CASSA PER OPERE STRAORDINARIE DI PUBBLICO INTERESSE
NELL'ITALIA MERIDIONALE

(CASSA PER IL MEZZOGIORNO)

Dott. Ing. PIETRO CELENTANI UNGARO

ACQUEDOTTO SOTTOMARINO
PER LE ISOLE
DI PROCIDA ED ISCHIA

Documento N. 3

A QUEST'OPERA È STATO ASSEGNATO - EX AEQUO AL BACINO DI CARENAGGIO DI NAPOLI - IL PREMIO DELL'ASSOCIAZIONE NAZIONALE INGEGNERI (ANIAI) *1958 - PER LA PIÙ IMPORTANTE REALIZZAZIONE NEL CAMPO DELLA INGEGNERIA CIVILE NEL PERIODO 1952-57.*

POCHE pubblicazioni hanno, come questa che illustra la realizzazione dell'acquedotto sottomarino di Procida e Ischia, minor bisogno di parole per essere presentate, perchè poche recano in sè tanto immediata e viva la ragione ideale della propria validità che è qui quello stesso carattere di documento, al quale essa fedelmente si attiene nella sobria schiettezza del suo linguaggio: una nuda pagina di storia, direi, scritta per mezzo di rilievi, considerazioni, dati tecnici, senza alcuna preoccupazione di riferimenti estranei.

E subito ne emerge, forse proprio per questa sua mancanza d'ogni ricerca di effetti, il senso della realizzazione, che così semplicemente vi si esprime con il suo calore umano, il suo peso di ansie e di fatiche, la gioia del suo successo.

Come infatti dimenticare, dinanzi all'acquedotto ormai realizzato, i numerosi e complessi problemi d'ogni genere che i suoi progettisti dovevano porsi e risolvere, le mille difficoltà che i suoi esecutori dovevano affrontare e vincere, facendo sì tesoro di qualche non vicino e non comparabile esperimento, ma superandolo con geniali soluzioni dove esse non soccorrevano, integrandole con animo ardimentoso dove esse mancavano?

Oggi che l'acqua, sgorgata dalle sorgenti della penisola e condotta sul fondo del mare aperto, giunge per silente cammino di molte miglia, come una fresca vena sotterranea, ad alimentare la vita delle due Isole, può a buon diritto ravvisarsi nell'opera non soltanto un vanto della Cassa per il Mezzogiorno ma un primato della stessa ingegneria italiana, come sta a dimostrare l'ambito riconoscimento del premio ANIAI, assegnato all'acquedotto sottomarino quale una delle due realizzazioni più significative e importanti, accanto al bacino di carenaggio nel porto di Napoli, compiute in questi ultimi anni nel campo dell'ingegneria civile.

Ma a parte gli eccezionali pregi tecnici dell'arditissima impresa, a parte la sua utilità economica per la valorizzazione delle notevoli risorse turistiche delle due Isole, e per il sollievo che ne viene allo Stato — tenuto a gravi oneri per il rifornimento dell'acqua con navi cisterne, si chè nel giro di pochissimi anni la spesa dell'opera sarà integralmente compensata — non deve passarsi in silenzio il suo valore umano, nel quale veramente si riconosce l'autentico spirito che ha dato vita alla Cassa per il Mezzogiorno e ne anima costantemente l'azione: un alto ideale di solidarietà civile al cui servizio sono posti il complesso dei mezzi finanziari e tecnici dell'Ente e la perizia ineguagliabile e il generoso cuore dei suoi operatori, per il benessere e il progresso delle popolazioni, dovunque si estenda, entro i confini segnati dalla legge ai suoi interventi, un lembo della nostra terra.

GABRIELE PESCATORE
Presidente della Cassa per il Mezzogiorno

IL RIFORNIMENTO IDRICO DELLE ISOLE FLEGREE PRIMA DELL'ACQUEDOTTO

L'isola di Procida e l'isola di Ischia chiudono, con il promontorio di Monte di Procida, a Nord-Ovest il golfo di Napoli.

L'isola di Procida estesa 3,75 kmq, con popolazione di 10.156 abitanti (1951), è formata da tufi vulcanici vari in gran parte ricoperti da pozzolane grigie e comprende quattro crateri denominati Solchiaro, Terra Murata, Pozzo Vecchio e Chiaioiella. Ha forma piuttosto piatta con altezza massima di m. 91 sul mare.

Manca nell'isola ogni manifestazione sorgentizia di acqua potabile e ogni apprezzabile falda acquifera sicché l'alimentazione idrica era affidata alla raccolta nelle cisterne di acqua piovana e di acqua potabile trasportata a mezzo di navi dal continente.

Al disagio igienico della popolazione si aggiungeva la impossibilità di ogni sviluppo turistico che potrebbe invece essere cospicuo per le singolari attraenti caratteristiche dell'isola.

L'isola vulcanica di Ischia, della superficie di kmq. 46 circa, con popolazione di 31.813 abitanti (1951) è la maggiore delle isole campane. Come la sorella flegrea (Procida) è costituita da numerosi crateri e presenta paesaggio assai vario con spiagge bellissime, superbe pinete e pingui vigneti: è dominata dal monte Epomeo (789 m. s. m.). Il territorio è amministrativamente suddiviso in 6 Comuni: i maggiori sono sulla costa nord dell'isola (Ischia, Casamicciola, Lacco Ameno, Forio) che è quella più intensamente popolata.

L'abbondanza di acque minerali e termali di varie caratteristiche chimiche e fisiche, e di fanghi vulcanici che godono giusta fama per la cura delle malattie articolari, determina grande afflusso di pazienti, mentre assai sviluppato è il turismo stagionale e giornaliero richiamato dalla bellezza dei luoghi.

L'alimentazione idrica degli abitati era affidata alla raccolta di acqua nelle cisterne e ad un antico acquedotto alimentato da modeste manifestazioni idriche in località Buceto con portata di appena 0,5 l/sec. Più recentemente era stato cominciato a costruire, ed è stato poi completato dalla Cassa per il Mezzogiorno, un altro acquedotto utilizzante circa 3 l/sec. di una sorgente in località Nitriuoli, in tenimento di Barano, la cui acqua per peculiari caratteristiche chimiche e fisiche — tra cui la temperatura piuttosto elevata — era usata anche per cura.

Nella zona costiera di Forio d'Ischia esiste una falda freatica di poco prevalente sul mare con contenuto salino piuttosto elevato e dalla quale potrebbe edursi in modo continuo non più di 5 l/sec. Attualmente questa acqua è adoperata per la irrigazione dei pochi terreni coltivabili nelle vicinanze e per usi non potabili nella zona di Lacco Ameno.

Il rifornimento principale, come a Procida, era affidato ad acqua trasportata dal continente con navi cisterna. Nel complesso alle due isole di Procida e Ischia sono stati trasportati annualmente negli ultimi anni fino a 125.000 mc. con una spesa di oltre 150 milioni di lire a carico dello Stato.

SINGOLARITA' E CARATTERISTICHE DEL PROBLEMA DI NORMALIZZAZIONE DEL RIFORNIMENTO IDRICO DELLE ISOLE FLEGREE

Il Comitato dei Ministri per il Mezzogiorno nella adunanza del 15 marzo 1951 deliberò di assegnare i fondi occorrenti per stabilire il regolare rifornimento idrico delle isole flegree a mezzo di apposito acquedotto derivato dal grande acquedotto campano che la Cassa si apprestava a costruire.

La Cassa affidò al Prof. Ing. Giuseppe Pistilli dell'Università di Napoli l'incarico di studiare il progetto di massima dell'acquedotto sottomarino, con derivazione dalla importante diramazione dell'acquedotto campano destinata alle due isole ed ai centri del litorale flegreo. Era da escludere, infatti, per la dimensione del problema, ogni soluzione di utilizzazione di acqua di mare dissalata che oltre a richiedere impianti di complessa conduzione avrebbe portato a costi di esercizio assai elevati.

La costruzione di un acquedotto sottomarino per un notevole e non breve trasporto di acqua potabile come quello in questione poneva, peraltro, problemi nuovi in dipendenza sia delle condizioni del mare da traversare sia delle particolari caratteristiche che bisognava dare alle opere, diverse da quelle di impianti similari (condotte sublacuali o subfluviali di acquedotto, o petrolifere sottomarine) esistenti: la tecnica del trasporto di liquidi con condotte sottomarine ha avuto, infatti, il massimo impulso solo durante e dopo la seconda guerra mondiale soprattutto per trasporto di petroli.

Le caratteristiche dell'opera possono così riassumersi:

1) garanzia di durata delle condotte di gran lunga superiore a quella di altri impianti del genere che notoriamente sono di più rapido ammortamento (condotte petrolifere);

2) conseguenti protezioni del materiale di condotta dalle particolari aggressioni dell'ambiente e della fauna e flora sottomarina e possibilità di controllare le protezioni durante l'esercizio;

3) massima possibile garanzia di continuità di esercizio e possibilità di eventuali interventi per riparazione;

4) idonea resistenza meccanica all'azione dinamica del mare, trattandosi in questo caso di *mare aperto,* anzi dell'attraversamento di *bracci di mare* ugualmente orientati ed esposti a venti violenti e frequenti nei due sensi in direzione normale agli attraversamenti da costruire e sede di notevoli correnti;

5) sistemi e mezzi per le operazioni di varo adatti alle suindicate condizioni dei bracci di mare aperto e alle caratteristiche delle condotte.

IL PROGETTO DI MASSIMA

Il progetto di massima dell'acquedotto sottomarino fu approvato dal Consiglio di Amministrazione della Cassa il 30 giugno 1953 su conforme parere della Delegazione Speciale del Consiglio Superiore dei LL.PP. per la Cassa per il Mezzogiorno. In conformità a detto parere venne deciso di demandare la scelta definitiva della soluzione da adottare ad apposito appalto-concorso, come mezzo migliore per decidere in base ad offerte concrete (tecnico-esecutive ed economiche) di enti ed industrie aventi specifica competenza nella materia.

Il progetto di massima prevedeva l'adduzione alle due isole, a gravità, della portata complessiva di 70 l/sec. (15,6 per Procida, 54,4 per Ischia) dal serbatoio di carico di Bacoli, che è terminale della diramazione flegrea dell'acquedotto campano di cui si è detto sopra.

Il progetto fu studiato con grande cura ed in particolare svolgeva con la dovuta ampiezza lo studio dei seguenti punti principali del non facile problema:

1 - *Studio dei tracciati sottomarini.* Individuati i possibili tracciati (vedi lucido fig. 1 su fig. 6) sulle carte nautiche esistenti e con riconoscimento degli approdi, fu effettuato il rilievo batimetrico dei tracciati stessi a mezzo della nave «Paolo Cornaglia» del Servizio Escavazione Porti del Ministero dei LL. PP.

La nave era dotata di apparecchio Bendix, tipo DR-8A, per il rilievo continuo della profondità, con ecometro ad ultrasuoni e registrazione su appositi diagrammi. La sensibile apparecchiatura assicurava, usando opportune scale, elevata esattezza del rilevamento — che risultò sufficientemente concordante con quello della carta nautica del 1885 aggiornata il 1912 e il 1926 — mentre la forma del segnale registrato consentiva, entro certi limiti, di fare deduzioni sulla natura del materiale di fondo (roccia, fango, sabbia, alghe).

Per il passo di Procida furono rilevati tre tracciati: quello più breve rettilineo (*tracciato B*) tra la spiaggia di Miliscola e Marina di Sancio Cattolico a Procida, poco a occidente della cabina di arrivo nell'isola dei cavi telegrafici e telefonici.

La massima profondità in questo attraversamento lungo *3320 m.* è di *15 m.* Il fondo, come dedotto dal guizzo di ritorno delle onde supersoniche, appariva costituito da materiale duro (radici di alghe, rocce) e da sabbia verso Miliscola.

Fu rilevato anche un altro *tracciato* (*A*), parallelo al precedente con origine a Marina di Vita Fumo sotto Monte di Procida, all'incirca a metà distanza fra la punta di Torre Fumo e la Punta Schiavone, ed approdo a Scoglio Cannone a occidente del pennello del Porto di Procida. Lungo questo tracciato (profondità max *15 m.*) la forma del guizzo di ritorno delle onde supersoniche faceva dedurre fondo in materiali duri o addirittura rocciosi.

Altro tracciato rilevato (*C*) partiva dalla spiaggia di Miliscola come il primo e si svolgeva con una spezzata di tre lati a levante degli altri due con lunghezza di *3990 metri* e profondità max di *38 m.* Lungo di esso secondo la interpretazione del segnale supersonico si sarebbe trovato quasi

dovunque fondo fangoso che avrebbe potuto consentire una posa delle condotte relativamente più facile e il loro ricoprimento per naturale allettamento nel materiale di fondo.

Nel passo di Ischia, con profondità notevolmente maggiori di quelle del canale di Procida, furono rilevati 4 tracciati: quello rettilineo (*D*) tra la punta dell'Alaca, all'estremo sud occidentale dell'isolotto di Vivara, e il Castello di Ischia: il tracciato ricadeva, secondo il rilevamento col Bendix, in fondo fangoso per la maggior parte della sua lunghezza, e in fondo duro (roccia, alghe) presso Ischia. Lunghezza *2350 m.* e profondità max *27 m.*

Gli altri tracciati, B, A, C, tutti a ponente del primo, si svolgevano lungo linee curve con convessità a ponente dell'isola di Procida e su lunghezze rispettivamente di *4860 m., 4760 m., 5560 m.* Essi, secondo il rilievo batimetrico, sarebbero ricaduti in zone di sabbia e fango. Le profondità massime risultavano di *44 m., 50 m. e 63 m.* dal B al C.

Il progetto, dopo l'esame critico dei tracciati suindicati, proponeva alternativamente per il passo di Procida le due soluzioni seguenti:

a) tracciato B con tubazione interrata in apposita trincea o ancorata sul fondo per proteggerla dalle correnti marine. La trincea avrebbe dovuto essere scavata in fondo duro (presumibilmente roccia). *Lunghezza 3320 m.*, profondità max *15 m.*

b) tracciato C con tubazione adagiata sul fondo fangoso nel quale la condotta si sarebbe col tempo naturalmente affondata. Lunghezza *3990 m.*, profondità max *37 m.*

Per il passo d'Ischia, alternativamente, il tracciato più breve *D* con tubazioni in apposita trincea o ancorata sul fondo, ovvero il tracciato *C* che è quello più a ponente, con tubazioni adagiate su fondo fangoso. Lunghezza *5560* m. e profondità max di *63 m.*

2. - *Studio del tipo di tubazione.* Il progetto di massima svolgeva, quindi, un accurato esame delle tubazioni di possibile impiego negli attraversamenti sottomarini.

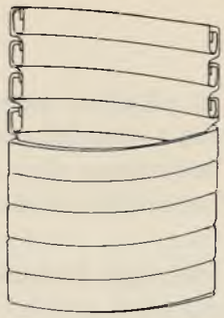
Escludendo per evidenti ragioni quelle in cemento armato usate in alcuni attraversamenti subacquei assai brevi e di grande diametro, il progetto distingueva le tubazioni metalliche in due classi:

1) tubi rigidi con o senza giunti deformabili (acciaio, ghisa);

2) tubi flessibili (acciaio, bronzo)

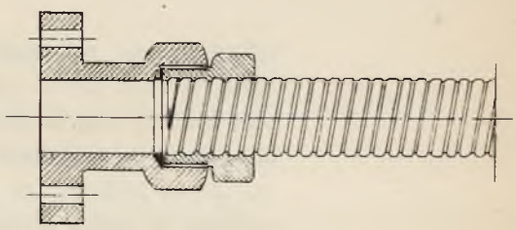
e riferiva sulle applicazioni dei due tipi soffermandosi in particolare nell'esame delle tubazioni rigide — tubazioni in acciaio, tubazioni in ghisa con giunti deformabili (sferico con anello di gomma e flange mobili) — usate nei diversi tronchi dell'acquedotto militare del Porto di Portland, Me (U.S.A.), costruito durante la guerra e che per le sue caratteristiche — ove si escludano le condizioni di mare ben più tranquillo in cui si svolge — è l'acquedotto sottomarino più confrontabile con quello di Procida e Ischia.

Circa i tubi flessibili il progetto esamina tra quelli usati in America i più noti, fabbricati dalla Penflex Pensylvania Flexible Metallic Tubing Co. - U.S.A.), di tipi diversi (Wall Flexible; U.S. Navy Standard; Severe

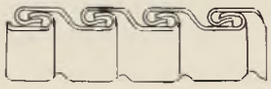


WALL-FLEXIBLE IN BRONZO

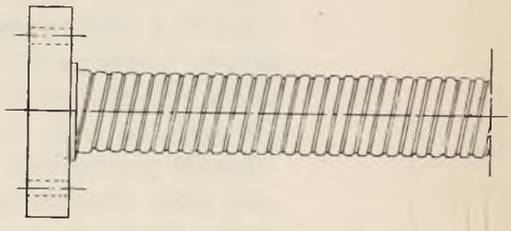
GIUNTO CON FLANGIA AVVITATA



U.S. NAVY STANDARD IN BRONZO



GIUNTO CON FLANGIA FISSA



SEVERE SERVICE IN BRONZO

TIPO DI RIVESTIMENTO

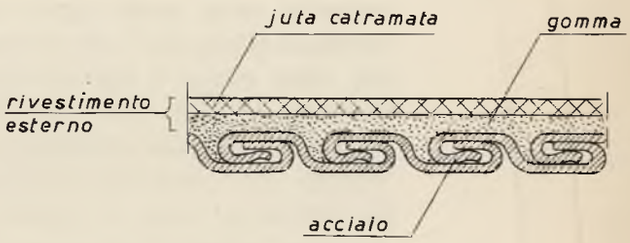


Fig. 2

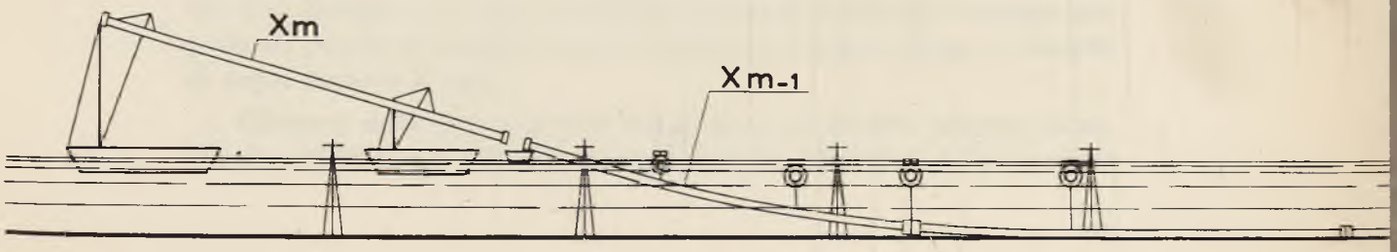


Fig. 3

Service (vedi fig. 2) a seconda delle condizioni d'impiego, per diametri fino a 300 mm. e pressioni di rottura di 21 atmosfere, la cui caratteristica sta nella particolare forma dell'unione degli elementi di parete (del tipo chiamato *interlocked*) che conferisce ai tubi la flessibilità. Il materiale adoperato per questi tubi è l'acciaio o il bronzo; la perdita di carico unitario è superiore a quella delle tubazioni ordinarie attesa la particolare forma della parete interna.

Il progetto considera anche le tubazioni adoperate nella cosiddetta operazione Pluto (Pipe line under the Ocean) per l'adduzione dall'Inghilterra alla Francia di circa 50 l/sec. di benzina durante le operazioni di attacco all'Europa nella guerra ultima.

Questo complesso di oleodotti era costituito da 21 distinte condotte sottomarine attraverso la Manica adagiate sul fondo, lunghe fino a 70 miglia marine, con tubazioni di piccolo diametro (fino a 75 mm.) e di due diversi tipi. Alcune condotte erano formate con un vero e proprio cavo di potenza da cui era stata tolta l'anima (diam 75 mm.), le altre erano in tubazioni di acciaio saldate in lunghezza continua come un cavo, del dimetro interno di circa 75 mm. spessore 5,5 mm. (denominate Hamel): questa tubazione era avvolta intorno a tamburi galleggianti della lunghezza di 27 metri e del diametro di 12 metri, ognuno dei quali poteva contenere 70 miglia (130 km.) di condotta. La tubazione veniva varata con i metodi della posa dei cavi. Questo particolare sistema di condotte sottomarine non offre, peraltro, alcun elemento utile per il problema dell'acquedotto in esame avendo dimensioni ben diverse e caratteristiche di esercizio assolutamente temporanee.

Il progetto svolgeva infine dei calcoli sugli sforzi delle tubazioni rigide durante le operazioni di varo nella ipotesi, che è poi quella suggerita dal progettista, di fare il varo con metodo analogo a quello usato per l'esecuzione del citato acquedotto di Portland. Detto metodo chiamato «controlled buoyancy» (galleggiamento controllato) consiste nel varare per tronchi successivi le condotte, trasportando sul posto con natanti il tronco Xm da varare, sollevandolo sui natanti in modo da dargli una inclinazione atta a realizzare una tangente unica con il tronco precedentemente varato (Xm - 1) che viene risollevato dal fondo fino a portare la testata fuori acqua, così da operare la giunzione dei due tubi sul natante di appoggio e calando, infine, gradatamente sul fondo il complesso dei due tronchi. Appositi galleggianti opportunatamente distanziati sono usati allo scopo di contenere durante questa delicata operazione la curvatura delle tubazioni entro limiti stabiliti (vedi fig. 3).

Il progetto di massima concludeva proponendo sia tubi flessibili sia tubi rigidi per le due soluzioni suggerite per ciascuno dei due passi — tracciato B passo di Procida; tracciato D passo di Ischia (prima soluzione); tracciato C per i due passi (seconda soluzione) e consigliando l'impiego dei tubi flessibili solo per la seconda soluzione, quella dei tracciati più profondi purché le condotte fossero zavorrate mediante massi o riempite di acqua durante il varo.

Ciascuna delle due soluzioni comportava un diverso schema idraulico di adduzione in dipendenza delle diverse lunghezze delle condotte

sottomarine e dei diversi punti di approdo e, per il caso delle tubazioni flessibili, del diverso coefficiente di scabrezza che nel progetto venne assunto uguale a 0,46 nella formula Bazin-Fantoli.

Il bando per l'appalto-concorso fu approvato dal Consiglio di Amministrazione della Cassa per il Mezzogiorno il 30 giugno 1953 e fu stabilito che fossero ammesse ditte specializzate nella costruzione di condotte e nella esecuzione di opere marittime. Era anche prevista l'associazione di due ditte con competenza nei singoli settori indicati.

In base all'esame dei documenti presentati furono invitate 8 ditte tra le migliori italiane di cui tre associate con altre.

Pervennero offerte solo di tre ditte, e in data 21 giugno 1954 la Commissione giudicatrice dell'appalto-concorso trasmise alla Cassa la propria relazione, nella quale, pur rilevando notevole incompletezza e non esatta rispondenza di tutti i progetti alle norme del bando, esprimeva parere di affidare l'esecuzione dei lavori a una delle ditte che si era attenuta alla soluzione di impiego di condotte di acciaio rigide sui tracciati C, con una lunghezza complessiva di attraversamenti sottomarini di 9550 metri, non rettilinei e con profondità massime rispettivamente di 38 e 63 metri per il primo e secondo passo.

Il Consiglio di Amministrazione su conforme parere del Servizio acquedotti e fognature, ritenne di non approvare l'aggiudicazione in quanto tutti i progetti presentati all'appalto-concorso non avevano, in sostanza, portato contributi complementari di rilievi e di studi a quelli, pur dettagliati ed accurati, del progetto di massima.

In particolare non era stata risolta l'incognita fondamentale per decidere tra le diverse soluzioni di tracciato proposte nel progetto di massima, cioè il riconoscimento diretto della natura del fondo marino che era elemento discriminante, come si è visto, nella scelta del tracciato e dei tipi di tubazione da adottare, mentre gli elementi tecnico-economici delle offerte non erano sufficienti ad un completo giudizio sull'onere complessivo di spesa di costruzione e di esercizio dell'acquedotto.

Il Consiglio di Amministrazione dava così mandato al Sevizio acquedotti e fognature di procedere agli accertamenti e studi necessari a definire l'opera in un regolare progetto esecutivo, avvalendosi anche della collaborazione di tecnici particolarmente esperti nei vari settori.

ACCERTAMENTI, STUDI ED INDAGINI PER IL PROGETTO ESECUTIVO

Il Servizio stabilì di svolgere gli accertamenti cominciando dal rilievo dei tracciati rettilinei, prima evidente soluzione a chiunque esamini il problema, ritenendo che, ove essi non avessero presentato ostacoli di difficile superamento tecnico ed economico, fossero senz'altro da preferire per le ovvie ragioni della brevità dell'attraversamento e della minore profondità massima che avrebbe consentito l'impiego utile di palombari con attrezzatura ordinaria sia durante la costruzione dell'acque-

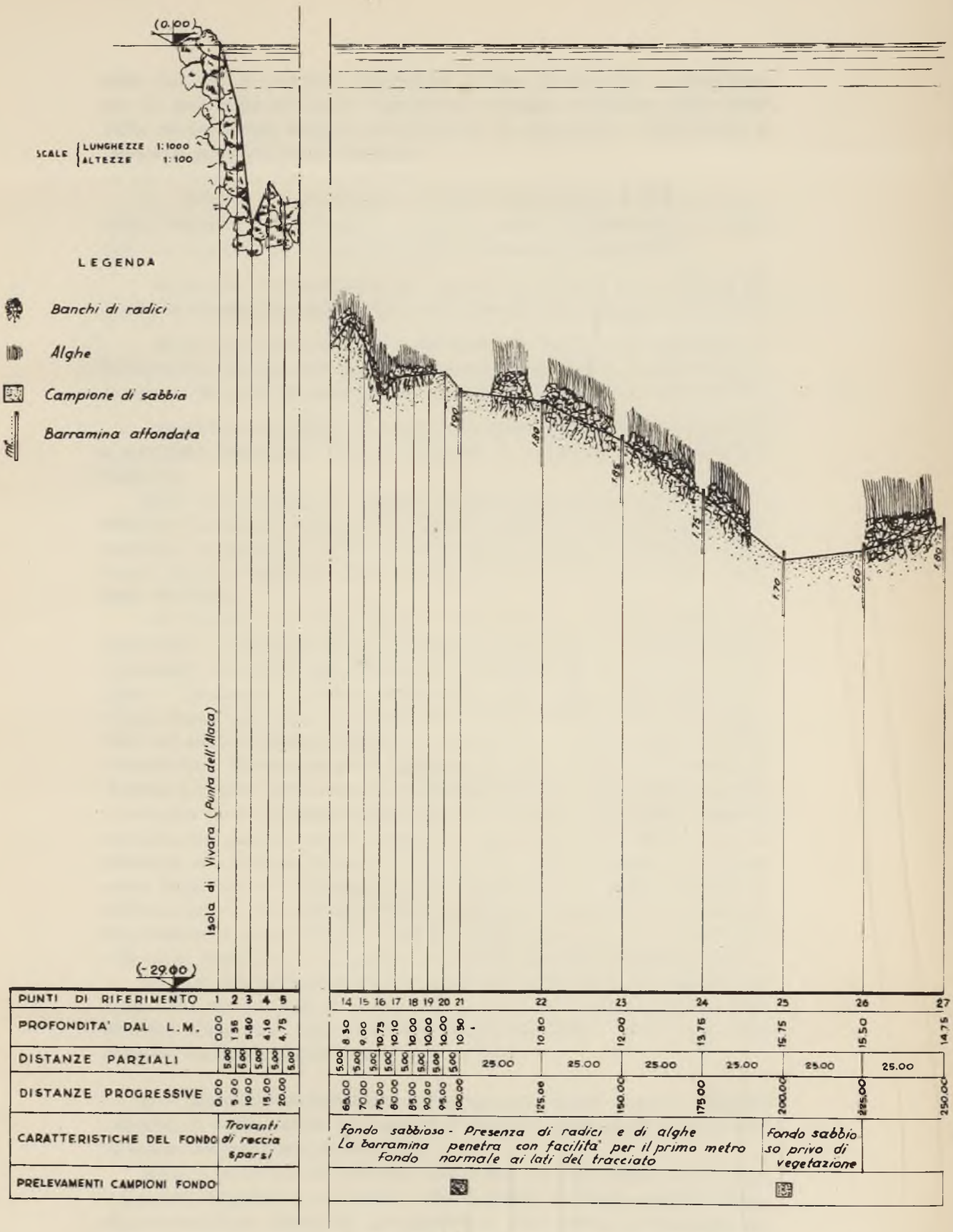


Fig. 4 - Tipo di rilevamento del fondo Marino sul tracciato rettilineo Vivara - Ischia

dotto che per le eventuali riparazioni in fase di esercizio, e sopratutto per la possibilità di facile reperimento, quando occorresse, della sede della condotta con semplici allineamenti di superficie e riferimento a caposaldi posti sul fondo del mare.

1. - *Rilievo e riconoscimento diretto dei tracciati.* L'Ufficio acquedotto campano della Cassa fu incaricato degli accertamenti con l'impiego di apposito personale per lavori subacquei, e procedette:

a) al rilevamento diretto con scandaglio guidato da palombari del profilo del fondo, con punti battuti ad intervalli non maggiori di 25 metri;

b) al riconoscimento del materiale di fondo con sondaggi nel fondo stesso fino alla profondità di due metri, o maggiore, e prelevamento in ognuno dei punti di sondaggio del materiale costituente il fondo marino;

c) all'individuazione ed esame dello stato di conservazione di tutti i manufatti rintracciati lungo il tracciato e in particolare dei cavi sottomarini.

Nello stesso quadro di indagini furono effettuati, appoggiandosi alla Stazione Zoologica (Acquario) di Napoli, numerosi rilievi con apparecchi indicatori e registratori della velocità delle correnti, in superficie e sul fondo, in punti significativi dei tracciati e tenendo conto dei venti e dello stato del mare.

Gli accertamenti (vedi fig. 4) — che di per se rappresentano, per estensione e sistematicità, profondità ed esposizione dei tratti di mare interessati, una delle più importanti operazioni del genere finora eseguite — portarono alla felice constatazione che lungo i due tracciati rettilinei, brevi, della prima soluzione (*B Procida, D Ischia*) il fondo era costituito da sabbia a granulometria più o meno fine e conseguente variabile compattezza. Tranne che sulla lunghezza di circa 70 metri all'approdo di Vivara, in nessun tratto fino alla profondità utile per la posa delle condotte fu trovato fondo roccioso. Estese zone del tracciato risultavano ricoperte di alghe, con pacchi radicali compatti e spessi anche più di 1 m., la cui presenza era stata in molti casi interpretata dal sondaggio supersonico come fondo duro o roccioso e aveva costituito uno degli elementi di differenziazione dei tracciati e uno dei più rilevanti motivi di perplessità. Fu constatato altresì l'ottimo stato di conservazione dei cavi sottomarini e di corpi metallici ove essi erano totalmente interriti nel fondo sabbioso.

Le profondità misurate direttamente risultarono in buon accordo con quelle rilevate in sede di studio del progetto di massima quattro anni prima, e anche con i dati della carta nautica del 1885 - 1912 - 1926, assicurando così della stabilità del fondo marino.

2. - *Materiale di condotta.* Contemporaneamente furono compiute indagini di varia natura per acquisire ulteriori elementi di giudizio per la scelta del materiale di condotta.

Data la possibilità di costruire tutti e due i tronchi sottomarini lungo i tracciati rettilinei si esclusero i tubi flessibili, di molto maggior costo, di caratteristiche idrauliche più gravose e assai meno sperimentati nei riguardi della durabilità. Fu altresì dovuto escludere l'impiego di tubi in materia plastica, in quanto sia la produzione nazionale che quella

straniera non sono ancora in grado di fornire manufatti idonei e sufficientemente sperimentati nel campo di diametri e pressioni dell'acquedotto in esame. Né lo stato di conoscenza di detti materiali e delle loro assai varie caratteristiche poteva suggerirne l'impiego in questo caso nel quale si doveva, più che in altri, essere certi di fare opera duratura.

La scelta era quindi limitata ai tubi di ghisa ed a quelli di acciaio.

Per i primi (ghisa) si sarebbe dovuto far ricorso a particolari sistemi di giunzione (giunti deformabili) come quelli usati in tronchi particolari di condotte terrestri (ad es. per condotte su ponti) o in brevi condotte subacquee, ma che poco adatti si dimostravano per l'opera da eseguire.

La presenza di elevato numero di giunti, che in gran parte avrebbero dovuto essere eseguiti sott'acqua, la necessità di escludere giunti flangiati con bulloni in acciaio per ragioni di durata della condotta, mentre mancavano dati sicuri sulla durata di bulloni di ghisa nucleare in ambiente marino, la mancanza di elementi sperimentali circa la pratica eseguibilità, nelle condizioni accennate, di giunti a vite con anelli di gomma, la fragilità del materiale, la difficoltà di applicazione di rivestimenti isolanti, senza i quali sarebbe stata impossibile la protezione attiva della condotta e, infine, i vincoli più gravi per le operazioni di varo portarono ad escludere l'impiego dei tubi di ghisa.

Il risultato dell'esame di tutti gli elementi in giuoco, sia nella fase di varo della condotta sia nella posa in sede, la possibiità di provvedere a rivestimenti continui e alla protezione attiva contro la corrosione e di mantenere, durante l'esercizio, il controllo dell'isolamento e, infine, il costante impiego di tubazioni di acciaio in tutte le condotte subacquee di qualche importanza, confermato dai risultati stessi dell'appalto concorso, orientarono sulla scelta dell'acciaio, che ai pregi della resistenza meccanica specifica unisce quello dell'alta resistenza meccanica della condotta formata con giunti saldati, consentendo la più ampia libertà di scelta del sistema di varo, la cui importanza tecnica ed economica era l'elemento preminente nella realizzazione dell'acquedotto.

Fu, quindi, previsto l'impiego di tubi in acciaio Aq 45 UNI 663, con estremità calibrate e smussate per giunto testa a testa mediante saldatura elettrica. Diametro esterno 318 mm, spessore 12 mm, diametro nominale interno 300 mm, lunghezza da m 12,50 a 14 m.

3. - *Rivestimenti protettivi.* Per lo studio dei rivestimenti dei tubi di acciaio ci si poté giovare anche di esperimenti condotti dalla Ditta Dalmine su campioni di tubi variamente protetti immersi in mare nel golfo di Pozzuoli fin dal 1954, in sede di studi per partecipare all'appalto-concorso.

Tali esperimenti assumevano notevole importanza perché il più approfondito esame del problema aveva messo in evidenza la scarsezza di sufficienti e sicuri dati sul comportamento di condotte d'acciaio sottomarine opportunamente protette, che derivassero da lunghi periodi di esercizio, che era poi il punto che più preoccupava il Servizio responsabile della Cassa.

Nel marzo del 1954 erano stati immersi, ad una profondità di circa 2 metri sotto il pontile degli Stabilimenti Meccanici di Pozzuoli, alcuni campioni di tubi di acciaio con vari tipi di rivestimenti bituminosi e con o senza involucri di cemento amianto.

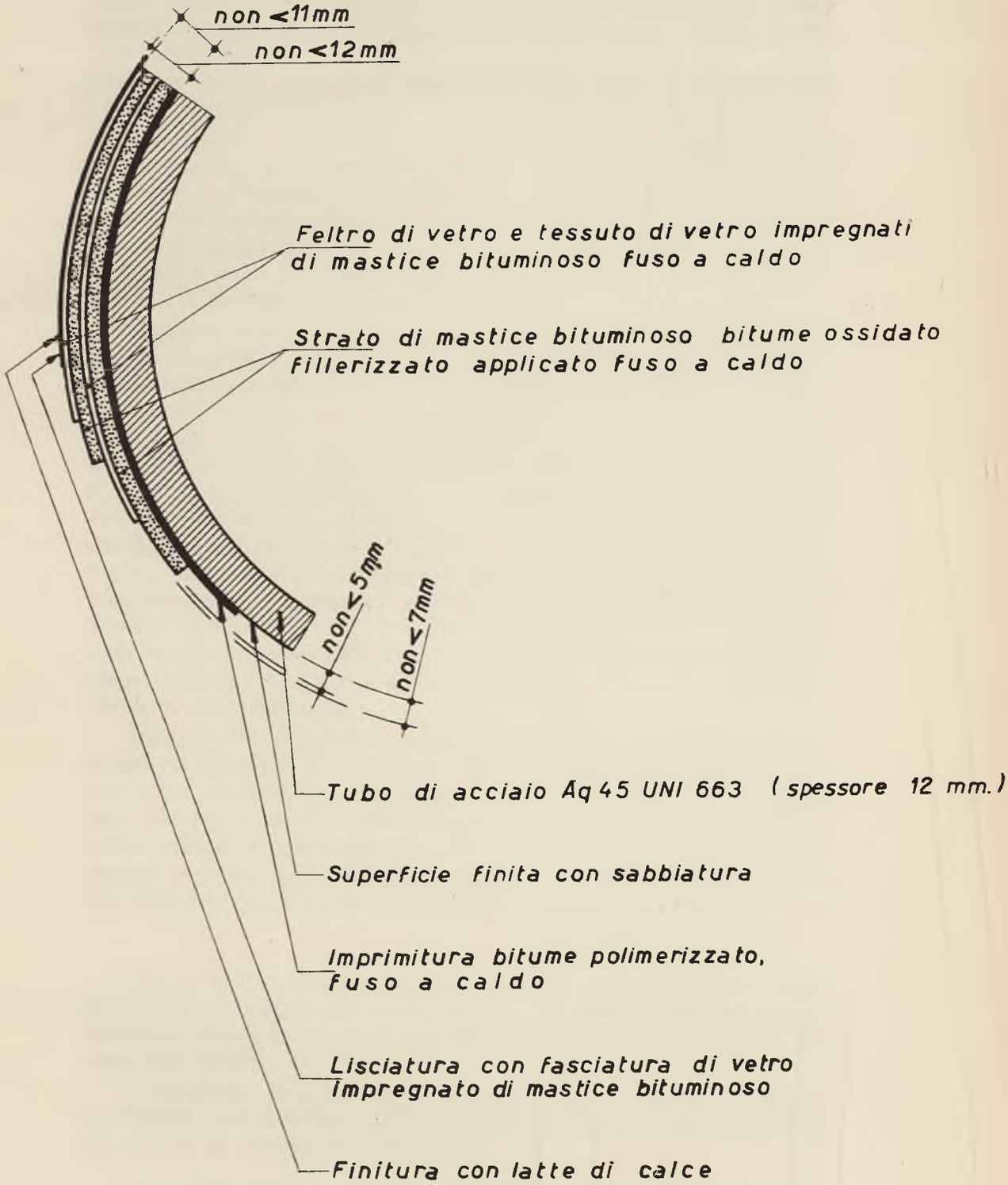


Fig. 5

Particolare del rivestimento protettivo delle condotte sottomarine

Dal gennaio al marzo 1955 all'estremità del pontile di S. Martino a Capo Miseno, e cioè nell'immediata vicinanza della origine del tronco sottomarino del Passo di Procida, furono, poi, immersi sul fondo del mare, o interrati nel fondo stesso con un ricoprimento di 70 cm. di sabbia, altri campioni di tubi con rivestimenti uguali a quelli dei precedenti campioni del mare di Pozzuoli.

Dal complesso delle due serie di campioni furono prelevati alcuni elementi per un primo esame dopo 9 mesi e per un secondo dopo 16 mesi da quelli di Pozzuoli, e da quelli di Capo Miseno dopo 7 e 9 mesi di immersione. Le due relazioni, in appendice, del Prof. Ing. Mario Jacopetti dell'Università di Napoli, forniscono una dettagliata documentazione sullo stato di conservazione dei rivestimenti e sulle misure di isolamento effettuate sui campioni in prova.

Le osservazioni e le conclusioni di giudizio possono così riassumersi: di tutta la numerosa fauna e flora marina che risultava fissata ai campioni non interrati nel fondo fu osservato che i *balani*, comunemente chiamati *denti di cane*, erano particolarmente pericolosi per la conservazione dei rivestimenti bituminosi in quanto penetravano profondamente nel corpo dei rivestimenti. Le prove di isolamento e tutti i controlli confermarono le conseguenze deleterie per la protezione della condotta di questi gravi danni ai rivestimenti prodotti dai balani. Al contrario i campioni interrati nel fondo del mare con ricoprimento di circa 70 cm. di sabbia, in bassi fondali ove più attiva è l'azione dei balani, presentavano i rivestimenti assolutamente integri dopo 9 mesi di prova e liberi da ogni deposito esterno ed il loro isolamento elettrico era pienamente mantenuto. Lo stato di buona conservazione dei cavi e di corpi metallici interrati nel fondo, osservato durante i rilevamenti lungo i tracciati, confermava l'efficacia dell'interrimento.

Tutti questi risultati furono discussi anche con specialisti di biologia marina e portarono a riconoscere che un rivestimento bituminoso di particolari caratteristiche di spessore e costituzione, senza alcuna copertura cementizia, purché interrato nel fondo con almeno 70 cm. di sabbia, non era esposto alle offese della fauna marina anche ai minori fondali e poteva, quindi, garantire il perfetto isolamento del tubo e la sua lunga conservazione, consentendo di proteggerlo catodicamente.

Furono, altresì, determinati con attenta cura le caratteristiche fisiche dei mastici bituminosi per i rivestimenti e le modalità di applicazione, eseguendo numerosi campioni con diversi sistemi e sottoponendoli alle prove più severe.

Il complesso di questi studi, indagini e prove portarono a fissare le seguenti caratteristiche costruttive del rivestimento esterno dei tubi e le norme di costruzione (vedi fig. 5):

a) sabbiatura accurata della superficie esterna del tubo immediatamente prima dell'applicazione dello strato di imprimitura costituito con bitume polimerizzato, fuso a caldo, applicato all'interno ed all'esterno per immersione. Punto di rammollimento (palla - anello) tra 75° e 85° C; penetrazione a +25°C compresa tra 20 e 35 decimi di millimetro;

b) strato continuo ed uniforme di mastice bituminoso fuso a caldo costituito da bitume polimerizzato e fillerizzato con micro-amianto esente da sostanze altamente conduttive ed in misura massima del 35% in peso. Micro-amianto a fibra cortissima con residuo al vaglio ASTM 40 non superiore al 12%. Caratteristiche del bitume: punto di rammollimento non minore di + 110°C; penetrazione a 25°C tra 12 e 20 decimi di millimetro; punto di fragilità non superiore a — 6°C; colatura di uno strato di 5 mm. inclinato a 45°, a temperatura di 70°C, non maggiore di 6 mm. in 20 ore;

c) prima fasciatura elicoidale eseguita con feltro di vetro (interno) e tessuto di vetro (esterno) impregnati di mastice bituminoso fuso a caldo.

Spessore complessivo del mastice e imprimitura (a + b), misurato tra l'estradosso del tubo ed il feltro di vetro, non inferiore a 5 mm. Spessore totale minimo di a + b + c in nessun punto inferiore a 7 mm;

d) strato continuo e uniforme di mastice bituminoso fuso a caldo dalle caratteristiche come in *b*);

e) seconda fasciatura elicoidale in tutto come in *c*). Spessore, minimo, complessivo di tutto il rivestimento formato come sopra: 11 mm.;

f) lisciatura esterna eseguita mediante semplice fasciatura di feltro di vetro impregnata di mastice bituminoso;

g) finitura con latte di calce.

Spessore totale del rivestimento in nessun punto minore di 12 mm.

Si aveva peraltro la legittima preoccupazione che qualunque fosse il sistema di varo, e nonostante ogni cura, i rivestimenti avrebbero potuto ricevere danno) durante il lavoro, né si erano reperite, nonostante le più estese indagini nella letteratura tecnica di ogni paese e le informazioni assunte direttamente, notizie utili sullo stato dei rivestimenti di condotte sottomarine o anche solo subacquee, notizie cioè che fossero appoggiate a dati di rilievo e di misura certi, quali valori misurati dell'isolamento di condotte sottomarine in servizio da lungo tempo.

Si condussero, quindi, presso gli Stabilimenti Dalmine prove di applicazione all'esterno del rivestimento di guaine di resina sintetica, di fasciature con lamine di zinco e di ottone e di manti di doghe di legno (tapparelle). Le protezioni metalliche e l'involucro di cemento amianto furono esclusi in quanto non avrebbero permesso i controlli elettrici dello stato dei rivestimenti in ogni fase dell'opera, mentre difficoltà di vario ordine sconsigliarono l'impiego di guaine di resine sintetiche. Si rinunziò, altresì, per la citata impossibilità di controllo elettrico dei rivestimenti, a proteggere questi con manicotto di calcestruzzo cementizio che avrebbe, inoltre, appesantito ulteriormente le tubazioni aggravando il problema del varo.

Per la protezione dei rivestimenti sia durante i trasporti che nelle operazioni di varo furono prescelti i manti di doghe di legno (tapparelle).

4. - *Metodi di varo.* Furono contemporaneamente condotte innanzi indagini per raccogliere ulteriori informazioni di altri lavori del genere circa i metodi di varo impiegati.

Come già accennato quanto era stato già fatto in materia riguardava in maggior parte le condotte subacquee per attraversamento di laghi o di fiumi (furono esaminati alcuni lavori in corso, come ad es. quelli per la posa di condotte d'acciaio di grosso diametro sotto il Lemano a Ginevra) o per condotte sottomarine petrolifere. Per queste condotte l'integrità della protezione, che più preoccupava i tecnici della Cassa con riguardo ad ogni fase della costruzione e specie al varo, non ha lo stesso rilievo e poco o nessun conforto di dati utili esse davano per il caso in esame la cui caratteristica essenziale stava nel dover posare a notevole profondità e in mare assolutamente aperto lunghe condotte, mantenendo integri in opera i rivestimenti di protezione passiva.

Dal complesso di tutti gli studi compiuti al riguardo, escluso, per il grave rischio dell'operazione in quei bracci di mare, il calo contemporaneo della colonna di ogni attraversamento, costruita a terra per l'intera lunghezza, portata galleggiante sulla verticale del tracciato e affondata con successivo appesantimento, si presero in considerazione sostanzialmente due sistemi per il varo della condotta:

a) quello seguito per l'attraversamento già ricordato di Portland e che era stato proposto nel progetto di massima;

b) l'altro adottato nel varo di alcune condotte petrolifere sottomarine per collegamento di approdi presso le coste.

Il primo metodo di posa trovava intanto delle gravi difficoltà proprio nelle accennate caratteristiche del mare da traversare, mentre la notevole profondità, specie nel secondo passo, avrebbe provocato durante l'operazione di varo sollecitazioni notevoli per il materiale di condotta, di cui alcune non facilmente valutabili. In variante a quanto praticato nel più tranquillo porto di Portland sarebbe stato necessario l'impiego di natanti di notevole tonnellaggio e con bordo sufficientemente alto, e notevoli difficoltà si incontravano per aver disponibili natanti idonei da attrezzare convenientemente ed impiegare per lungo tempo, mentre se ne dovette escludere qualcuno che appariva di più pronto adattamento ma che avrebbe richiesto spesa eccessiva.

L'altro sistema che sta nel varare la condotta tirandone la estremità dalla sponda opposta a quella da cui si vara e facendola strisciare sul letto di posa, si presentava particolarmente suggestivo per il nostro caso perché:

a) manteneva la condotta durante le operazioni di varo in condizioni di massima protezione dall'azione delle onde e delle correnti. Come si dirà dopo la condotta è stata posata non sul fondo ma in una trincea appositamente scavata nel fondo del mare;

b) consentiva il controllo del peso della condotta durante tutte le operazioni di varo;

c) rendeva possibile l'esecuzione a terra di tutte le giunzioni a saldatura elettrica dei tubi e dei tronchi di condotta tra loro, del rivestimento dei giunti e dei controlli delle saldature e dei rivestimenti, opera-

zioni che nell'altro caso sarebbero state fatte in gran parte su natante con evidente grave difficoltà e conseguente minore accuratezza.

Sorsero naturalmente alcuni dubbi sull'alea che poteva offrire il varo secondo quest'ultimo sistema: innanzi tutto per quanto riguarda la conservazione dei rivestimenti bituminosi delle tubazioni durante lo strisciamento sul fondo. Fu quindi previsto nel progetto esecutivo l'impiego di slitte metalliche di opportune dimensioni, intervallate di 50 m. e fissate con appositi collari alla coppia di condotte in modo da contenere in modesti limiti la sollecitazione localizzata dei manti bituminosi Le condotte sarebbero così rimaste sollevate dal fondo della trincea durante tutto il percorso. Un ulteriore protezione avrebbe fornito il manto di doghe di legno da usare nel trasporto dalla fabbrica ai cantieri e che — come si è detto — si sarebbe ricollocato sulle condotte prima del varo.

Inoltre il sistema di varo impegnava alla assoluta rettilineità pratica della trincea di posa ed a mantenere la trincea stessa libera da interrimenti e da ostacoli per tutta la durata della operazione di varo, e in questo particolare vincolo stava un'altra singolarità di questo lavoro.

L'esame accurato di tutti questi punti portò a determinare precise condizioni di capitolato per quanto riguardava la esecuzione delle trincee di posa, nonché previdenze varie per intervenire qualora si fosse determinato qualcuno degli inconvenienti che potevano temersi. Fu deciso, comunque, di affrontare ragionevolmente qualche incognita residua dato il complesso dei vantaggi che il sistema offriva tanto da potersi ritenere l'unico praticamente attuabile per il caso in esame. Il sistema stesso offriva anche vantaggi di economicità e rapidità di esecuzione in confronto all'altro sopraindicato.

IL PROGETTO ESECUTIVO

Definiti così tutti gli elementi necessari, l'Ufficio acquedotto campano della Cassa presentò in data 21 aprile 1956 il progetto esecutivo dei due attraversamenti sottomarini di cui qui si riassumono i dati principali (vedi corografia in fig. 6 e profilo in fig. 7).

Portata dell'acquedotto: 105 l/sec. di cui 23,4 destinati a Procida e 81,6 all'isola di Ischia. La portata fu aumentata rispetto a quella del progetto di massima (70 l/sec.) portando così a 140 l/ab.g. le dotazioni per la popolazione servita all'anno 2000.

Alimentazione: dal serbatoio di Bacoli, quota fondo 91.35, sfioro 96.

Condotta unica del diametro di 500 mm., in ghisa centrifugata in forme di sabbia e giunti a vite e anello di gomma, lunga 2500 metri dal serbatoio fino alla spiaggia di Miliscola (testata dell'attraversamento sottomarino del Passo di Procida).

Tracciato rettilineo sottomarino tra Miliscola ed il punto di approdo all'isola di Procida in località Sancio Cattolico. Lunghezza dell'attraversamento 3460 m.; profondità massima 18 m. circa. Condotta formata con una coppia di tubazioni di acciaio trafilato, di 300 mm. di diametro interno nominale, 318 mm. diametro esterno, spessore 12 mm., posate in apposita trincea scavata sul fondo del mare con larghezza alla base di 3,20 metri e altezza tale da ottenere, a rinterro eseguito, ricoprimento non inferiore a 70 cm. sulla generatrice superiore dei tubi; interasse delle

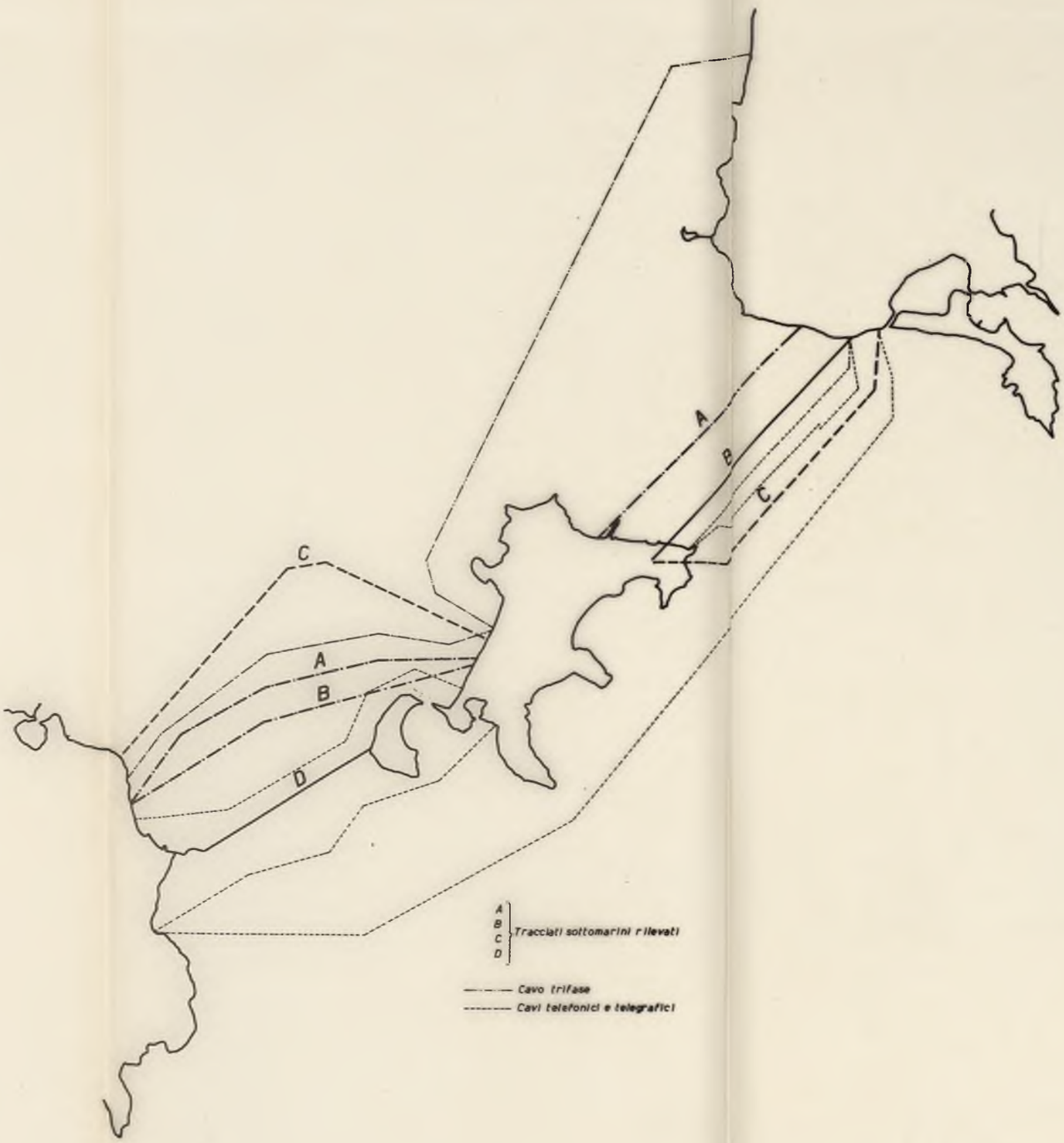

A
B
C
C
A
B
D
A
B
C
D
Tracciati sottomarini rilevati
Cavo trifase
Cavi telefonici e telegrafici

Fig. 1

zioni che nell'altro caso sarebbero state fatte in gran parte su natante con evidente grave difficoltà e conseguente minore accuratezza.

Sorsero naturalmente alcuni dubbi sull'alea che poteva offrire il varo secondo quest'ultimo sistema: innanzi tutto per quanto riguarda la conservazione dei rivestimenti bituminosi delle tubazioni durante lo strisciamento sul fondo. Fu quindi previsto nel progetto esecutivo l'impiego di slitte metalliche di opportune dimensioni, intervallate di 50 m. e fissate con appositi collari alla coppia di condotte in modo da contenere in modesti limiti la sollecitazione localizzata dei manti bituminosi Le condotte sarebbero così rimaste sollevate dal fondo della trincea durante tutto il percorso. Un ulteriore protezione avrebbe fornito il rivestimento di doghe di legno da usare nel trasporto dalla fabbrica ai cantieri e che — come si è detto — si sarebbe ricostituito alle condotte prima del varo.

Inoltre il sistema di varo imponeva alla massima rettilineità pratica della trincea di posa ed a mantenere la trincea stessa libera da interrimenti e da ostacoli per tutta la durata della operazione di varo, e in questo particolare caso stava un'altra peculiarità di questo lavoro.

L'esame accurato di tutti questi punti poteva determinare precise condizioni di capitolato per quanto riguardava la realizzazione delle trincee di posa, nonché previdenze varie per intervenire qualora si fosse determinato qualcuno degli inconvenienti che potevano emersi. Fu deciso, comunque, di affrontare ragionevolmente qualche incognita residua dato il complesso dei vantaggi che il sistema offriva da potersi ritenere l'unico praticamente adatto per il caso in esame. Il sistema stesso offriva anche vantaggi di economicità e rapidità di esecuzione in confronto all'altro sistema.

IL PROGETTO ESECUTIVO

Definiti così tutti gli elementi necessari, l'Ufficio acquedotto campano della Cassa presentò in data 21 aprile 1956 il progetto esecutivo dei due attraversamenti sottomarini di cui qui si riassumono i dati principali (vedi corografia in fig. 8 e profilo in fig. 7).

Portata dell'acquedotto: 105 l/sec. di cui 23,4 destinati a Procida e 81,6 all'isola di Ischia. La portata fu aumentata rispetto a quella del progetto di massima (70 l/sec.) portando così a 140 l/ab.g. le dotazioni per la popolazione servita all'anno 2000.

Alimentazione: dal serbatoio di Baccoli, quota fondo 91.35, sfioro 96.

Condotta unica del diametro di 500 mm., in ghisa centrifugata in forme di sabbia e giunti a vite [illegible], lunga 2500 metri dal serbatoio fino alla spiaggia di Miliscola (testata dell'attraversamento sottomarino del Passo di Procida).

Tracciato rettilineo sottomarino tra Miliscola ed il punto di approdo all'isola di Procida in località Sancio Cattolico. Lunghezza dell'attraversamento 3460 m.; profondità massima 18 m. circa. Condotta formata con una coppia di tubazioni di acciaio trafilato, di 300 mm. di diametro interno nominale, 318 mm. diametro esterno, spessore 12 mm., posate in apposita trincea scavata sul fondo del mare con larghezza alla base di 3,20 metri e altezza tale da ottenere, a rinterro eseguito, ricoprimento non inferiore a 70 cm. sulla generatrice superiore dei tubi; interasse delle

Fig. 1

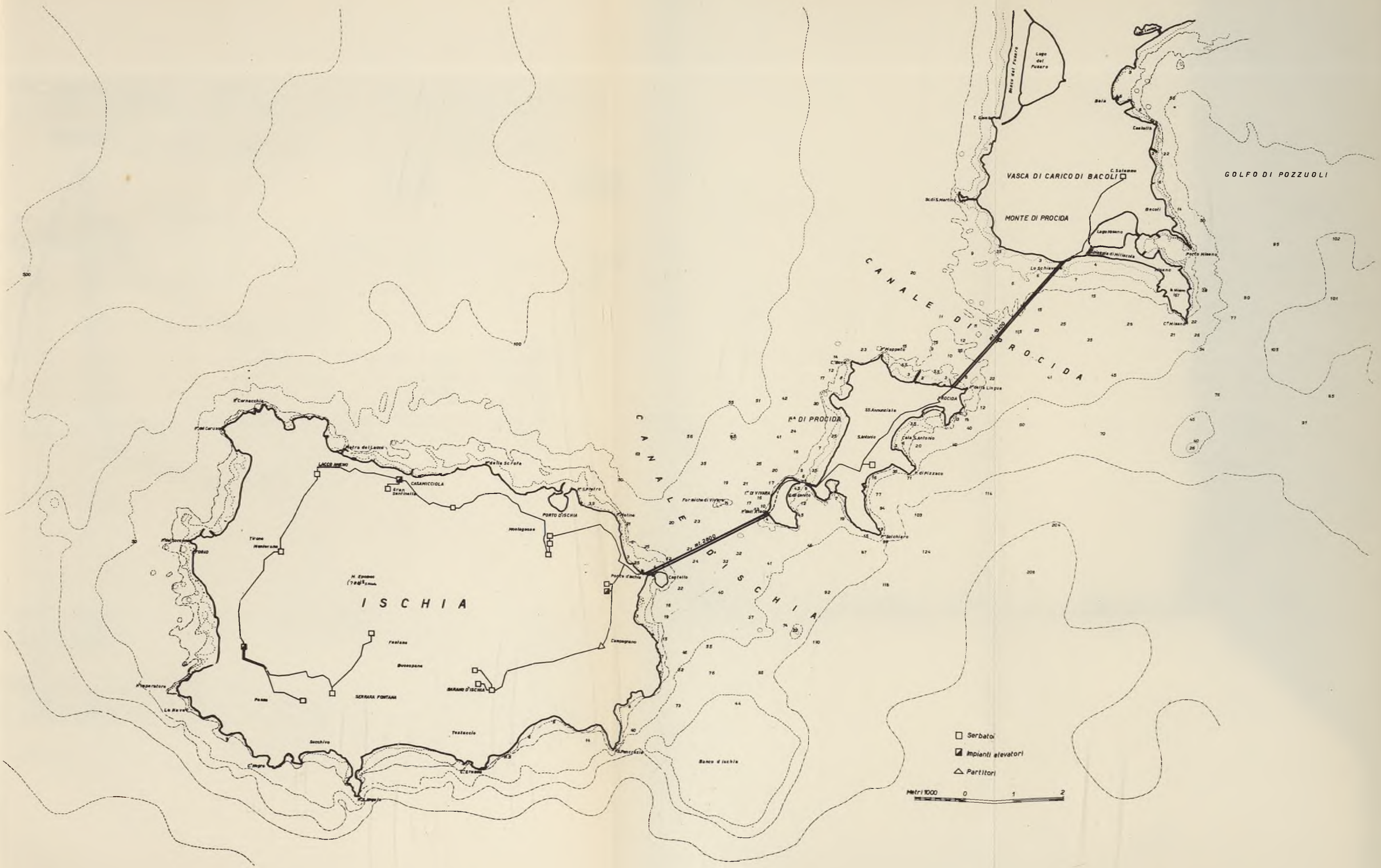

VASCA DI CARICO DI BACOLI
GOLFO DI POZZUOLI
MONTE DI PROCIDA
CANALE DI PROCIDA
CANALE DI ISCHIA
ISCHIA
Serbatoi
Impianti elevatori
Partitori
Metri 1000 0 1 2

Fig. 6

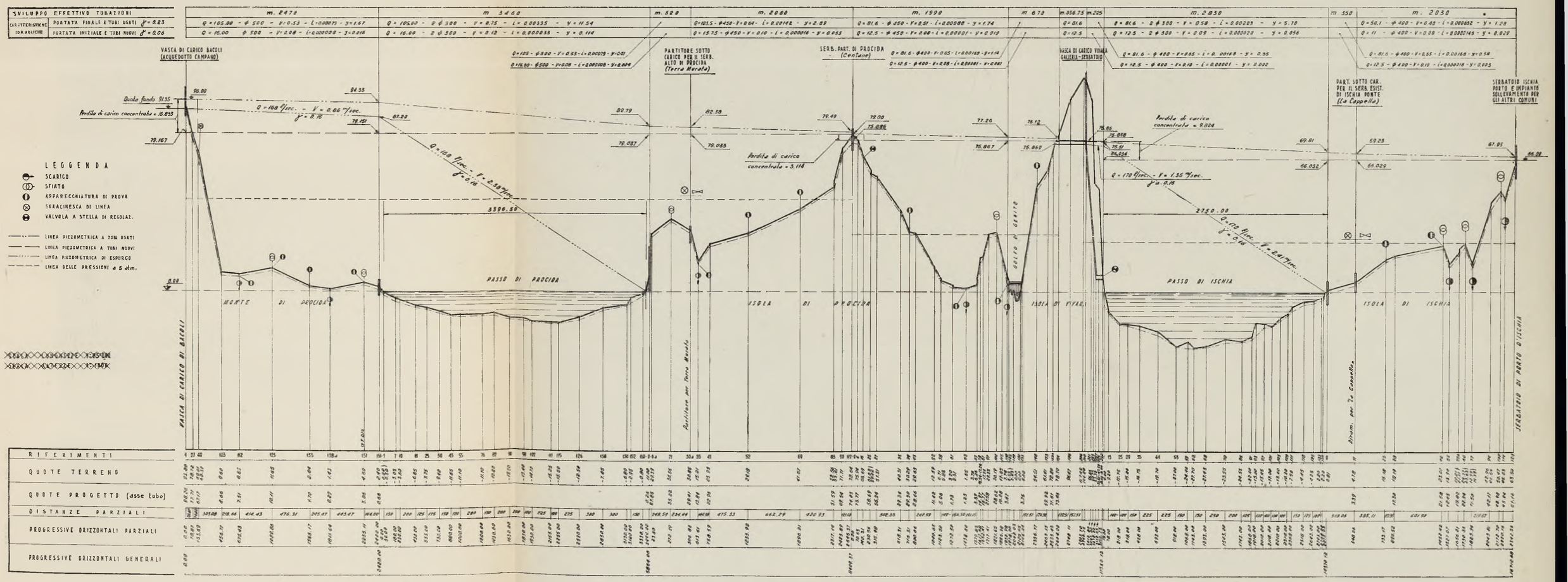


Fig. 7 - Profilo esecutivo

tubazioni della coppia 0,80 m. (vedi fig. 7 bis) Ogni tubazione è proporzionata a metà della portata avendo assunto — data la particolare natura dell'opera — per il coefficiente di scabrezza della formula Bazin-Fantoli, come nel progetto di massima, il valore 0,23 che è superiore a quello normalmente adottato per tubi di acciaio (0,16) — a parità di caratteristiche dell'acqua — e nelle condotte terrestri dello stesso acquedotto delle isole flegree.

Posa dei tronchi presso gli approdi fino a fondali di circa 5 m. in appositi cassoni di calcestruzzo armato (vedi fig. 7 bis).

Condotta sull'isola di Procida in unica tubazione di acciaio di diametro 450 mm., che raggiunge l'estremo sud-ovest dell'isola (collina S. Margherita) e quindi l'isola di Vivara (P. Ciraccetto) superando su passerella il breve tratto di mare, interrotto da speroni tufacei affioranti, tra Procida e Vivara.

Attraversamento dell'isola di Vivara in galleria a pelo libero con funzioni di vasca di carico della condotta in acciaio, del diametro 400 mm. posata in una galleria inclinata fino alla Punta dell'Alaca, ove è ubicata la testata del tronco sottomarino Vivara-Ischia.

Tracciato rettilineo sottomarino tra la Punta dell'Alaca e il Ponte Aragonese a Ischia. Lunghezza dell'attraversamento 2830 metri, profondità massima 27,70 m. Condotta formata con una coppia di tubazioni in acciaio trafilato, in tutto uguali a quello del passo di Procida (1).

La necessità di ricoprire le condotte per proteggere i rivestimenti della fauna marina portò a prevedere — come si è detto — la posa in apposita trincea scavata nel fondo del mare, essendosi dovuto escludere in base alla osservazione diretta che si potesse far conto per quasi tutta la lunghezza degli attraversamenti sull'autoaffondamento delle condotte nel fondo marino che avesse prontamente assicurata la richiesta copertura di sabbia. Questa esigenza costruttiva ha poi anche risolta l'alternativa, che era stata posta in un primo tempo, di posare una sola condotta per ogni attraversamento rinviando di alcuni anni, dopo l'osservazione del comportamento della prima, la posa della seconda condotta.

L'esecuzione dello scavo della trincea sottomarina fu prevista in progetto a mezzo di draghe ordinarie fino alla profondità di 13 metri (circa 2000 metri); per profondità da 13 a 18 metri (2400 metri circa) con draghe a scalo prolungato per consentirne l'impiego a quelle profondità e con l'ausilio di palombari; per i tronchi a profondità maggiore, fino a 30 metri, a mezzo di escavatori a benna montati su pontone con ausilio di palombari e di idroestrattori.

Per l'estirpazione e rimozione del materasso di radici e di alghe era previsto l'impiego degli stessi mezzi sopra descritti integrati — ove necessario — da operazioni di rampinamento e taglio così come era stato sperimentato in occasione del rilevamento del fondo.

Le livellette del fondo del cavo furono disegnate in modo da elimi-

---

(1) Le opere di adduzione sull'isola di Ischia comprendono km. 28 di condotte e 16 serbatoi della capacità complessiva di 17.000 mc e sono state costruite in base a separato progetto del prof. ing. Pistilli.

nare ogni contropendenza e contenere gli angoli di deviazione in 1'30", allo scopo di evitare apprezzabili deformazioni dei rivestimenti.

Le trincee dovevano essere eseguite per l'intera lunghezza prima che si iniziassero le operazioni di posa della condotta. Per tenerle aperte e libere da ogni ostacolo fino a che le condotte non avessero raggiunta la loro definitiva posizione si prevedeva di intervenire, ove necessario, con l'opera di palombari e con idroestrattori o altri mezzi di scavo.

Ultimata la posa, le prove e le verifiche di ogni tronco la trincea doveva essere rinterrata con materiale sciolto versato con mezzi idonei ad evitare ogni turbamento delle condotte.

Il progetto prevedeva il montaggio di due cantieri di varo, uno a Miliscola l'altro a Ischia: su Vivara era appena possibile ubicare l'argano di tiro e la sede occorreva ricavarla in escavo sulla costa di Punta dell'Alaca che scende ripida al mare.

Appositi argani posti rispettivamente a Sancio Cattolico per il Passo di Procida e a Punta dell'Alaca a Vivara per quello di Ischia avrebbero dovuto tirare la coppia di condotte a mezzo di cavo di acciaio preventivamente disteso sul fondo della trincea fino alla sponda opposta.

Il peso in acqua della coppia di condotte vuote, tenuto conto della spinta del manto di doghe in legno, era valutato in 32 Kg. a metro. Aggiungendo il peso delle slitte metalliche, per il canale di Procida che è il più lungo, il peso complessivo della tubazione in acqua sarebbe risultato di circa 122 tonnellate. Il valore del coefficiente di attrito fu assunto prudenzialmente in progetto pari a 0,3 e previsto quindi uno sforzo massimo di tiro, per il canale di Procida, di 37 tonnellate. Lo sforzo assiale massimo di trazione del materiale di condotta durante il tiro risultava di 1,6 kg/mm^2.

Il progetto prevedeva la formazione nei cantieri di colonne di tubi della massima lunghezza consentita dal cantiere e quindi l'esecuzione delle saldature elettriche di giunzione dei tubi, il controllo sistematico delle saldature stesse, il rivestimento dei giunti e i relativi controlli.

Erano, infine, previsti le seguenti apparecchiature e dispositivi accessori delle condotte.

A ciascun approdo:

— giunti di dilatazione assiale sulle due tubazioni;

— giunti di isolamento elettrico su ciascuna tubazione;

— saracinesche di intercettazione.

All'approdo a Procida e a quello di Ischia:

— saracinesche di scarico per la pulizia delle condotte e l'espurgo dell'aria da farsi con cacciate di acqua a forte velocità deprimendo la piezometrica.

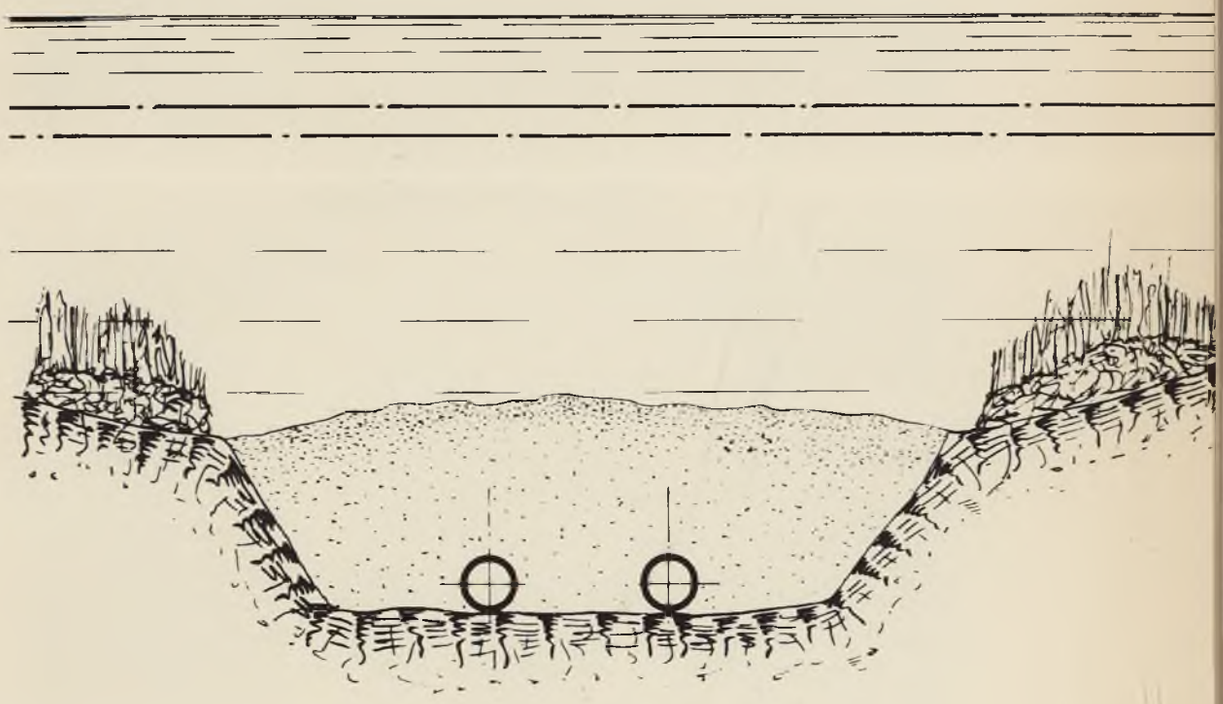
A Miliscola e a Ischia:

— apparecchiature per la protezione catodica dei singoli attraversamenti.

Lo smaltimento dell'aria che può accumularsi nelle condotte nonostante l'accurato tracciamento delle livellette, per contropendenze pur lievi che potevano risultare in costruzione è affidata, secondo quanto previsto già nel progetto di massima, alle operazioni di lavaggio delle

SEZIONE TIPO DELL'ACQUEDOTTO

NELLA TRINCEA SOTTOMARINA



SEZIONE TIPO DELL'ACQUEDOTTO

NEI CASSONI IN PROSSIMITA' DEGLI APPRODI

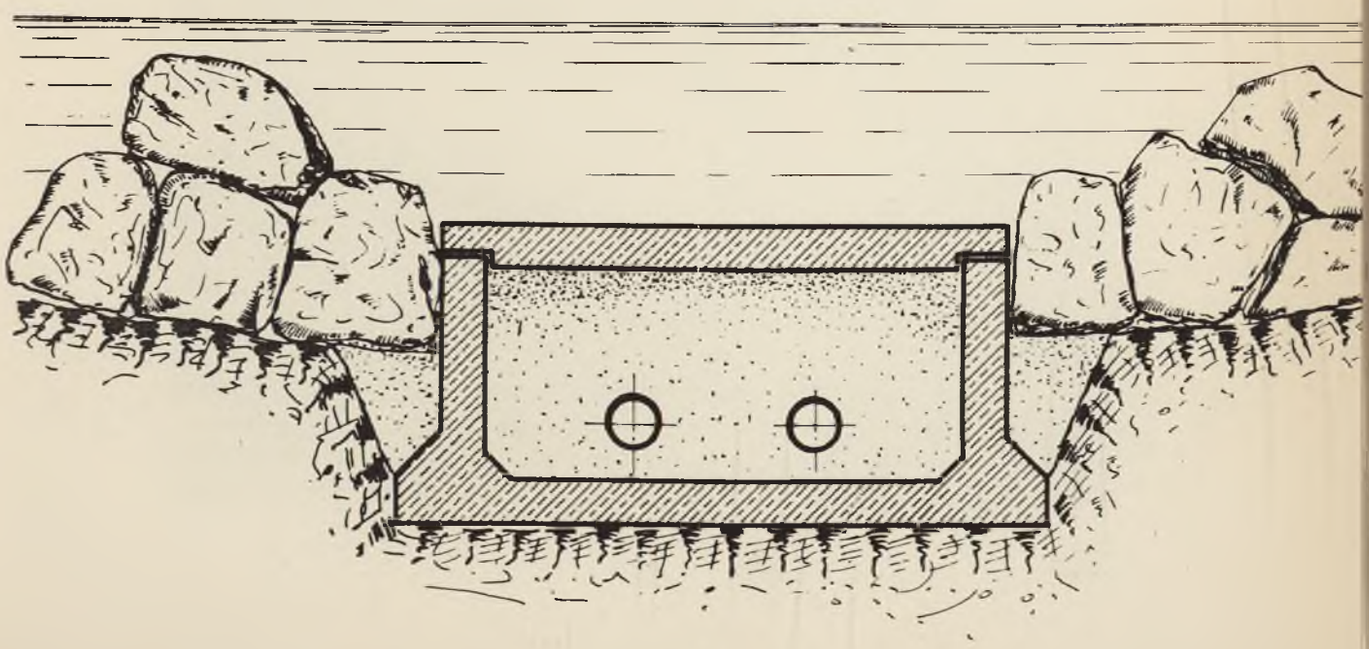


Fig. 7 bis

condotte ottenute con l'aumento di velocità dell'acqua per apertura dei due scarichi agli approdi.

In tali condizioni le velocità risultano rispettivamente di m 2,38 e 2,47 (vedi fig. 7), secondo la 2ª formula di Bazin con $\gamma = 0{,}16$, e sono sufficienti a trascinare l'aria eventualmente raccolta in qualche punto e quindi l'espurgo delle condotte.

ESECUZIONE DEI LAVORI

In data 8 maggio 1956, su conforme parere della Delegazione Speciale del Consiglio Superiore dei LL.PP., il Consiglio di Amministrazione deliberò l'approvazione del progetto esecutivo con affidamento della fornitura dei tubi e dei lavori alla ditta S.p.A. Dalmine alla quale si associò per le opere marittime la Soc. Immobiliare Romana.

In data 2 giugno 1956 fu data la consegna dei lavori e iniziata, a Dalmine, la fabbricazione dei tubi e dei rivestimenti che venne controllata continuamente da un tecnico appositamente destinato dalla « Cassa » sia con prove sulle caratteristiche fisiche dei bitumi, delle miscele bituminose e del materiale di fasciatura, rigorosamente specificate in capitolato, sia sui rivestimenti a mezzo di apparecchi rivelatori a scintilla per la integrità dell'isolamento, controllo degli spessori minimi e misura della conducibilità elettrica di campioni di rivestimento. I controlli degli spessori venivano fatti in modo continuo, non distruttivo, con spessimetri a permeabilità magnetica e in modo saltuario asportando zone di rivestimento su elementi di tubi a perdere.

I tubi venivano quindi spediti ai cantieri con imballaggio costituito da tappeti di listelli di legno dello spessore di 12 mm. avvolti sui tubi e assicurati con legature metalliche in modo da poterli asportare temporaneamente in cantiere per le operazioni di formazione delle colonne e controllo dei rivestimenti, e rimetterli a posto prima del varo.

1. - *Attraversamento del passo di Procida.* Il 18 giugno 1956 furono iniziate le operazioni in mare nel Passo di Procida con l'ispezione definitiva subacquea del tracciato e la fissazione degli appositi caposaldi topografici alle estremità dell'allineamento.

In pari tempo vennero condotte le operazioni di spostamento su nuova sede dei cavi sottomarini interessanti il tracciato o troppo vicini ad esso.

Lo scavo della trincea sottomarina fu fatto con tre draghe ordinarie a secchie, di cui due, la « Parodi » e la « Oristano » del Servizio Escavazione Porti del Ministero dei Lavori Pubblici per profondità fino a 13 metri, e con un pontone in ferro — dislocamento 400 tonnellate — sul quale erano stati montati due escavatori a benna del tipo « *P e H* », cav. 135, con benne a valve della capacità di 1 mc. appositamente costruite. Non fu impiegata la draga trasformata come previsto in progetto perché si riconobbe la impossibilità di operare in mare aperto con scalo prolungato come necessario per profondità maggiore di 13 metri (foto 1 - 2 - 3).

Per stabilire e tenere nella posizione di lavoro i mezzi effossori furono preliminarmente disposte ai due lati del tracciato alcune coppie di corpi morti in calcestruzzo, di peso non inferiore a 5 tonnellate, portanti

catene di ancoraggio le cui estremità erano tenute in superficie da una grossa boa.

Ciascun mezzo effossorio si ormeggiava alle catene di quattro corpi morti e con traversini di tonneggio, azionati da verricelli di bordo, effettuava i piccoli spostamenti per disporsi e mantenersi esattamente sull'allineamento. I cavi di avanzamento per gli spostamenti lungo il tracciato erano fissati a due ancore poste sull'allineamento.

Un operatore al tacheometro sul caposaldo di testata teneva sotto costante controllo le draghe nei loro movimenti di avanzamento e brandeggio a mezzo di collegamento radio. Lo stesso operatore guidava il pontone con escavatori nelle sue successive postazioni di lavoro, intervallate di sei metri, dalle quali si operava variando l'inclinazione del braccio degli escavatori.

Le draghe a secchie versavano il materiale su bette portate a scaricare a largo. Gli escavatori a benna, disponendo di uno sbraccio fino a 22 metri, depositavano il materiale sul lato dello scavo che risultava sotto corrente, in modo che le materie in sospensione non venissero trasportate entro la trincea. L'asportazione del pacco radicale di alghe fu potuto eseguire dagli stessi mezzi effossori in uno con lo escavo.

La posa in opera dei cassoni in cemento armato presso gli approdi fu fatta a mezzo di tre pontoni a bigo di varia portata di sollevamento fino a 150 t. (foto 1).

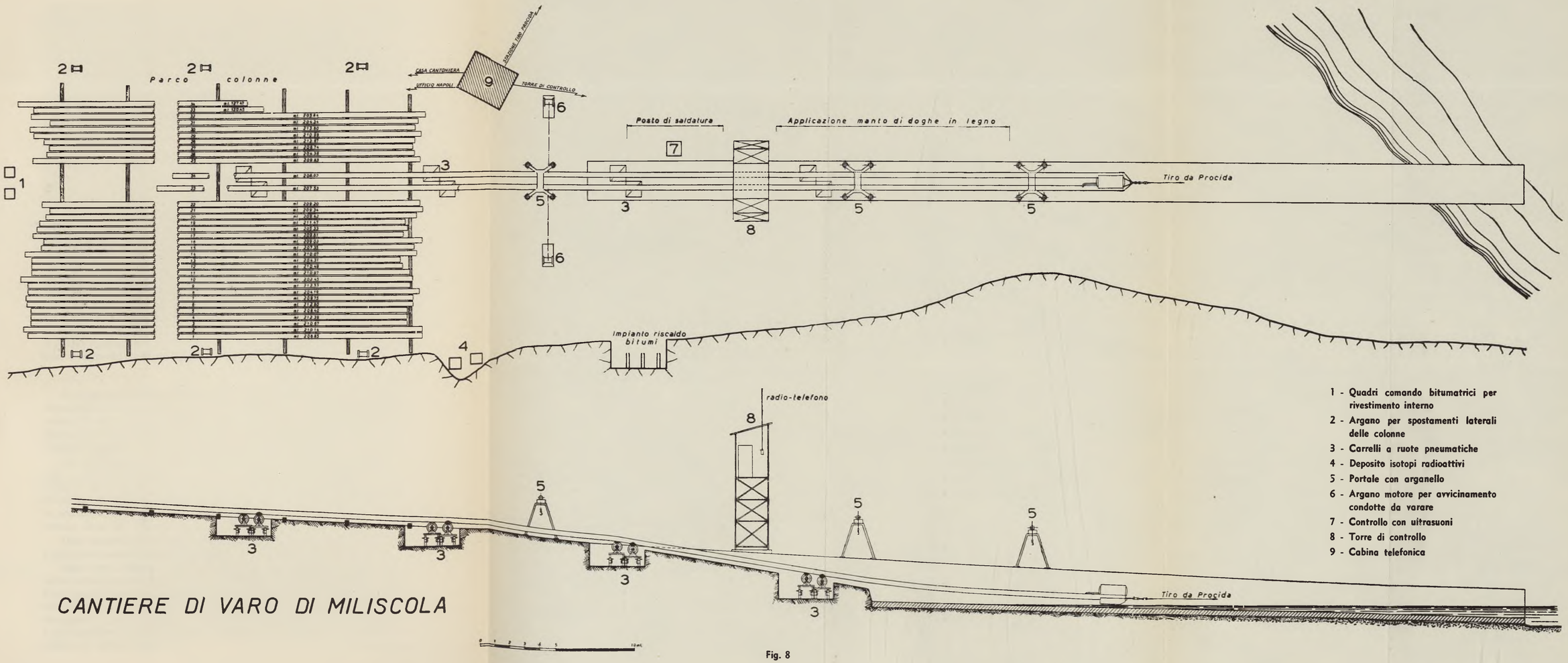
Tutte queste operazioni incontrarono notevoli difficoltà per lo stato del mare assai di rado tranquillo anche nella buona stagione.

Ultimato lo scavo della trincea e la posa in opera dei cassoni furono effettuati i debiti controlli lungo tutta la trincea scavata per assicurarsi che in ogni punto essa rispondesse alle caratteristiche del progetto: a questo fine la direzione lavori disponeva di propri assistenti palombari e di un nucleo di palombari e sommozzatori della Marina Militare.

Mentre durava il lavoro di scavo che terminò il 4 gennaio 1957, furono condotte alcune prove di trascinamento sul fondo del mare di elementi di tubazione montati sulle slitte metalliche previste in progetto e di elementi di tubazione direttamente poggianti sul fondo, con o senza il manto di doghe di legno, e furono altresì eseguite prove pratiche di smontaggio delle slitte sott'acqua, operazione prevista in progetto per ottenere la posa delle condotte direttamente sul fondo della trincea e il ricoprimento necessario senza inutile maggiore profondità delle trincee.

In queste ripetute prove furono fatti percorrere alle tubazioni senza slitte, opportunamente rimorchiate, alcuni chilometri a strisciamento sul fondo del mare e a velocità di gran lunga superiori a quella che avrebbero avute le condotte durante le operazioni di varo.

Si constatò che le slitte, pur opportunamente sagomate, potevano creare ostacoli durante il tiro per accumulo frontale di materiale mentre l'operazione subacquea per il loro smontaggio si presentava particolarmente laboriosa e avrebbe potuto provocare danni localizzati ai rivestimenti. La durata, poi, di questa operazione di smontaggio avrebbe impedito di riempire prontamente d'acqua le condotte appena completato l'intero varo di un attraversamento, come era prudente per maggiore sicu-



CANTIERE DI VARO DI MILISCOLA

Fig. 8

rezza. L'esperimento di trascinamento delle tubazioni con manto di doghe di legno e senza detto manto, cioè col rivestimento direttamente strisciante sul fondo, mostrò, invece, che nessun danno e nessuna abrasione si era prodotta al rivestimento dei tubi e che il tubo non rivestito da doghe, presentava soltanto qualche abrasione parziale della imbiancatura a calce.

Fu pertanto deciso di varare le condotte senza le slitte mantenendo solo quella che formava la testa di tiro della coppia di condotte (*colonna*), alla quale era collegato un cilindro metallico di cui poteva essere graduata con immissione di acqua la spinta di galleggiamento allo scopo di mantenere leggermente sollevata dal fondo la testa della colonna in marcia.

Si notò, inoltre, che mentre per tutto il restante sviluppo del tracciato la trincea rimaneva libera da ogni ingombro malgrado numerose mareggiate, il primo tronco di trincea immediatamente a valle della tratta nei cassoni dell'approdo di Miliscola, e per una lunghezza di circa 800 metri, si riempiva di materiale pozzolanico molto sottile trasportato dalle correnti e proveniente presumibilmente dalle discariche di una cava prossima a Miliscola. Nonostante ripetuti interventi per riaprire questo tronco di trincea il deposito si ristabiliva in poco tempo e veniva a costituire un pericolo assai grave in quanto avrebbe potuto provocare l'interrimento della colonna durante il varo, specie se per qualunque ragione avesse dovuto sospendersi, e determinare quindi gravi difficoltà a proseguirlo. Furono allora fatte ripetute prove per stabilire se convenisse limitatamente a questo tronco rinunciare al varo entro trincea e far avanzare la colonna direttamente sul fondo e provocare, poi, l'allettamento delle condotte a mezzo di idroestrattori dopo il varo di tutto l'attraversamento. Le prove di affondamento mostrarono che l'operazione si poteva eseguire con facilità e perfetta riuscita e si poté così risolvere questa imprevista difficoltà intervenuta durante il lavoro.

Il cantiere di Miliscola (fig. 8 e foto 8) fu realizzato con un notevole sbancamento di terreno che consentì la formazione di un piano inclinato lungo 240 metri e largo 35 metri, capace di ricevere n. 503 tubi della lunghezza tra i 12 e i 14 metri, e la preparazione di n. 17 colonne (coppie di condotte) lunghe circa 200 metri e disposte tutte sullo stesso piano.

Per la formazione di tutte le colonne del passo di Procida furono eseguite n. 603 saldature elettriche dei tubi (saldature testa a testa). Tutte le saldature sono state verficate con apparecchiatura ad ultrasuoni, e in caso di dubbio di qualsiasi natura in questa verifica — intervenuto peraltro in pochissimi casi — con ulteriore controllo mediante gammografia con isotopo Cesio 137 (foto 4, 5, 6).

Ogni condotta della colonna veniva provata a pressione d'aria di 7 atm a giunti non ancora rivestiti e ricoperti con un velo di petrolio.

Dopo ogni saldatura veniva ripristinato il rivestimento interno nel tratto interessato dall'operazione di saldatura ed il rivestimento esterno. Per il primo sono state impiegate bitumatrici centrifughe a comando elettrico portate da apposito carrello all'interno dei tubi. Il rivestimento esterno era uguale a quello applicato ai tubi nello stabilimento di fabbricazione e già descritto, così da assicurare continuità, omogeneità ed aderenza perfetta al metallo (foto 7).

Per ogni colonna veniva infine controllato con il rilevatore a scintilla l'integrità dell'intero rivestimento. La colonna da varare era quindi portata sul piano di varo e poggiata su appositi sostegni di altezza regolabile, muniti di una coppia di ruote pneumatiche folli su un asse orizzontale, mentre altre due ruote pneumatiche assicuravano la guida laterale durante l'avanzamento della colonna per il varo (v. fig. 8).

Il mantenimento della distanza delle due tubazioni formanti la colonna era stabilmente ottenuto con collari metallici stretti sui tubi all'esterno del munto di doghe di legno e montati a terra durante il varo.

L'argano di tiro sistemato alla marina di Sancio Cattolico (Procida) mosso da motore Diesel era munito di tamburo orizzontale con possibilità di avvolgimento di circa 400 metri di cavo del diametro di 26 mm., di variatore di velocità e di un torsiometro sull'albero, tarato in modo da dare in modo continuo una misura sufficientemente approssimata dello sforzo di trazione. La stazione dell'argano era collegata telefonicamente col posto della direzione lavori a Miliscola; i collegamenti con i natanti di appoggio dei palombari per il controllo del varo avvenivano via radio.

Il cavo di trazione del tipo rigido era formato da diversi tronchi lunghi ciascuno circa 500 metri con giunzioni fatte a sovrapposizione e morsettatura e fu preliminarmente sottoposto a verifiche. Il cavo fu varato svolgendolo da bobine poste su pontone rimorchiato e le giunzioni furono fatte a bordo del pontone.

Per il varo di questo attraversamento non fu provveduto inizialmente ad alleggerire le condotte (1) soprattutto allo scopo di mantenere un maggior grado di sicurezza alle azioni trasversali del mare, specie in considerazione del fatto che nei primi 800 metri a valle di Miliscola la condotta rimaneva durante il varo, come già ricordato, poggiata direttamente sul fondo senza la protezione della sponda della trincea.

Il varo poté avere inizio solo il 21 gennaio 1957 (foto 9), in quanto i lavori di scavo della trincea sottomarina e messa in opera dei cassoni agli approdi si protrassero oltre il previsto per le condizioni del mare che impedirono per molti giorni ogni lavoro.

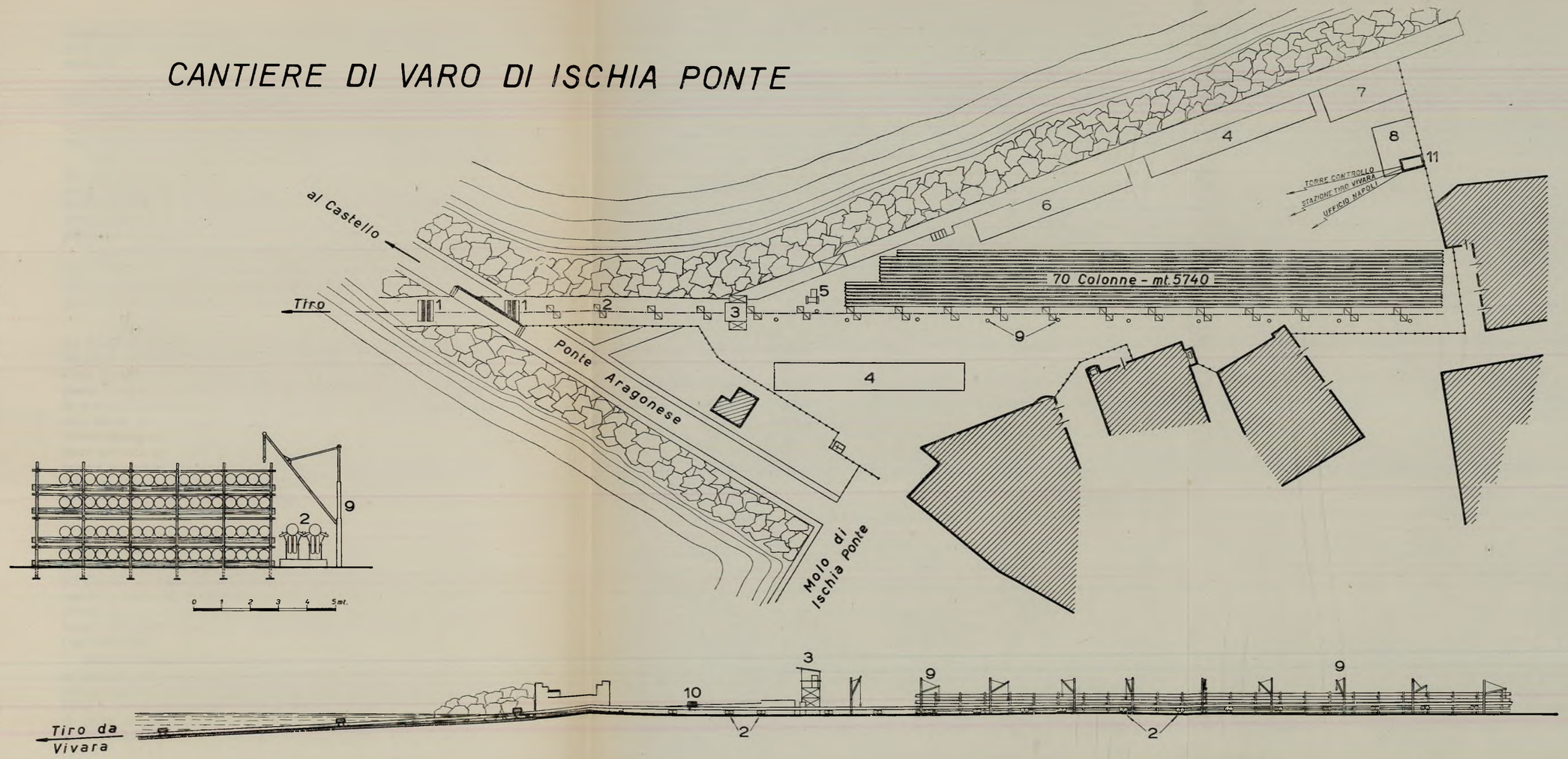
Nelle prime 48 ore furono varate quattro colonne lunghe complessivamente 750 metri. Lo sforzo massimo di trazione risultò di 14 tonnellate. Le operazioni successive, con le quali si varò un'altra colonna (circa 200 m.), furono, invece, gravemente turbate da rotture del cavo di trazione per sfilamento delle giunzioni morsettate e da forti mareggiate che tra l'altro provocarono parziali insabbiamenti del tronco che ricadeva fuori della trincea con conseguente aumento degli sforzi di tiro necessari.

Furono attuati provvedimenti di diverso ordine per disimpegnare le condotte laddove s'erano prodotti parziali insabbiamenti, per migliorare le morsettature del cavo, per alleggerire il cavo e ridurre così le resistenze che produceva strisciando sul fondo specie con le morsettature, ed applicando alle condotte già varate ed a quelle da varare opportune spinte di

---

(1) Il peso medio della colonna (coppie di condotte con manto di doghe e collari distanziatori) a tubi vuoti, è risultato in immersione di Kg. 31,5 a metro lineare.

CANTIERE DI VARO DI ISCHIA PONTE



1 - Treni di rulli di gomma piene
2 - Carrelli a ruote pneumatiche
3 - Cabina di comando
4 - Deposito tubi
5 - Argano a motore
6 - Deposito bitumi
7 - Attrezzature
8 - Baracca
9 - Picchi di carico
10 - Galleggianti
11 - Cabina telefonica

Fig. 9

alleggerimento con galleggianti cilindrici forniti dalla Marina Militare, della spinta utile di 500 kg. ciascuno fissati ad intervalli di circa 50 metri (1).

Tutte queste operazioni furono turbate dalle condizioni del mare che costrinsero ad interromperle varie volte.

Il varo riprese regolarmente il 6 marzo, partendo da una situazione di 955 metri di condotta varata, e fu ultimato il 17 marzo (foto 10, 11). Gli sforzi massimi di trazione raggiunsero in questa fase il valore di 26 tonn.

Finito il varo fu fatta con esito positivo la prescritta prova in opera con aria compressa delle due condotte e i palombari provvidero allo sgancio dei galleggianti, quindi le condotte furono riempite di acqua dolce. Si dette poi inizio alle operazioni di rinterro e a quella di affondamento con idroestrattori dei primi 800 metri di colonna posata sul fondo presso Miliscola, perfettamente riuscita.

Il giorno 28 marzo 1957 fu celebrato il completamento di questa prima fase dell'opera, con l'intervento del Ministro Presidente del Comitato dei Ministri per il Mezzogiorno, facendo sgorgare dalla testata delle due condotte, alla marina di Sancio Cattolico, due getti d'acqua (foto 12).

2. - *Attraversamento del Passo di Ischia*. Dopo le operazioni di scavo del Passo di Procida fu fatta la revisione dei diversi mezzi marittimi impiegati nei lavori e dato, quindi, inizio allo scavo della trincea nel Passo d'Ischia. Qui l'attraversamento per la maggior parte della sua lunghezza si svolge a profondità superiore ai 13 metri, fino alla massima di 28 metri circa, e lo scavo fu eseguito con i soli escavatori a benna su pontone idonei per le maggiori profondità. Mentre durava lo scavo della trincea furono messi in opera i cassoni nei tratti di approdo: data la maggiore acclività del fondo del mare presso le sponde si raggiunge con i cassoni la profondità di circa 10 metri. Per la sede dei cassoni alla partenza da Vivara si è dovuto procedere, per un tronco di 70 metri ricadente in roccia, allo scavo di fondazione con uso di mine effettuato da palombari.

Si provvedeva intanto alla sistemazione del cantiere nel piazzale Aragonese ad Ischia Ponte (fig. 9 e foto 13) e poiché le dimensioni del cantiere erano vincolate dalla esistenza di abitazioni e dal muro di sponda del piazzale, la lunghezza delle colonne dovette essere limitata a metri 80 (contro i metri 200 di Miliscola) e il cantiere fu dovuto sviluppare in altezza con una incastellatura a quattro piani formata con ponteggi tubolari «Innocenti» sui quali furono distribuite le condotte da varare (fig. 10, foto 14).

Mentre a Miliscola l'avvicinamento e la sistemazione delle colonne sul piano di varo avveniva per spostamenti laterali ottenuti con una batteria di arganelli a mano distribuiti su tutta la lunghezza del cantiere, ad Ischia il movimento laterale e verticale delle colonne era effettuato con 15 picchi di carico articolati in tubo d'acciaio, atti a fare sia il tiro per il rotolamento dei tubi sui pancali di legno dei ripiani del deposito,

---

(1) Il peso medio in acqua della colonna (coppie di condotte vuote) in questa seconda fase di varo fu mantenuto, così pari a Kg. 23 per metro lineare.

sia il sollevamento delle colonne e la loro sistemazione sui sostegni gommati del piano di varo.

Tutto il resto delle operazioni di preparazione delle condotte, tranne dettagli di cantiere (come ad es. la sostituzione di gomme piene a quelle pneumatiche delle ruote di guida sul piano di varo), furono uguali a quelle di Miliscola.

L'esperienza ricavata dal varo del canale di Procida portò a considerare attentamente il problema del cavo di trazione e del controllo del peso della condotta durante il varo.

Il complesso delle osservazioni e dei dati del primo varo dimostrava chiaramente che ove non vi fossero state interruzioni dipendenti dal comportamento del sistema di trazione e le condotte fossero state sempre in movimento (tranne, s'intende, le poche ore necessarie all'operazione di collegamento di una colonna alla successiva) nonostante la sfavorevole stagione non vi sarebbero stati altri ostacoli allo svolgimento dei lavori

Per il varo di Ischia fu impiegato un cavo del diametro di 36 mm. del tipo flessibile con anima di canapa, i cui tronchi furono tutti giuntati con *impalmature* eseguite a regola d'arte in modo da realizzare un cavo continuo per l'intera lunghezza del Passo. L'argano di tiro fu faticosamente posto alla Punta dell'Alaca a Vivara ricavandone la sede in scavo sulla ripida pendice tufacea (foto 15-17).

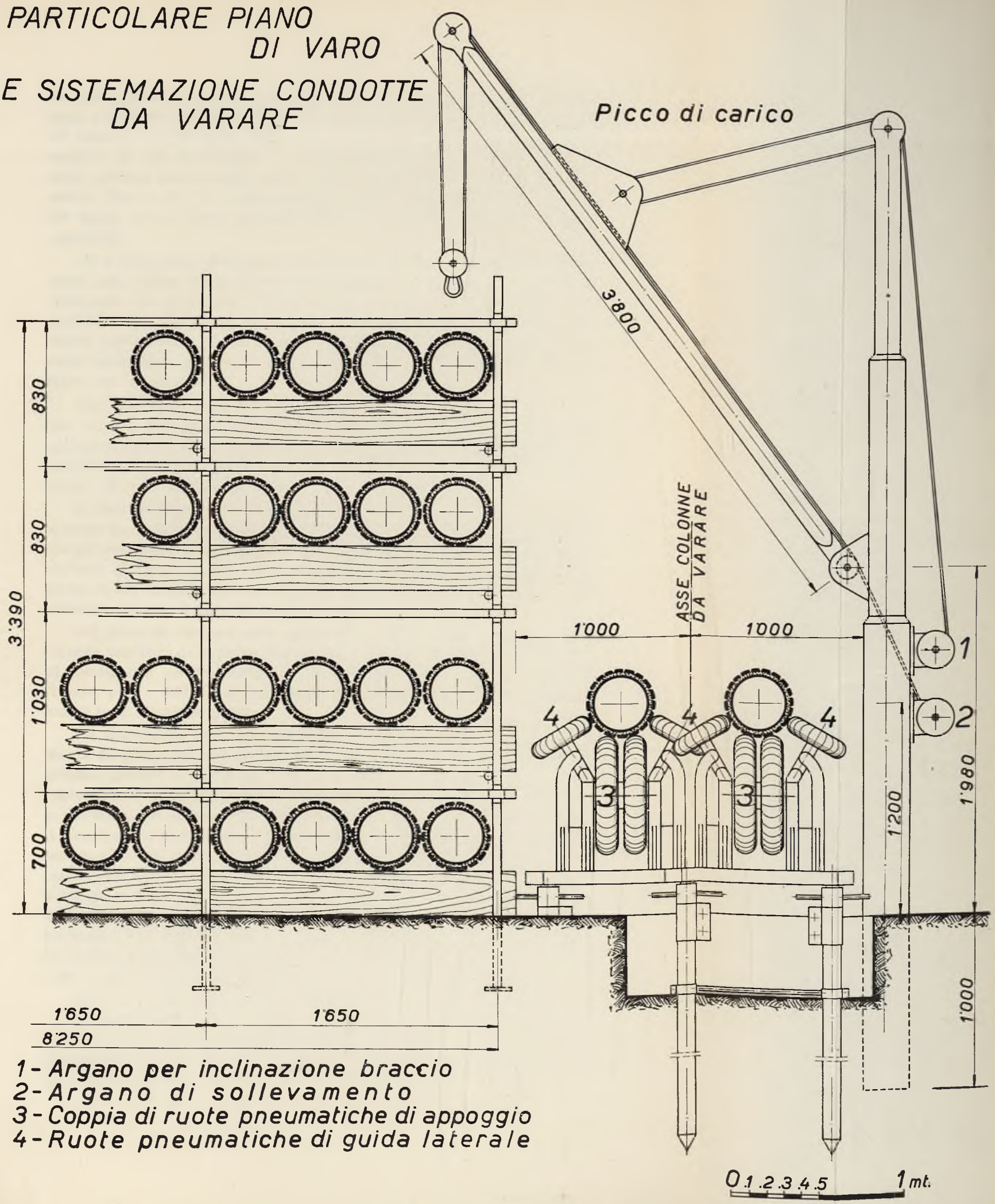
Il varo di Procida aveva anche, come si è detto, posto in evidenza l'utilità di poter controllare il peso in mare delle condotte in modo da poterlo adattare ad ogni esigenza. Mentre da un lato la maggiore intensità delle correnti marine nel Passo di Ischia accentuava la necessità di mantenere le condotte pesanti durante il varo, dall'altro appariva prudente non rinunciare ai chiari vantaggi del minor peso e alla possibilità di agevoli interventi per ridurlo ulteriormente in caso di bisogno. L'optimum stava in un sistema che avesse consentito di tener leggere le condotte e di poterle appesantire rapidamente in caso di interruzioni per mareggiate od altro e di nuovo alleggerirle alla ripresa del varo; il tutto con operazioni da terra. Tra i diversi metodi escogitati per rispondere a queste opposte esigenze ci si orientò su un sistema di spinta distribuita in modo continuo e controllabile da terra, ottenuto con una tubazione continua in gomma telata del diametro di 150 mm. collegata alla coppia di tubazioni per produrre, quando fosse piena d'aria, una spinta di galleggiamento di 17 kg. a metro lineare, spinta annullabile con lo scarico dell'aria manovrato da terra.

La tubazione di gomma fu studiata dalla Ditta Pirelli e ne fu costruito un campione di circa 30 metri di lunghezza, che fu sottoposto a ripetute prove in mare, di pressione e di vuotamento e furono studiate le non facili sistemazioni di agganciamento di detta tubazione alla colonna.

Ci si dovette però convincere che la fabbricazione delle tubazioni di gomma (3 km. circa) e la realizzazione di tutti gli accessori occorrenti avrebbe richiesto tempo superiore a quello disponibile tenuto conto dell'avanzamento di tutte le altre operazioni. Fu quindi deciso di alleggerire la condotta che lo stesso sistema usato a Procida, in modo permanente

CANTIERE DI ISCHIA

PARTICOLARE PIANO DI VARO E SISTEMAZIONE CONDOTTE DA VARARE



1 - Argano per inclinazione braccio
2 - Argano di sollevamento
3 - Coppia di ruote pneumatiche di appoggio
4 - Ruote pneumatiche di guida laterale

Fig. 10

con galleggianti di spinta (vedi fig. 11) di 500 kg. l'uno fissati alla colonna a distanza di 35 metri, così da ridurre stabilmente il peso in acqua del sistema a 17,30 kg/m medii, e di intervenire per ulteriori alleggerimenti — in caso di necessità — con predisposti speciali natanti a doppio scafo portanti una piccola grue a portale, capace di sforzo di sollevamento fino a 10 t. Correlativamente sulle colonne, a intervalli di 200 metri, erano fissati appositi collari con funi di aggancio collegate a gavitelli.

Fu d'altra parte predisposto quanto necessario per appesantire la colonna con rapida manovra da terra perché la necessità di un provvedimento del genere era da prevedersi proprio in condizioni di mare proibitive per interventi subacquei. L'appesantimento fu previsto mediante riempimento di una delle due tubazioni della colonna con acqua dolce accumulata nei nuovi serbatoi di Ischia e appositamente trasportatavi dal continente.

Alla testata in mare di detta tubazione venne applicata (v. foto 21) una valvola automatica tarata per lo scarico sia di aria che di acqua, prevedendosi così la possibilità di successive operazioni di riempimento e vuotamento da farsi, quest'ultimo, a mezzo di sfera di gomma a tenuta spinta ad aria compressa (pig.).

Il varo nel Passo di Ischia (foto 16) fu condotto solo nelle ore diurne in modo da controllare continuamente la marcia della testata della colonna con gli assistenti palombari. Si svolse con assoluta regolarità senza inconvenienti di alcun genere, ed è durato dieci giorni con un avanzamento medio di 290 metri al giorno, né è stato necessario modificare il peso delle condotte durante il varo (foto 21, 22, 23).

Gli sforzi di trazione sono variati da 8 a 18 t., all'avvio delle singole colonne passando dalle prime alle ultime, e da 6 a 14 t. durante la marcia: vi corrisponde un coefficiente di attrito praticamente costante durante il varo pari a 0,29. La durata media del tiro di una colonna (lunga 80 metri) fu di 35 minuti primi.

La successione delle operazioni per il varo, non diverse sostanzialmente da quelle del varo di Procida, fu la seguente: finito il varo di una colonna quando la estremità a terra si trovava in corrispondenza della postazione di saldatura, veniva sistemata sul piano di varo, in asse con la precedente, la nuova colonna da varare, di cui era stato controllato tutto il rivestimento con metodo elettrico; messa a contatto e in asse delle due testate allineate; saldatura elettrica di ciascuna delle due tubazioni; controllo delle due saldature, dopo il raffreddamento, con ultrasuoni; ripristino del rivestimento interno; pulitura con spazzola metallica a motore della superficie esterna da rivestire in corrispondenza alle giunzioni ed esecuzione del rivestimento; applicazione del manto di doghe di legno nel tronco di giunzione; montaggio dei collari distanziatori delle due condotte e dei cilindri di galleggiamento serrati sui collari.

Questo complesso di operazioni aveva la durata media di 4 ore.

Ultimato il varo si è proceduto, come per l'altro tronco, alla prova ad aria compressa ed al riempimento della condotta, allo sganciamento dei galleggianti da parte dei palombari; subito dopo sono state iniziate le operazioni di rinterro e di sistemazione dei tronchi nei cassoni presso le

sponde. Per il tronco di approdo a Vivara, date le difficoltà di mantenere il riempimento di materiale incoerente nei cassoni, come era stato fatto per gli altri approdi, a causa della forte pendenza della condotta e delle violenti azioni del mare, si sono riempiti i cassoni con calcestruzzo avendo cura di lasciare alla condotta la possibilità di spostamenti longitudinali.

Il giorno 9 novembre 1958 (foto 24), con l'intervento del Ministro Presidente del Comitato dei Ministri per il Mezzogiorno, si svolse la cerimonia inaugurale con un getto di acqua di circa 40 metri di altezza al manufatto di arrivo della condotta sottomarina al piazzale Argonese di Ischia, e con la successiva apertura di fontane nei comuni di Ischia, Casamicciola, Lacco Ameno e Forio.

3. - *Protezione catodica e controllo dell'isolamento delle condotte in opera.* La protezione catodica si è potuta realizzare con impianti di estrema semplicità, in conseguena dell'alta efficienza della protezione passiva che — come ripetutamente è stato detto — fu curata in maniera particolarissima nelle varie fasi di progetto, esecuzione in fabbrica, trasporto, lavori in cantiere e messa in opera.

I due posti di protezione catodica, sistemati uno sulla spiaggia di Miliscola e uno su quella di Ischia ponte, sono costituiti da un solo anodo di magnesio da 4, 5 kg.

Le correnti assorbite dalla condotta (che viene mantenuta ad un potenziale negativo di circa 0,9 volt rispetto all'elettrodo $Cu/CuSO_4$ saturo) sono estremamente basse e subiscono solo lievi oscillazioni stagionali e in caso di forti mareggiate allorché alle testate agli approdi l'isolamento subisce l'influenza dell'atmosfera satura di umidità, la qual cosa è più sensibile per la testata di Vivara che è molto più esposta.

Il primo tronco nel passo di Procida è oramai in mare da 26 mesi e la *corrente assorbita ha mantenuto praticamente il valore iniziale.*

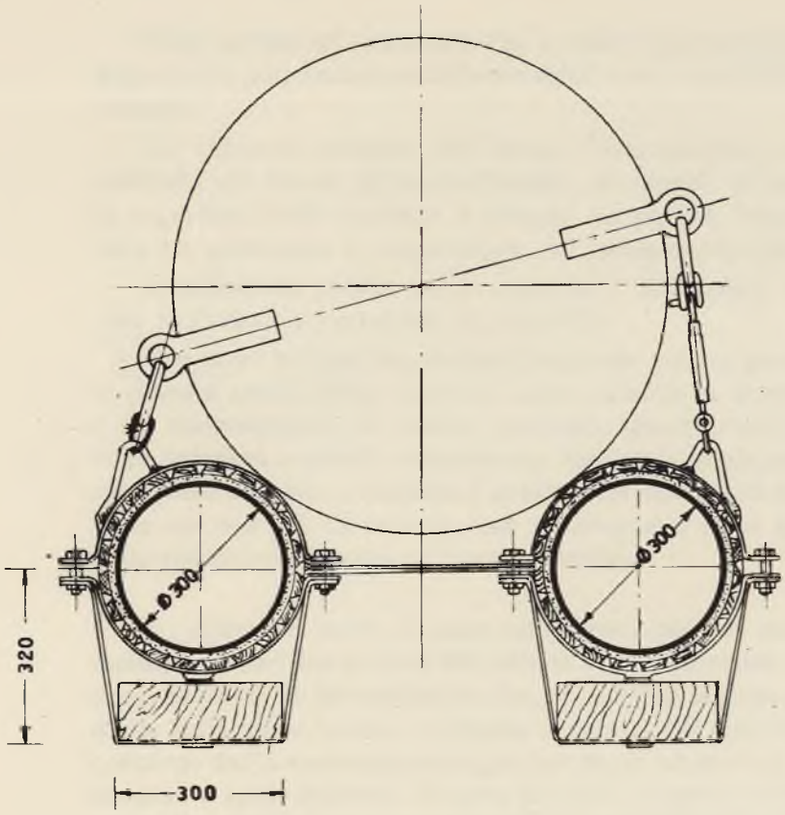
I due tronchi sottomarini vengono regolarmente e periodicamente controllati, perché all'impianto di protezione catodica si attribuisce non solo la funzione di difesa attiva delle condotte, ma anche quella di controllo dello stato del rivestimento protettivo.

Si riportano qui di seguito alcuni valori rilevati dai controlli eseguiti:

	Corrente totale assorbita dalle due condotte	Potenziale allo estremo delle condotte a Procida e a Vivara
Nel Passo di Procida:		
al 7-5-1957	10 m A	— 0,85 V
al 16-9-1958	9,6 m A	— 0,99 »
al 19-11-1958	11 m A	— 0,93 »
al 6-3-1959	10,6 m A	— 0,97 »
al 28-4-1959	10,0 m A	— 1,00 »
Tronco Vivara Ischia:		
al 20-11-1958	5,7 m A	— 0,860 »
al 6-3-1959	5,6 m A	— 0,885 »
al 28-4-1959	7,1 m A	— 0,855 »

ATTACCO DEI CILINDRI DI ALLEGGERIMENTO

sezione



vista laterale

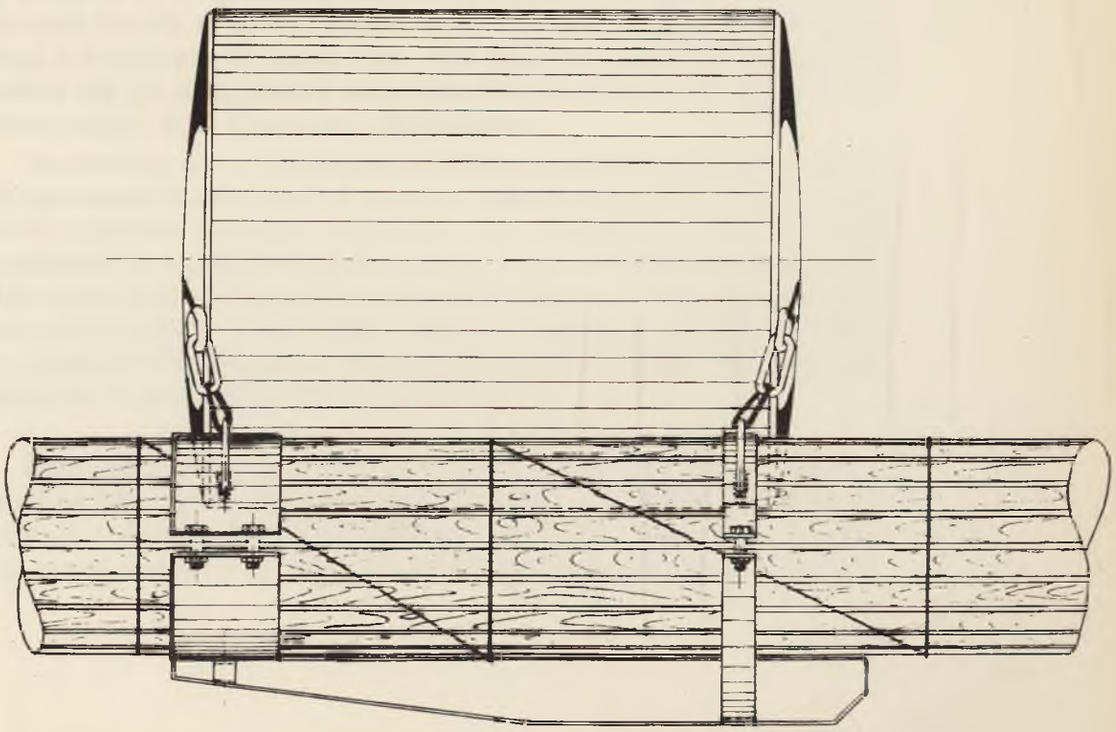


Fig. 11

Vale la pena di osservare che i valori riportati sono quelli ottenuti dopo che la polarizzazione della condotta aveva raggiunto valori pressoché costanti.

La corrente assorbita dal tronco Vivara-Ischia è minore di quella assorbita dal tronco Miliscola-Procida, sia perchè la lunghezza, e quindi la superficie, delle condotte è minore, sia perché l'esperienza del primo varo ha consentito di raggiungere nel secondo risultati ancora migliori.

L'isolamento medio della condotta è dell'ordine di 1-2 milioni di ohm per decimetro quadrato di superficie.

Per avere un'idea dei risultati raggiunti vale la pena di ricordare che la densità media della corrente sulle condotte è rispettivamente di 1,4 e 0,9 microAmpere per metro quadrato. Questi valori sono circa mille volte inferiori a quelli normalmente impiegati negli impianti comuni di protezione catodica, e da dieci a cento volte inferiori a quelli che si ottengono nei casi più favorevoli; essi testimoniano l'alto grado di efficienza della protezione passiva ad opera ultimata.

4. - *Costo dei lavori.* Il costo complessivo dei due attraversamenti sottomarini è risultato di circa 900 milioni di lire. La stima di progetto prevedeva un costo di 786 milioni di lire, di cui 683 milioni per lavori a base d'asta sulla quale somma si ottenne il ribasso del 6% e di 85 milioni a disposizione dell'Amministrazione per forniture, lavori vari, occupazione temporanea e spese generali. Il costo di tutte le opere dell'acquedotto per le due isole a partire dal serbatoio di Bacoli è 2.300 milioni di lire.

Complessivamente sono state impiegate 70.000 giornate operaie delle quali 3.400 di palombari e di sommozzatori. Nessun infortunio degno di nota.

Il consuntivo tecnico di questo lavoro è espresso dal confronto tra la fase di preparazione e quella di attuazione.

La prima caratterizzata dalla necessità di definire e mettere a punto le soluzioni di un problema mai prima affrontato in quelle condizioni e con quei vincoli e, quindi, fase di studi, ricerche, indagini e sperimentazioni, è durata più di cinque anni tutti spesi nel lavoro di preparazione tecnica ché gli adempimenti amministrativi sono stati condotti col ritmo celere proprio della Cassa per il Mezzogiorno.

La seconda che si distingue per l'aderenza delle operazioni esecutive alle previsioni fondamentali di progetto, onde durante il lavoro non si sono dovuti risolvere problemi importanti non esaminati in sede di studio quantunque la novità dell'opera legittimamente ne facesse dubitare, è definita dalla durata complessiva di soli due anni e di soli 70 giorni per la posa delle condotte in mare (km. 12,6) in essi compresi i giorni di arresto per cause di forza maggiore. L'attraversamento del Passo d'Ischia è stato varato in 10 giorni senza lavoro notturno.

Sono stati risolti problemi mai prima affrontati come lo scavo di lunghe trincee sul fondo marino *in mare aperto e profondo,* perfettamente rettilinee e livellate a quote prestabilite, e sono state adagiate sul fondo di esse lunghe condotte ricoperte di delicati rivestimenti protettivi, ottenen-

done la perfetta conservazione durante l'operazione di varo che era particolarmente gravosa.

Come in ogni cosa nuova c'era, nonostante tutto, una quota di rischio per incognite non valutabili a priori: di questo fu tenuto conto affrontando con prudenza prima il lavoro nel Passo meno profondo e traendone ulteriori suggerimenti per il lavoro più difficile nel Passo di Ischia.

All'inestimabile beneficio recato da quest'opera agli abitanti delle isole flegree e a tutti coloro che d'ogni paese traggono a quelle spiagge per trovarvi salute e refrigerio e visioni di bellezza, oggi che essa è compiuta, si unisce l'orgoglio legittimo della tecnica e della industria italiana che l'hanno realizzata, acquistando un nuovo primato in questo settore delle opere civili di cui venti secoli addietro quegli stessi luoghi della Campania felix videro già esempi mirabili.

IMMENSA SUB AEQUORA PONTI
NUNC PRIMUM
NAVITATIS REI PUBLICAE DOCUMENTUM
MAGNAEQUE PARENTIS FRUGUM
NUMQUAM INTERITURAE VIRTUTIS
ROMULEAE STIRPIS INGENIUM
LONGINQUIS E MONTIBUS EDITAE
AQUAE VIAM APERUIT
PURISSIMA UT SCATERET ET LAETA
DEI CONDITORIS GLORIAE
UNDIQUE HUC PETENTIBUS
EX TOTO TERRARUM ORBE
VIRIDEM PERPETUO APRICANTEM AENARIAM
SALUTI

A. D. MCMLVIII

Iscrizione sull'opera terminale dell'acquedotto sottomarino dettata da Monsignore Antonio Cece - Vescovo di Ischia

Hanno dato la loro opera per la realizzazione dell'acquedotto sottomarino per Procida e Ischia i seguenti ingegneri:

Della Cassa per il Mezzogiorno:

CELENTANI UNGARO Pietro - Capo del Servizio Acquedotti e Fognature;

MESSINA Umberto - Capo Ufficio Acquedotto Campano che ha studiato il progetto esecutivo e diretto i lavori;

PESCIONE Pietro - Coadiutore Direttore dei lavori;

ROTUNDI Leonardo - Studi e ricerche sui rivestimenti protettivi;

ARPAIA Mario - del Centro Controllo Corrosione;

DELLE FEMMINE Antonio - del Centro Controllo Corrosione.

Liberi professionisti:

Prof. PISTILLI Giuseppe (Incaricato Facoltà Ingegneria Univ. Napoli) - che ha studiato il progetto di massima e data la consulenza per gli studi esecutivi e la realizzazione;

Prof. JACOPETTI Mario (Ordinario Facoltà Ingegneria Univ. Napoli) - che ha dato la consulenza per gli studi esecutivi e la realizzazione con particolare riferimento alla protezione delle condotte dalla corrosione.

Prof. SPINELLI Franco (Ordinario Facoltà Ingegneria Univ. Napoli) - che ha dato la consulenza per gli studi esecutivi e la realizzazione.

Della ditta costruttrice - Dalmine:

BIFFIGNANDI Umberto;

CACCIOPPOLI Lorenzo;

DONATI Enrico;

SARTI Felice;

ACCARDI Giuseppe.

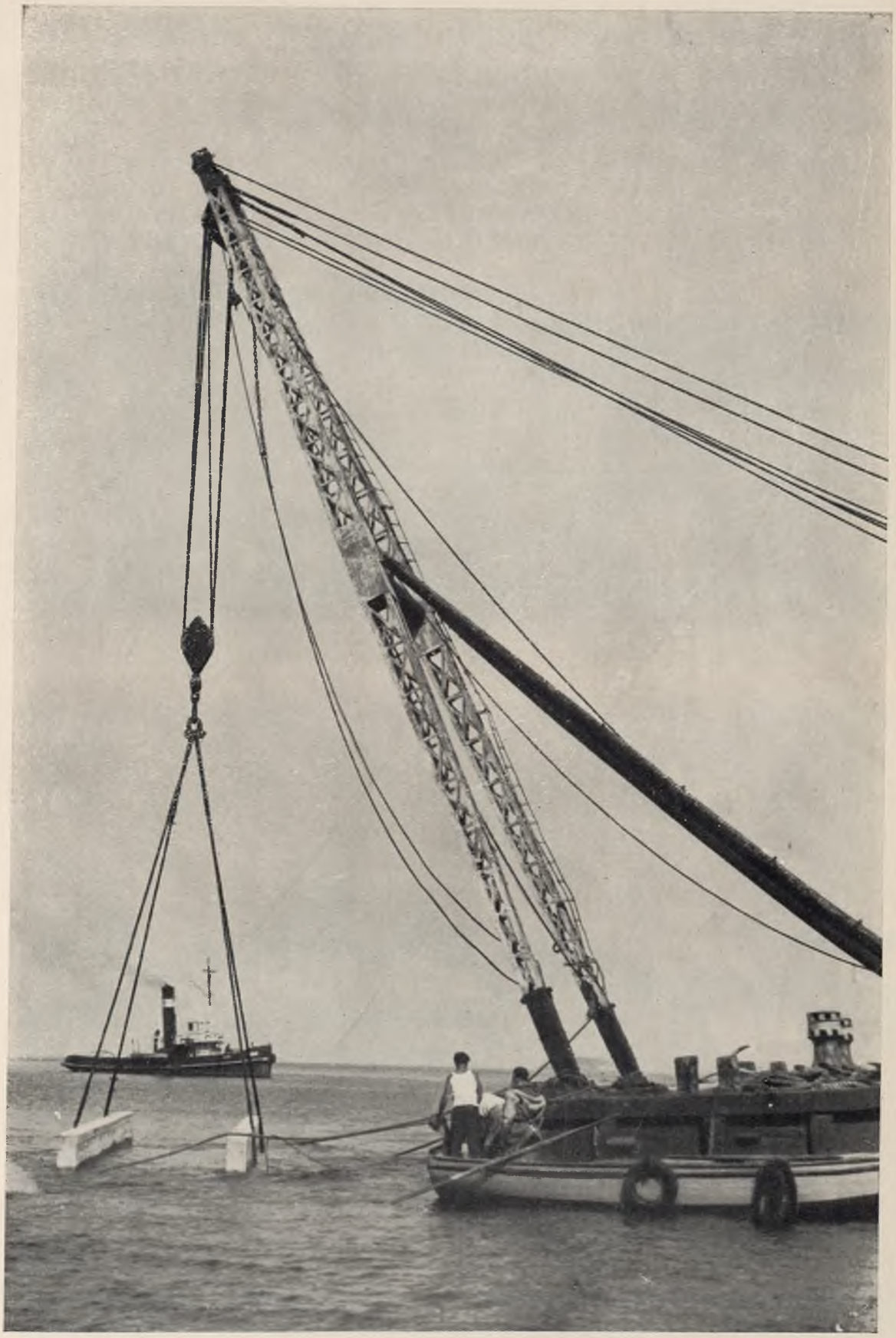


Foto 1 - Posa in opera di un cassone prefabbricato in calcestruzzo armato per costituire la sede delle condotte presso un approdo.

Foto 2 - Pontone con escavatori al lavoro per la scavo della trincea nel passo di Procida.

Foto 3 - La draga Parodi del Servizio escavazione porti del Ministero dei LL. PP., impiegata nei lavori di scavo per l'attraversamento del passo di Procida.

Foto 6 - Controllo di una saldatura con dispositivo ad ultrasuoni.

Foto 7 - Costruzione del rivestimento bituminoso in corrispondenza di una giunzione.

Foto 8 - Cantiere di Miliscola. Condotte pronte per il varo.

Foto 9 - Cantiere di Miliscola. La prima colonna munita della testa di tiro in posizione di varo.

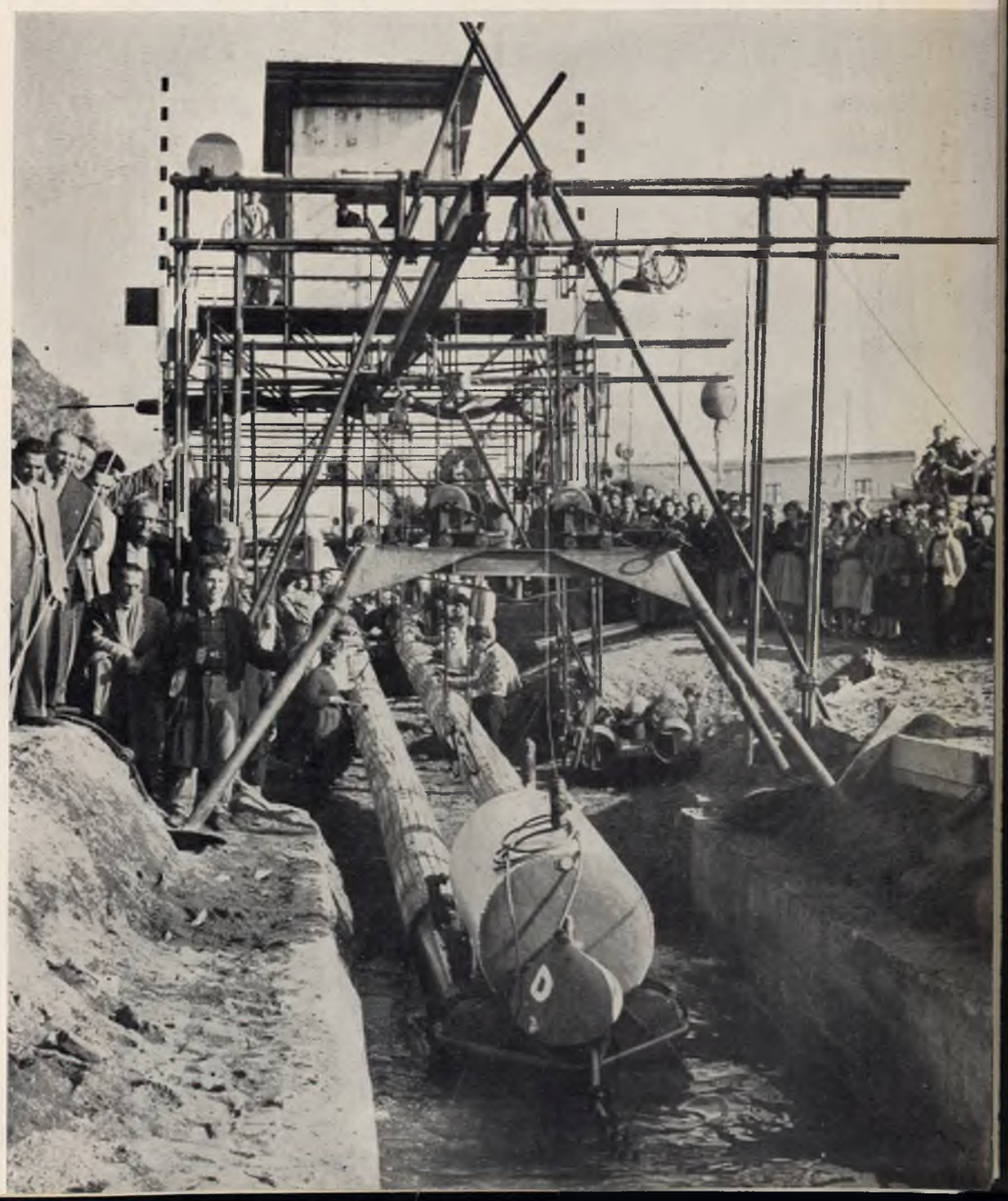


Foto 11 - Arrivo della testa di tiro sulla spiaggia di Sancio il Cattolico a Procida.

Foto 12 - Due getti d'acqua zampillano sulla spiaggia di Procida dalla estremità delle due condotte sottomarine collegate al serbatoio di Bacoli.

Foto 13 - Cantiere di Ischia Ponte. Condotte pronte per il varo.

Foto 14 - Cantiere di Ischia Ponte. Una colonna sul piano di varo.

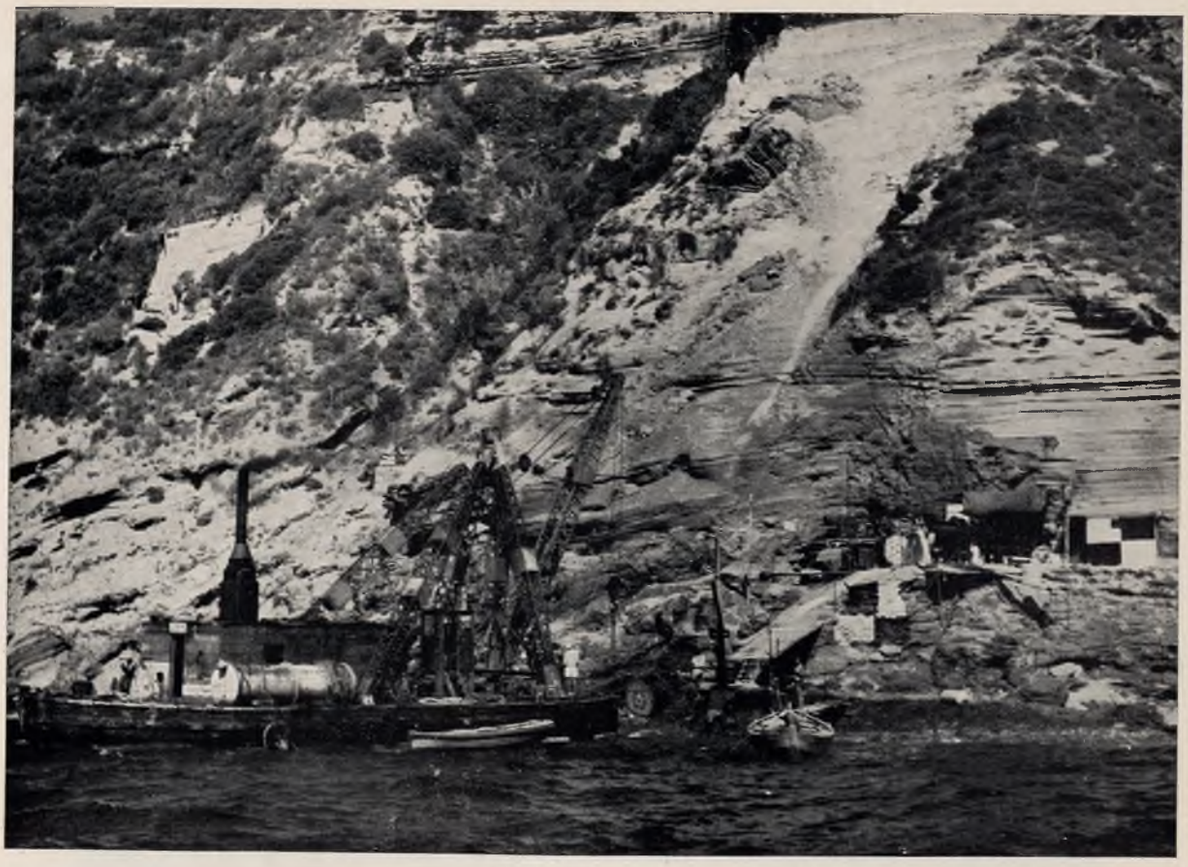


Foto 15 - Postazione dell'argano alla punta dell'Alaca sull'isola di Vivara.

Foto 16 - Varo delle colonne da Ischia verso Vivara.

Foto 17 - Argano per il tiro nella postazione di Vivara in funzione.

Foto 18 - Un palombaro ispeziona l'attacco di un cilindro di alleggerimento.

Foto 19 - Palombari e sommozzatori controllano l'avanzamento della testa di tiro entro la trincea nel fondo marino.

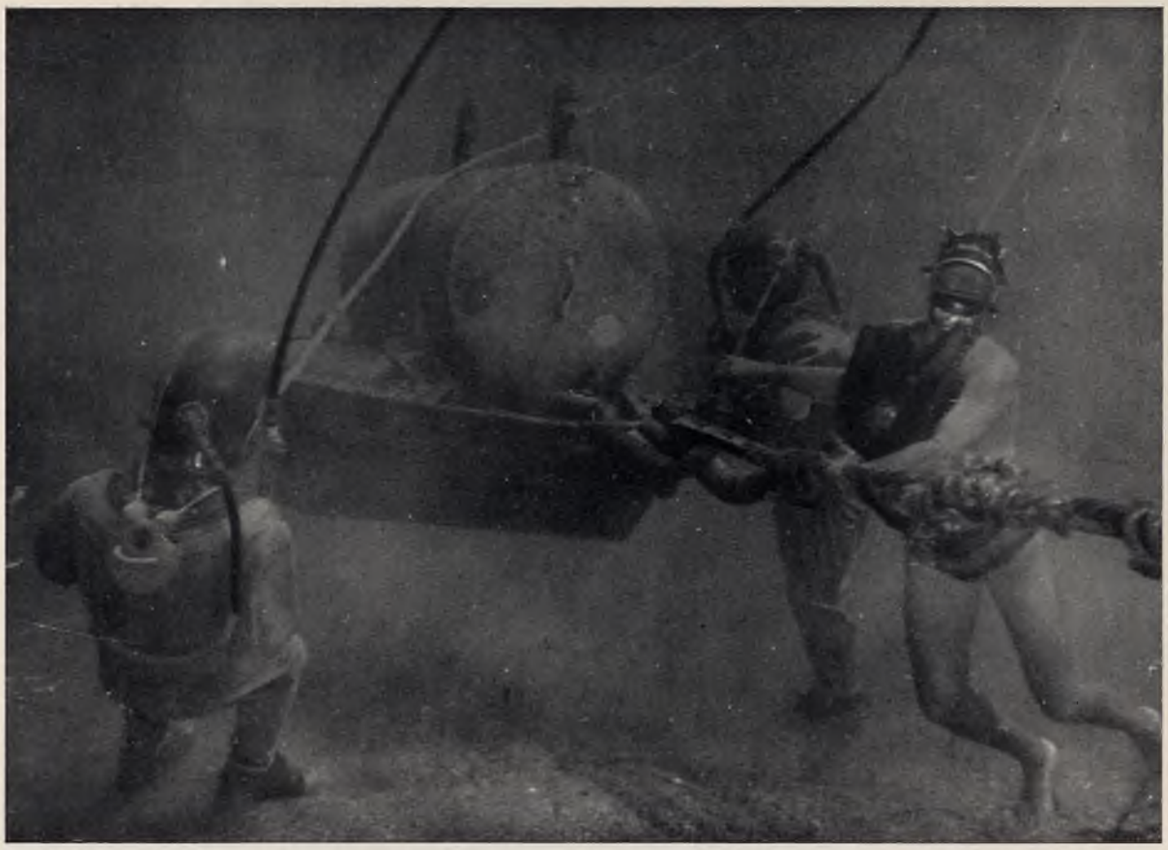


Foto 20 - Sommozzatori e palombari al lavoro presso la testa di tiro.

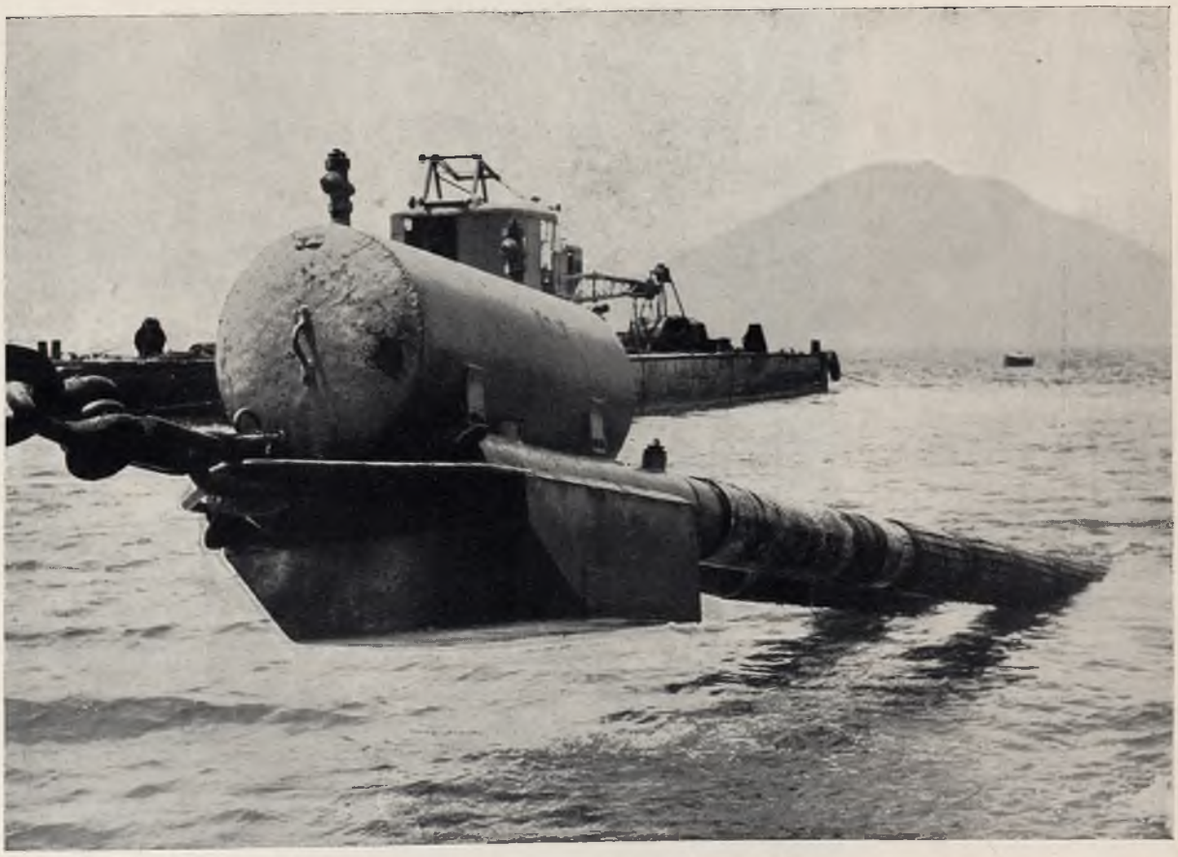


Foto 21 - La testa di tiro emerge dal mare presso Vivara.

Foto 22 - L'ultima fase delle operazioni di tiro da Vivara.

Foto 23 - La testa di tiro raggiunge la posizione di arresto su Vivara.

Foto 24 - Un altissimo getto di acqua proveniente dal continente scaturisce a Ischia Ponte dal terminale dell'acquedotto sottomarino.

APPENDICE N. 1

Prof. Ing. MARIO JACOPETTI

PRIMA RELAZIONE SULL'ESAME DI TUBI DALMINE VARIAMENTE RIVESTITI TENUTI IN MARE PER CIRCA 9 MESI NEL GOLFO DI POZZUOLI

Riassunto

Nello studio preliminare dell'acquedotto sottomarino per le Isole di Procida ed Ischia venne messa in particolare evidenza la necessità che l'acquedotto stesso venisse difeso dal pericolo di corrosione.

Tanto dal punto di vista della durata dell'impianto, come da quello di sicurezza dell'esercizio, le esigenze che si ponevano per l'acquedotto allo studio erano molto più severe di quelle relative ad altri impianti similari che erano stati realizzati in condizioni molto più favorevoli in quanto si trattava di profondità minori e in zona di laguna o sotto costa.

In secondo luogo risultò che mancavano quasi del tutto dati concreti sul comportamento di canalizzazioni metalliche durevolmente immerse in mare. Era stato possibile di raccogliere alcuni dati sulla costituzione dei rivestimenti adottati per diverse canalizzazioni metalliche sottomarine, mentre fu praticamente impossibile di rintracciare e raccogliere elementi sui risultati di esercizio di tali strutture.

Nello studio della protezione della condotta dai fenomeni di corrosione, uno dei punti di maggiore interesse è quello dell'azione della flora e fauna marina sul rivestimento protettivo della condotta stessa. Il solo dato concreto, dedotto dalla esperienza fatta sulle parti immerse di piloni metallici, era che la zona di sviluppo della flora e fauna marina si arresta al di sotto di una cinquantina di centimetri sotto il fondo del mare; a condizione che lo strato di 50 cm. sia costituito da sabbia o altro materiale sottile.

Vista la estrema scarsezza di dati disponibili la Società Dalmine, con apprezzabile senso di responsabilità, decise di effettuare subito alcune esperienze su campioni appositamente preparati onde raccogliere dei dati sulla conservazione delle canalizzazioni metalliche immerse nel mare. In seguito vengono riassunti i primi risultati ottenuti dall'esame di sei campioni di tubo rivestito che sono restati immersi a circa 2 m. di profondità per un tempo di quasi nove mesi.

DESCRIZIONE DEI CAMPIONI

Presso gli Stabilimenti Dalmine furono preparati dei campioni di *tre diversi rivestimenti,* considerati particolarmente adatti allo scopo e precisamente i seguenti:

1) bitumatura di fondo + « Dalmine » + pesante (tubi 1 e 1v);

2) bitumatura + doppio « Dalmine » + pesante (tubi 2 e 2v);

3) bitumatura + doppio pesante (tubi 3 e 3v).

Tali rivestimenti furono applicati a tubi del diametro di 210 mm. (prossimo a quello della condotta da mettere in opera), lunghi 2,50 o 3 metri, i tubi avevano le testate chiuse da un fondello saldato ed erano appesantiti opportunatamente per impedire che galleggiassero.

Per ogni tipo di rivestimento vennero preparati quattro tubi; su due di questi, e nella zona centrale, il rivestimento fu asportato per una lunghezza di circa mezzo metro.

La protezione fu poi ricostruita con il sistema che avrebbe dovuto essere adoperato in corrispondenza dei giunti della condotta, allo scopo di esaminare il comportamento della protezione in corrispondenza dei giunti; li chiameremo « campioni con giunti ». Le estremità dei tubi erano protette con rivestimento analogamente ricostituito; ad una delle estremità di ogni tubo era collegato un cavetto ad alto isolamento che attraversa il rivestimento di protezione; lo scopo di questo collegamento era quello di poter effettuare delle misure durante la immersione dei campioni.

Ben si conosceva che la brevità del tempo a disposizione non consentiva una indagine sufficientemente estesa nel tempo, e tale da potere dare esauriente risposta alle incertezze che riflettevano l'azione degli esseri viventi marini sui rivestimenti, sia dal punto di vista dell'attacco chimico come da quello della deteriorazione meccanica. Tuttavia si decise di iniziare la sperimentazione per ottenere i risultati più immediati, salvo a prolungare tale sperimentazione, anche ai fini di una indagine più generale non esclusivamente legata all'impianto in progetto.

I campioni vennero sistemati su due zattere di legno (separatamente quelli coi giunti e quelli senza giunti), e vennero immersi, il 31 - 3 - 1954, ad una profondità di circa 2 metri sotto il pontile degli Stabilimenti Meccanici di Pozzuoli; tale località fu scelta per la vicinanza alla zona in cui doveva essere posato l'acquedotto, e per la facile accessibilità; la foto 1 chiaramente mostra la sistemazione dei tubi sulle zattere nonchè la zona centrale con il finto giunto con rivestimento ricostituito.

I conduttori elettrici collegati ad ogni tubo erano tutti raccolti in una morsettiera sistemata anch'essa sotto il pontile. Purtroppo l'azione meccanica del moto ondoso spezzò i cavetti in questione, mentre le onde ricoprirono d'acqua la morsettiera, sebbene sistemata in una casetta stagna. Pertanto non si sono effettuate misure durante la immersione salvo quelle compiute da un tecnico della Dalmine il 28-9-1954, sollevando le zattere e procedendo anche ad un esame esterno dei tubi.

Nella prima decade del dicembre 1954 è stata recuperata la zattera con i sei campioni « con giunti », mentre veniva lasciata in sito la zattera con i sei campioni senza giunti. Riasumiamo qui di seguito i principali fatti osservati e le principali considerazioni che ne derivano.

RISULTATI DELLA ESPERIENZA

1 - I tubi si presentavano completamente ricoperti di incrostazioni e di animali marini. La foto 1 dà una chiara idea dell'aspetto generale del complesso dei campioni dopo il recupero, come pure della loro sistemazione.

A parte i numerosi gruppi di *mitili* (cozze attaccati nella anfrattuosità (ve ne è allevamento nella zona immediatamente vicina a quella di immersione dei campioni) i campioni stessi si presentavano coperti da tutta una serie di esseri marini ben noti. Un esame più accurato, effettuato con il cortese aiuto di colleghi zoologi, ha permesso di riconoscere le specie più importanti e più diffuse.

Numerosi i « *balani* », comunemente chiamati « *denti di cane* », i quali avevano penetrato il rivestimento in profondità. Sull'azione di questi crostacei ci fermeremo in seguito più a lungo. Gli specialisti hanno ancora riconosciuto varie specie di « briozoi » (detti anche retefore perchè costituiscono una specie di minutissima rete di sostanza calcarea); un piccolo campione di questa si può riconoscere con qualche difficoltà e con l'aiuto di una lente nella foto 6. Anche difusissimi « tubicoli » di vario tipo; questi animali formano un rivestimento calcareo, così come fanno i briozoi, ma, come questi, non agiscono in profondità. Varie forme di « ostriche » (lamellibranchi) anche fauna incrostante, sono riconoscibili dalla foto 6. Senza continuare in questa esposizione, diremo subito che la prima impressione fu quella di un deciso deterioramento del rivestimento da parte dei balani, che chiaramente dimostravano di penetrare nella massa con effetti subito accertabili, ma certamente dannosi. La foto 2 dà indicazione

chiara della diffusione di questa fauna, e di come questi crostacei si inseriscono nel rivestimento penetrandovi profondamente .

La foto 3 mostra invece alcune sezioni del rivestimento n. 1 nei punti attaccati dai balani; in questi campioni lo strato di bitume, sottostante a quello di cemento amianto, è in generale restato attaccato al metallo del tubo e si vede solo in qualche punto. La foto 3 rappresenta il rivestimento in una scala che non arriva al doppio del reale, e dimostra evidentemente la notevole profondità della penetrazione, raggiunta in meno di 9 mesi di permanenza sott'acqua. Le foto 4 e 5 mostrano due ingrandimenti maggiori per dare una più chiara idea del fenomeno peraltro ben visibile nelle figure precedenti. La foto 6 mostra invece un particolare della varia fauna marina aderente alla superficie esterna del tubo. I depositi calcarei che derivano dalla presenza di briozoi, di tubicoli, ed altre specie incrostanti, lasciano adito a qualche preoccupazione per ulteriori cicli biologici, che si sovrappongono alla fauna incrostante, come in appresso si ricorderà.

La presenza di tutti questi animali non è ignota alla letteratura; ma la azione della fauna e flora marina è stata soprattutto studiata in relazione all'attacco delle carene delle navi. Si tratta cioè di cicli relativamente brevi, compresi fra una operazione di carenatura e la successiva; tanto è vero che in questo speciale problema si cerca di intervenire con i prodotti cosiddetti « antifouling », che sono a base di veleni, peraltro di breve durata efficace (pochi mesi). Anche le indagini fatte presso stazioni marine, lasciano molto a desiderare in quanto a durata di cicli di osservazione. La fauna in questione è molto diffusa; in un articolo di Main ed Arhold pubblicato nel luglio 1950 nel Journal of Iron and Steel Institute, appaiono parecchie fotografie perfettamente corrispondenti alle nostre. E' interessante rilevare che secondo l'opinione di zoologi specialisti della Stazione Zoologica di Napoli (Acquario) lo sviluppo della vita animale e vegetale nelle zone del golfo di Napoli è molto intensa e praticamente dura tutto l'anno.

2 - Prima di discutere i risultati sopra riferiti è opportuno di esporre i risultati delle misure elettriche cui sono stati sottoposti i campioni.

E' necessario premettere che tutti i campioni prima della immersione avevano mostrato delle resistenze di isolamento sensibilmente basse, e decisamente inferiori a quelle che vengono comunemente misurate sui campioni della produzione normale Dalmine, specie sui tubi di piccolo diametro. Inoltre sebbene la misura della resistenza di isolamento di una canalizzazione interrata sia ancora un argomento di studio e di discussione, la pratica esperienza conferma che le canalizzazioni stesse presentano, quando sono state posate, una resistenza di isolamento molto inferiore (circa mille volte) a quella che si potrebbe prevedere dai risultati ottenuti in laboratorio. Certamente influenza questo risultato la ancora notevole incertezza della misura, ma è da ricordare che le inevitabili accidentalità del trasporto e della posa in opera contribuiscono a creare dei punti deboli del rivestimento, che abbassano notevolmente il valore complessivo della resistenza di isolamento.

Purtuttavia la bassa resistenza iniziale dei rivestimenti protettivi non ha particolare rilievo nel nostro discorso, perchè in questa sede ci interessa soprattutto di conoscere le « variazioni » che una permanenza in mare produce nel rivestimento di protezione. Infatti non è affatto sorprendente che le prime esecuzioni sperimentali di rivestimenti speciali (a spessore sensibilmente maggiorato rispetto a quelli normali, e fatte per pochi campioni di breve lunghezza) non abbiano dato i risultati che si possono certamente ottenere con una lavorazione normale; anzi tale rilievo è servito a mettere in evidenza la necessità di un più accurato controllo delle proprietà del rivestimento da applicare alla condotta per l'acquedotto sottomarino di Ischia, ed a tentare particolari accorgimenti tecnologici in fase costruttiva.

Come si è detto, i campioni furono tutti immersi in mare in data 31 - 3 - 1954, essendo le due zattere sospese sotto il pontile degli Stabilimenti Meccanici di Pozzuoli.

I primi sei campioni (quelli col giunto, di cui si parla) vennero prelevati nella prima decade del dicembre 1954, restando immersi per poco più di 8 mesi.

Dopo un rapido esame oculare essi vennero trasportati con tutta la zattera all'Istituto di Elettrochimica della Facoltà di Ingegneria dove subirono i necessari esami.

Gli esami elettrici eseguiti furono piuttosto lunghi e laboriosi; a parte infatti la difficoltà di maneggiare oggetti ingombranti e molto pesanti si cercò di valutare la resistenza di isolamento del rivestimento, dopo la permanenza in mare, nel suo complesso, e di analizzarla per le varie zone della superficie del tubo, onde metterla in relazione con l'attacco biologico. In questo riassunto ometteremo una gran parte dei dati che risultarono da questi rilievi limitandoci ad illustrare la indagine eseguita e le conclusioni ottenute.

Per provare l'isolamento complessivo dei rivestimenti si operò come segue. Fu preparata una cassa di legno, interamente foderata di zinco per renderla stagna, e di dimensioni tali che potesse contenere circa la metà di uno dei tubi, disposto con l'asse verticale. Questa cassa venne riempita con soluzione al 30% di cloruro di sodio, i tubi vennero gradualmente immersi nella cassa, misurando, per le varie immersioni, la resistenza di isolamento fra il cavetto, saldato ad una delle estremità del tubo, ed un elettrodo di acciaio immerso nella soluzione. Non è fuori di luogo ricordare che nel maneggiare i campioni si ebbe sempre la massima attenzione per non danneggiare i rivestimenti. Così in tutte le manovre di trasporto e sospensione, vennero impiegati degli spessori di gomma piuma, onde i rivestimenti restassero protetti dalle azioni meccaniche che non si potevano evitare.

Le misure furono effettuate con un « Megger » a tensione di 500 Volt. Qualche prova effettuata con apparecchi a corrente continua e tensione sensibilmente più bassa, ha dato valori dello stesso ordine di grandezza. La tabella 1 è un esempio dei risultati di questa prima serie di misure. Le resistenze di isolamento apparivano basse e si vede qualche punto particolarmente debole, come per esempio il punto di attacco del cavetto elettrico per il tubo n. 1v.

Lo schizzo che segue la foto 6 dà la sistemazione dei tubi sulla zattera e fornisce alcune precisazioni sulla prima serie di misure. Ripetiamo qui la corrispondenza fra i tubi e i rivestimenti:

tubi 1 e 1v: rivestimento 1;
tubi 2 e 2v: rivestimento 2;
tubi 3 e 3v: rivestimento 3;

Questa prima serie di rilievi, sebbene molto utile, si dimostrò subito insufficiente al nostro scopo. Infatti era nostro massimo interesse di accertare se, anche ammessa una deficiente resistenza iniziale del rivestimento appena costruito, fosse possibile rilevare qualche punto in cui il rivestimento fosse stato particolarmente avariato dalla permanenza in mare, o dall'attacco della flora e fauna marina. Perciò si decise di procedere ad una indagine più minuta e sistematica. Fu preparato un piccolo elettrodo esploratore di superficie 30 cmq., e si misurò la resistenza di isolamento fra questo elettrodo, appoggiato leggermente sul rivestimento, e la massa metallica del tubo, attraverso il cavetto di collegamento ad una estremità; era così possibile di localizzare difetti particolari. Per esprimere i risultati in maniera facile abbiamo idealmente diviso la superficie del rivestimento in due parti, secondo un piano diametrale, chiamandole parte I e parte II.

Abbiamo inoltre diviso la superficie secondo dei piani normali all'asse del tubo, contrassegnando le zone così ottenute con le lettere da A ad L. Il disegno che precede la foto 7 mostra chiaramente la semplicità di questo riferimento convenzionale; ed il grafico successivo riporta in forma riassuntiva i risultati delle misure. Le zone tratteggiate sono quelle ove la resistenza misurata è risultata inferiore a 100 kiloohm.

ESAME DEI RISULTATI

1 - Un primo evidente risultato delle misure sopra riferite è il seguente: le zone dove il rivestimento è stato ricostituito presentano spesso una resistenza di isolamento più deficiente. La constatazione non è assolutamente generale, ma

Tabella 1

TUBO n. 1v					t. e 12 C				TUBO n. 2v				
Data	Ore	Posizione	Immersione	Res.	Data	Ore	Posizione	Immersione	Res.
7-1-55	9,55	Testa in su	cm. 2	37 K-Ohm	7-1-55	16,00	Testa in su	cm. 2	10 K-Ohm
»	10,00	»	» 20	33 »	»	16,01	»	» 20	8 »
»	10,03	»	» 50	30 »	»	16,04	»	» 50	4,5 »
»	10,04	»	» 100	17 »	»	16,05	»	» 128 (fondo)	3,5 »
»	10,05	»	» 128 (fondo)	17 »	»	16,23	»	» 128 (fondo)	4,9 »
»	10,40	»	» 128 (fondo)	20 »	»	16,45	»	» 128 (fondo)	3,7 »
»	11,15	»	» 128 (fondo)	20 »	8-1-55	9,30	»	» 128 (fondo)	6 »
»	11,35	»	» 128 (fondo)	20 »	»	9,40	Capovolto	» 2	10 »
»	12,00	Capovolto	» 2	1,5 »	»	9,41	»	» 20	5 »
»	12,05	»	» 20	1,3 »	»	9,42	»	» 50	3,5 »
»	12,10	»	» 50	1,2 »	»	9,45	»	» 128 (fondo)	2,7 »
»	12,40	»	» 128 (fondo)	1,1 »	»	10,00	»	» 128 (fondo)	2,5 »
»	15,45	»	» 128 (fondo)	1,2 »	»	10,50	»	» 128 (fondo)	2,5 »

il grafico successivo alla foto 7 impone di studiare una tecnica che assicuri la efficienza del rivestimento sui giunti.

2 - Non sembra che il rivestimento, in quanto tale, abbia sofferto per la sua permanenza in acqua di mare; inducono a tale conclusione le seguenti osservazioni: la resistenza di isolamento non è uniformemente degradata, ma si trovano sensibili differenze da punto a punto (vedi per es. il tubo 2, sez. E). Inoltre un piccolo campione del rivestimento, perfettamente asciutto ha dato una resistenza di isolamento elevatissima, mentre ha indicato una resistenza di circa 2,5 megaohm dopo essere stato immerso per un'ora in acqua (si tratta del rivestimento 2), ossia quando gli strati di cemento-amianto erano completamente imbibiti di acqua.

3 - Neppure può dirsi che i tubi siano differenziabili per la loro posizione sulla zattera; i due tubi centrali (2 e 2v) sono certamente i più scadenti, come resistenza di isolamento, ma non in misura tale da presentare una netta differenza con gli altri. Le proprietà del bitume non sono sostanzialmente variate per permanenza in acqua di mare; alcune prove eseguite hanno riscontrato che per quanto riguarda le proprietà del bitume si hanno gli stessi risultati prima e dopo la immersione.

4 - In nessun caso la profondità di penetrazione dei balani ha interessato tutto lo spessore del rivestimento. In particolare poi lo sviluppo di questi crostacei non ha mai superato lo strato di cemento-amianto. Ciò si vede chiaramente dalle foto 3, 4 e 5, che sono soltanto una esemplificazione di moltissimi campioni esaminati. Questa osservazione non può ritenersi come definitiva, perchè non si sa se una più lunga permanenza dei tubi in mare col consentire un ulteriore sviluppo di questa fauna, non ci condurrebbe a rilevare una penetrazione più profonda. Ulteriori elementi si potranno avere dall'esame del secondo gruppo di sei tubi (senza giunti) che sono ancora immersi, e sui quali si è voluto lasciare sviluppare la fauna e la flora marina almeno per un secondo ciclo biologico annuale.

5 - Tutte le altre forme biologiche riscontrate non sembrano avere — per il tempo della sperimentazione — danneggiato il rivestimento. Anche qui l'esame del secondo gruppo di tubi potrà fornire qualche ulteriore elemento di giudizio

Poiché non risulta che la permanenza in mare abbia alterato i rivestimenti è necessario garentire fin dall'inizio valori elevati della resistenza di isolamento Si ricorda qui ancora la necessità di una particolare attenzione per non danneggiare il rivestimento durante il trasporto e la messa in opera.

6 - I rivestimenti esaminati non avevano valori iniziali sufficientemente elevati, pertanto fra i tre tipi sperimentati non si rilevano apprezzabili differenze; questa conclusione potrebbe essere diversa partendo da rivestimenti inizialmente al massimo della loro efficienza.

Sebbene i peggiori risultati si abbiano in corrispondenza dei tratti ad isolamento ricostituito, pur tuttavia la differenza non appare tale da far pensare ad una impossibilità di una buona ricostituzione dell'isolamento in corrispondenza dei giunti.

Le prove eseguite mettono l'accento sulla necessità di una accurata ricostituzione dell'isolamento, ma non indicano una deficiente qualità dei mezzi adoperati.

7 - Per difendere il rivestimento della condotta e mantenerne la efficacia è certamente necessario proteggere il rivestimento dall'azione degli animali che penetrano il rivestimento stesso.

8 - E' necessario ancora, come diremo in seguito, prevedere l'azione di altri tipi di animali, qui non ancora considerati.

CONCLUSIONI

Dalle considerazioni ora svolte discendono alcune importanti conclusioni.

1) Resta confermata la necessità di eseguire in fabbrica una serie di prove per controllare la esecuzione del rivestimento in modo da ottenere in partenza delle resistenze di isolamento paragonabili a quelle che si ottengono nella lavorazione di serie Dalmine per i normali rivestimenti. Le più recenti informazioni lasciano pensare che in tale direzione si siano già ottenuti soddisfacenti risultati, ma occorre riceverne conferma e documentazione sperimentale. In particolare sembra accertata la possibilità di realizzare uno strato di bitume aderente alla superficie della condotta di spessore sensibilmente maggiore di quello ottenuto nei primi campioni sperimentali che qui si esaminano.

2) Resta anche confermata la necessità di una ulteriore e continua indagine sul comportamento di tubi rivestiti immersi durevolmente in acqua di mare, e forse anche di tubi non rivestiti. A tale riguardo si potranno studiare delle sperimentazioni sistematiche; per intanto, più strettamente in relazione allo studio della condotta sottomarina di Ischia e Procida, si è provveduto ad immergere altri campioni, con riferimento ai primi risultati dei quali qui si discute.

3) Resta anche dimostrato che è indispensabile proteggere la canalizzazione dall'azione dei balani. Infatti la penetrazione profonda di questi crostacei nel rivestimento ne menoma certamente la resistenza e la durata.

Per controllare questo punto molto importante si è già iniziato una nuova sperimentazione, sulla quale si riferirà in futuro.

4) La necessità della protezione dalla fauna e flora marina è ben dimostrata dalle illustrazioni della presente relazione; e che sia necessario difendere il rivestimento può apparire evidente, in quanto si è mostrato che l'azione di alcuni animali è quella di aggredire il rivestimento stesso. Ma è anche opportuno mettere in evidenza che il rivestimento stesso appare necessario, in quanto l'azione della flora e fauna marina può condurre, in condizioni opportune, ad un attacco delle canalizzazioni sottomarine, che può essere particolarmente severo. Si veda l'articolo di Main ed Arhold prima citato. Si ricorda ancora che tutti i casi riportati nella letteratura di canalizzazioni metalliche sottomarine mostrano condotte protette con un rivestimento.

5) Pur continuando nella sperimentazione iniziata, riconosciamo che è necessario fin d'ora di fissare degli orientamenti, soprattutto nella ipotesi di una sollecita realizzazione dell'impianto.

L'azione dei balani, che fino ad oggi appare la più pericolosa, può considerarsi limitata ad acque che siano poco profonde; questa è la opinione di uno zoologo della Stazione Marina Zoologica (Acquario) di Napoli. Altri zoologi fanno delle riserve, ma sempre ammettono che lo sviluppo dei balani si avrà *prevalentemente* nelle acque poco profonde. Contro tale azione, e per profondità fino a 6 metri, si potrebbe anche pensare a rivestimento di cemento che copra il vero e proprio rivestimento del tubo, tenuto anche conto che fino ai 6 metri è anche possibile, con relativa facilità, una ispezione periodica fatta con palombari, allo scopo di controllare lo stato della condotta.

Alle maggiori profondità, che nel caso dell'acquedotto di Procida ed Ischia sono sensibilmente più grandi di quelle generalmente incontrate da impianti similari non si può pensare ad altra protezione che non sia quella di uno strato di sabbia di spessore di almeno 50 cm. Già abbiamo messo in evidenza questo punto riferendoci alla esperienza della base dei pali metallici, che risultano indenni da attacco per la parte che si trova affondata al di sotto di uno spessore di sabbia di circa 50 cm.

Per dare qualche documentazione di questo fatto, in mancanza di meglio, riportiamo la foto 9; la pietra, sebbene infissa nella sabbia solo per pochi centimetri, mostra come la parte coperta da sabbia sia esente da incrostazioni.

Le esperienze in corso ci potranno meglio e maggiormente illuminare su questo punto, ma allo stato sembra che non si possa mettere in dubbio che gli og-

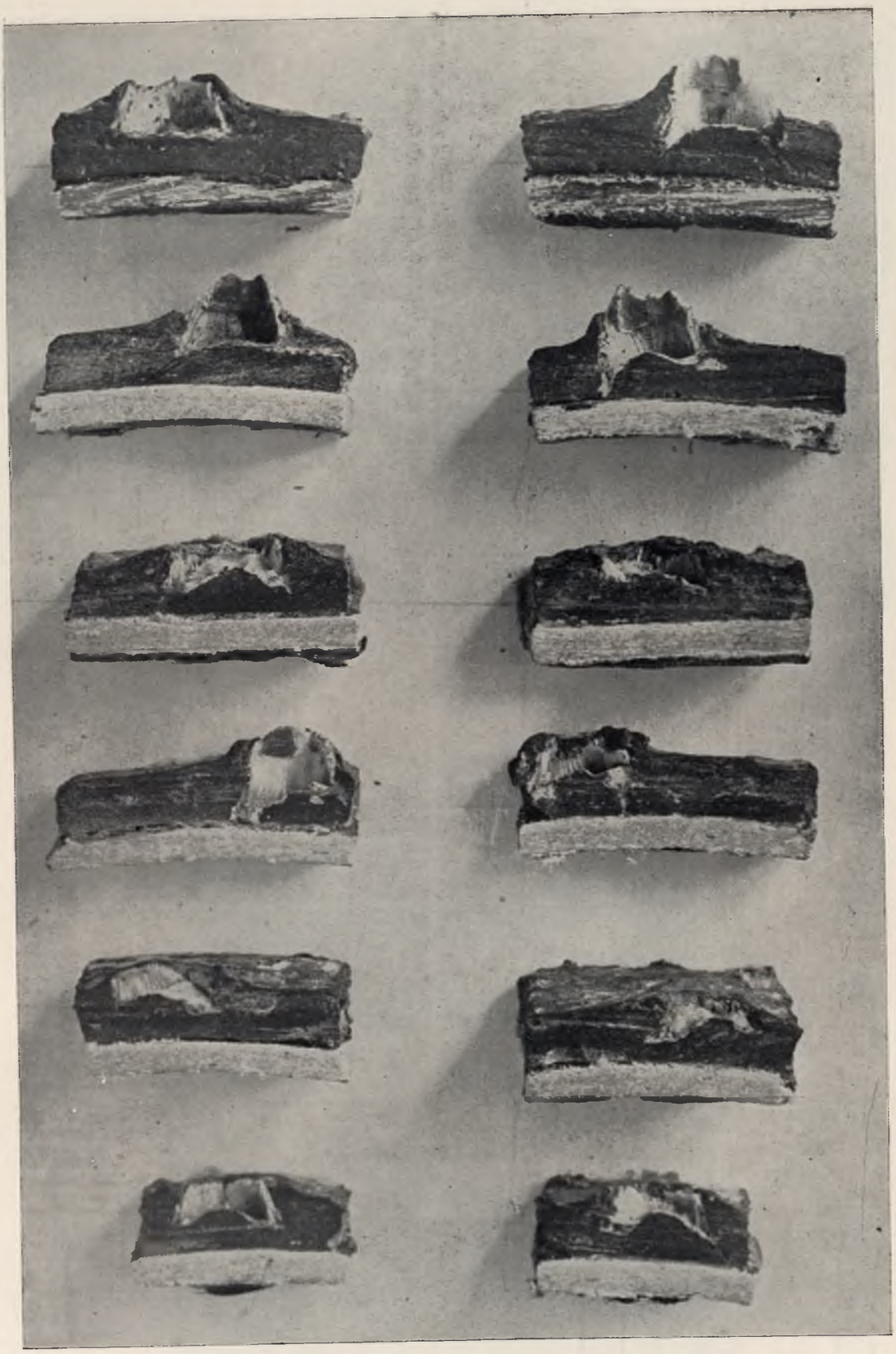
getti coperti da uno strato di sabbia restano protetti dalla incrostazione e dall'azione della flora e fauna marina che noi abbiamo visto svilupparsi così rapidamente sui nostri campioni. Anche l'esperienza dei palombari, addetti al recupero di navi affondate durante la guerra, conferma che la parte degli scafi che era ricoperta di sabbia si è ritrovata col metallo pulito ed in buone condizioni.

6) La Cassa per il Mezzogiorno sta conducendo un esame accurato del fondo marino secondo il probabile tracciato, ci sembra importante che il lavoro sia fatto dopo aver considerato quanto qui si espone, allo scopo di ottenere elementi anche per quella parte dello studio che ci interessa ai fini della protezione della condotta. Aggiungeremo solo che gli zoologi sono concordi nell'ammettere che sotto una coltre di sabbia dell'ordine di grandezza sopra ricordato la possibilità di azione della flora e fauna marina resta praticamente esclusa.

Le precedenti considerazioni possono avere influenza notevole sulla scelta del tracciato; e si rende indispensabile che i tecnici responsabili della messa in opera esprimano la loro opinione su quanto da noi esposto, allo scopo di ricercare la migliore soluzione che risolva i molteplici problemi sollevati da un così interessante ed importante acquedotto.

Fot. 1

Fot. 2

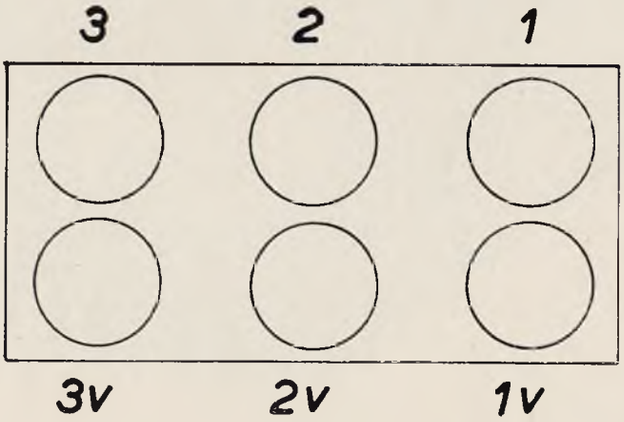


Fot 3

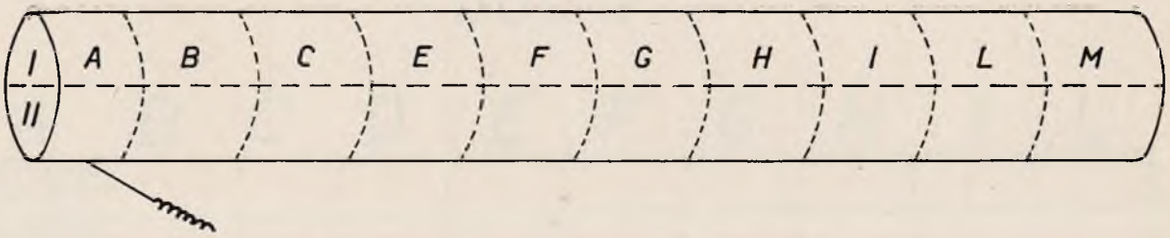
Fot. 4

Fot. 5

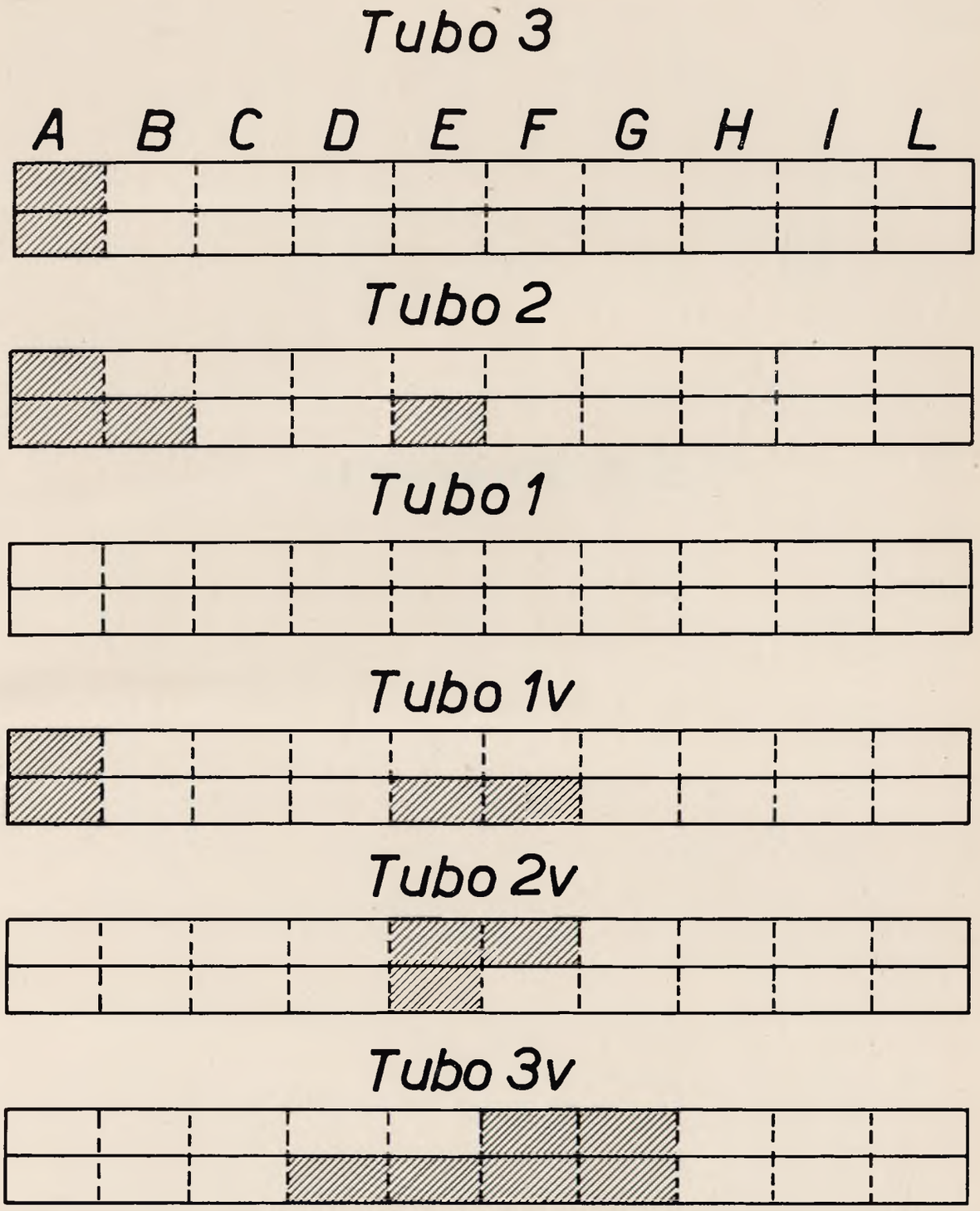
Fot. 6



Disposizione dei tubi nella zattera.



Fot. 7



Punti dove la R e minore di 100K Ω

APPENDICE N. 2

Prof. Ing. MARIO JACOPETTI

SECONDA RELAZIONE SULL'ESAME DI TUBI DALMINE VARIAMENTE RIVESTITI, TENUTI IN MARE PER CIRCA 16 MESI NELLA ZONA DEL GOLFO DI POZZUOLI E SU ALTRI CAMPIONI INTERRATI E NO NELLA ZONA DI CAPO MISENO

(*Riassunto*)

1 - In una precedente relazione abbiamo riassunto i risultati dell'esame dei rivestimenti di una prima serie di 6 tubi Dalmine, dopo una permanenza di circa 9 mesi in acqua di mare.

Riferiamo adesso sull'esame di altri campioni che sono restati immersi dal 31 marzo 1954 al 23 luglio 1955, ossia circa 16 mesi, ininterrottamente.

Il precedente esame aveva mostrato che sui tubi immersi a circa 2 metri di profondità si verificava una rigogliosa incrostazione dovuta alla vita biologica marina. In particolare la presenza di numerosi balani (denti di cane) faceva temere per la conservazione dei rivestimenti, poiché tali balani penetravano nei rivestimenti per una notevole parte dello spessore.

Le misure di isolamento dei campioni prelevati dopo circa 9 mesi di permanenza in acqua di mare, ad una profondità media di 2 metri, avevano anche indicato una sensibile deficienza dell'isolamento stesso, ma si era dovuto constatare che i campioni non erano stati ben preparati.

In conseguenza di quanto sopra riportato, venne deciso di continuare la esperienza già iniziata (con i campioni immersi sotto il pontile degli Stabilimenti Meccanici di Pozzuoli), poiché il primo prelievo aveva utilizzato solamente sei dei dodici campioni disponibili. Ma nel contempo si stabiliva di sottoporre alla prova anche nuovi campioni, allo scopo di precisare alcuni dei risultati ottenuti e di accertarne altri.

Come dicevamo nella precedente relazione l'attacco biologico sembra potersi escludere (almeno per quanto ci interessa ai fini della conservazione dei rivestimenti protettivi), se il metallo è sotterrato nel fondo del mare ricoperto da uno strato di sabbia dello spessore di almeno 50 cm.

Venne pertanto deciso di preparare un altro gruppo di campioni alcuni dei quali fossero depositati semplicemente sul fondo del mare, ed altri interrati come si è ora detto.

Inoltre, poiché i peggiori danni sembravano derivare dalla rigogliosa crescita dei balani, ed accurate informazioni (raccolte tanto presso l'Istituto Zoologico della Università di Napoli come presso la Stazione Zoologica (Acquarium) di Napoli, lasciavano ritenere che questi crostacei non fossero più temibili ad una profondità di circa 6 metri d'acqua, fu stabilito che questa seconda sperimentazione fosse realizzata in fondali appunto di 6 metri. Anche per ravvicinarci alle condizioni reali, fu deciso di spostare il luogo della sperimentazione dal Porto di Baia, dove hanno sede gli Stabilimenti Meccanici di Pozzuoli, ad una località molto più prossima all'inizio del tracciato previsto per l'Acquedotto sottomarino; e fu scelta una piccola baia in località S. Martino dove si trova la Stazione Lancio Siluri della Industria Meccanica Napoletana.

Per esaminare, poi, almeno in un certo intervallo, la influenza della profondità sulla vita biologica marina furono preparati ancora altri campioni: questi erano costituiti da tubo di minor diametro (∅ 125 mm.) rispetto a tutti gli altri, ma di lunghezza maggiore (5,60 m.) e forniti di un puntale, così da poter essere infissi verticalmente nel fondo, sempre al pontile degli Stabilimenti Meccanici di Pozzuoli, laddove si era già rilevata una intensa attività biologica sui campioni dapprima esaminati.

In totale i nuovi campioni che vennero inviati dalla Società Dalmine furono i seguenti:

a) n. 2 spezzoni di tubo (∅ 216, lunghezza 3 m.) protetti con doppio rivestimento pesante;

b) n. 2 spezzoni di tubo (∅ 216, lunghezza 3 m.) protetti con rivestimento fibro-cementizio;

c) n. 1 spezzone di tubo (∅ 191, lunghezza 3 m.) protetto con rivestimento multiplo in resina sintetica;

d) n. 1 spezzone di tubo (∅ 191, lunghezza 3 m.) protetto con eguale rivestimento del punto *c*), ma con riprodotto a metà tubo una zona di protezione del giunto;

e) n. 1 spezzone di tubo (∅ 191, lunghezza 3 m.) protetto con rivestimento multiplo in resina sintetica;

f) n. 1 spezzone di tubo (∅ 191, lunghezza 3 m.) protetto con eguale rivestimento del punto *e*), ma con riprodotto a metà tubo una zona di protezione del giunto;

g) n. 2 campioni (∅ 125 mm., lunghezza 5,60 m.,) muniti di punta. Rivestimento di tipo non precisato. Poiché è noto che il catrame è molto meno favorevole del bitume allo sviluppo di una vita biologica, tanto i campioni di tipo *a*) quanto quelli di tipo *b*) presentavano un rivestimento esterno con miscele di catrame-ardesia, appunto per rendere più difficile lo sviluppo della vita biologica marina: i campioni di tipo *a*) sono però tutti rivestiti con miscele catrame-ardesia. mentre i rivestimenti del tipo *b*) hanno gli strati più profondi costituiti da bitume. I campioni invece di tipo *c*), *d*), *e*) ed *f*) rappresentavano una sperimentazione avente altri fini e cioè l'esame del comportamento dei rivestimenti di resine sintetiche in acqua di mare.

La sperimentazione ebbe inizio con un sensibile ritardo rispetto al previsto in quanto lo stato del mare non consentì una sollecita deposizione dei campioni.

Il 24 gennaio del 1955 i campioni in seguito elencati furono calati in mare ed appoggiati sul fondo, alla profondità di metri 5,50 nello specchio d'acqua della Stazione Lancio Siluri della Industria Meccanica Napoletana in località S. Martino, lato Nord. I campioni erano disposti approssimativamente in direzione Est-Ovest, ed attaccati mediante cavi di acciaio ad una boa esistente.

I campioni posati furono i seguenti:

1) ø 216 mm.; l = 3,00 m. rivestimento tipo *a*) dell'elenco precedente;

2) ø 216 mm.; l = 3,00 m. rivestimento tipo *b*) dell'elenco;

3) ø 191 mm.; l = 3,00 m. rivestimento tipo *c*) o *e*) dell'elenco;

4) ø 191 mm.; l = 3,00 m. rivestimento tipo *d*) o *f*) dell'elenco.

In data 25-1-55 i due campioni lunghi 5,60 m. ø 125 mm., vennero infissi verticalmente sotto il pontile degli Stabilimenti Meccanici di Pozzuoli. Profondità d'acqua m. 4,00, lunghezza infissa nel fondo m. 1,60.

La sistemazione dei campioni interrati invece fu molto più complicata.

Le attrezzature del palombaro e lo stato del mare non hanno consentito di sotterrare nel fondo del mare e nella stessa località i campioni così come ricevuti. E' stato necessario di ridurre i campioni da interrare ad una lunghezza di circa 60 cm., affinchè il palombaro potesse sistemarli al di sotto di uno strato di circa 70 cm., di sabbia. La difficoltà nasceva dal fatto che il riflusso dovuto alle correnti riempiva subito gli scavi e rendeva impossibile di disporre di uno scavo (di circa 3 m. di lunghezza e della necessaria profondità) per il tempo sufficiente alla posa. I campioni sono stati ridotti alla lunghezza di 60 cm. a cura dell'Ingegnere Accardi della Montubi che ha provveduto a chiudere le estremità ed a ricoprirle con un sufficiente strato di miscela, secondo la pratica della ricostruzione dei giunti dei tubi Dalmine.

I campioni in questione sono stati immersi ed interrati il 2 marzo 1955 a circa 30 metri a nord dell'isolotto S. Martino presso il Capo Monte di Procida.

2 - Il 23 luglio 1955 si sono estratti dal mare altri tre dei sei campioni immersi sotto il pontile degli Stabilimenti Meccanici di Pozzuoli. Si ricorderà che questi sei campioni corrispondevano a quelli esaminati e descritti nella precedente relazione, con la sola differenza che non presentavano al centro una ricostituzione del rivestimento, per una lunghezza di circa 50 cm.

Come si ricorderà questi campioni erano mantenuti per gruppi di sei da ganasce di legno fissate con bulloni passanti; l'azione delle teredini aveva però rovinato il legno, così che fu necessario di sostenere i tubi con delle nuove ganasce.

Dei sei campioni disponibili tre furono prelevati il 23 luglio 1955, mentre gli altri tre sono rimasti immersi nel mare, e sono stati estratti solo per breve tempo nel novembre 1955, in conseguenza della necessità di assicurarli meglio; precisamente essi sono stati estratti il giorno 19 novembre 1955 ed immersi nuovamente il giorno 22 successivo.

Come abbiamo descritto nella prima relazione, tutti i campioni immersi sotto il pontile degli Stabilimenti Meccanici di Pozzuoli, erano sostenuti per gruppi di sei (due strati di tre tubi ognuno) fissati a delle ganasce di legno. Abbiamo prelevato uno degli strati del secondo gruppo ma, evidentemente per errore, lo strato non comprendeva uno dei campioni per ogni tipo di rivestimento sperimentato, che, come si ricorderà erano:

Bitumatura di fondo + Dalmine + pesante;
Bitumatura + doppio Dalmine + pesante;
Bitumatura + doppio pesante.

I tubi che abbiamo esaminati quindi erano così rivestiti:
Tubo A - bitumatura + doppio Dalmine + pesante;
Tubo B - bitumatura + doppio pesante;
Tubo C - bitumatura + doppio pesante.

L'aspetto dei tre campioni appena dopo il loro recupero dal mare, è rappresentato dalla foto 1. La vegetazione dei vari organismi marini era rigogliosissima e l'accrescimento dei balani di molto aumentato: è noto infatti che questi crostacei si riproducono per colonie. Si notavano tutte le specie già riportate nella prima relazione ed altre ancora che avevano trovato il loro letto di accrescimento su quelle che si erano manifestate in precedenza (vedi foto 2).

La necessità di avere dei risultati al più presto possibile ci ha condotti a prelevare i campioni quando il secondo ciclo biologico annuale era appena iniziato, così che le varie specie (del secondo strato) si presentavano di dimensioni piuttosto ridotte.

L'esame della penetrazione dei balani nei rivestimenti dei campioni, effettuato dopo le prove elettriche delle quali diremo nel seguito, ha mostrato che la penetrazione nello spessore dei rivestimenti non era apprezzabilmente aumentata rispetto a quella osservata nella precedente relazione. Per tale motivo non si riportano le fotografie che praticamente non differirebbero dalle precedenti. Questo risultato lascia pensare che l'accrescimento delle incrostazioni sia avvenuto soprattutto verso l'esterno. Una conclusione più fondata potrà ottenersi dall'esame degli ultimi tre campioni che sono ancora immersi in acqua di mare.

I tre campioni prelevati il 23 luglio 1955 sono stati sottoposti alla stessa serie di controlli eseguiti nella prima serie di sei campioni di cui alla precedente relazione.

Le misure di resistenza di isolamento eseguite immergendo una metà del campione in una soluzione di cloruro sodico al 3%, sono state questa volta eseguite con metodo Volt-amperometrico.

Le misure si sono potute eseguire solo dopo aver isolato bene il filo di collegamento in questione. Questa necessità ci impedì di eseguire la misura immergendo l'altra estremità del tubo, e ci consigliò anche di controllare subito in altro modo la resistenza di isolamento dei campioni in prova.

Si ricorderà che questo altro sistema di prova consisteva nel misurare la resistenza di isolamento fra il metallo del tubo (al quale si arrivava mediante il

filo isolato di collegamento saldato ad una estremità) ed un elettrodo esploratore che terminava con un tampone imbevuto di soluzione di NaCl al 3%.

Le misure di isolamento effettuate su di una limitata superficie (tampone) davano risultati inferiori a quelli che si ottenevano quando si misurava la resistenza di isolamento tenendo il tubo per metà immerso. E' vero che fin dalle prime misure avevamo potuto riscontrare che i risultati subivano molto la influenza dello stato di umidità della superficie, per cui occorreva avere cura che il tampone adoperato nelle misure non lasciasse gocciolare il liquido; nel quale caso la misura di isolamento si compiva in realtà per una superficie molto più grande di quella corrispondente al tampone. Ma pur ammettendo che i risultati delle misure di isolamento dovessero essere considerati soltanto nel loro ordine di grandezza, non si poteva accettare la discordanza sopra ricordata. Poichè si era già osservato che le misure col tubo immerso (misura Volt-amperometrica della resistenza) si potevano effettuare solamente isolando con cura il filo che era stato saldato ad una delle estremità del tubo, si sospettò che tale filo fosse la causa della discordanza sopra rilevata.

Si procedette quindi alla scopertura del filo in questione; questo, dopo essere stato saldato al fondello del tubo, era stato avvolto per un paio di spire sulla testata del tubo e legato, ed il tutto poi ricoperto dalla solita miscela isolante. Asportato il filo, si è provveduto a lasciare solamente un codolo il più corto possibile, il quale è stato scoperto fino alla saldatura, e quindi accuratamente isolato colandovi attorno della paraffina.

I campioni così modificati sono stati sottoposti ad una seconda serie di misure. I risultati furono nettamente migliori pur senza arrivare ai valori che potrebbero attendersi da una buona lavorazione dei rivestimenti Dalmine. E' chiaro tuttavia che una buona parte della decadenza dell'isolamento riscontrata è da attribuire al deficiente isolamento del filo. Il fatto, una volta rilevato, trova la sua spiegazione. Il filo di collegamento col metallo del tubo era stato previsto per poter effettuare delle misure durante la immersione; il movimento del mare aveva riempito d'acqua la cassetta contenente la morsettiera alla quale arrivava la estremità dei fili, mentre parecchi dei fili stessi, strappati dal movimento delle onde, sono restati in bando nel mare per un lungo periodo. La umidità quindi ha potuto penetrare attraverso le estremità scoperte dei fili e raggiungere anche quella parte che era completamente annegata nella miscela bituminosa, essendo avvolta sulla testata del tubo. Abbiamo voluto assicurarci inoltre che le misure così eseguite non fossero dipendenti dalla umidità della superficie del tubo ed in data 6 settembre abbiamo ripetute le misure. I valori ottenuti sono abbastanza concordanti con quelli delle misure eseguite il 5 agosto e sono in generale un poco più elevati di quelli della prima serie il che è naturale essendo i tubi rimasti all'asciutto, in periodo estivo, per più di un mese.

Il tubo contrassegnato B anche nelle misure eseguite immergendo il tubo e rilevando la resistenza di isolamento con metodo Volt-amperometrico, aveva dato i valori più elevati per tale isolamento; dopo aver isolato bene il collegamento con il tubo, le misure eseguite con il Megger hanno fornito valori molto elevati della resistenza di isolamento.

I risultati ora riassunti sono molto istruttivi. Poichè il caso ha voluto che in questa occasione si siano esaminati *un* campione con il rivestimento doppio Dalmine + pesante (tubo A) e *due* campioni con il rivestimento doppio pesante (tubi B e C) uno dei quali fornisce risultati del tutto soddisfacenti per la resistenza di isolamento e dopo una permanenza di circa 16 mesi in acqua di mare, si può concludere con fondata tranquillità che il rivestimento doppio pesante è certamente idoneo a risolvere il problema della protezione dell'acquedotto sottomarino per le isole di Procida ed Ischia. Il fatto che dei due campioni uguali (tubo B e tubo C) uno presenti risultati ottimi e l'altro mediocri, anzitutto ci comprova che le misure effettuate erano adatte a rilevare le differenze di comportamento dei campioni, ed in secondo luogo è conferma della grandissima importanza che ha la buona esecuzione dei rivestimenti per la loro efficienza.

Conviene qui ricordare che — purtroppo — i campioni preparati per questa sperimentazione, non furono rivestiti con la necessaria cura; ed infatti i risultati

delle prove eseguite in laboratorio a Dalmine, confermano quanto sopra detto e che venne anche discusso nella precedente relazione.

Dopo tutte le esperienze fatte possiamo concludere con un parere favorevole per il rivestimento doppio pesante sperimentato.

E' forse opportuno rilevare che, pur sempre mantenendo la opinione che in un impianto sottomarino il rivestimento con strati di fibro-cemento non ci appare indicato, perché il fibro-cemento non vi può avere alcuna funzione, ed anzi può solo essere mezzo per distribuire e trasportare l'umidità, pensiamo che, se fossero stati bene eseguiti in partenza, anche gli altri tipi di rivestimento sperimentati avrebbero fornito risultati se non ottimi, certo soddisfacenti.

3 - In data 23 dicembre 1955 sono stati ricuperati tutti i campioni che, nel gennaio e nel marzo 1955, erano stati depositati ed interrati nella piccola baia alla Stazione Lancio Siluri delle Industrie Meccaniche Napoletane. I campioni corti (circa 60 cm.) che erano stati interrati sono stati ricuperati per l'esame, data la necessità di fornire delle conclusioni per la ormai imminente campagna di posa dell'acquedotto. I campioni, lunghi, invece, che erano stati solo appoggiati sul fondo del mare, dopo un esame esterno, e dopo di averli fotografati, sono stati nuovamente deposti il 12-1-1956.

Questi quattro campioni presentavano l'aspetto illustrato dalle foto 3 e 4. Da queste si vede chiaramente che le incrostazioni dovute alla vita biologica marina erano molto minori di quanto si era notato sui campioni tenuti a due metri di profondità, sotto il pontile degli Stabilimenti Meccanici di Pozzuoli; si confrontino le foto 3 e 4 con quelle 1 e 2 di questa relazione e con quelle della precedente relazione.

La differenza è notevole; mentre sui primi sei campioni esaminati (vedi prima relazione) vi era una imponente massa d'organismi di vari tipi, sui quattro campioni lunghi delle foto 3 e 4 vi era un modesto inizio di sviluppo di tali organismi; il paragone va fatto con i primi sei campioni esaminati, perchè nei due casi si è avuto solo un ciclo biologico annuale, anche se i campioni interrati di questa seconda esperienza sono rimasti immersi per undici mesi, ossia un po' più a lungo degli altri.

Tale differenza può attribuirsi tanto alla maggiore profondità di immersione, come alla differenza delle località della prova; il posto dove abbiamo provato la seconda serie dei campioni (di cui qui si tratta, e che sono illustrati dalle foto 3 e 4) è molto più aperto di quanto non fosse la prima località di prova; le vivaci correnti ed il movimento continuo delle acque non consentono al mezzo liquido di raggiungere la temperatura che si ha a Baia. Anche dai marinai del posto abbiamo raccolto qualche informazione che appunto indica una minore vivacità della vita biologica marina nella zona del mare aperto (dove peraltro sarà posato l'acquedotto) che non nel porto più riparato di Baia.

E' ancora da tenere conto della presenza del catrame negli strati esterni dei rivestimenti.

Potremmo discutere con più dettaglio queste osservazioni quando avremo completate le altre esperienze in corso.

I campioni lunghi 60 cm. che erano stati completamente interrati sono usciti perfettamente esenti da ogni incrostazione. Le fotografie delle foto 5 e 6 danno un'idea del risultato ottenuto. La foto 6 potrebbe far sorgere qualche dubbio; le estremità del campione, ricoperte di miscela appaiono piuttosto rugose: si tratta però di piccoli granellini di sabbia che si sono incastrati nella miscela.

Del resto un'idea chiara della completa azione protettiva della sabbia, per quanto riguarda le incrostazioni marine, si ha dall'esame della foto 4. I tubi posati sul fondo erano stati, in conseguenza del moto ondoso (sensibile come si vede ancora a 6 metri), in parte ricoperti di sabbia; la foto 4 mostra chiaramente come la parte ricoperta sia esente da incrostazione a differenza di quella esposta.

L'esame dei campioni tenuti interrati (a 6 metri di profondità e per 11 mesi) è stato limitato al breve tratto centrale, che è quello del rivestimento originale, esposto all'azione dell'ambiente marino. Risultati certamente più conclusivi si po-

tranno ottenere dal futuro esame dei campioni di lunghezza maggiore depositati sul fondo, e ancora in prova. Per intanto possiamo osservare quanto segue.

I campioni che sono stati interrati corrispondono ai seguenti tipi della distinta precedente:

uno a rivestimento tipo A
uno a rivestimento tipo B
uno a rivestimento tipo C
uno a rivestimento tipo D

I campioni con rivestimento tipo C e D sono stati inviati a Dalmine, dopo un primo rapido esame, in quanto venne sollecitato questo invio.

Le prove di isolamento sono state limitate alla parte centrale originaria che è quella che più interessa (misure eseguite col Megger ed il tampone).

Rivestimento tipo A — Presenta ancora in molti punti un isolamento elevato dell'ordine di alcuni megaohm ed anche di 10 megaohm. Laddove è legata la corda di acciaio e vi sono traccie di ruggine, l'isolamento è più basso.

Rivestimento tipo B — Presenta in qualche punto un isolamento dell'ordine del megaohm. Dove c'è la ruggine l'isolamento è molto più basso (50.000 ohm)

Rivestimento tipo C — Presenta scarso isolamento con valori minimi di 5.000 ohm.

Rivestimento tipo D — Presenta isolamento elevato nella zona centrale (valori dell'ordine del megaohm, e in qualche punto molto superiori).

La vipla impiegata nei rivestimenti tipo C e D si presentava bianca in origine; dopo la prova è risultata alterata ed ha un colore marrone, l'alterazione è avvenuta per tutto lo spessore. Il politene sottostante è invece integro; lo abbiamo provato fra i poli di uno spinterometro fino a 20.000 Volt, (con valori di cresta della tensione molto superiore) ed ha perfettamente resistito.

CONCLUSIONI

Ci riserviamo di fornire conclusioni più precise per quanto riguarda i rivestimenti in resine sintetiche e per qualche altro punto ricordato nella esposizione che precede, allorquando avremo esaminato i campioni ancora immersi.

E' però oggi possibile affermare che *il rivestimento doppio pesante — se eseguito con grande cura e non maltrattato dal trasporto e dalle operazioni di messa in opera — consente già di assicurare l'isolamento della canalizzazione sottomarina in modo del tutto soddisfacente.*

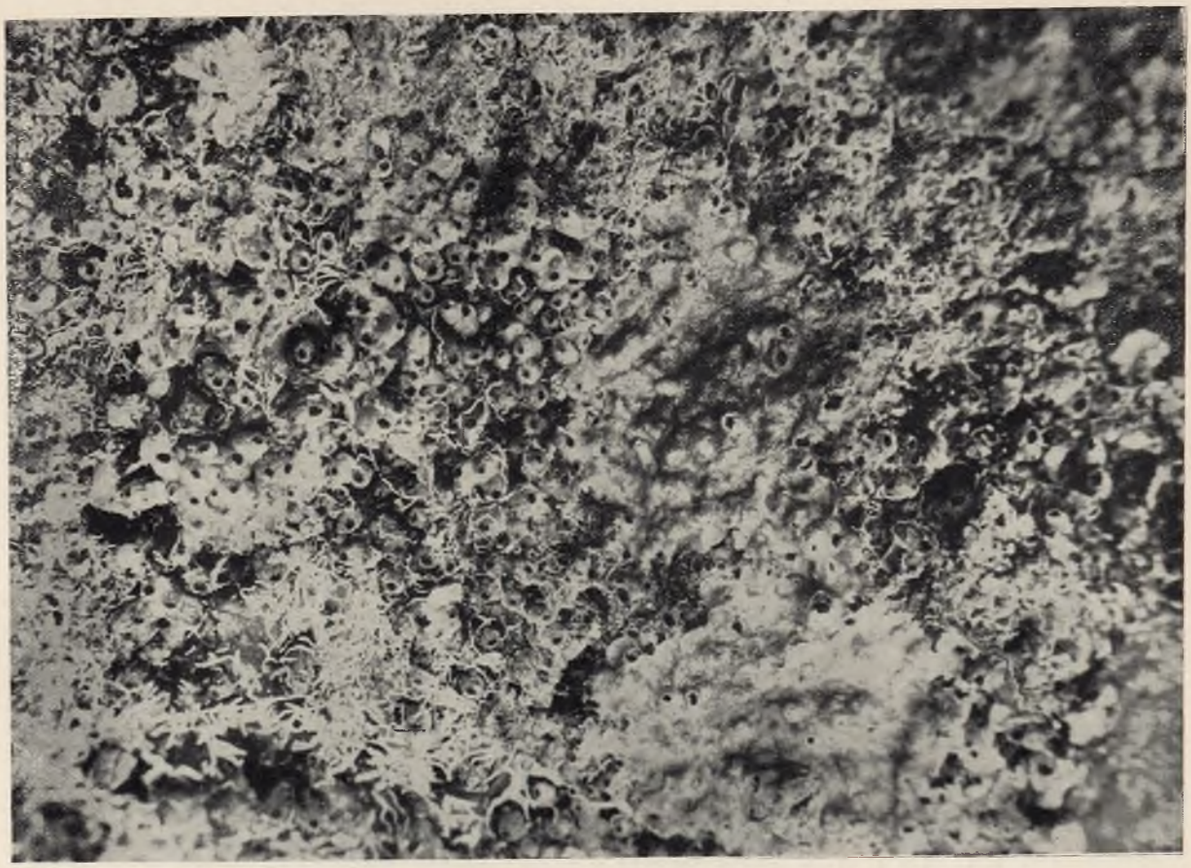
Sarà necessaria la massima cura nella ricostituzione del rivestimento in corrispondenza dei giunti; ma questa operazione si può fare tanto meglio per questo tipo di rivestimento che per gli altri di più complicata ed eterogenea costituzione.

Pertanto, fra i rivestimenti studiati ve ne è certamente uno che soddisfa alle esigenze tecniche che avevamo poste fin dall'inizio di questi esami e di questa sperimentazione mentre si può pensare che anche per qualche altro dei rivestimenti sperimentati si potranno trarre conclusioni favorevoli.

I risultati ottenuti hanno però confermato la estrema importanza che dovrà darsi alle condizioni di trasporto e di posa, onde non rendere nulle tutte le precauzioni prese in sede di progetto.

L'interrimento della canalizzazione assicura che l'azione degli organismi marini non potrà deteriorare il rivestimento; ed anche se può apparire che questa azione non riesca a penetrare tutto lo spessore del rivestimento stesso, l'interrimento della canalizzazione è sempre da considerare come necessario, soprattutto in relazione alle particolari esigenze che vengono poste per la conservazione dello acquedotto sottomarino.

Fot. 1



Fot. 2

Fot. 3

Fot. 4

Fot. 5

Fot. 6

Riassunto nelle lingue;

FRANCESE - INGLESE - SPAGNUOLA - TEDESCA

ABREGE EN FRANÇAIS

AQUEDUC SOUS - MARIN
POUR LES ILES DE PROCIDA ET ISCHIA

L'aqueduc pour les îles de Procida et Ischia est une dérivation du grand aqueduc campanien que la Cassa per il Mezzogiorno construit pour 164 communes de la Campanie, y compris Naples.

Son point de départ est le nouveau réservoir de Bacoli, ayant une capacité de 3000 m³, qui termine la nouvelle conduite littorale construite par la Cassa pour l'alimentation des communes des Champs Phlegréens et des deux îles et qui a 17 km. de long. Du réservoir de Bacoli, l'aqueduc rejoint la mer à Miliscola. De là, son premier tronçon sousmarin (à double conduite), long 3.400 m, traverse le canal de Procida et aborde l'île de Procida à la Marina de Sancio Cattolico.

Ensuite l'aqueduc se développe sur l'île de Procida, qu'il alimente par moyen de dérivations et d'un réservoir, traverse sur un pont établi à cet effet l'espace entre Procida et l'îlot de Vivara, franchit par un tunnel cet îlot, puis se continue par un second tronçon sous-marin de 2.800 m, lui aussi en double conduite, et aborde l'île Ischia dans la localité Ischía Ponte.

Sur l'île de Ischia elle-même, il se ramifie en un vaste réseau de distribution qui dessert toutes les communes.

Dans son ensemble l'aqueduc pour les deux îles se compose de 45 km. de conduites, dont environ 12,4 km. de conduites sous-marines, et de 17 réservoirs ayant une capacité totale de 21.000 m³. L'aqueduc est conçu pour apporter aux îles 105 l/sec et assure une large dotation de 140 litres par jour aux 65.000 habitants prévus pour l'an 2.000.

La partie la plus importante et la plus délicate de l'aqueduc est constituée par les traversées sous-marines du canal de Procida et du canal de Ischia, qui ont posé des problèmes tout à fait neufs ou qui n'ont été résolus ailleurs que dans des conditions beacoup moins complexes.

Dans le fait, les exemples notables et nombreux de conduites sous-marines qui ont été construites jusqu'à aujourd'hui dans le monde entier, spécialement pour le transport de produits pétrolifères, ont, en général, des caractéristiques de durée et de sécurité bien différentes de celles qui s'imposaient à l'acqueduc des îles de Procida et Ischia, compte tenu des exigences sociales et hygièniques auxquelles il devra satisfaire.

Quant à la nécessité où l'on se trouvait de traverser deux bras de mer ouverte, d'une profondeur respective de 18 et 30 m maximum, largement exposés à l'action des vents, des vagues, et des courants d'une exceptionnelle intensité, elle créait des conditions que n'avait à remplir aucune des conduites sous-marines déjà existantes.

Avant d'entreprendre ce travail, la Cassa per il Mezzogiorno a dû faire procéder à une longue série d'études approfondies et d'expériences.

Un relèvement détaillé du profil bathymétrique des differents tracés possibles pour les traversées sous-marines permit une étude générale d'ensemble. Des études et des expériences menées dans les laboratoires de production des tuyaux d'acier et sur des échantillons immergés pour de longues périodes dans les zones maritimes à traverser permirent de définir le revêtement le plus apte à protéger les conduites.

On procéda, alors, au relèvement direct de tout le fond marin selon le tracé choisi, des scaphandriers prélevant des échantillons de matériaux du fond marin et se livrant à des essais menés jusqu'à la profondeur des fouilles à effectuer dans le fond de la mer pour y loger les conduites.

C'est sur la base de ces études, de ces expériences et de ces relèvements que les techniciens de la Cassa, après consultation des spécialistes qualifiés des diverses techniques intéresées ont mis au point le projet définitif. Les travaux furent exécutés par la même firme «Dalmine» qui a produit les tubes d'acier.

Tous les tronçons de l'acqueduc sous-marin sont formés, comme nous l'avons dit, de deux conduites d'acier placées l'une à côté de l'autre. Cette solution fut choisie à la fois par mesure de sécurité (garantie d'un service ininterrompu) et pour diviser le débit nécessaire en limitant le diamètre employé.

Les tubes d'acier employés ont un diamètre intérieur de 300 mm et une épaisseur de 12 mm., soit le double de l'épaisseur normale. Ils sont protégés par un revêtement bitumineux à plusieurs couches, renforcé de tissu de verre. L'épaisseur totale de la couche de protection est ainsi de plus de 12 mm.

Les recherches préliminaires sur l'efficacité de ce revêtement et sur son comportement en milieu marin mirent en évidence la nécessité d'isoler ce revêtement du milieu biologique marin qui représente la plus redoutable menace pour son intégrité. On se convainquit ainsi que le meilleur procédé de protection était de poser les conduites à l'intérieur d'une tranchée creusée dans le fond de la mer et remblayée ensuite avec le sable.

Ainsi furent creusées, pour la première fois dans des bras de mer ouverte, de longues tranchées parfaitement rectilignes, ouvertes sur le fond marin et nivelées ensuite au niveau voulu.

Pour le lancement des conduites, on prépara deux colonnes jumelées de tuyaux déjà soudés électriquement entre eux, d'une longueur d'environ deux cent mètres pour le chantier monté à Miliscola, et d'une longueur réduite à 80 m pour le chantier de Ischia, où l'espace était strictement limité par des maisons et d'autres obstacles.

Les conduites furent lancées en tirant les colonnes de tubes avec des treuils installés sur la rive opposée (c'est à dire à Procida pour le premier passage sous-marin et à Vivara pour le second) au moyen de cables d'acier tendus dans les tranchées prèalablement creusées à travers toute la longueur des deux passages.

Au fur et à mesure qu'un couple de colonnes avait été immergé et que son extrémité du côté de la terre arrivait à proximité du point d'immersion, un nouveau couple de colonnes était placé dans le prolongement et la jonction des deux couples était exécutée par soudure électrique. Les soudures étaient elles-mêmes controlées par un dispositif à ultra-son et,

lorsqu'il le fallait, avec des isothopes radioactifs. Puis, on assurait la continuité du revêtement protecteur et on continuait le lancement.

Chaque phase du travail sous-marin et en particulier l'avancement des conduites lancées dans la tranchée marine était controlée par des scaphandriers et des techniciens munis d'appareils de plongée.

Toutes les opérations réussirent parfaitement. En particulier les installations de protection cathodique des conduites sous-marines, déjà mises en action, indiquent des absorptions de courant extrêmement faibles par rapport à celles qui peuvent être tolérées et démontrent que les conditions d'isolement sont meilleures que celles qui ont été obtenues dans des exemples similaires.

Les travaux pour la constructions des conduites sous-marines ont comporté l'emploi de 70.000 journées de main-d'oeuvre à terre et en mer, dont 3.400 heures de scaphandriers et de plongeurs.

L'ensemble des travaux pour l'approvisionnement en eau des îles de Procida et Ischia, en y comprenant la part qui leur revient dans la conduite d'amenée le long du littoral phlégréen, a comportè une dépense de 2 milliards 500 millions de lires.

Le coût des traversées sous-marines s'est élevé à environ 900 millions.

SUMMARY IN ENGLISH

SUBMARINE AQUEDUCT FOR THE ISLANDS OF PROCIDA AND ISCHIA

The aqueduct for the islands of Procida and Ischia is a branch of the great Campania aqueduct which the Cassa per il Mezzogiorno is building for 164 communes of Campania, including Naples.

It begins at the new reservoir of Bacoli which has a capacity of 3,000 cubic meters and which is the terminal of the new coastal pipeline (nearly 17 km. long) built by the Cassa to supply the communes of the Phlegrean Fields and the two islands. From the Bacoli reservoir the aqueduct reaches the sea at Miliscola and continues with the first submarine stretch (with double pipeline) across the Procida strait, 3,400 meters long, landing on the island at Marina di Sancio Cattolico.

The aqueduct continues across the Island of Procida which it supplies by means of suitable branch lines and a reservoir; it crosses the pass between Vivara and Procida by a special bridge and passes across Vivara by tunnel, continuing with a second submarine stretch, also with double pipeline, 2,800 meters long, in the strait of Ischia, reaching the shore at Ischia Ponte.

On the Island of Ischia the water is fed into a vast network which distributes it to all the towns and villages.

Altogether the aqueduct for the islands is composed of 45 kilometers of pipeline, of which 12.4 are under the sea, and of 17 reservoirs with capacity totalling 21,000 cubic meters. The acqueduct is built to supply a total of 105 liters per second to the islands and guarantees 140 liters of water pcpd for 65,000 inhabitants, which is the population envisaged for the year 2,000.

Anyone who knows how Procida and Ischia are supplied with water at the moment — by poor local resources and by water carried from the mainland by means of tankers, costing the State more than 150 million lire a year — and who considers the ever-growing tourist needs of the islands, will immediately realize why the Cassa considered it urgent to construct this aqueduct even before the new Campania aqueduct was in service: meanwhile, the submarine aqueduct is fed by Naples network (Serino Aqueduct).

The most important and delicate parts of the aqueduct are those which cross under water through the straits of Procida and Ischia. These posed problems which were either new or which had been resolved elsewhere in less complicated circumstances.

Indeed, even if today there exist notable and frequent examples throughout the world of underwater pipelines, particularly for use near the coasts to transport petroleum products, such undertakings have, in general, properties of durability and security quite different from those

demanded by the aqueduct for the islands of Procida and Ischia, in view of the particular social and hygienic needs of the service it has to render.

From the fact that it crosses two wide stretches of open sea, with maximum depths of 18 and 30 meters respectively, fully exposed to the action of the wind, the waves and of currents of exceptional strength, this aqueduct has no equal among the existing under-water pipelines.

Before tackling this enterprise the Cassa had to undertake long and accurate studies and experiments.

A first general draft had to be made, supported by a detailed study on the sea bed of the numerous possible paths for the submarine crossing and research and experiments were carried out in the workshops of steel pipe manufacturers and on samples which were held for long periods in that part of the sea which was to be crossed, with the aim of finding the best protective covering for the pipeline. Then came the detailed examination of all the sea bed along the path chosen from amongst those indicated on the general plan, and by means of divers, taking samples of the material of the sea bed and carrying out trials to a depth at which excavations of the sea bed to bury the pipeline would have to be made.

On the basis of these studies, experiments and trials, the technicians of the Cassa, availing themselves of the advice of consultant specialists in the various techniques concerned, prepared the executive plan and the work was carried out by the same firm, Dalmine, which makes the steel pipelines.

Both stretches of the under-water aqueduct are formed — as has been mentioned — by two steel pipelines side by side, a solution which was chosen both as a measure of security and guarantee of efficiency, and also to divide the amount of water to be carried so as to reduce the diameter of the pipeline which would be needed.

The «Dalmine» laminated steel pipes have an internal diameter of 300 mm and 12 mm thickness, twice that normally used. They are protected by several layers of bituminous covering reinforced with woven glass wrapping, making a protective thickness of about 12 mm.

The preliminary tests of the efficiency of such a covering and on its behaviour in the sea showed the need to keep it isolated from any marine fauna which constitute the worst threat, and it was found that the best protection would be to put it in a trench dug in the sea bed and to bury it under an adequate amount of covering material.

Long, perfectly straight level trenches at the desired depth were thus dug for the first time on the bed of the open sea.

In the shallow water near the shore where the sea's action is felt most strongly, the pipelines are embedded in suitable protective structures of reinforced concrete protected by rocks.

To launch the pipeline two lengths of pipe about 200 meters long, already electrically welded together side by side, were prepared in the work-yards which were created near Miliscola for the stretch to Procida. In the work-yards on Ischia, where space was strictly limited by houses and other obstacles, these lengths were reduced to about 80 meters.

The pipelines were launched by dragging the twin lengths of pipe by capstans installed on the opposite shore (on Procida for the first stage

and on Vivara for the second) and by means of steel cables stretched along the previously dug trenches for the length of these two stages.

As soon as a pair of pipe lengths had been placed in the sea and their landward end had almost reached the sea's edge, another pair was brought up and joined by electric welding (checking this by ultrasonic methods and, where necessary, with radioactive isotopes). The protective covering was then replaced over the joint and the launching continued.

Every phase of the work under the sea, and particularly the progress of the pipeline being laid down in the trenches on the sea bed, was carefully checked by divers and by frogmen technicians.

All the operations were perfectly successful. In particular, the installations of cathodic protection of the submarine pipeline, already working, show a very low current absorption in comparison with what would be admissible, proving that the insulation is superior to that obtained in other examples.

The work of construction of the under-water pipeline required 70,000 man days on land and in the sea, of which almost 3,400 were those of divers and frogmen.

The total cost of the undertaking to supply the islands of Ischia and Procida with water, including the connected cost of the aqueduct along the Phlegrean coast, amounts to 2,500 million lire.

The cost of the passage under-water amounted to almost 900 million.

RESUMEN ESPANOL

ACUEDUCTO SUBMARINO PARA LAS ISLAS DE PROCIDA Y ISCHIA

El acueducto para las islas de Pròcida y Ischia constituye una ramificaciòn del gran acueducto campano que la Cassa per il Mezzogiorno construye para los 164 comunes de la Campania, Napoles inclusive.

Este tiene su origen en el nuevo depòsito de Bacoli, con una capacidad de 3.000 mc., terminal de la nueva cañeria litoral construìda por la Cassa para la alimentaciòn de los comunes flegreos y de las dos islas, de unos 17 kilòmetros de largura. Desde los depòsitos de Bacoli el acueducto llega hasta el mar pasando por Miliscola y continua con el primer tronco submarino (en doble cañerìa) a través del canal de Procida, de 3.400 metros de largura, alcanzando la isla por la marina de Sancho Cotòlico.

El acueducto se ramifica por toda la isla de Procida, alimentandola con oportunas ramificaciones y con un grande deposito, atraviesa sobre un puente expresamente construìdo el paso entre Vivara y Procida pasa bajo tùnel por Vivara y continua con un segundo tronco submarino siempre en doble cañerìa, de 2.800 metros de largura a través del canal de Ischia alcanzando la isla en el lugar llamado Ischia Ponte.

La vasta red de cañerìa se desarrolla a través de toda la isla llegando a todos los comunes.

Este acueducto para las islas està formado en su conjunto por 45 kilòmetros de cañerìa, de los cuales casi 12,4 submarinos y por 17 depositos con una capacidad total de 21.000 mc. El acueducto està proporcionado en su conjunto para una conducciòn de agua de 105 l/sec. asegurando una buena dotaciòn de agua de 140 litros por hab./g. para los 65.000 habitantes, que es la poblaciòn prevista para el año 2.000.

La parte màs importante y delicada del acueducto està formada por los pasos submarinos a través del canal de Pròcida y del de Ischia, que han dado origen a problemas nuevos resueltos tal vez en otros sitios con aplicaciones mucho menos complicadas.

De hecho, no obstante haya hoy en dìa importantes y repetidos ejemplos en todo el mundo de cañerìas submarinas, sobre todo tratàndose de enlaces y abordos a costas para el transporte de productos petrolìferos, tales obras presentan por lo general caracterìsticas de duraciòn y de seguridad de ejercicio muy diferentes de las que se han presentado en la realizaciòn del acueducto para las islas de Pròcida y Ischia, en vista de las peculiares exigencias sociales e higiénicas que deberà satisfacer.

La caracterìstica que presenta de atraversar dos brazos de mar abierto, con una profundidad de 18 y 30 metros respectivamente, y expuestos abiertamente a la acciòn de los vientos de movimiento undoso y con corrientes de excepcional intensidad, hace que este acueducto se distinga sobresaliendo entre todos aquellos submarinos hoy en dìa existentes.

Antes de poner manos a la obra, la Cassa ha tenido que desarrollar con el mayor esmero estudios e experimentos varios.

Después de un estudio general de màxima, apoyado en un detallado relieve batimétrico de numerosos posibles trazados para los pasos submarinos y después de estudios y experimentos llevados a cabo en los talleres de producciòn de los tubos de acero y sobre muestras di dichos tubos tenidas sumergidas dentro de las diversas zonas de mar por donde habrian de pasar, con el fin de definir cual habrìa de ser el revestimiento màs apto para proteger las cañerìas, se llevò a cabo el relieve directo de todo el fondo marino a lo largo del trayecto establecido y elegido entre todos aquellos que habìan sido indicados en el proyecto de màxima, extrayendo por medio de buzos muestras del material de fondo y haciendo pruebas hasta el profundo de las escavaciones que habrìan de ser efectuadas para la ubicaciòn de la cañerìa.

En base a estos estudios, experimentos y relieves los tècnicos de la Cassa ayudàndose de la consulta de catedràticos especialistas en las diferentes técnicas interesadas, han llevado a cabo el proyecto ejecutivo y los trabajos que han sido realizados por la misma empresa Dalmine fabricante de los tubos de acero.

Los dos troncos del acueducto submarino estàn formados (como ya se ha dicho) por dos cañerìas de acero flanqueadas; se ha elegido esta soluciòn ya sea por medida de seguridad y para asegurar el ejercicio que para subdividir el porte necesario limitando el diametro de las cañerìas a emplear.

Los tubos de acero laminado «Dalmine» tienen un diametro interno de 300 mm. y 12 mm. de espesor, doble de lo normal, y estàn protegidos por un revestimiento bituminoso de varios estratos reforzado con tejidos de vidrio, hasta alcanzar de esta forma un espesor protector de màs de 12 mm.

Las investigaciones preliminares sobre la eficacia de un tal revestimiento y sobre su comportamiento en el ambiente marino pusieron en evidencia la necesidad de aislar el revestimento del ambiente biològico marino, que representa el peligro màs terrible contra su integridad y dieron la posibilidad de asegurar que la mejor protecciòn se consigue precisamente colocando las cañerìas dentro de una trinchera excavada en el fondo del mar, cubriéndolas luego con un adecuado colmataje.

Por consiguiente, se ha realizado por vez primera en brazos de mar abierto la escavaciòn de largas trincheras en el fondo marino perfectamente rectilìneas y colocadas a un nivel deseado.

Cerca de las orillas, en los bajofondos, en donde la acciòn del mar se hace màs sentir, las cañerìas estàn colocadas dentro de adecuadas estructuras de protecciòn en cemento armado protegidas de los escollos.

Para botar las cañerìas fueron preparadas dos columnas flanqueadas de tubos ya soldados electricamente entre sì de unos 200 metros de largo en los astilleros instalados en Miliscola para el paso de Procida y de una largura reducida a 80 metros para las de los astilleros de la isla de Ischia, en donde el espacio estaba muy limitado debido a las habitaciones y otros impedimentos.

Las cañerìas fueron botadas tirando las columnas de tubos con cabrestantes instalados en la orilla opuesta (en Procida para el primer paso,

en Vivara para el segundo) y con sirgas de acero tendidas en las trincheras anteriormente escavadas por toda la largura de los pasos.

En cuanto un par de columnas venìa colocado en el mar y la extremidad quedada en tierra llegaba a lìnea de la playa donde normalmente llega el mar, se le añadìa un nuevo par y hecha la uniòn de las dos columnas con soldaduras eléctricas (controlando las mismas con un dispositivo de ultrasonidos y, donde se creìa necesario, con isòtopos radioactivos) se restablecìa la continuidad del revestimiento protectivo continuando de esta forma la botadura.

Todas las fases del trabajo submarino y en modo particular el avance de las cañerìas botadas en las trincheras del fondo submarino han sido controladas por buzos y técnicos buzos desnudos.

Todas las operaciones han salido a la perfecciòn. Particularmente las instalaciones de protecciòn catòdica de las cañerìas submarinas, puestas ya en funciòn, señalan absorciones de corriente extremamente bajas con relaciòn a las admisìbles, demostrando de esta manera que la condiciòn de aislamiento es superior a la obtenida en parecidos ejemplos.

Los trabajos de construcciòn de las cañerìas submarinas han comportado el empleo de casi 70.000 jornadas de obrero en tierra y en mar, de las cuales 3.400 entre buzos y buzos desnudos.

El conjunto de las obras llevadas a cabo para el abastecimiento hìdrico de las islas de Procida y Ischia, juntamente con la cuota parte aferente de la aductora a lo largo de la costa flegrea, comporta un gasto de 2 millares de millones y quinientos millones.

Los gastos de travesìa submarina son de casi 900 millones.

DEUTSCHE ZUSAMMENFASSUNG

DIE WASSERVERSORGUNGSDUEKERS FUER DIE INSELN PROCIDA UND ISCHIA

Die Insel Procida (3,75 km², 10,156 Einwohner) und die Insel Ischia (46 km², 31,813 Einwohner) sind mit keiner schätzenswerten Trinkwasserquelle versehen und waren mit Staatschiffen beliefert, die das Wasser von dem Kontinen mit einer jährlichen Ausgabe von über 150 Millionen Lire beförderten.

Am 15-3-1951 beschloss der Comitato dei Ministri per il Mezzogiorno (der Ministerausschuss für Süditalien) die regelmässige Wesserversorgung der beiden Inseln durch zwei Doppeldükers herzustellen und, zu diesem Zweck, zuwies er der Cassa per il Mezzogiorno (der Kasse für Süditalien) die bedürfende Summe an.

Die entsprechende Vorplanung, die im Auftrag der Cassa von Prof. Ing. Giuseppe Pistilli ausgearbeitet wurde, erhielt am 30-6-1953 die Zustimmung der zuständigen Behörde und bildete die Grundlage für ein Wettbewerb um die Vergebung, welches aber keinen Erfolg hatte. Der Verwaltungsrat der Cassa, tatsächlich, erkannte, dass die technischen und wirtschaftlichen Grundsätze der angelangten Angebote nicht ausreichend seien, ein erfolgreiches Werk zu gewähren und das vollkommene Urteil der Gesamtausgabe für seinen Bau und Betrieb zu ermöglichen.

Infolge der späteren Studien und Ergänzungsforschungen unterbreitete am 21-4-1956 der Servizio Acquedotti der Cassa (die Wasserwerkabteilung der Kasse) den Detailplan, dem der Verwaltungsrat am 8-5-1956 zugestimmte. Die Ausführung der Bauarbeiten wurde an die Firma Dalmine AG. vergeben, welcher sich die Società Immobiliare Romana für die Seearbeiten gesellte.

Das Wasserwerk für die Inseln Procida und Ischia gehört dem weitverzweigten System von Wasserversorgungsanlagen an, welches für das Gebiet von Kampanien im Bau ist, und wird von dem Bacoli Endbehälter der für die Gemeinden der Flegrei Zone bestimmten Fernleitung gespeist. Vorläufig wird diese Leitung vom Neaples Gemeindewasserwerk versorgt. Vom Bacoli Behälter ausgehend erreicht eine auf das Festland verlegte Rohrleitung das Meer bei Miliscola, wo der in den 3,400 m breiten Procidakanal versenkte Doppeldüker beginnt, um am gegenüberliegenden Strand von Sancio Cattolico der Insel Procida zu enden.

Ab hier läuft eine Einzelleitung durch die Insel, die mit einer Zweigleitung versorgt wird, und danach erreicht sie die Kleininsel Vivara mittels eines Brückenstegs. Ein tunnel ist durch Vivara gebohrt worden, um als Anfangsbehälter des zweiten Doppeldükers zu dienen, der in den 2,900 m breiten Ischiakanal verlegt worden ist und an Ischia Ponte landet.

In der Insel Ischia entfaltet sich, schliesslich, das breite Versorgungsnezt aller Gemeinden.

Insgesamt ist das Wasserwerk für die beiden Inseln von 45 Km lange Rohrleitungen (einschliesslich der 6,300 m langen Doppeldükers) und von 17 Behältern mit 21,000 m^3 Fassungsvermögen gebildet. Es ist für einen Tages-Höchstverbrauch der beiden Inseln von rd. 9,100 m^3 bemessen worden, sodass es den 65,000 Einwohnern, der Bevölkerung nämlich, die für das Jahr 2000 vorausgesehen worden ist, einen Tages-Kopfverbrauch von 140 l gewähren wird.

Die Unterquerung des Procida—und Ischiakanals, die das wichtigste und schwierigste Teil des Wasserwerks für die beiden Inseln darstellt, hat ganz neue Fragen aufgeworfen oder Fragen, die anderswo, aber bei weniger komplexen Einrichtungen gelöst worden waren.

Es gibt schon Beispiele von Dükers, insbesondere von denjenigen, die an der Küstennähe versenkt worden sind, um die rasche Ladung und Abladung der Oeltanker zu ermöglichen; solche Werche aber haben im allgemeinen ganz anderartige Dauer — und Dienstsicherheitscharakteristiken, von denjenigen, die, in Anbetracht der besonderen sozialen und hygienischen Erforderungen denen es nachkommen muss, dem Wasserwerk für die Inseln Procida und Ischia auferlegt wurden.

Wegen der Tatsache, dass seine Dükers zwei breite Meeresarme unterqueren müssen, die eine höchste Tiefe von beziehungsweise 18 und 30 m erreichen und die der Wirkung von heftigen und häufigen Winden, von Wellen und Strömen grosser Stärke ausgesetzt sind, hat dieses Werk seinesgleichen nicht.

Wie schon gesagt, hat die Cassa lange und sorgfältige Studien und Erfahrungen machen müssen, bevor sie sich zu dieser Arbeit anschicken konnte.

Forschungen und Versuche wurden in der Stahlrohreherstellungswerkstatt und auf ins Meer getauchte Rohrteile gemacht, um die am besten geeigneten Charakteristiken des Rohraussenschutzes zu bestimmen. Nachher setzte man mit der unmittelbaren Abnahme fort, des ganzen Meeresgrundes entlang, der aus der Vorplanung auserwählten Trasse, indem man Muster des Grundmaterials mit Tauchern entnahm und Probegräben auf den Meeresgrund ausführte.

Auf der Grundlage dieser Erfahrungen, Versuche und Abnahmen, haben die Techniker der Cassa mit der Beratung von Fachleute der verschiedenen Techniken den Detailplan vervollständigt.

Zur Unterquerung der beiden Meeresarmen — wie schon erwähnt — dienen die aus zwei Stahlrohren bestehenden Dükers; diese Lösung wurde auserwählt, sei es als eine Sicherheits — und Dienstgewährleistungsmassregel, sei es um die zu befördernde Wassermenge einzuteilen und somit kleinere Durchmesser für die Leitungen anzuwenden.

Es wurden nahtlose «Dalmine» Stahlrohre für elektro-geschweisste Verbindungen mit 300 mm Nennweite und 12 mm Wandstärke, das Doppel als das Gewöhnliche, angewandt; die Rohre sind mit einer 12 mm dicken, mit Glasfilz und Glasfaserband verstärkten, Bitumenschicht versehen.

Die Forschungen über die Wirksamkeit eines solchen Aussenschutzes und über sein Verhalten im Meeresgrund stellten die Notwendigkeit klar, denselben von der biologischen Meeresumwelt abzusondern, welche die schlimmste Bedrohung ihrer Unversehrtheit ist, und erlaubten, es festzu-

setzen, dass der beste Schutz erzielt wird, wenn man die Leitungen in eine solche Rinne verlegt, die eine angemessene Zuschüttung (mindestens 70 cm) gestattet.

Man kann sagen, dass es das erste Mal ist, dass man in offenen Meeresarmen lange, perfekt geradlinige und auf die gewünschten Quoten nivellierte Verlegungsrinnen ausgebaggert hat. In der Küstennähe, in Gebieten von geringer Wasserhöhe wo die Meereswirkung stärker empfunden wird, wurden angemessene, mit Felsendammen geschützte Eisenbetonstrukturen für die Leitungsverlegung gebaut.

Die Dükersversenkung wurde wie folgendes ausgeführt. In den dazu eingerichteten Montageplätzen wurden Dükersteile bestimmter Länge zusammengebaut, d. h. von 200 m im Montageplatz bei Miliscola, auf dem Festland, und von nur 80 m in demjenigen der Insel Ischia, wo der Raum von Wohnungen und anderen Hindernissen eng begrenzt war. Die Versenkung jedes Teils erfolgte nach dem Einschleppvorgang, d. h. mittels eines in der Baggerrinne ausgebreiteten Stahlseils, das von einem auf der gegenüberliegenden Küste gesetzten Zuggerät gezogen wurde.

Sobald ein Dükersteil ins Meers verlegt worden war und sein äusserstes Ende an die Strandgrenze gelangte, brachte man ein weiteres Teil in die Nähe des ersten und verband sie mit Elektroschweissung; zunächst überprüfte man die Verbindungen mit einer Ueberschallvorrichtung oder, wo nötig, mit radioaktiven Isotopen, vervollständigte man danach den Aussenschutz in der Verbindungszone und setzte man dann mit dem Einschleppen wieder fort.

Jede Entwicklungstufe dieser Arbeit, insbesondere das Fortschreiten der Rohrleitungen auf den Meeresgrund wurde von Tauchern und Froschmännern überprüft.

Alles ist perfekt gelungen. Insbesondere zeigte der äusserst niedrige Stromverbrauch der Kathodenschutzanlage der Dükerleitungen an, dass der Isolierungszustand höher als derjenige ist, der bei ähnlichen Werken erzielt worden its.

Das gesamte Wasserversorgungswerk der Inseln Procida und Ischia, einschliesslich des Anteils der für die Gemeinden der Flegrei Zone bestimmten Fernleitung, beträgt eine Ausgabe von 2 Milliarden 500 Millionen Lire.

Die Baukosten der Dükers betrugen ca. 900 Mil. Lire.

Der Vergleich der Zeitdauer der Forschungstufe zur jenen der Ausführungstufe lässt den Erfolg dieser Arbeiten deutlich erkennen.

Die Vorbereitungstufe, die von der Notwendigkeit gekennzeichnet worden war, die Lösungen eines nie vorher unter solchen Bedingungen angepackten Problems auszuerwählen und zu vervollständigen, hat mehr als 5 Jahre gedauert. Die Ausführungstufe, die von der Anhaftung zu den grundsätzlichen Planungsvoraussichten charakterisiert wurde, hat nur 2 Jahre gedauert.

Wie bei jedem neuen Unternehmen, gab es allerdings eine Wagnisquote wegen der nicht im voraus bewertbaren Unbekannten: mit Rücksicht darauf, packte man vorsichtig zuerst die Arbeit in der weniger tiefen Meeresenge an, im Procidakanal nämlich, indem man daraus weitere Erfahrungen für die schwierigere Arbeit im Ischiakanal machte.

Dieses Werk hat den Einwohnern der Inseln und allen denjenigen, die aus der ganzen Welt zu jenen Stranden ziehen, um dort Gesundheit, Erquickung und schöne Aussichten zu geniessen, eine unschätzbare Wohltat erwiesen. Heute, dass es vervollständigt worden ist, darf die italienischen Technik und Industrie, die es verwirklicht haben, ihren Stolz dazufügen, da sie auf dem Gebiet der Zivilwerke gerade in der «Campania felix» dadurch eine Vorrangstellung erzielt haben, wo es eben schon vor zwanzig Jahrhunderten bewunderungswürdige Beispiele gab.