questo calcolo il valore della somma totale delle perdite di carico all'interno del sistema è molto basso, con ordine di grandezza di 3-4 cm, ma si ritiene che la condizione non rigorosamente permanente del moto comporti un'amplificazione di dette perdite.

Si configura a questo punto necessaria, per dare una risposta più esauriente a tali dubbi interpretativi e poter rendere definitivo lo schema di calcolo con l'assunzione di coefficienti di perdita corretti e valutazione rigorosa del carico allo sbocco, una taratura sperimentale del sistema. A tale scopo, come già detto in precedenza, si è eseguita la progettazione di una strumentazione automatica, di seguito descritta, per un monitoraggio continuo delle grandezze in gioco, che potrà superare i notevoli problemi connessi al particolare sito in cui si operano le misure.

Il funzionamento idraulico dell'intero complesso di captazione risulta, comunque, estremamente sensibile anche a minimi oscillazioni dei valori assegnati alle grandezze in gioco; si è verificato, infatti, che differenze di pochi centimetri nelle misure delle quote conducono a scarti nei valori di portata calcolati di parecchie centinaia di litri al secondo. Un sistema di misura automatico risulta a tal proposito più idoneo a

seguire l'andamento estremamente variabile delle grandezze in gioco, fornendo al tempo stesso una mole di dati che possa permettere una elaborazione statistica attraverso la teoria degli errori in termini probabilistici.

Si intende così pervenire ad una corretta definizione della funzione ( $\Delta H$  sistema (Q)), che esprime le perdite di carico del sistema in funzione della portata effluente. Alla luce di questo risultato si potrà andare oltre in un confronto tra le condizioni di efflusso libero sommerso (funzionamento naturale della sorgente): ( $\Delta H$  mare (Q)) e quelle dell'efflusso captato, al fine di individuare la configurazione di regime del sistema con riferimento alla quale risulti:  $\Delta H$  sistema (Q) =  $\Delta H$  mare (Q) e quindi la captazione effettuata permetta un efflusso naturale della portata della sorgente, senza indurre disturbo nella falda a monte.

#### 11.5. Interazione fra captazione e sorgente

Le condizioni di efflusso della vena captata sono determinate dal funzionamento del sistema, così come è stato precedentemente descritto in termini matematici. Ma tali condizioni dipendono anzitutto dalle priorità e dalle disponibilità della falda artesianamente alimentante, risultando definite da un legame funzionale fra i carichi H e le portate uscenti Q, che il sistema artificiale messo in opera intende poter investigare.

L'indagine non può prescindere dalla consapevolezza che la sorgente captata fa parte di un complesso di numerose emergenze localizzate a distanza alquanto ravvicinata, delle quali rappresenta peraltro la parte più cospicua.

Le operazioni sul sistema di captazione, facendo variare il carico  $H_B$ , possono in generale produrre variazioni nella portata captata, sia per interazione con la falda "profonda" e conseguente variazione della portata globalmente effluente, sia per redistribuzione della portata complessiva fra le diverse emergenze.

Nel caso in esame, con riferimento alle misure riportate nella tabella 5, i valori del carico  $H_A$  per le diverse configurazioni risultano diversi tra loro; poichè nei tempi di svolgimento delle misure non è ipotizzabile una rapida interazione con la falda profonda, si può ritenere verificata la seconda ipotesi.

Secondo gli schemi tradizionali dell'idraulica dei mezzi porosi relativi a falde in pressione, possiamo dire che, rispetto alla superficie piezometrica della falda, il "citra" costituisce una depressione di richiamo dove il carico piezometrico di arrivo è determinato dal livello del mare e dalla profondità del fondale (Y) secondo la relazione:

$$H_s = z_s + Y \frac{\gamma_s - \gamma_f}{\gamma_f} \quad (34)$$

in cui, il solito  $z_s$ , è il livello del mare rispetto al piano di riferimento per i carichi.

A sua volta la situazione all'interno del citro potrebbe essere ricondotta a quella prodotta da una rete di pozzi, corrispondenti alle diverse polle, in ognuno dei quali il tirante idrico che regola la depressione di richiamo della portata emunta si posizioni ad una altezza pari a quella dell'acqua di mare amplificata in base al fattore additivo, funzione della profondità secondo quanto espresso dalla precedente formula.

Considerate le modeste distanze fra le emergenze, invero minori, prossime a quella considerata nel presente studio, la portata della singola polla risulta essere direttamente condizionata da una qualsiasi perturbazione che interessi il regime di un'altra polla. Complessivamente, il citro è poi condizionato dalle escursioni del livello marino e dai fenomeni dinamici che ne turbano le condizioni idrostatiche (maree, oscillazioni ondose, correnti).

Si può tentare un'interpretazione dei fenomeni che possono verificarsi entro la falda adottando l'ipotesi semplificativa di falda artesianamente alimentata, costituita da un mezzo poroso omogeneo ed isotropo. In questo caso per ogni polla indisturbata vale una relazione di diretta proporzionalità fra depressione ed emungimento, legata alle caratteristiche della falda e della scaturigine.

Al complesso dei pozzi interagenti si può applicare invece il principio di reciprocità. In particolare, ipotizzando per semplicità tutto l'insieme delle polle soggetto, in condizioni naturali, alla stessa depressione di

richiamo S con una portata complessiva alle polle  $Q_p$  e  $Q_s$  alla sorgente captata, una variazione di pressione alla sorgente, tale da produrre l'arresto della portata uscente ( $Q_s = 0$ , con una depressione  $\delta'_0 < \delta$ ), produce un incremento di portata alle restanti polle pari a:

$$\Delta Q_p = \frac{\delta'_0}{\delta} Q \quad (35)$$

Viceversa una diminuzione della pressione sulla sorgente - che nello stato attuale può essere realizzata tramite una riduzione del livello di sbocco in superficie, o che potrebbe essere ottenuta con un impianto di sollevamento e pompaggio - porta ad un aumento della portata dalla bocca captata con contemporanea diminuzione di portata dalle polle circosvicine, eventualmente fino al punto da invertire il senso, con ingressione di acqua salata nella falda.

Nella realtà della falda in esame, interessata da fenomeni di carsismo l'ipotesi di omogeneità e isotropia del mezzo è scarsamente attendibile, soprattutto al livello di descrizione dei fenomeni locali di interazione fra le varie polle nel citro.

Tuttavia i fenomeni preconizzati trovano un riscontro qualitativo nelle osservazioni dirette che si sono potute registrare fin nel corso delle prime fasi realizzative dell'esperimento. A riguardo è particolarmente informativa la serie di misure svoltesi il 7 settembre 1988; in questa occasione si è misurato il valore della portata per 5 successive posizioni del tubo a cannocchiale. Come si può notare in tabella 1, al ridursi della lunghezza del tubo la portata aumenta notevolmente, con una oscillazione totale di 0.300 mc/s, e la salinità aumenta, concordemente con l'ipotesi di diretta interazione della polta captata con le altre.

Su questa base si possono delineare alcuni rischi connessi ad una captazione che non rispetti il funzionamento "spontaneo" della sorgente: ad es., un incremento eccessivo nella portata emunta può implicare una contaminazione dell'acqua estratta per aumento di salinità: viceversa, una captazione eccessivamente ridotta, oltre a costituire una perdita di risorsa, potrebbe indurre accelerazioni differenziali nei fenomeni erosivi e di dissoluzione in corrispondenza delle bocche libere, con perdita progressiva delle potenzialità di quella captata.

## **12. SISTEMA PER IL MONITORAGGIO AUTOMATICO DI PARAMETRI CHIMICO-FISICI DELLE ACQUE DELL'OPERA DI CAPTAZIONE**

Dopo aver operato la captazione delle acque della sorgente sottomarina Galeso e convogliate le stesse alla superficie del mare, si è proceduto a progettare e realizzare un sistema automatico per il monitoraggio in continuo di parametri idrologici e chimico-fisici inerenti il mare e le acque erogate dalla sorgente.

### **12.1. Architettura del sistema di monitoraggio.**

Il sistema di monitoraggio prende in considerazione i seguenti parametri:

- livello del mare;
- temperatura dell'acqua di mare;
- temperatura dell'acqua di sorgente;
- pressione dell'acqua sorgentizia alla bocca dell'emergenza;
- salinità dell'acqua della sorgente;
- velocità dell'acqua sorgentizia (misura della portata) nel condotto di eduazione;
- controllo, nel sifone, della posizione di piano di equilibrio tra la pressione dell'acqua di mare e quella dell'acqua della sorgente (interfaccia).

L'originale sistema automatico di acquisizione dati è stato ovviamente progettato per adattarsi alle particolari condizioni ambientali nelle quali veniva collocato. Per l'acquisizione dei dati relativi ai citati parametri i trasduttori di misura del sistema di monitoraggio sono stati posizionati, come schematicamente risulta dalla Fig. 35, taluni all'interno della cavità da cui scaturiscono le acque sorgentizie, altri all'interno dell'opera di captazione ed i rimanenti, riguardanti le caratteristiche fisiche del mare, all'esterno della stessa opera di captazione. Tutti i segnali analogici provenienti da trasduttori vengono convogliati nel sistema di acquisizione installato sulla piattaforma galleggiante alla superficie del mare.

Il sistema di monitoraggio realizzato ed installato si configura in due blocchi ben differenziati e dalle peculiari caratteristiche:

- sistema di misura dei parametri citati;
- sistema locale automatico di acquisizione e immagazzinamento dei dati rilevati per il successivo trasferimento in banca dati.

Il primo blocco è rappresentato da:

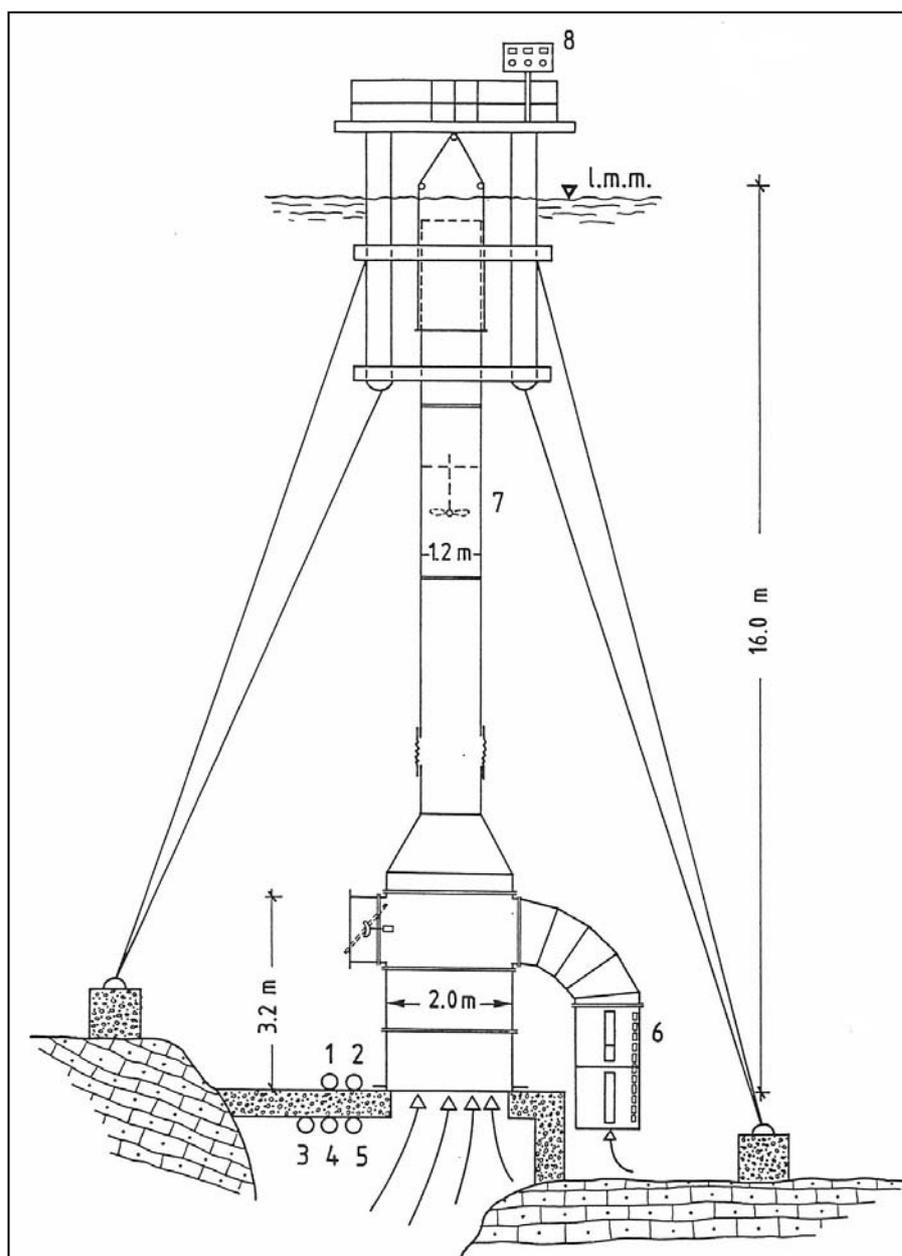
- due trasduttori di pressione rispettivamente per il controllo delle oscillazioni periodiche e aperiodiche del livello del mare e per la valutazione del carico idraulico sulla bocca della scaturigine delle acque sorgentizie;
- due trasduttori per le misure della temperatura dell'acqua da mare e dell'acqua della sorgente;
- un misuratore di conducibilità elettrica per la determinazione della concentrazione salina delle acque erogate dalla sorgente;
- un mulinello, di tipo idrometrico, posto all'interno della colonna di adduzione delle acque sorgentizie alla superficie del mare, per la misura della velocità di deflusso delle acque sorgentizie che permette di valutare la portata erogata dalla sorgente;
- un sistema per la definizione, a mezzo di sensori termici, della posizione dell'interfaccia acqua di sorgente – acqua di mare, collocato nel sifone di controllo.

Il secondo blocco di sistema è costituito da:

- un convertitore A/D (analogico – digitale) con fondo scala a + 2V, risoluzione 1/20.000, precisione u V e linearità di + 50 u V a fondo scala; tale convertitore è predisposto per un numero massimo di 8 canali analogici multiplexati;
- una porta seriale utilizzata per comunicare con la barra di misura della posizione del piano di equilibrio delle pressioni acque dolci – acque salate;
- due contatori digitali per la misura, con mulinelli idrometrici, della velocità di deflusso delle acque sorgentizie;
- una centralina autoalimentata per l'acquisizione dei dati rilevati;

- una memoria locale (64k) per l'immagazzinamento dei dati acquisiti, per un massimo di 5000 gruppi di misura, dove per gruppo si intende l'insieme di tutti i canali attivati in acquisizione;
- un real-time clock;
- un accoppiatore ottico per il colloquio full – duplex (bidirezionale) con la unità esterna di prelievo e di visualizzazione dati rappresentata da un PC portatile operante in ambiente MS DOS.

Il sistema locale automatico è stato progettato per l'acquisizione periodica dei dati relativi a tutti i parametri in esame con una frequenza programmabile, attualmente fissata in 15 minuti.



**Fig. 35 – Schema dell'opera di captazione con indicazione della localizzazione dei sensori di rilevamento (1 e 3: temperatura; 2 e 4: pressione; 5: conducibilità; 6: interfaccia; 7: velocità di deflusso; 8: sistema locale di acquisizione e immagazzinamento).**

### 12.1.1. Misura dei parametri chimico – fisici e taratura degli acquisitori

I trasduttori per la misura della pressione, della temperatura e della conducibilità sono stati inseriti in adeguate sonde, appositamente progettate e realizzate (Foto 35 e 36) tali da assicurare un perfetto isolamento dei circuiti e dei collegamenti elettrici una volta immerse in acqua sotto carichi idrostatici di alcune atmosfere.

I cavi di collegamento tra le sonde e il sistema di acquisizione alla superficie del mare sono provvisti di guaine di protezione ed isolamento in neoprene e polipropilene. I citati trasduttori sono dotati di proprie unità di condizionamento del segnale, con uscita normalizzata a 2 V, poste nella centralina sistemata sulla piattaforma galleggiante alla superficie del mare.

Per la misura del carico idraulico delle acque di falda, alla bocca della sorgente e del mare alla base dell'opera di captazione, vengono utilizzati trasduttori di pressione relativa con membrana in platino e quindi idonei al loro impiego in ambiente marino; il campo di misura è 0 – 2 bar e l'errore di linearità è 0,6% f.s..

La sonda per il rilievo della temperatura dell'acqua di mare utilizza una termoresistenza Pt 100 caratterizzata da una precisione assoluta di 0,1 °C; la calibrazione è stata effettuata, nell'intervallo di interesse, utilizzando un termometro con precisione di 0,01 °C.

Per la misura della temperatura e della conducibilità delle acque della sorgente è stata realizzata una sonda combinata contenente una termoresistenza Pt 100 (precisione assoluta 0,1 °C) ed una cella conduttimetrica con i 2 elettrodi in platino–platinato del diametro di 13 mm, tra loro distanti 45 mm; per il rilievo conduttimetrico le precisioni ottenibili sono pari al 5% con una sensibilità di +10 u S.

La misura della portata idrica della sorgente viene valutata attraverso la determinazione della velocità di deflusso delle acque nella colonna di adduzione delle stesse alla superficie del mare. A tal fine viene impiegato un classico mulinello idrometrico della SIAP con elica del 0-120 mm, passo 250 mm, sensibilità + 0,05 m/s; la misura avviene conteggiando il numero di giri dell'elica effettuato in un arco di tempo programmabile, attualmente prefissato in un minuto.

La posizione dell'interfaccia acqua dolce di falda – acqua di mare, che si realizza nel sifone laterale dell'opera di captazione, viene controllata da una serie di sensori termici.

Si è ritenuto di adottare la metodologia che considera i regimi termici delle acque in esame anziché quella basata sul rilievo della loro conducibilità elettrica in quanto:

- le temperature delle acque di falda e di mare presentano valori termici in genere ben differenziati e quindi tali da poter permettere una univoca individuazione della posizione dell'interfaccia;
- con l'assemblaggio di una serie numerosa di celle elettrolitiche con i conseguenti fenomeni di polarizzazione degli elettrodi e le inevitabili incrostazioni che si sarebbero sviluppate sugli stessi nell'ambiente marino, le misure sistematicamente effettuate sarebbero risultate in breve tempo inaffidabili.

A tal fine è stata realizzata una barra in PVC ad alta densità, lunga 2,20 m e del diametro di 70 mm nella quale sono incapsulati 42 sensori di temperatura (Foto 37), distanziati ciascuno 50 mm, costituiti da termoresistenze Pt 100 al platino caratterizzate da una precisione assoluta di 0,1 °C; nella barra è alloggiata l'elettronica di condizionamento e misura della temperatura di ciascun sensore costituita da un microprocessore con convertitore a 12 bit per la conversione A/D delle misure; tale microprocessore provvede anche alla definizione della posizione del piano di equilibrio della temperatura attraverso l'individuazione del flesso relativo alla distribuzione dei valori di temperatura rilevati dai sensori. In altri termini il programma del microprocessore calcola la temperatura media tra quelle rilevate dai sensori estremi della barra di misura, individua, la posizione del sensore che possiede la temperatura media calcolata. La barra è stata incapsulata prima in un foglio di teflon da 0,2 mm e quindi in una guaina telata in Hypalon/neoprene, onde renderla del tutto impermeabile evitando altresì la permeabilità per osmosi.

Il sistema di monitoraggio costituito, come dianzi detto, dal sistema di misura e dal sistema locale automatico di acquisizione ed immagazzinamento dei dati rilevati (Foto 38), prima della posa in opera è stato assemblato in laboratorio e sottoposto ai necessari collaudi, verifiche e tarature che si illustrano in dettaglio.

- a. Per il sensore temperatura si sono effettuate le tarature utilizzando termometri da laboratorio ad elevata precisione (0.01 °C) e sensibilità (+0.05 °C) ottenendo gli scarti medi di conversione tra dato rilevato e dato reale; per il sensore relativo alla misura della temperatura dell'acqua di mare lo scarto medio è risultato pari a - 0.540 °C mentre per quello relativo alla misura dell'acqua sorgentizia lo scarto è risultato di - 0.695 °C. Detti scarti sono stati successivamente introdotti nel programma di elaborazione al fine di ottenere, in rappresentazione grafica e numerica, dati reali.
- b. Per quanto attiene il sensore conducibilità, la taratura è stata effettuata utilizzando una serie di n. 15 campioni di soluzioni tarate, ottenute diluendo acqua di mare con acqua distillata, in modo da coprire il campo 0.4 – 40 g/l. Tale taratura è stata effettuata con i campioni delle soluzioni tarate mantenuti a temperatura costante in vasche termostatiche. Così operando è stato possibile ricavare le curve di correlazione tra la resistività elettrica delle soluzioni e la corrispondente concentrazione salina<sup>1</sup>. La sensibilità che si ricava dalla trasformazione è pari a + 0.05 g/l.
- c. Per i sensori barometrici le prove di laboratorio sono consistite piuttosto che in una vera e propria taratura, in una verifica di funzionalità; utilizzando una colonna in plexiglass dell'altezza di circa 4 m piena d'acqua i sensori venivano posizionati a diverse profondità controllando la rispondenza tra le caratteristiche tecniche fornite dalla casa ed i dati rilevati.
- d. Per il sistema di rilevamento della posizione dell'interfaccia nel sifone, attuato come detto in precedenza con sensori termici, la taratura è stata effettuata utilizzando la citata colonna di plexiglass, controllando le risposte del sistema di trasduttori da parzialmente a totalmente immerso in acqua condizionata con varie temperature rilevate con termometri di precisione da laboratorio. Ciò ha consentito di verificare che tutti i 42 trasduttori funzionassero correttamente fornendo nel contempo all'uscita sul PC, dopo le programmate elaborazioni, la posizione di passaggio tra trasduttori immersi e trasduttori fuori acqua.
- e. Non si è ritenuto dover effettuare in laboratorio alcuna taratura del mulinello idrometrico in quanto l'elica utilizzata è fornita di idoneo certificato rilasciato da laboratorio universitario ufficiale.

Le operazioni di taratura e di messa a punto delle sonde e degli apparati sono state lunghe e complesse, ma hanno consentito di verificare la funzionalità dell'intero sistema di monitoraggio prima della installazione in mare che ha richiesto un notevole impegno per le difficili condizioni ambientali derivanti da lavori prevalentemente subacquei.

#### 12.1.2 Acquisizione e immagazzinamento dati in superficie

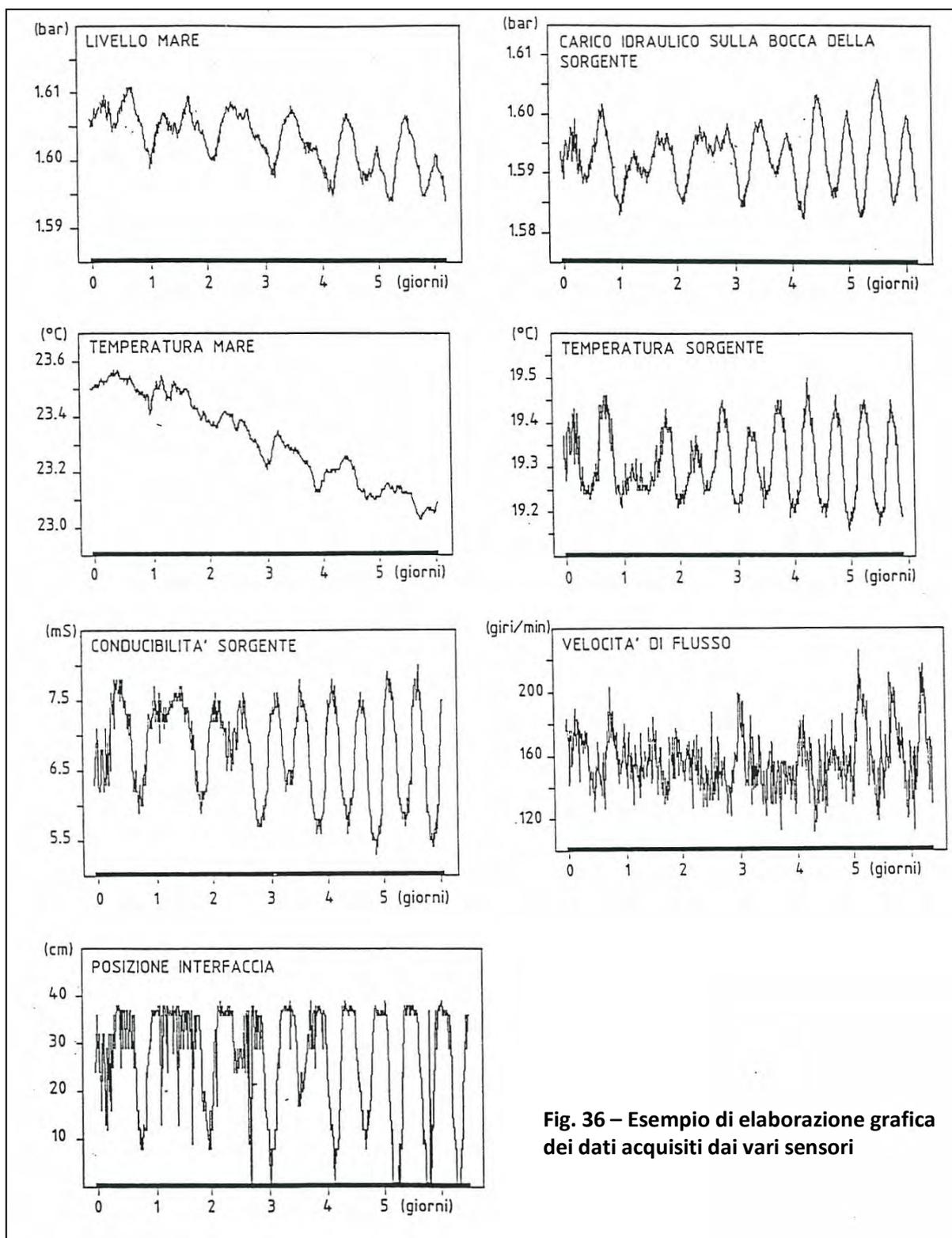
Dopo aver provveduto all'inizializzazione del sistema di acquisizione il real-time clock è stato predisposto per operare ad intervalli regolari prefissati; ciò al fine di consentire un funzionamento delle batterie per una durata all'incirca pari a quella necessaria per saturare la capacità di memoria con i dati che vengono acquisiti sistematicamente e periodicamente. Il real-time clock pone quindi il sistema in spegnimento totale ogni qualvolta è stato completato il previsto ciclo di misure. Nel periodo dormiente rimangono alimentate le memorie contenenti i dati acquisiti e l'orologio medesimo; al tempo previsto l'orologio riaccende il sistema che riconosce, in questa funzione, di dover svolgere un nuovo ciclo di misure e relative registrazioni in memoria.

Per abilitare la comunicazione fra la centralina e l'unità portatile di prelievo e controllo, l'operatore deve "svegliare" il sistema di acquisizione dormiente attraverso un comando esterno. Il prelievo dei dati accumulati si effettua periodicamente, attualmente con frequenza mensile, accoppiando otticamente alla centralina di acquisizione e immagazzinamento dati in un PC portatile operante in ambiente MS DOS e provvisto di un

---

<sup>1</sup> Attraverso la nota espressione  $R_{20^{\circ}\text{C}} = (R_2 - R_C) \cdot [1 - 0.022(20 - t)]$  (ove  $R_2$ : resistenza misurata in  $\Omega$ ;  $R_C$ : resistenza del cavo in  $\Omega$ ;  $t$ : temperatura letta e corretta in  $^{\circ}\text{C}$ ) è possibile trasformare i valori rilevati nei valori della resistività alla temperatura di riferimento i quali, attraverso la curva di taratura vengono trasformati in valori di concentrazione salina. Tali operazioni vengono peraltro effettuate da softwares dedicati e tali da fornire tabelle e grafici.

adeguato software. I dati raccolti vengono successivamente trasferiti in banca dati a cui fare capo per le necessarie e opportune elaborazioni e correlazioni. (Fig. 36)



**Fig. 36 – Esempio di elaborazione grafica dei dati acquisiti dai vari sensori**

Con il sistema PC – centralina accoppiato è possibile inoltre:

- programmare tutti i parametri dell'acquisizione (numero trasduttori attivi, costanti moltiplicative, date di inizio, ecc..)
- visionare le misure svolte da ogni sensore del sistema per il controllo di linea;
- controllare l'effettivo stato di carica delle batterie di alimentazione del sistema, ciò al fine anche di definire i tempi massimi ottimali che possono intercorrere tra uno scarico di dati ed il successivo e quindi anche per valutare la necessità della sostituzione delle batterie stesse.

## 12.2. Considerazioni finali

Con l'installazione del sistema di monitoraggio ha avuto inizio l'acquisizione automatica e continua dei valori dei parametri rappresentativi delle caratteristiche chimico-fisiche ed idrauliche delle acque sorgentizie e di mare. Con tali rilevazione è possibile riconoscere l'evoluzione nel tempo che tali parametri subiscono per effetto delle interazioni esistenti tra mare e falda.

Le analisi e le correlazioni delle serie di valori raccolti permetteranno di valutare e definire i meccanismi che condizionano le caratteristiche idrauliche e chimico fisiche delle acque sorgentizie. Di valido ausilio potrà essere il modello matematico di simulazione a suo tempo elaborato che lega il parametro livello mare a quelli propri della scaturigine: portata, salinità, temperatura e carico idraulico; tale modello ha infatti già fornito, sulla base di singoli dati, significative ed interessanti indicazioni sui meccanismi idraulico – chimici esaminati.

Con gli elementi che si trarranno con il sistema di monitoraggio attivato sarà possibile controllare il modello idraulico già predisposto e di suggerire le eventuali modificazioni da introdurre sia nel modello matematico che nel sistema di captazione installato.

I dati raccolti verranno successivamente elaborati ed analizzati congiuntamente a quelli relativi ai parametri livello idrico, temperatura e conducibilità rivenienti dal monitoraggio in continuo di prossima attuazione nel pozzo spia ubicato sulla costa in corrispondenza della sorgente Galeso. Tale studio contribuirà alla definizione delle caratteristiche dell'eventuale opera di captazione definitiva che consentirà il convogliamento a terra delle acque sorgentizie le quali, opportunamente miscelate, potranno trovare proficuo impiego nel territorio pugliese ad integrazione delle disponibilità idriche derivanti da altre fonti.

### 13. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nella presente relazione è stata data informazione dettagliata di tutte le operazioni che si sono ad oggi svolte in ordine al finanziamento appositamente ottenuto dalla ex Cassa per il Mezzogiorno per lo scopo in argomento.

La ricerca, sia pure in tempi più lunghi di quelli previsti, è andata avanti con successo, consentendo di acquisire e porre in opera manufatti capaci di derivare la portata della sorgente Galeso, nonché strumentazioni idonee per monitorare il complesso sistema acquifero: acqua dolce-acqua marina di base ad essa sottostante, scaturigine sottomarina mare sovrastante alla scaturigine.

A questo punto occorre proseguire i rilievi in mare e nel pozzo spia con i sistemi di monitoraggio attivati per consentire l'acquisizione di conoscenze fondate sul regime della sorgente, in rapporto alle numerose variabili al contorno e individuare il sistema di captazione definitivo più idoneo, tanto da poter proporre in termini concreti l'adduzione delle acque della sorgente stessa sul continente.

La perizia finanziata con uno specifico contratto deve ritenersi comunque esaurita, ritenendo ovviamente utilizzato il saldo che ancora si attende, per far fronte ad oneri sostenuti ma non ancora corrisposti, data la mancanza di detto saldo.

A questo punto l'Istituto di Geologia Applicata e Goetecnica fa presente la notevole difficoltà, in mancanza di un ulteriore finanziamento, di gestire ulteriormente il sistema messo a punto, in particolare per i motivi che seguono:

- a) l'opera di captazione provvisoria messa a punto presenta, nell'intorno dell'emergenza idrica principale polle secondarie, che andrebbero tamponate con opportuni lavori sottomarini, al fine di consentire un più adeguato funzionamento dell'intero sistema, sia nei riguardi della portata sorgentizia derivata, sia nei confronti del monitoraggio che colà si effettua;
- b) terminata la realizzazione del sistema, la cui fragilità ben si evince da quanto illustrato nelle pagine precedenti, va effettuata con estrema urgenza e sistematicità, come avvenuto finora, una oculata manutenzione ordinaria e straordinaria a salvaguardia delle opere e della strumentazione installata messa sovente a repentaglio dalle mareggiate e dalle attività dei pescatori nell'intorno che producono frequenti danni, ai quali si è potuto fino ad oggi far fronte sulla base dei fondi di perizia attribuiti a questo Istituto e ora completamente esauriti;
- c) il sistema di monitoraggio stesso, oggi attivato alla perfezione, necessita di particolare cura, trattandosi di componenti elettronici esposti agli agenti meteo-marini, il che egualmente richiede disponibilità finanziarie, al momento mancanti del tutto;
- d) come sovente si richiede nelle rilevazioni di sorgenti, e in particolare di quelle sottomarine, gli articolati controlli all'opera di presa e al pozzo spia, eseguito a terra, devono proseguire per un conveniente tempo ed essere di volta in volta interpretati ed elaborati, per fornire informazioni utili ai fini delle future captazione definitiva;
- e) i dati che ancora occorre raccogliere sono finalizzati peraltro alla realizzazione di un convincente modello matematico della gestione del sistema di captazione, la cui complessità deriva particolarmente dai difficili equilibri fra falda alimentate la sorgente, zona di transizione all'acqua marina di base della falda, oscillazioni marine influenti sulle oscillazioni marine influenti sulle oscillazioni di quota della interfaccia stessa;
- f) sarebbe infine auspicabile sperimentare una condotta flessibile, collegata alle campane di captazione della sorgente ed adagiata sul fondo marino fino a raggiungere la costa, tale da addurre le acque sorgentizie sulla terra ferma.

Per i motivi detti, questo Istituto invita l'Agenzia per la Promozione dello Sviluppo del Mezzogiorno a voler prendere in seria considerazione la prosecuzione della ricerca, con adeguato rifinanziamento.

## BIBLIOGRAFIA

1. ABRAHAM G. (1963): "Jet diffusion in stagnant ambient fluid". Delft Hydraulics Laboratory, n.29.
2. AUROUX C., MASCLE J., CAMPREDON R., MASCE G., ROSSI S. (1985) : «Cadre geodinamique lé evolution recente de la Dorsale Apulienne et de ses bordures ». Giorn. di Geol., Bologna, ser 3, 47 (1-2).
3. BRUNO G., TADOLINI T. (1983) : « Hydrological features and the implication of tectonic and structural traits upon salentine aquifer (Apulia, Southern Italy) ». Atti Congr. Intern. Suolo-sottosuolo, Torino (in stampa).
4. CARONI E., COTECCHIA F., LOLLINO G., TRIZZINO R. (1988): "Considerazioni sul modellamento idraulico di un sistema di controllo e misura finalizzato allo studio di una sorgente sottomarina". Geol. Appl. e Idrogeol., vol. XXIII, Bari.
5. CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (1987): "Neotectonic map of Italy". Quaderni della ricerca scientifica, Firenze, 114 4.
6. COTECCHIA V. (1956): "Sulle caratteristiche delle sorgenti e sulle modalità di rinvenimento della falda profonda nella Penisola Salentina in rapporto alla struttura dei calcari cretacei della regione". Annali della Facoltà di Ingegneri – Univ. di Bari, vol. II.
7. COTECCHIA V. (1977): "Studi e ricerche sulle acque sotterranee e sull'intrusione marina in Puglia (Penisola Salentina)"- CNR, Istituto di Ricerca sulla Acque, quaderno n.20.
8. COTECCHIA V., FEDERICO A. (1985): "On an approximate evaluation of the mass flow rate of submarine springs". Geol. Appl. e Idrogeol., vol. XVIII, parte II Bari.
9. COTECCHIA F., STEFANON A. (1969): "Prime notizie sulle caratteristiche di efflusso e sulle modalità di investigazione delle sorgenti subacquee ai fini di una loro captazione". CNR Istituto di Ricerca sulle Acque, quaderno n.58.
10. COTECCHIA V., LOLLINO G., PAGLIARULO R., STEFANON A., TADOLINI T., TRIZZINO R. (1988): "Study and provisional capture of the submarine spring Galeso in the Mar Piccolo of Taranto southern Italy". Oral presentation Salt Water Intrusion Meeting SWIM, Ghent, Belgium.
11. COTECCHIA V., LOLLINO G., PAGLIARULO R., STEFANON A., TADOLINI T., TRIZZINO R. (1989): "Studi e controlli in situ per la captazione della sorgente sottomarina Galeso, Mar Piccolo di Taranto"., Congr. Int. Suolo-sottosuolo, Torino.
12. COTECCHIA V., LOLLINO G., PAGLIARULO R., STEFANON A., TADOLINI T., TRIZZINO R. (1990): "Hydrogeological conditions and field monitoring of the Galeso submarine spring in the Mar Piccolo of Taranto" (Southern Italy). 11<sup>th</sup> Salt Water Intrusion Meeting . SWIM, Gdansk, Poland.
13. COTECCHIA V., MAGRI G. (1967): "Gli spostamenti delle linee di costa quaternarie del Mar Jonio tra Capo Spulico e Taranto". Geol. Appl. e Idrogeol., Bari, vol. II.

14. COTECCHIA V., TADOLINI T., TULIPANO L. (1983): "Sea water intrusion in the planning of groundwater resources protection and utilization in the Apulia region (Southern Italy). Geol. Appl. e Idrogeol., Bari, 18 (2).
15. CURTO G. (1968): "Sulla diffusione di una vena verticale effluente verso l'alto nella massa ferma di un liquido più pesante (Schema di efflusso di sorgenti sottomarine di acqua dolce)". XI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Genova.
16. ENTE NAZIONALE PER L'ENERGIA ELETTRICA (1981): "Elementi di neotettonica del territorio italiano". Firenze.
17. KOHOUT F.A. (1966): "Submarine springs a neglected phenomenon of coastal hydrology". Symp. Hydrology water Resources U.S. Geol. Survey.
18. IDELCIK I.E. (1969) : "Memento des parties de charge". Eyrolles, Parigi.
19. MARTINIS B. (1970) : «Osservazioni sulla struttura di S. Giorgio Jonico (Taranto). Acc. Naz. Lincei, Red. Cl. Soc. Fis. Mat. Roma.
20. POZZI A. (1961): "L'equazione dell'energia per i getti". L'aerotecnica, vol. XLI, fasc. 6.
21. RICCHETTI g. (1970): "Nuove osservazioni sui depositi plio-pleistocenici nei dintorni di Taranto". I "tuffi" calcarei con Arctica Islandica". Boll. Soc. Geol. It., 89 Roma.
22. STEFANON A. (1972) : "Capture and exploitation of submarine springs". Oceanology Int. 72, Brighton, England.
23. TADOLINI T., TULIPANO L. (1977): "The condition of the dynamic equilibrium of ground water ad related to enchracing sea water". Symp. On Hydrodynamic diffusion and dispersion in porous media. Pavia.
24. TADOLINI T., ZANFRAMUNDO P. (1974): "Studio sulle oscillazioni della superficie della falda profonda alla Penisola Salentina". Geol. Appl. e Idrogeol., vol. IX.



**FOTO 1 e 2**  
**Cantiere di perforazione del pozzo-spia "Leggiadrezze"**



**FOTO 3 e 4**  
**Tubazioni di rivestimento definitivo "a celle" e relative colonne di collegamento del pozzo-spia**



**FOTO 5**  
**Operazioni di posa in opera dei tubi costituenti la "cella" del pozzo-spia**



**FOTO 6**  
**Particolare della finestratura della "cella" del pozzo-spia**

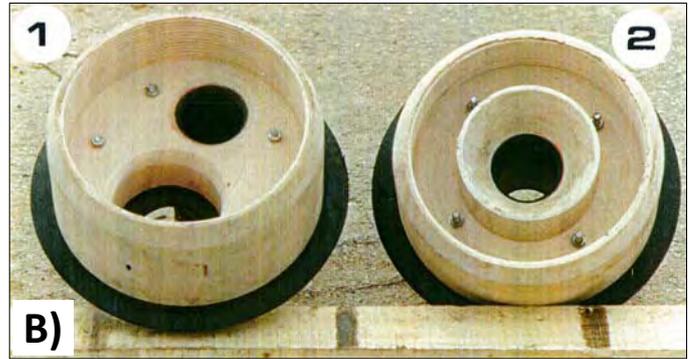
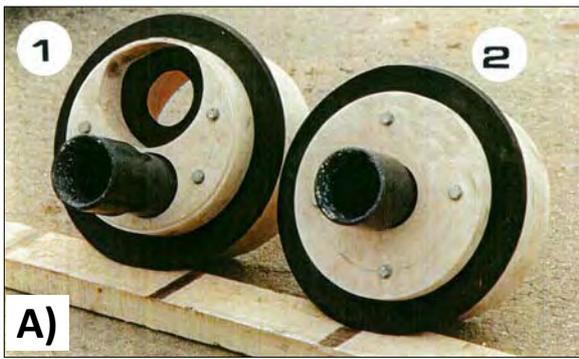


FOTO 7 e 8 - Particolari delle teste delle "celle" disposte nel pozzo-spia.

A: parte superiore - B: parte inferiore 1: testa per cella intermedia; 2: testa per cella profonda



FOTO 9 e 10 - Particolari della testa della "cella" posta in opera nella zona di transizione del pozzo-spia.

A: vista della parte superiore - B: vista della parte inferiore

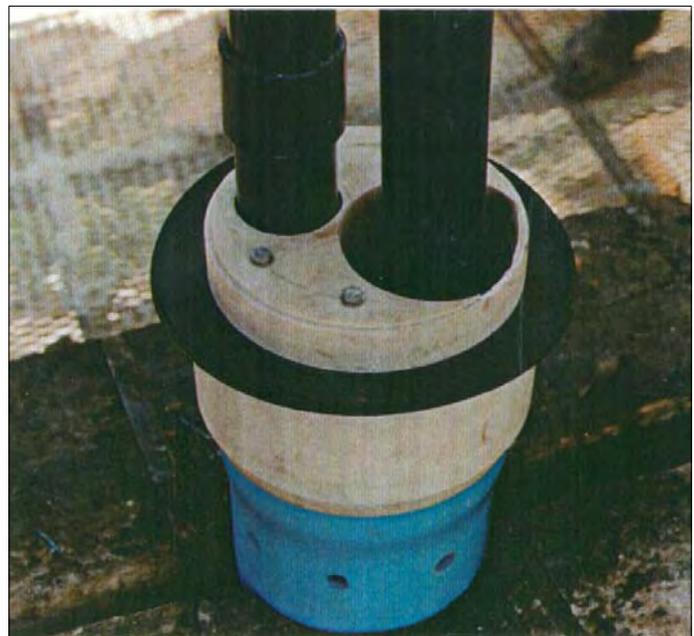


FOTO 11 e 12 - Posa in opera della "cella" intermedia con relativa testa in zona di transizione acquadolce - acqua salata del pozzo-spia



FOTO 13 - Vista d'insieme del carotaggio recuperato dalla trivellazione del pozzo-spia



FOTO 14 - Parte del carotaggio recuperato dalla trivellazione del pozzo-spia con evidenziato il carotaggio del tratto cementato e successivamente riperforato



FOTO 15



FOTO 16



FOTO 17



FOTO 18

FOTO 15, 16, 17, 18

Dettaglio delle carote estratte nel corso della perforazione del pozzo-spia



**FOTO 19 - Il sistema di acquisizione e immagazzinamento dati installato sul pozzo-spia "Leggiadrezze"**



FOTO 20 a, b, c - Manifestazioni sorgentizie sottomarine subacquee nei pressi della polla principale



FOTO 21 a, b - Polla n. 7



FOTO 22 a, b - Polla n. 8



FOTO 23 a, b - Polla n. 9

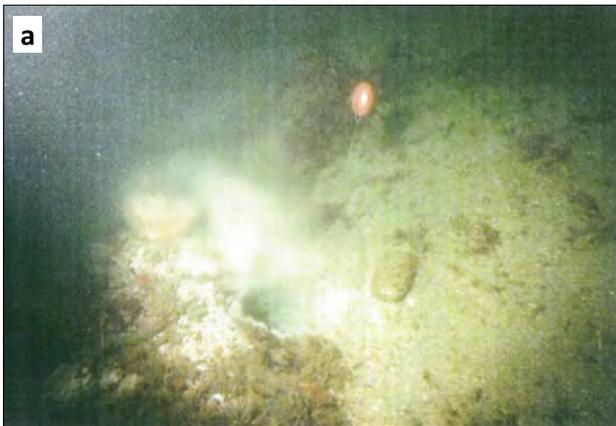
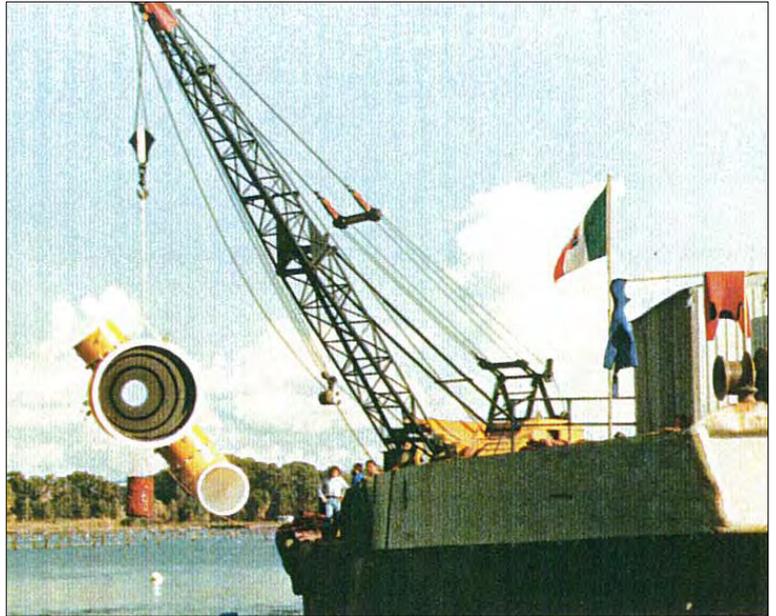


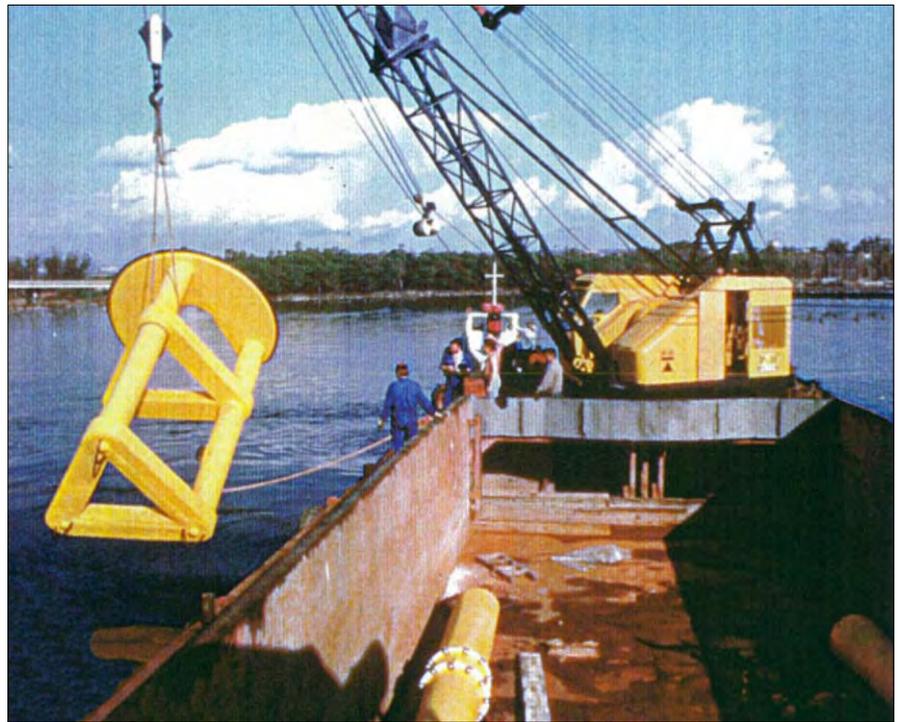
FOTO 24 a, b - Polla n. 42



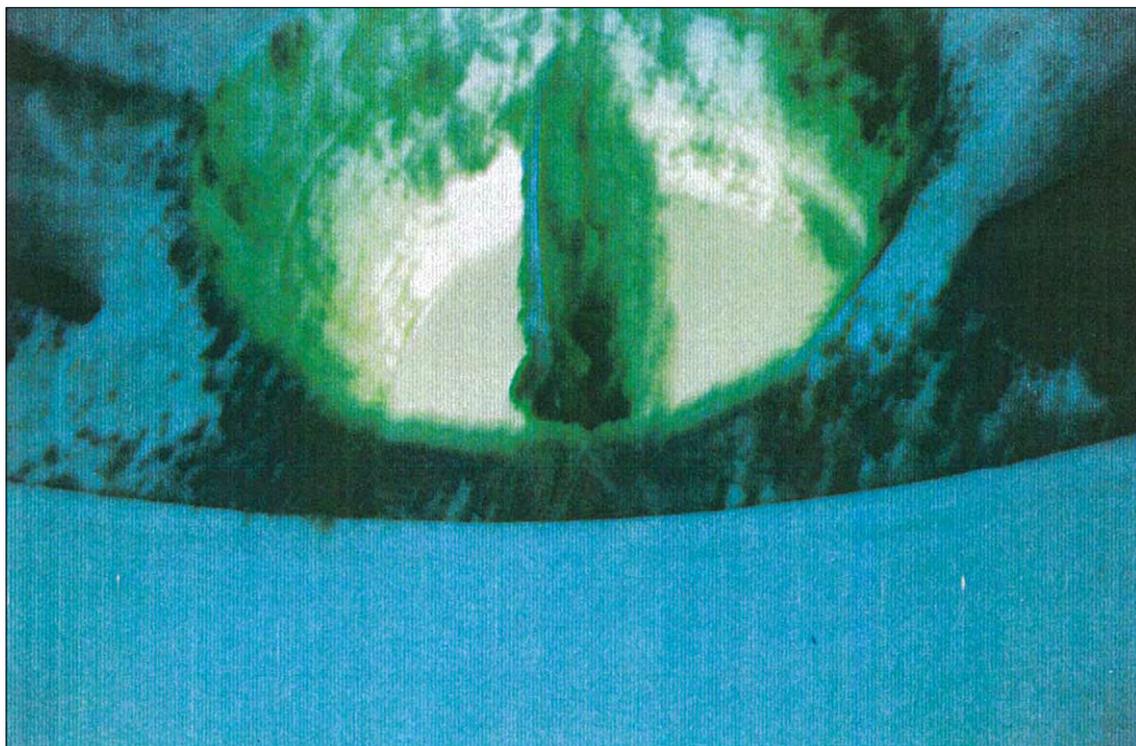
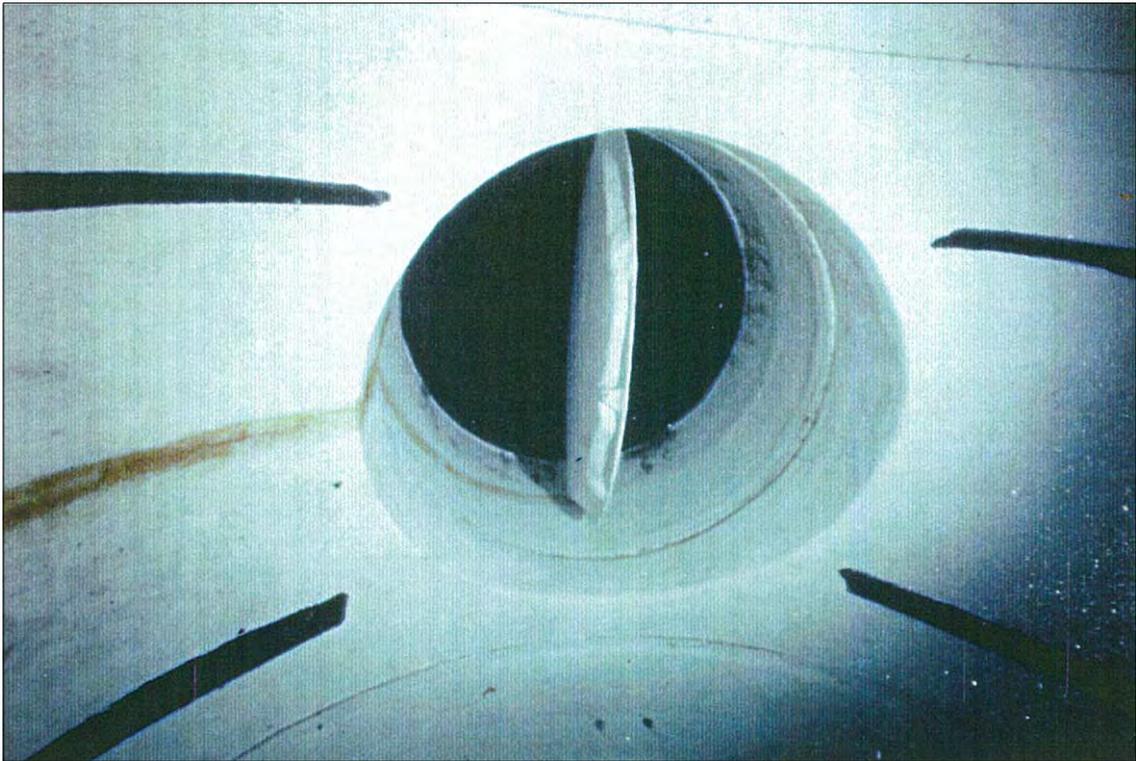
FOTO 25  
Scaturigine principale della sorgente Galeso sulla quale è stata realizzata l'opera di captazione



**FOTO 26**  
Fasi significative del varo della  
"Campana" in vetroresina e della  
colonna di adduzione



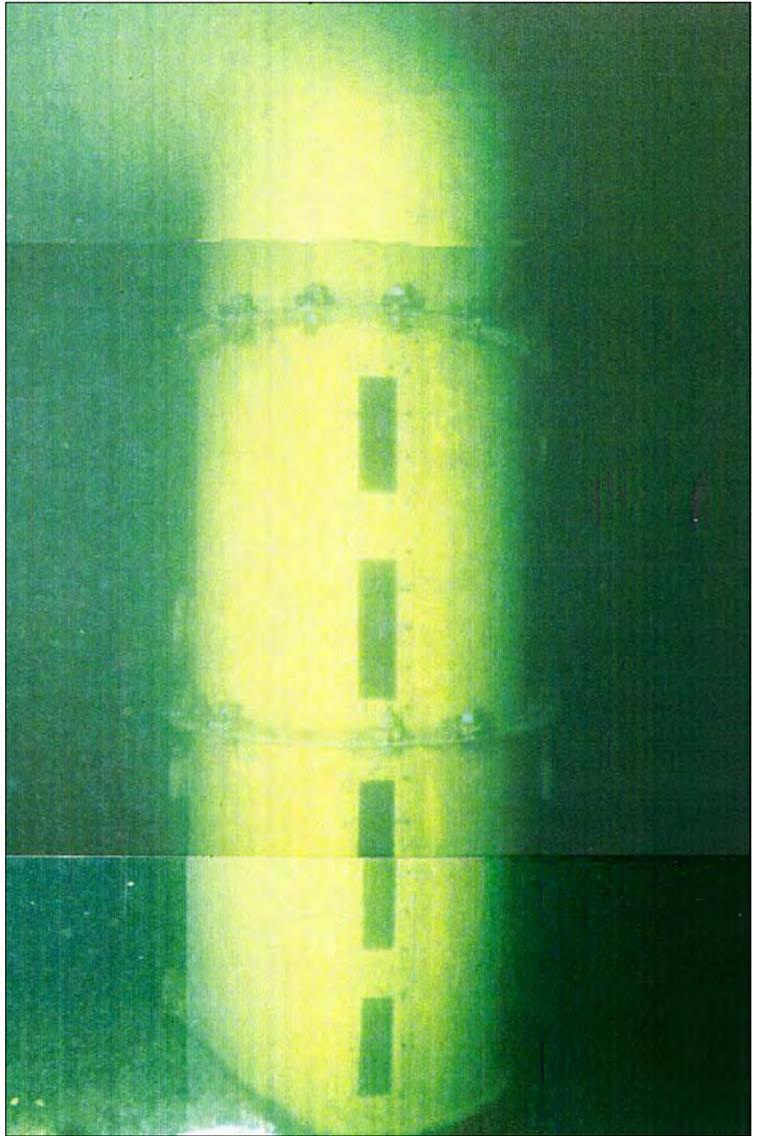
**FOTO 27**  
**Operazione di varo della**  
**piattaforma galleggiante**



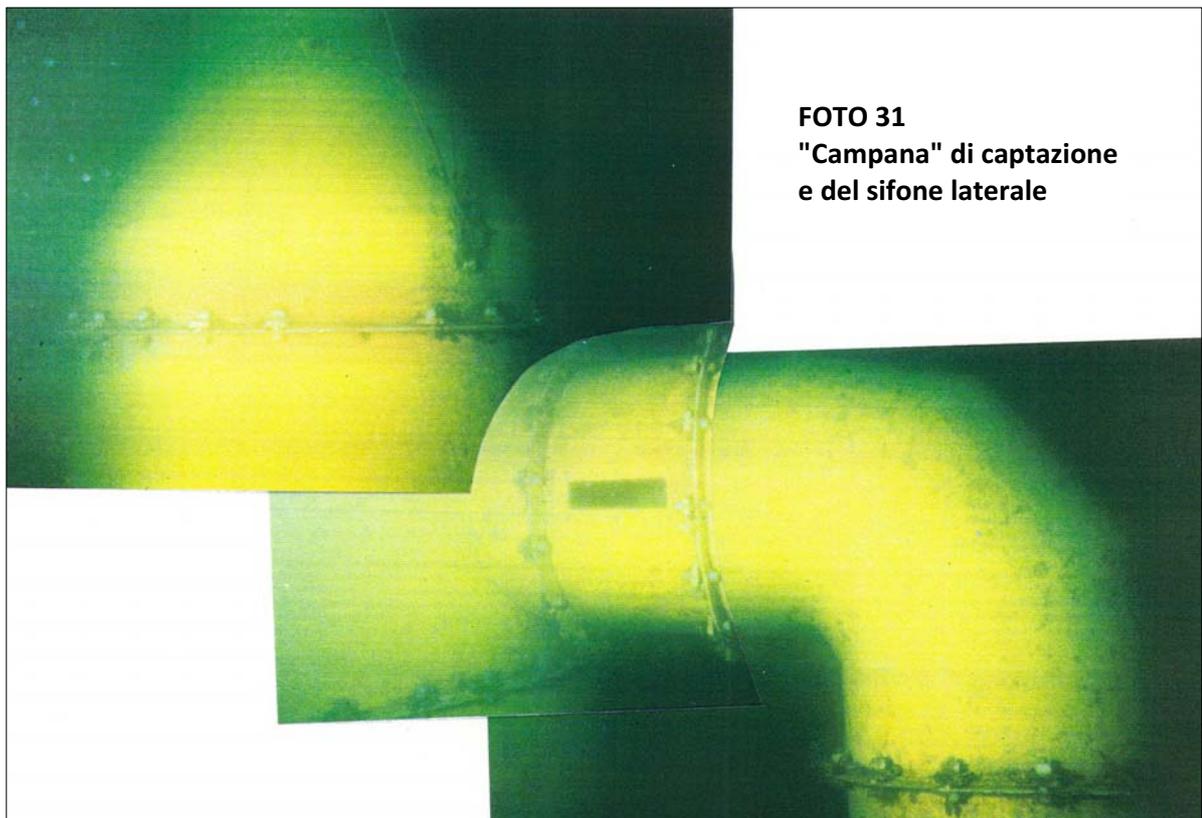
**FOTO 28**  
Valvola di sicurezza della campana all'atto del montaggio (a) e dopo qualche mese (b) chiaramente interessata dall'effetto fouling.



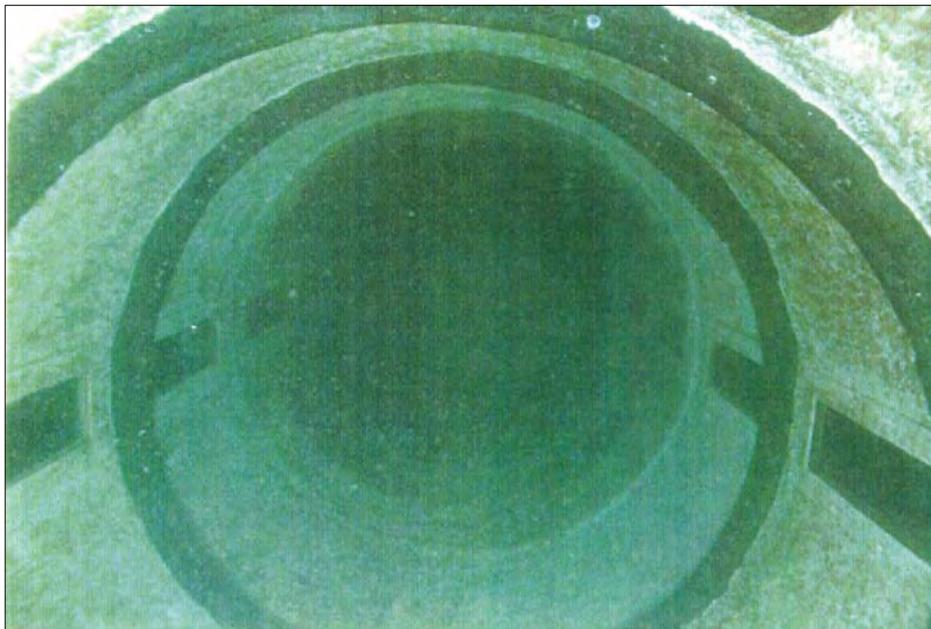
**FOTO 29**  
Parte inferiore del sifone; a sinistra, in cemento, il basamento di ancoraggio alla campana di captazione della polla principale



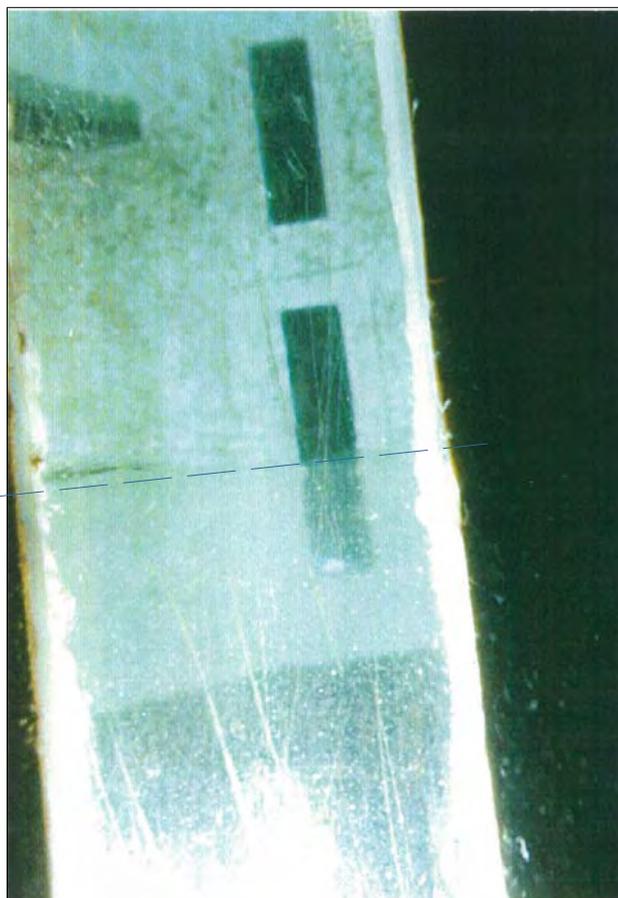
**FOTO 30**  
Particolare del sifone in vetroresina con le finestre di ispezione



**FOTO 31**  
"Campana" di captazione e del sifone laterale

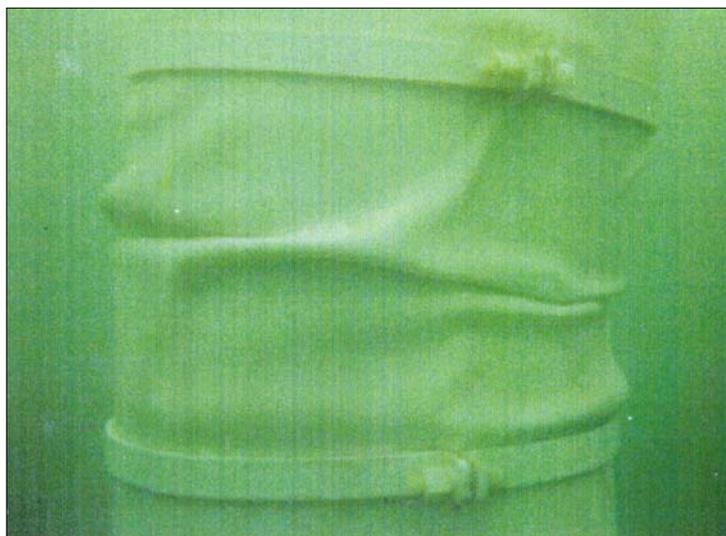


**FOTO 32**  
Vista dal basso dell'interno del sifone



**FOTO 33**  
interfaccia tra acqua dolce (nella parte alta) e  
quella salata ( in basso)

**FOTO 34**  
Giunto di collegamento tra la parte fissa  
della campana e il tubo di adduzione delle  
acque di superficie





**FOTO 35 - Sonda per la misurazione della temperatura e della salinità  
a) sensori senza protezione - b) con protezione dei sensori**

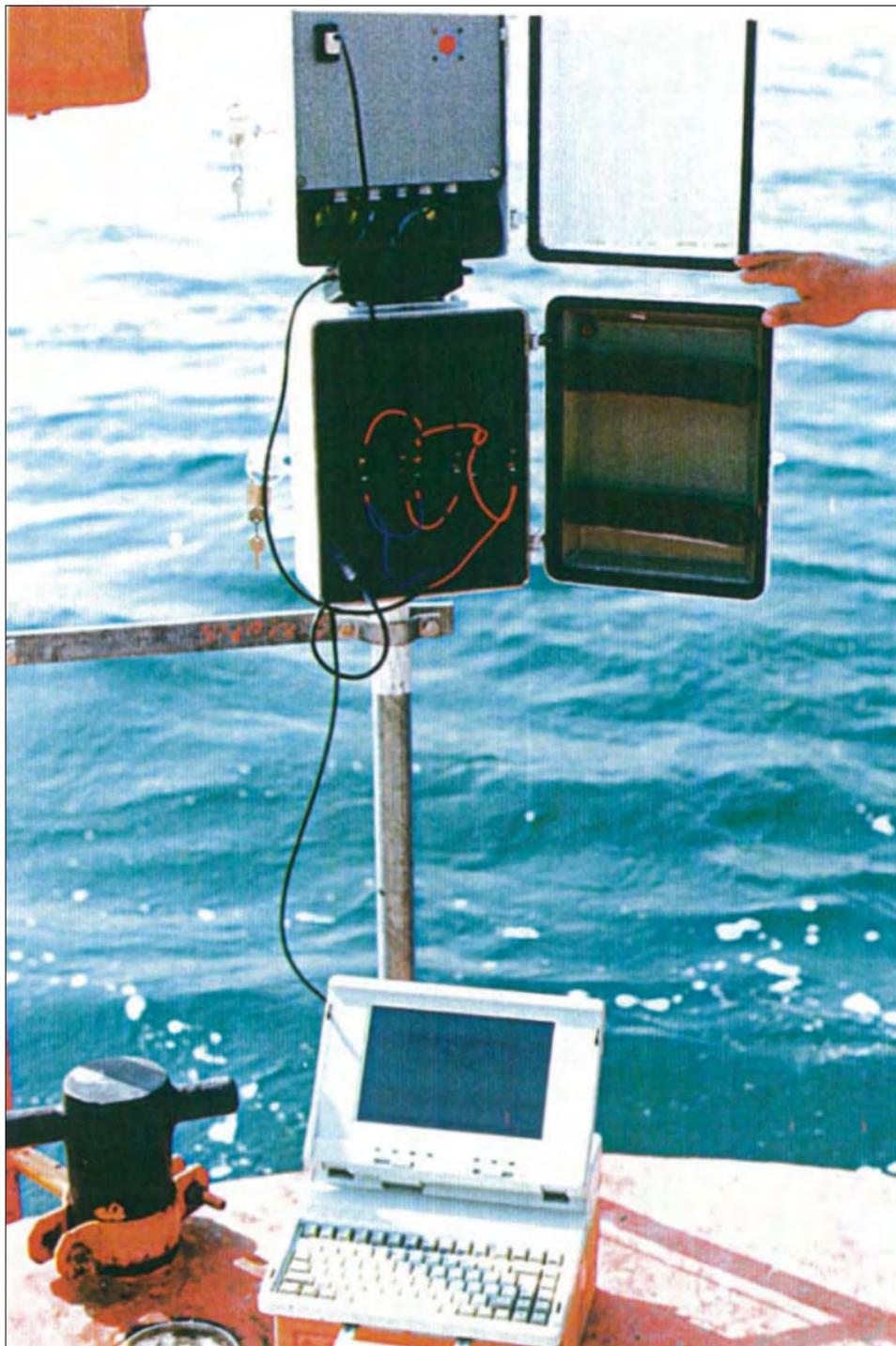


**FOTO 36 - Sonda per la misura della pressione**



**FOTO 37 -**  
Sistema automatico per l'acquisizione dei dati  
assemblato prima della posa in opera.  
In rosso la barra in pvc attrezzata con i sensori  
termici





**FOTO 38**

**Sistema automatico di acquisizione e immagazzinamento dati composto da una centralina fissa con alimentazione a batterie e da un computer portatile per il prelievo periodico dei dati**

## APPENDICE

*DESCRIZIONE DEI SISTEMI PER IL RILIEVO ACUSTICO CON  
SISTEMA UNIBOOM, SLIDE SCAN SONAR ED ECOGRAFO*

## APPENDICE

### *DESCRIZIONE DEI SISTEMI PER IL RILIEVO ACUSTICO CON SISTEMA UNIBOOM, SLIDE SCAN SONAR ED ECOGRAFO*

Di seguito si descrivono le attrezzature impiegate e le relative metodologie.  
I rilievi acustici sono stati effettuati con la seguente attrezzatura:

- Sistema UNIBOOM:
  - Unità di potenza EG&G mod. 234
  - Unità emettitrice EG&G mod. 230-1
  - Idrofono EG&G mod. 265.
  
  - Registratore grafico EPC mod. 3200
  - Registratore magnetico NAKAMICHI mod. 550
  - Sistema di elaborazione dei segnali UNIBOOM costituito da:
    - programmatore EPC mod. 1100
    - unità ritardi EPC mod. 1100
    - T.V.G. T.S.S. mod. 307
    - filtri KRHON-HITE mod. 3202 (R)
    - amplificatore RESET.
  
  - Sistema Side Scan Sonar della EG&G americana, mod. MARK 1B con cavo da m 50.
  - Ecografo ELAC LAZ 17 con apparato "sedimenti" per la individuazione di strutture sepolte.

L'energia elettrica è stata fornita da due distinti motogeneratori portatili, un R.I.R. da kw 5.8 per l'unità di potenza del sistema UNIBOOM, ed un KAWASAKI da kw 1.1 per la restante strumentazione.

- ***Sistema UNIBOOM:***

Il sistema UNIBOOM emette ritmicamente in superficie, a mezzo di una unità elettromeccanica energizzata a quasi 4.000 volts, un segnale acustico estremamente breve (inferiore al millisecondo) e di potenza massima di 300 Joules, i cui echi riflessi dal fondo e dalle strutture sottostanti sono captati in superficie da un idrofono. Tali echi sono restituiti su carta da uno speciale registratore grafico che, accoppiato a varie attrezzature elettroniche è in grado di riprodurre con grande precisione l'andamento del fondo e delle strutture sottostanti, sino alla profondità da cui riescono ad arrivare gli echi degli impulsi acustici di partenza.

Se opportunamente tarata ed impiegata, l'attrezzatura UNIBOOM è in grado di rilevare le strutture sepolte con un potere di risoluzione che spesso è migliore di 20 cm, e con una penetrazione che in condizioni ottimali, in sedimenti molto soffici, può arrivare a quasi 200 metri. Speciali tecniche ne consentono l'impiego con successo anche in acqua molto bassa (2-3 metri).

Nell'UNIBOOM gli impulsi acustici sono emessi da un trasduttore elettro-meccanico in cui un disco metallico viene violentemente respinto ed allontanato dal suo supporto, energizzato anch'esso dalla scarica di

condensatori. Un opportuno sistema di molle smorza i successivi movimenti in modo tale che ogni impulso acustico è formato solo da un singolo picco positivo di energia, da un successivo negativo, e da una piccolissima coda, subito smorzata. La durata complessiva del segnale (qualche microsecondo) è la più breve tra quelle degli strumenti in commercio e quindi assicura il massimo potere di risoluzione possibile. Le potenze in gioco sono di norma comprese tra i 100 ed i 300 Joules ed il numero degli impulsi al secondo è variabile tra 6 e 2, in relazione alla potenza impiegata.

- ***Sistema Side Scan Sonar***

Il Side Scan Sonar impiegato è in pratica un ecografo panoramico ad alta frequenza (100 khz) in grado di fornire una rappresentazione del fondo marino analoga alle aerofotografie in campo terrestre. Il Side Scan Sonar, nato come strumento bellico per la individuazione di sommergibili, mine, ecc., è in grado di evidenziare anche piccole caratteristiche morfologiche dei fondali, quali massi affioranti, impronte di corrente, variazioni macroscopiche nella granulometria dei sedimenti, praterie di fanerogame marine (Posidonia, Zostera, ecc.) ed altri biotipi. E' inoltre particolarmente indicato per la individuazione ed il rilievo di manufatti sommersi.

Il Side Scan Sonar è composto da due unità, una di superficie comprendente il registratore grafico e parte dell'elettronica ed una seconda che viene trainata in immersione a poca distanza dal fondo, a mezzo di uno speciale cavo elettrico armato, a più conduttori.

L'unità subacquea comprende i trasduttori, che emettono e ricevono gli impulsi acustici, e l'elettronica indispensabile al loro pilotaggio ed alla trasmissione dei dati al registratore grafico a bordo. Lo strumento emette l'impulso acustico nel piano verticale, in tutte le direzioni, con un angolo di apertura minimo, di circa un grado. Gli echi ricevuti provengono pertanto sia dal fondo che dalla massa d'acqua e dalla superficie.

L'indagine acustica viene riprodotta in tempo reale dal registratore grafico ed è formata, analogamente a quella che appare su di uno schermo televisivo, da una successione di righe formate da singoli punti, ciascuna delle quali è la rappresentazione degli echi prodotti da un singolo impulso. Le immagini ottenute rappresentano il fondo marino a destra ed a sinistra del percorso effettuato dal mezzo nautico; la separazione dell'immagine in due parti, lato a dritta ed a sinistra, è dovuta al tipo di registratore grafico impiegato, che nel nostro caso non consente la costruzione grafica di una unica immagine.

Pertanto la zona bianca al centro è una semplice separazione dei due canali dello strumento, senza perdita effettiva di immagine verticale. L'immagine prodotta dal registratore è di tipo negativo, in cui l'intensità del segno è proporzionale all'intensità dell'eco riflesso. L'interpretazione delle immagini si basa sulla forma e sulla intensità degli echi, unitamente alla presenza od all'assenza ed alla forma delle ombre acustiche.

L'ampiezza massima della striscia di fondo esplorabile dipende essenzialmente dal tipo di frequenza di emissione dei trasduttori.

- ***Ecografo ELAC LAZ 17***

L'Ecografo ELAC LAZ 17 impiegato nei rilievi è uno strumento di precisione a 30 khz con dispositivo di taratura degli ecogrammi in funzione della velocità degli impulsi sonori in acqua, e pertanto è in grado di fornire misure e profili corretti sia in acqua marina che salmastra e dolce; è noto infatti che in tali ambienti la velocità può variare in funzione della salinità e della temperatura, da un massimo di circa 1540 m ad un minimo di 1410 m al secondo. Detto strumento ha inoltre uno speciale dispositivo "sediment" di elaborazione dei segnali che consente di rilevare, in presenza di sedimenti fini, le principali strutture sepolte sino a vari metri di profondità.

I rilievi sono stati eseguiti con un motoscafo cabinato impiegando simultaneamente sia l'UNIBOOM che il Side Scan Sonar e l'ecografo; grazie ad una speciale tecnica è stato possibile evitare o minimizzare i classici fenomeni di interferenza, sia acustica che elettrica, che di norma ne impediscono l'utilizzo contemporaneo.

E' evidente l'importanza di poter operare simultaneamente con i tre strumenti, poichè significa poter disporre di informazioni diverse ma sinergiche lungo uno stesso tracciato. Infatti molti motivi morfologici superficiali (rilevabili con il Side Scan Sonar) trovano spiegazione e corretta interpretazione nell'individuazione delle strutture immediatamente sottostanti e sepolte (rilevabili con l'UNIBOOM); tali correlazioni sono evidentemente possibili solo se gli strumenti effettuano il rilievo seguendo esattamente lo stesso percorso.

Il catamarano dell'UNIBOOM è stato trainato sulla dritta e l'idrofono sulla sinistra; il "pesce" del Side Scan Sonar è stato appennellato ad un "buttafuori" in tubo di acciaio fissato a prua, e mantenuto subito sotto il pelo dell'acqua. Il trasduttore dell'ecografo è stato montato sul lato sinistro del mezzo nautico, ed opportunamente rizzato. I generatori sono stati installati nel pozzetto di poppa, mentre la restante strumentazione ha trovato posto nella capace cabina. I rilievi sono stati spesso ostacolati dalla presenza di ostacoli fissi, quali le coltivazioni dei mitili, che in alcune aree non hanno consentito il passaggio. In particolare nel II seno i rilievi sono stati ristretti alla zona centrale sia per il bassissimo fondale caratteristico dei margini a Sud e ad Est, che per la coltivazioni di mitili della zona Nord. Inoltre la presenza di numerose boe di segnalazione ha limitato le operazioni anche nella zona dei cantieri di Buffoluto.

Il rilievo UNIBOOM è stato effettuato alla scala di 1/8 di secondo, con potenza di emissione di 300 Joules e due impulsi al secondo. Una particolare tecnica operativa ha consentito di limitare al massimo e quasi sempre annullare l'effetto delle multiple (echi di secondo, terzo, ecc. ordine) che venendo a sovrapporsi sulla registrazione impediscono di norma la corretta interpretazione dei sonogrammi, specie se il rilievo, come nel nostro caso, è stato effettuato con tiranti d'acqua molto limitati.

Il tipo di mezzo nautico impiegato ha consentito per motivi di sicurezza di effettuare i rilievi solo nelle zone libere da ostacoli (nei quali il catamarano e l'idrofono UNIBOOM avrebbero potuto impigliarsi), e con profondità superiori ai 4 m. Pertanto i dati raccolti non comprendono le zone più sotto costa e quelle con ostacoli alla navigazione. I profili batimetrici hanno confermato sostanzialmente i dati della carta nautica del Mar Piccolo (Istituto Idrografico della Marina), e pertanto non sono stati restituiti in una carta batimetrica, che non avrebbe apportato alcun nuovo dato significativo o comunque interpretativo. Un eventuale rilievo batimetrico di dettaglio potrebbe essere effettuato solo con un battellino piccolissimo e di pescaggio adeguato. Sulle registrazioni UNIBOOM è stata segnata in metri la scala grafica verticale. I valori sono stati corretti al calcolatore in base alla geometria acustica del sistema grazie ad uno speciale programma.

Alla velocità degli impulsi acustici nei vari mezzi attraversati sono stati attribuiti i seguenti valori:

- acqua marina	1.500 m/s
- fanghi recenti	1.505 ÷ 1.515 m/s
- terreni del Calabriano-Siciliano	1.515 ÷ 1.525 m/s.

Nelle fotografie che seguono sono illustrate e commentate le fasi operative più significative.

La figura A.1 indica le rotte seguite per l'effettuazione dei rilievi

Nelle successive figure (A.2 – A .11) vengono riportati, in forma ridotta, i grafici relativi alle registrazioni effettuate lungo le rotte sono indicate in figura A.1

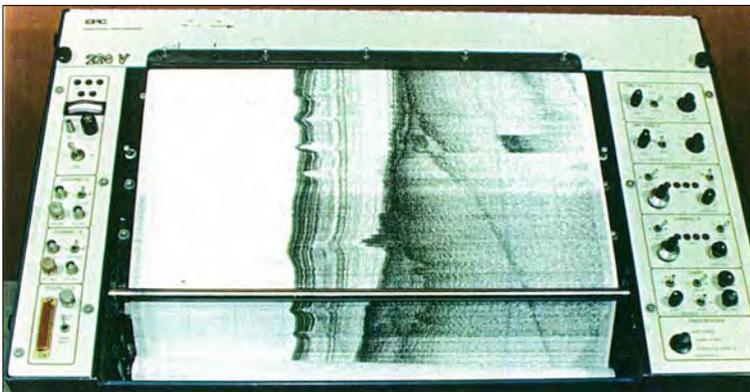
Le figg. A.12 - A.14 riportano le ricostruzioni planimetriche e assonometriche ottenute elaborando i dati acquisiti con i rilievi effettuati.



L'apparato emettitore del sistema UNIBOM è mantenuto in superficie da un piccolo catamarano in vetroresina qui ripreso al traino del mezzo nautico



I segnali acustici dell'UNIBOM provenienti dal fondo e dal sottofondo sono captati da un idrofono, che qui vediamo flottare in superficie



I sonogrammi UNIBOOM sono stati registrati su carta per mezzo di un EPC 3200, registratore grafico di alta precisione, che qui vediamo in una immagine di archivio.



Prima di venire restituiti su carta, i segnali raccolti dall'idrofono vengono elaborati da un complesso sistema elettronico, qui ripreso durante i rilievi



Il complesso registratore grafico a due canali del Side Scan Sonar EG&G, qui ripreso durante le operazioni di controllo e manutenzione, utilizza speciale carta sensibile elettrochimica. Sulla destra si noti il complesso sistema di regolazione dell'elettronica, protetto da un piccolo portello.



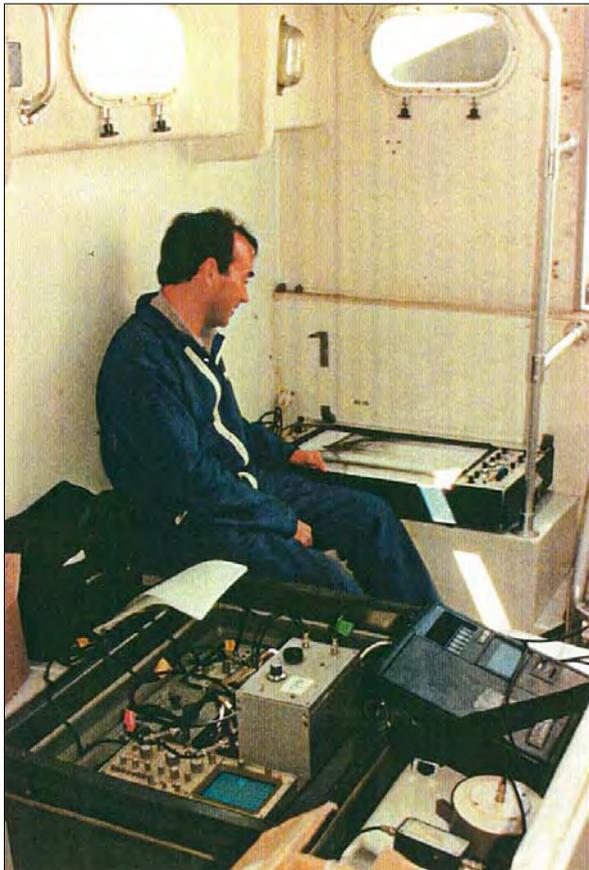
Immagine d'archivio del contenitore stagno idrodinamico che racchiude i dispositivi di emissione e ricezione degli impulsi del Side Scan Sonar, che viene operativamente trainato in prossimità del fondo.



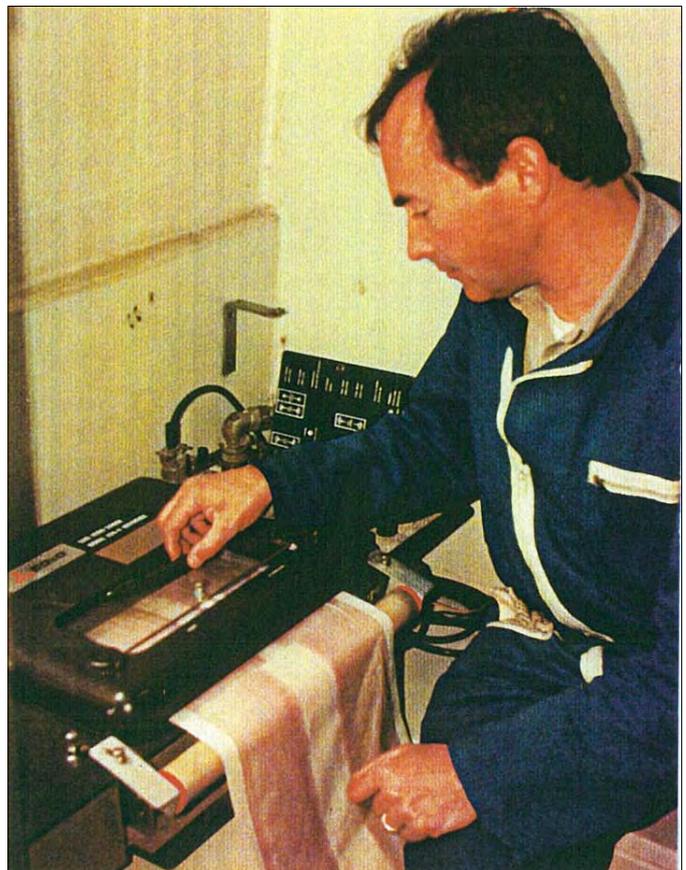
Il tecnico annota la registrazione sull'ecografo di precisione ELAC LAZ 17, qui ripreso durante i rilievi, entro la cabina del mezzo nautico.



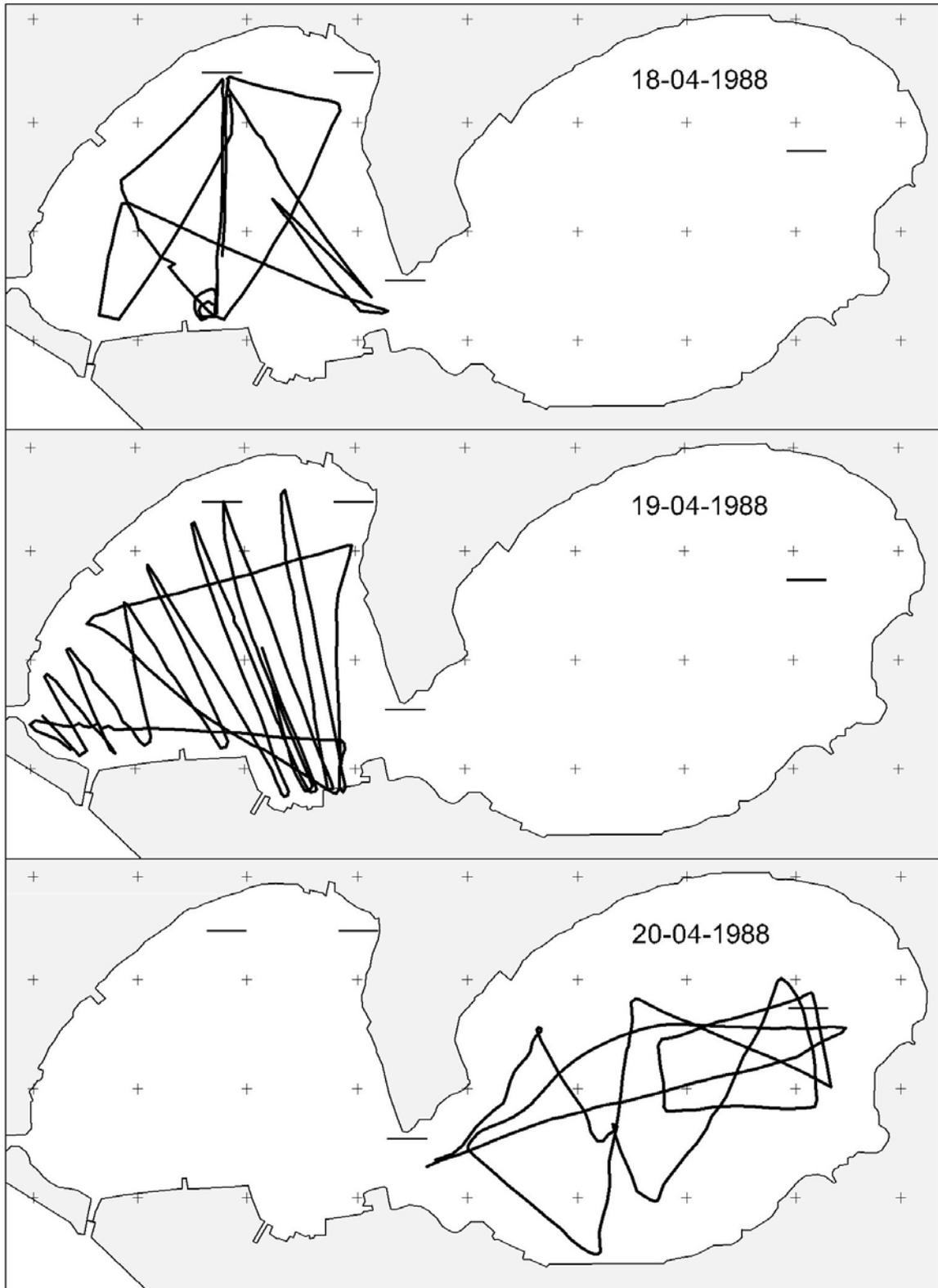
La strumentazione elettronica di elaborazione e registrazione dei sonogrammi è stata installata nell'ampia cabina del mezzo nautico messo a disposizione dalla Marina Militare. Sulla sinistra si nota il registratore EPC 3200 mentre a destra il tecnico controlla il funzionamento del Side Scan Sonar.



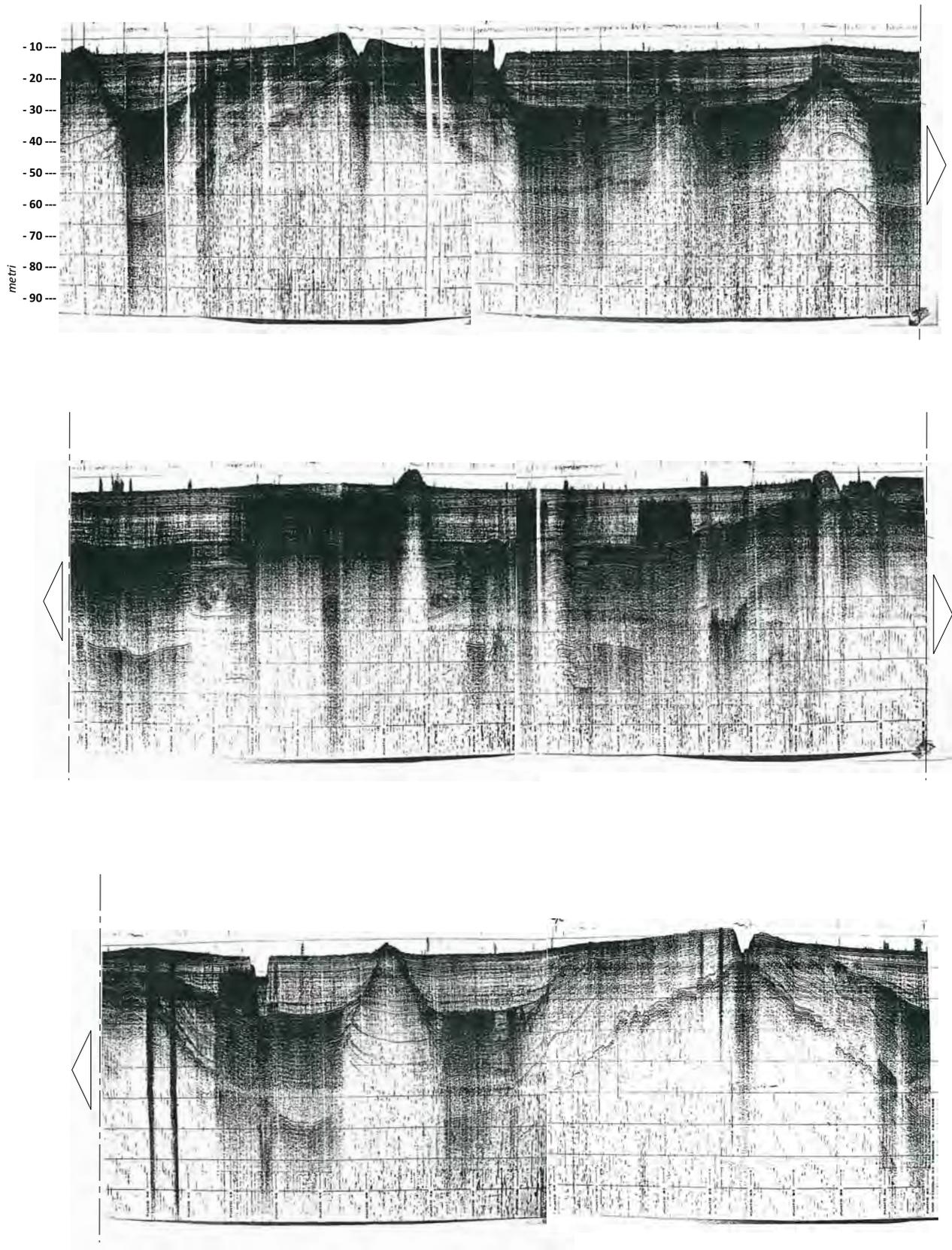
L'ampia cabina del mezzo nautico era priva di qualsiasi piano di lavoro, si è ricorso, quindi, ad una installazione di fortuna di tutta la strumentazione. In primo piano si può notare il sistema di elaborazione dati ed il registratore magnetico Nakamichi, mentre il tecnico osserva le registrazioni UNIBOOM



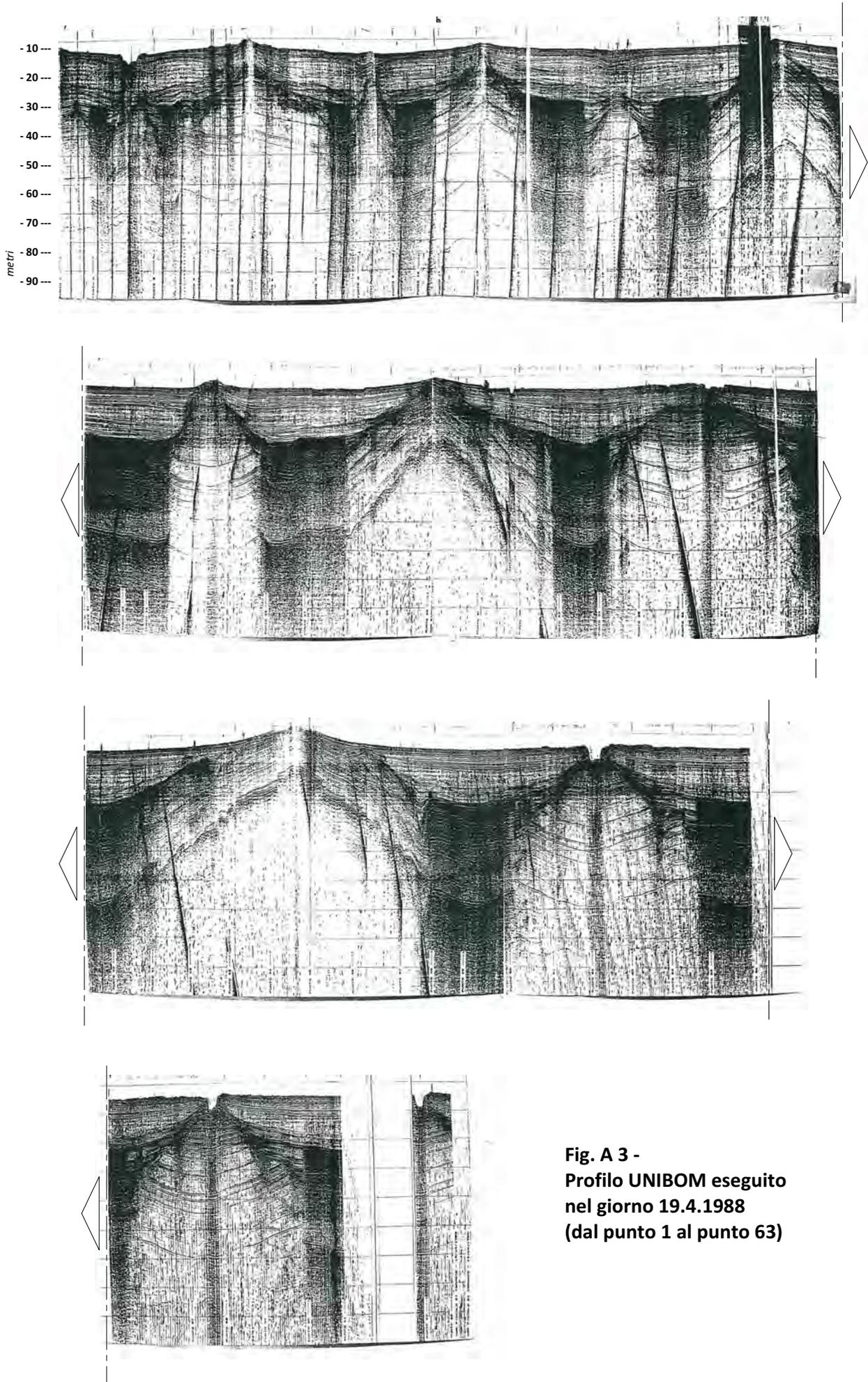
Il tecnico controlla il funzionamento grafico a due canali del Side Scan Sonar, qui ripreso durante i lavori.



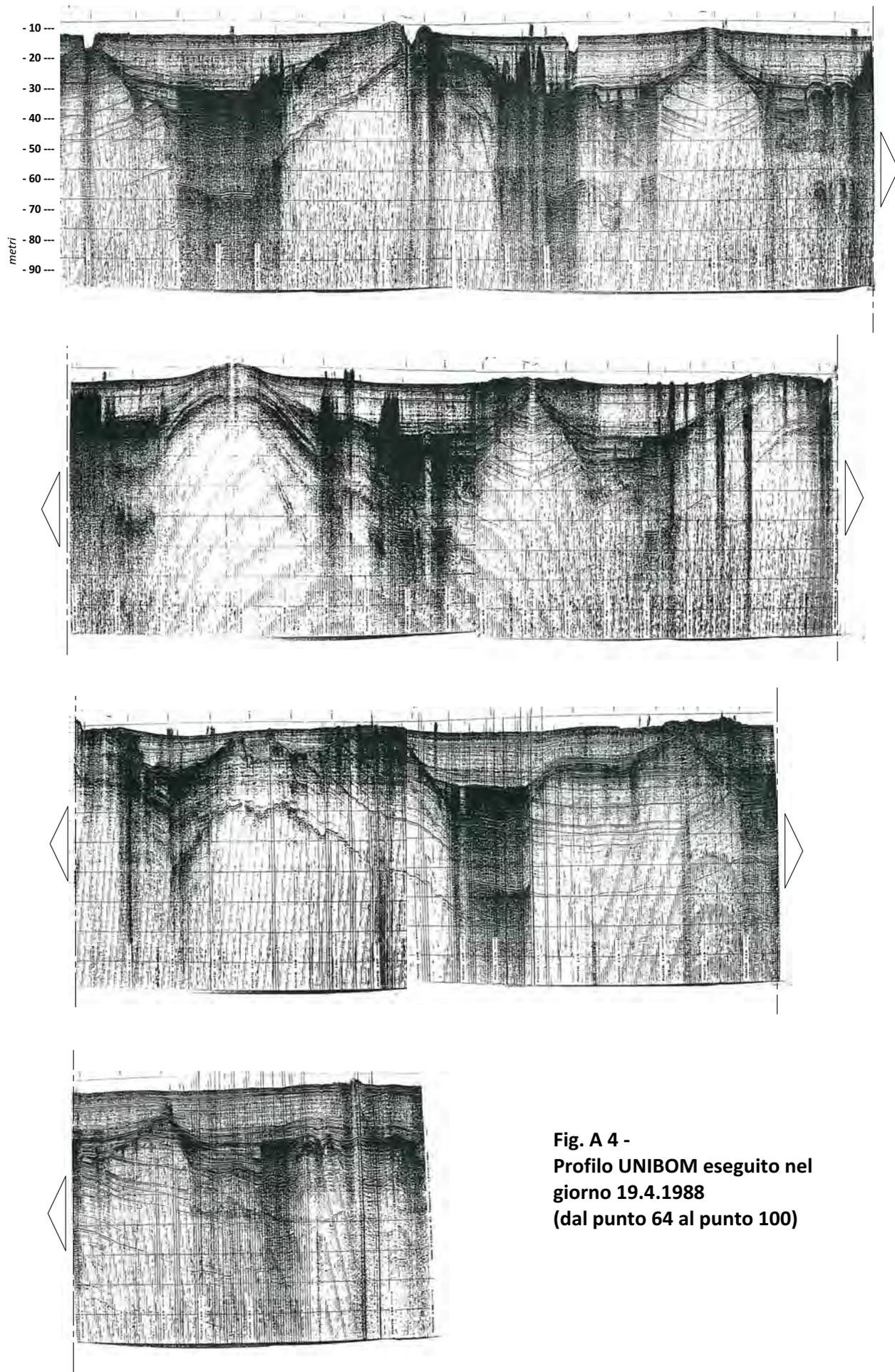
**FIG. A1 - Carta delle rotte seguite per l'effettuazione dei rilievi UNIBOOM, Side Scan Sonar ed ecografici**



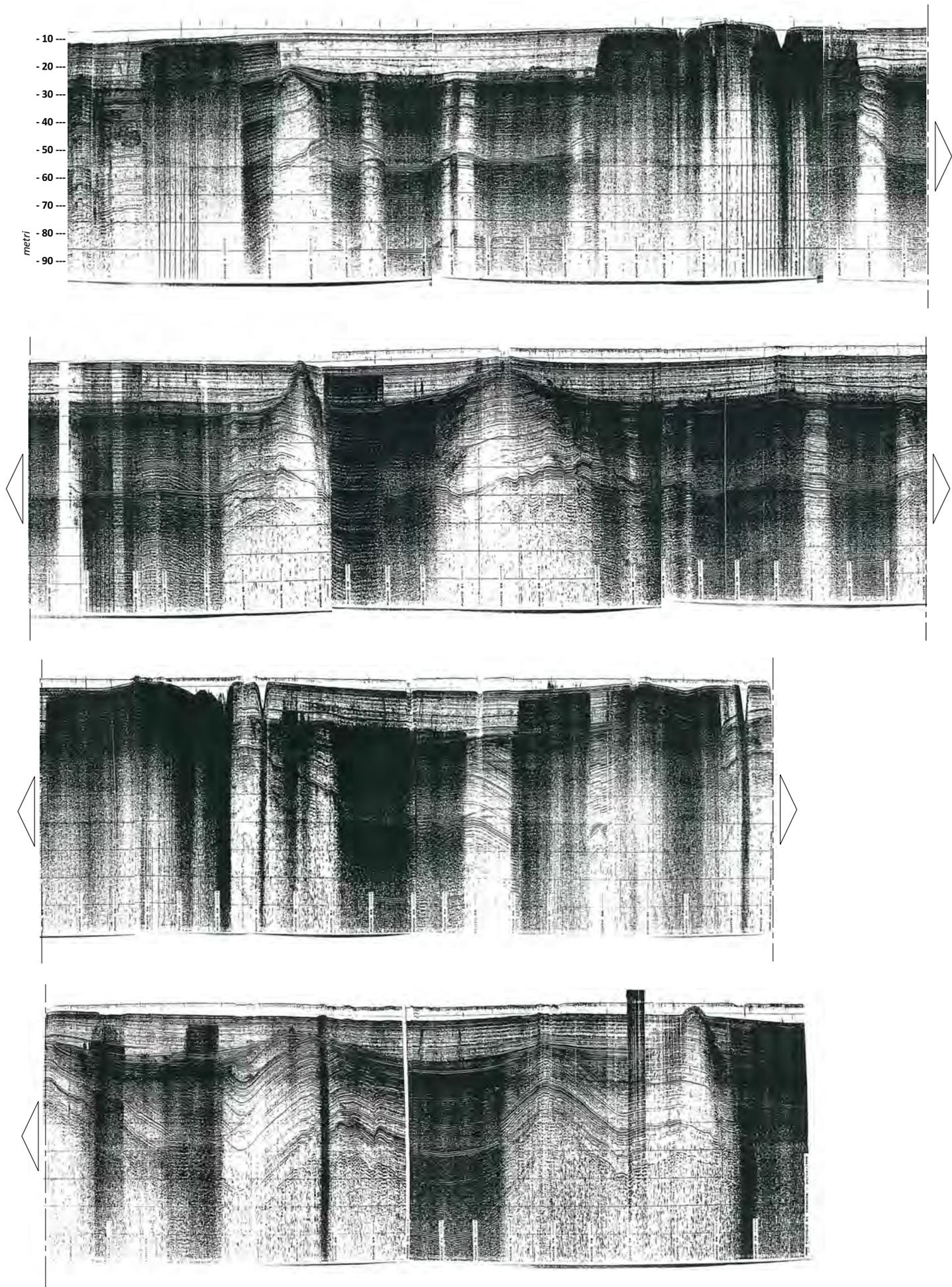
**Fig. A. 2 - Profilo UNIBOM eseguito nel giorno 18.4.1988 (dal punto 1 al punto 57)**



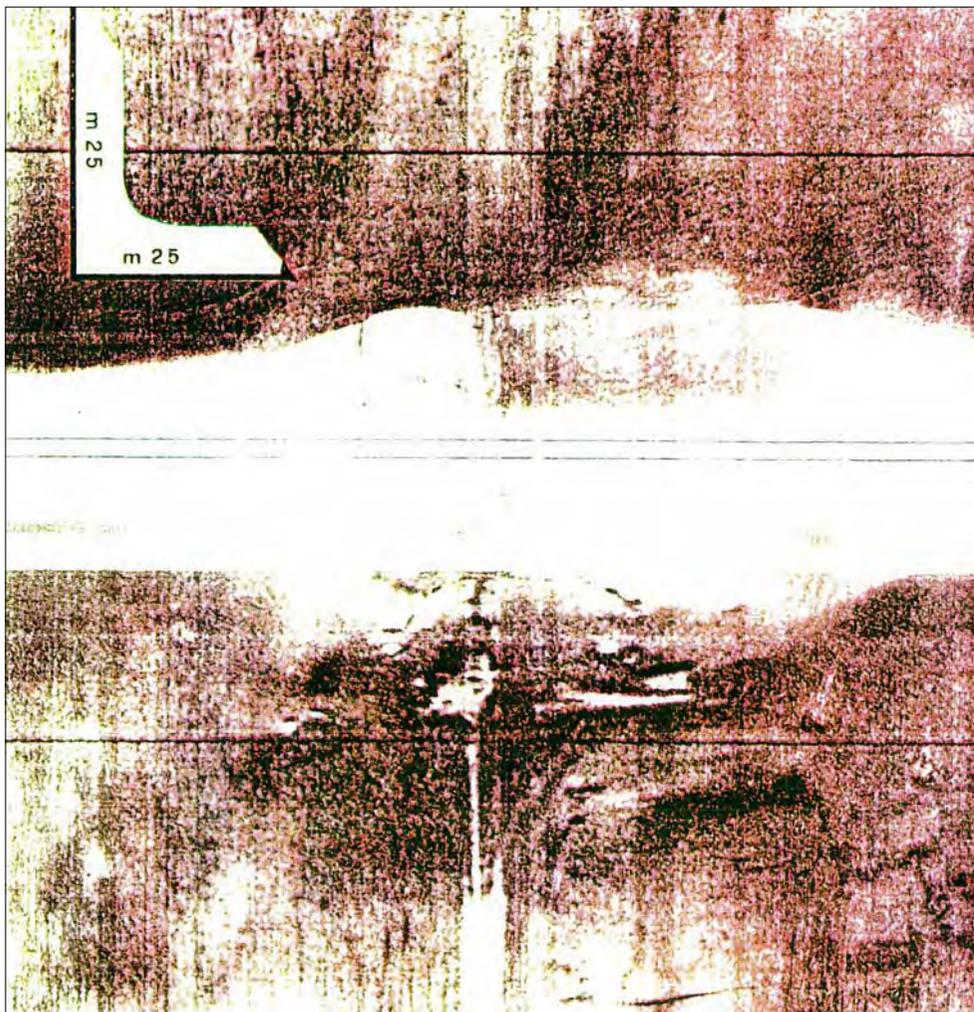
**Fig. A 3 -  
Profilo UNIBOM eseguito  
nel giorno 19.4.1988  
(dal punto 1 al punto 63)**



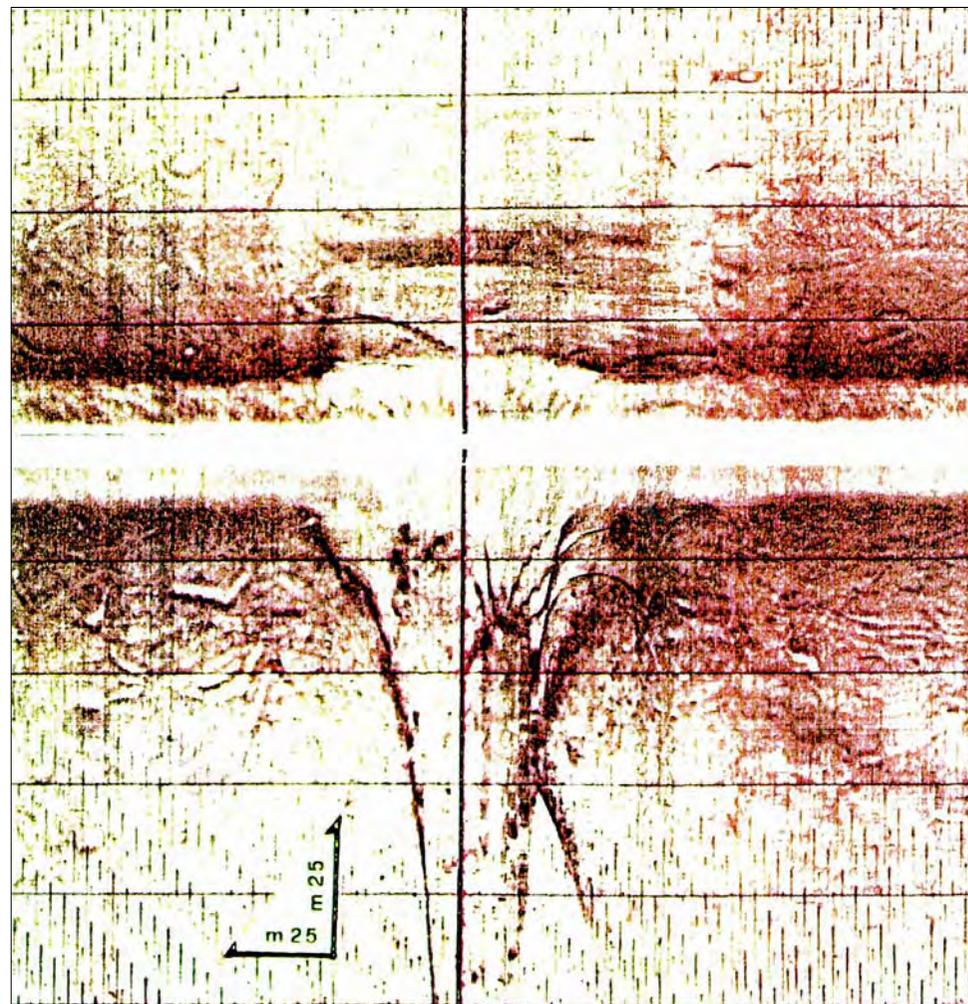
**Fig. A 4 -  
Profilo UNIBOM eseguito nel  
giorno 19.4.1988  
(dal punto 64 al punto 100)**



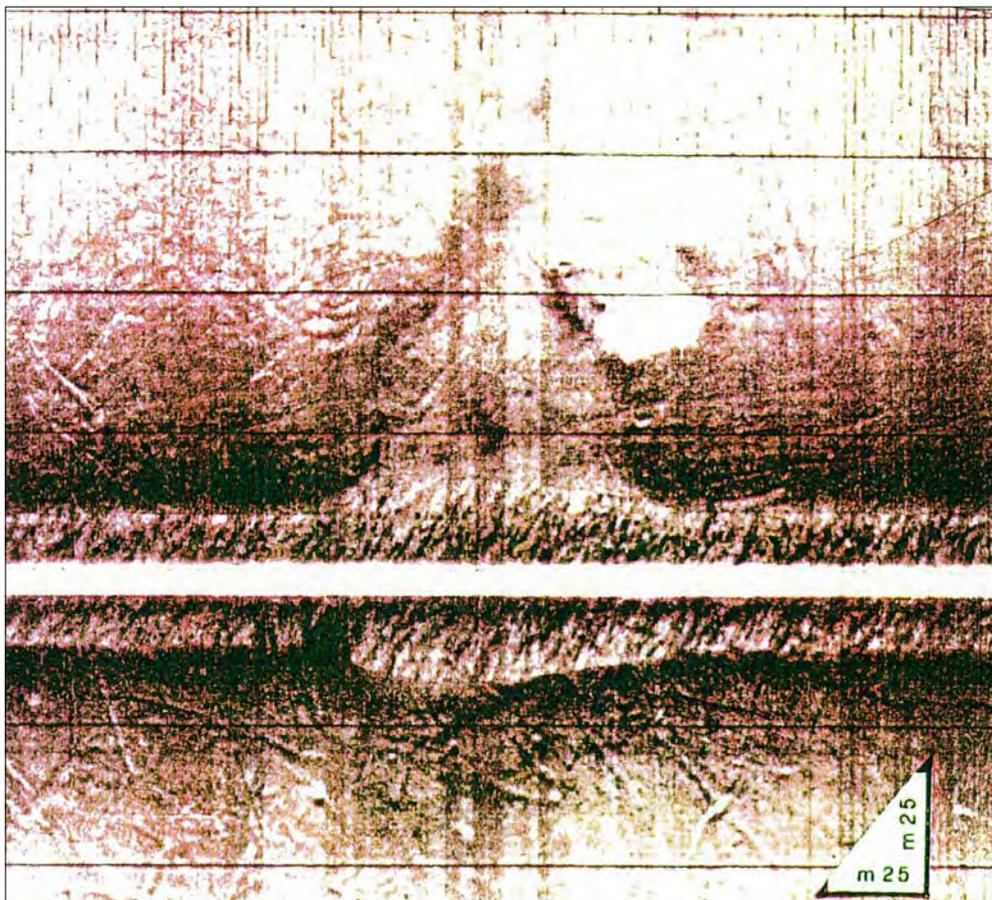
**Fig. A 5 - Profilo UNIBOM eseguito nel giorno 20.4.1988 (dal punto 1 a 79 )**



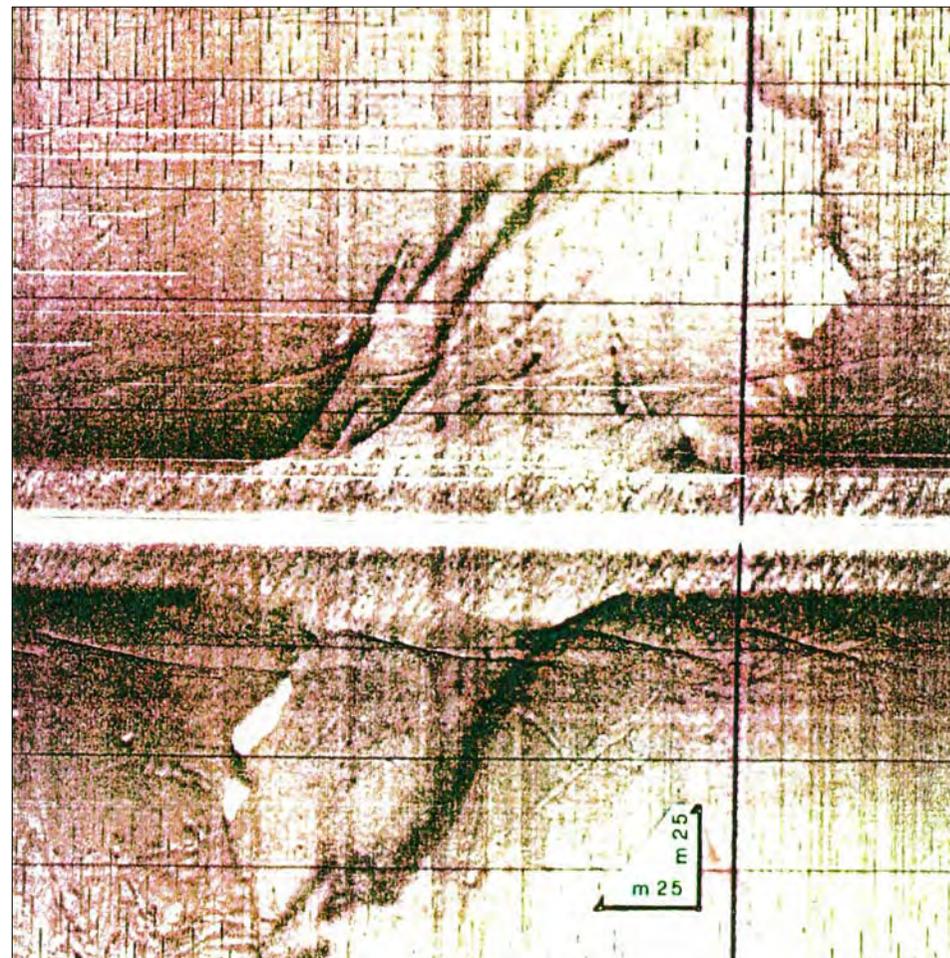
**Fig. A 6 -**  
 Immagine Side Scan Sonar (azimutale) del fondo marino in corrispondenza alla scaturigine del Citro Galeoso. Si possono riconoscere: la depressione entro cui giace la sorgente, corpi morti di ancoraggio, la campana di captazione con la sua ombra acustica, l'ombra della tubazione di adduzione alla superficie e della boa e l'ombra di uno dei cavi di ancoraggio. La striscia bianca centrale corrisponde al percorso del mezzo nautico e separa, senza perdita di copertura del fondo, il canale destro da quello sinistro.



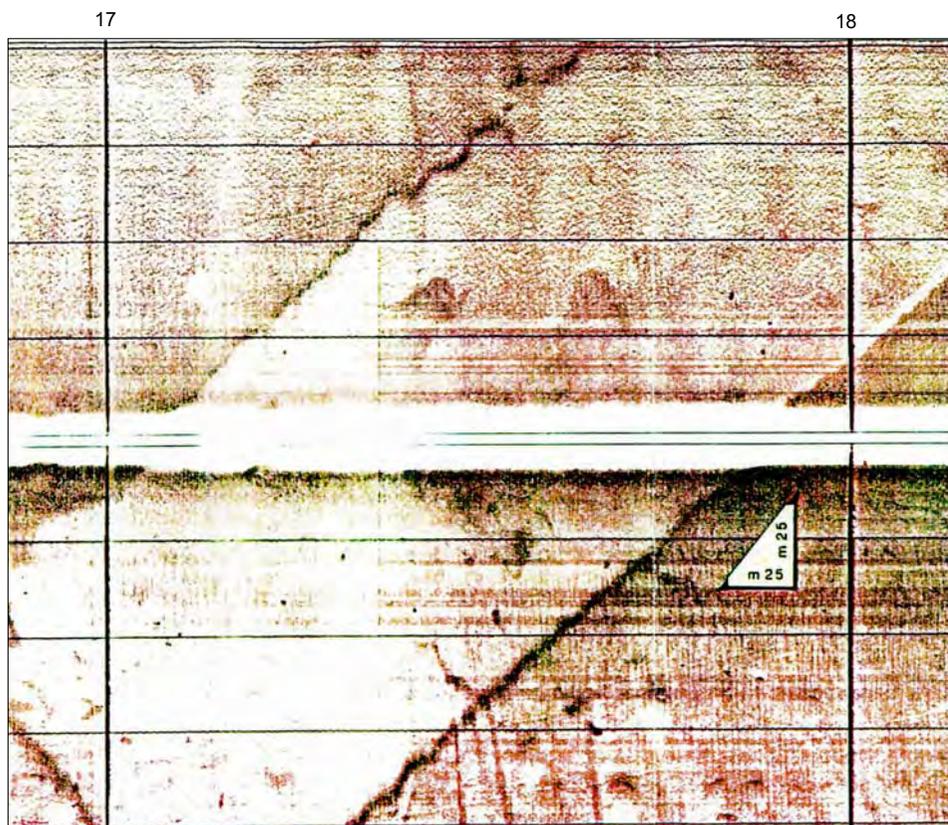
**Fig. A 7 -**  
 Immagine Side Scan Sonar (azimutale) del fondo marino in corrispondenza ad una piccola depressione di forma regolare, localizzata all'imboccatura dei bacini galleggianti di drenaggio dell'Arsenale Militare. Si noti (in alto) la depressione dovuta al drenaggio, alcuni cavi di ormeggio disposti a raggiera e le impronte lasciate sul fondo da alcune ancore. La striscia bianca centrale corrisponde al percorso nel mezzo nautico e separa, senza perdita di copertura del fondo, il canale destro da quello sinistro.



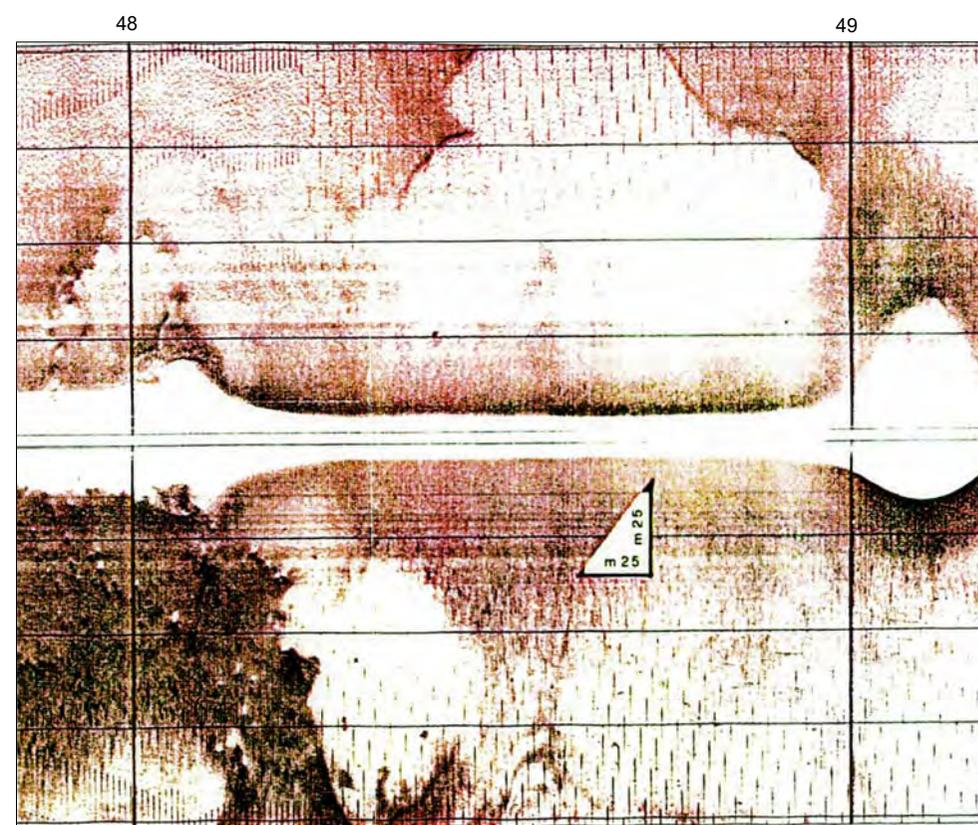
**Fig. A 8 -**  
 Immagine Side Scan Sonar (azimutale) del fondo marino in corrispondenza ad una modesta depressione, di forma irregolare, localizzata nel 1° Seno. Essa portrebbe venire interpretata come la scaturigine di una polla inaridita o intermittente, senza evidente manifestazione superficiale, ma la notevole profondità alla quale risulta sepolto il tetto del calcare, induce a considerare con riserva tale ipotesi. Numerose impronte di ancore segnano ovunque il fondale. La striscia bianca centrale corrisponde al percorso del mezzo nautico e separa, senza perdita di copertura del fondo, il canale destro da quello sinistro.



**Fig. A 9 -**  
 Immagine Side Scan Sonar (azimutale) del fondo marino nell'intorno del punto 43 ( 1° Seno). Si nota la modesta depressione di forma rettangolare, profonda qualche metro. L'assenza di disturbi tettonici, la ripidità dei bordi e la forma regolare suggeriscono debba trattarsi di una zona dragata. Le piccole macchioline scure al fondo della depressione indicano la presenza di piccoli manufatti, quasi certamente carpenteria metallica, probabilmente persa in mare. La striscia bianca centrale corrisponde al percorso del mezzo nautico e separa, senza perdita di copertura del fondo, il canale destro da quello sinistro.



**Fig. A 10-**  
 Immagine Side Scan Sonar (azimutale) del fondo marino nell'intorno del punto 18 (II° Seno). Si nota una modesta depressione di forma rettangolare, profonda qualche metro. L'assenza di disturbi tettonici, la ripidità dei bordi e la forma rettangolare suggeriscono debba trattarsi di una zona dragata. La striscia bianca centrale corrisponde al percorso del mezzo nautico e separa, senza perdita di copertura del fondo, il canale destro da quello sinistro.



**Fig. A 11-**  
 Immagine Side Scan Sonar (azimutale) del fondo marino nell'intorno del punto 48, nel II° Seno. Si noti come il fianco sinistro della depressione mostri una superficie molto irregolare e sia presente anche una nicchia di distacco. Grazie anche ai profili UNIBOOM è stato riconosciuto possa trattarsi di un modesto smottamento di fango, colato verso la scaturigine di un citro. Sulla destra si nota la depressione imbutiforme di un citro con al centro la traccia della scaturigine. La striscia bianca centrale corrisponde al percorso del mezzo nautico e separa, senza perdita di copertura del fondo, il canale destro da quello sinistro.

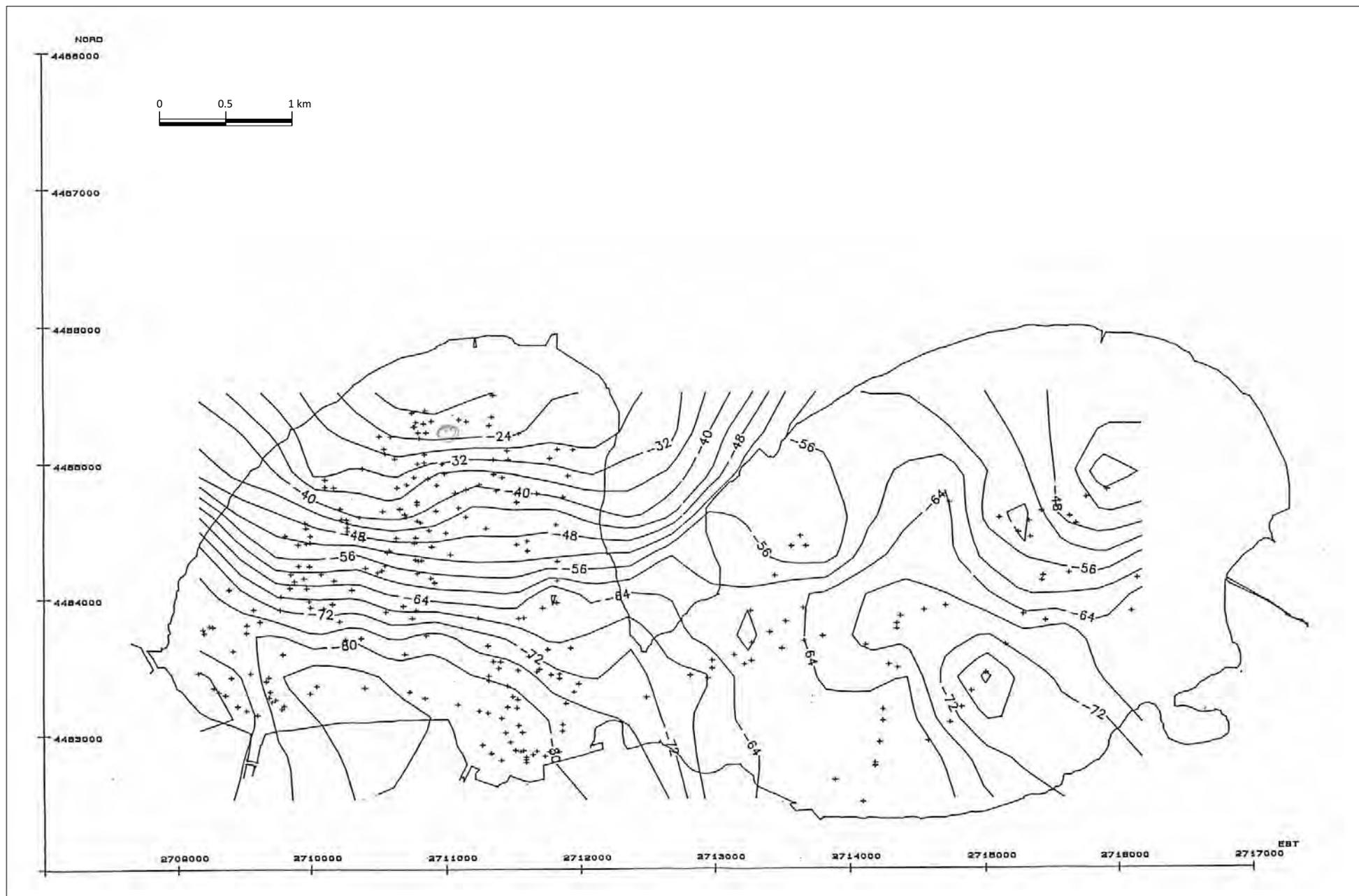


Fig. A 12 - Plottaggio dei punti di misura delle profondità del tetto del calcare e relative isopache tracciate in automatico al calcolatore

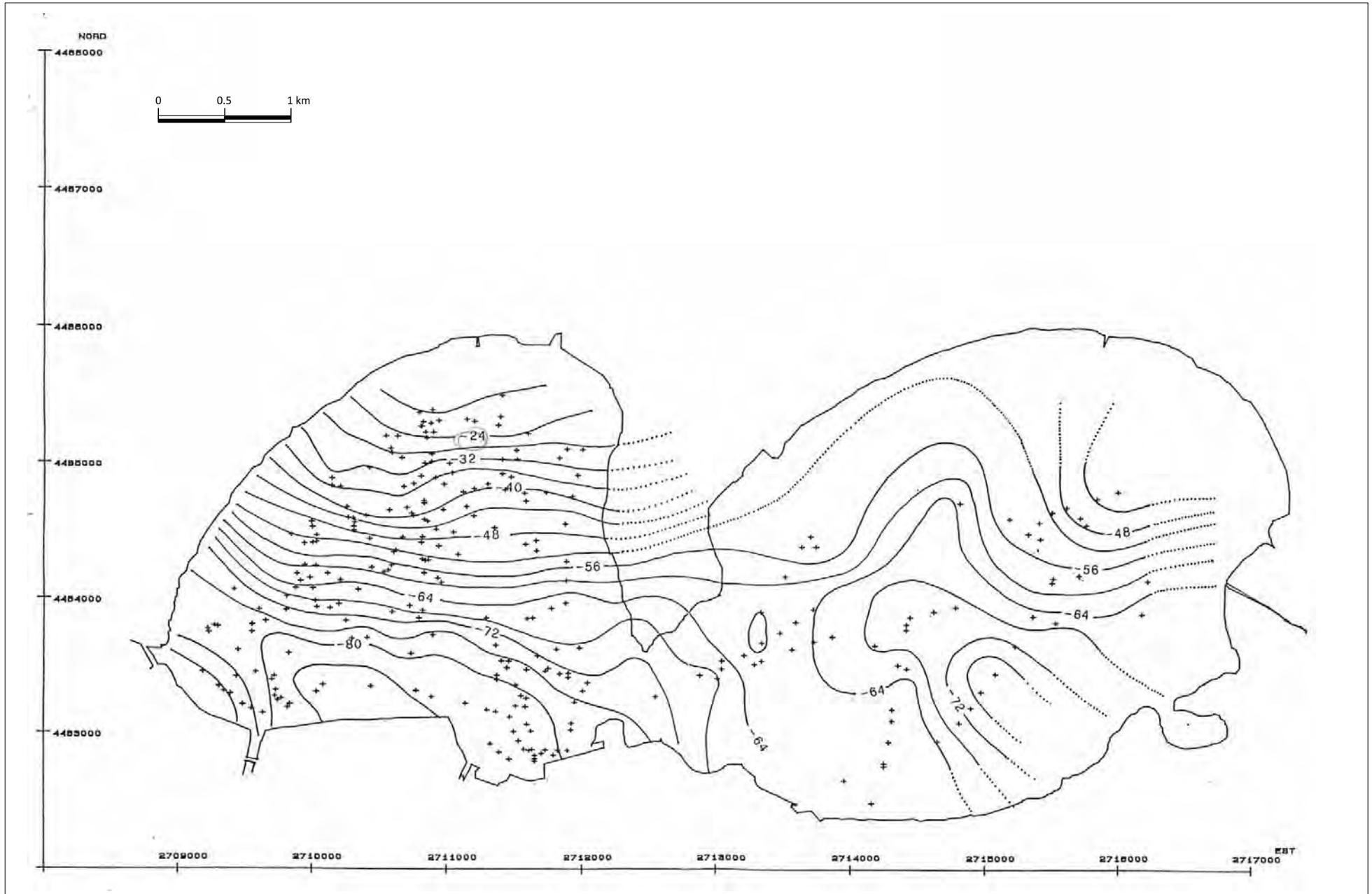


Fig. A 13 - Isopache del tetto del calcare riferite al livello del mare

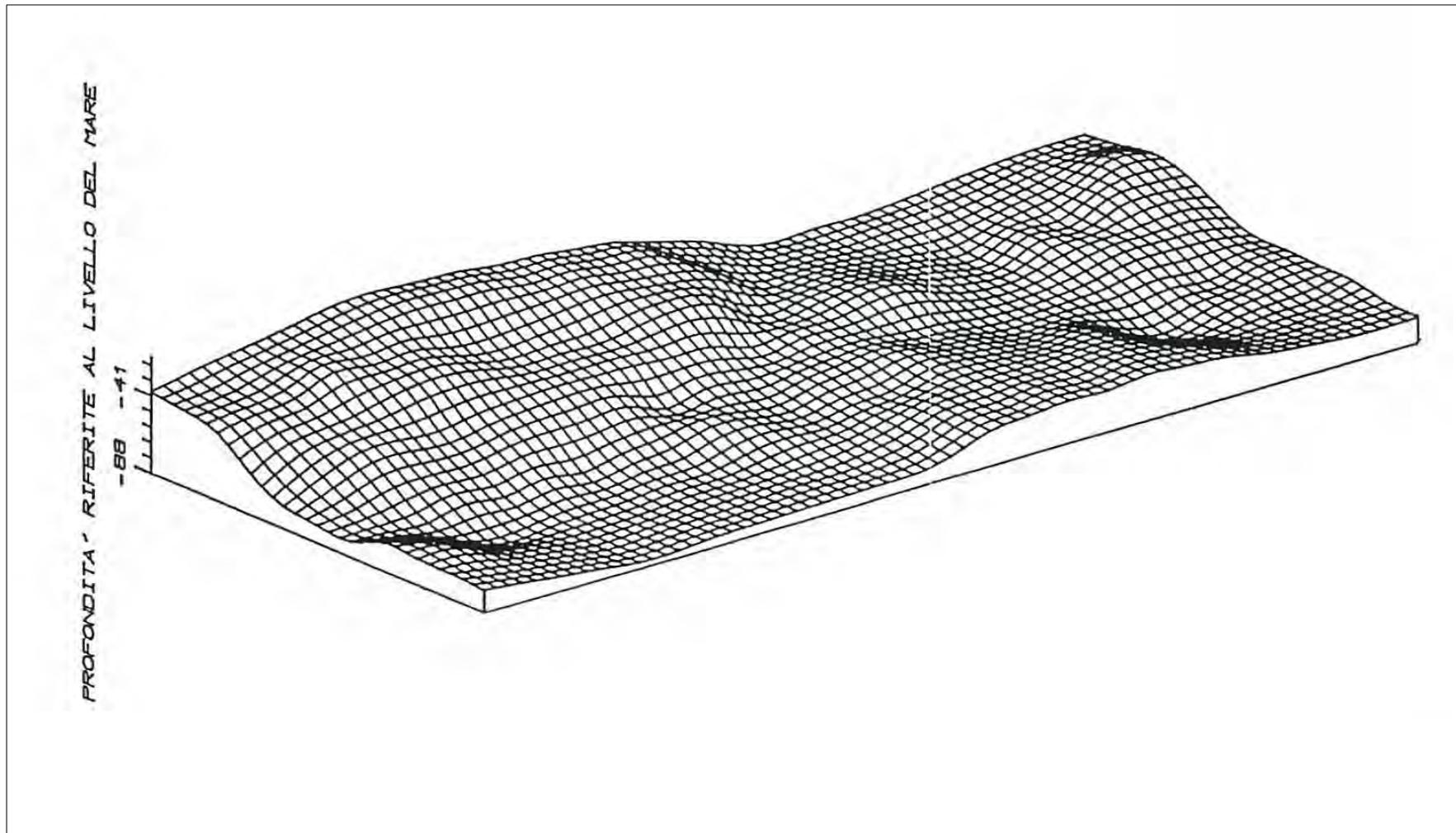


Fig. A 14 - Rppresentazione ortoprospectica del tetto del calcare