

APPROFONDIMENTO DELLO STUDIO
NELLE ZONE PARTICOLARMENTE SOGGETTE
AD EROSIONE
PROGETTO GENERALE DI MASSIMA
PROGETTO PILOTA N. 4

PARTE

3/C

ZONA CAMPIONE DI
TERRACINA
S. FELICE CIRCEO

1. RELAZIONE GENERALE

1.1 Studio idraulico-marittimo

Sono stati sviluppati in scala 1/5.000 i piani d'onda in basso fondale delle tre ondatazioni principali e relativi diagrammi di trasporto (1).

Essi sono ricavati dallo sviluppo in basso fondale dei piani d'onda in alto fondale e vanno consultati con gli avvertimenti di cui allo Studio generale brevemente richiamati nella prima parte del presente.

1.1.1 Onde di Mezzogiorno

Con le agitazioni di Mezzogiorno l'inclinazione dei fronti d'onda in corrispondenza di San Felice Circeo è decisamente rivolta verso Levante, procedendo verso l'estremità opposta si giunge gradualmente ad una lievissima inclinazione verso Ponente.

Pertanto con questo tipo di ondatazioni lievemente angolate sul litorale si stabilisce un sistema di correnti litoranee cui corrisponde un flusso detritico rivolto verso Levante per un ampio tratto del lato San Felice, e verso Ponente nella estremità verso Terracina.

Per il principio di congruenza a questo regime deve fare riscontro una corrente verso il largo nel punto di convergenza.

Sopraflutto al porto per effetto dell'opera aggettante, si ha tendenza al deposito dei sedimenti (ostacolata sottocosta dal riflesso dovuto alla costa rocciosa).

In corrispondenza dell'opera si ha una azione di riflesso che provoca una dispersione dei sedimenti nel fondale antistante. Sottoflutto per il fenomeno di diffrazione attorno al molo foraneo, si ha una caduta dell'altezza d'onda, che provoca il sedimentarsi dinanzi alla imboccatura delle sabbie che hanno potuto superare l'ostacolo.

La fig. n. 1 illustra abbastanza bene il fenomeno sviluppando il piano d'onda nella situazione attuale ed in quella precedente alla costruzione del porto, allo scopo di rendere evidente la modificazione nel regime di moto ondoso introdotta dalla nuova opera.

1.1.2 Onde di Libeccio e Maestro Levante

Le onde di Libeccio e Maestro Levante hanno inclinazione decisamente rivolte verso Levante.

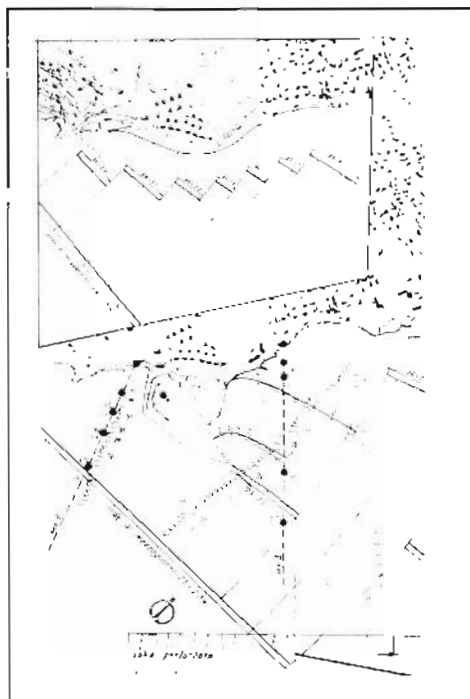


Figura 1 - Confronto della propagazione dell'onda di mezzogiorno tra la situazione precedente alla costruzione del porto e quella attuale.

Esse sono notevolmente attenuate dal fenomeno di rifrazione e manifestano attorno al porto gli stessi fenomeni di insieme analizzati a proposito dell'onda di Mezzogiorno.

1.1.3 Onde di Scirocco - Levante

Le ondatazioni di Scirocco-Levante non sono state sviluppate in piani d'onda in quanto avendo fetches molto limitati e rapidi, rispetto alla costa, hanno intensità e lunghezza d'onda molto ridotta. Esse pertanto, per la seconda caratteristica, non risentono del fenomeno di rifrazione se non in fondali limitatissimi. Tuttavia, poichè i venti di Scirocco-Levante sono abbastanza frequenti, possono avere un'importanza sul trasporto detritico litoraneo, provocando un flusso verso Ponente.

1.1.4 Diagramma dell'energia del Moto ondoso

Passando dal diagramma dei venti a quello delle intensità del moto ondoso (vedi parte I) per effetto della maggiore esten-

sione dei fetches dal III° quadrante sul II°, la prevalenza si inverte totalmente. Il diagramma qui riportato mostra una notevole prevalenza energetica delle agitazioni provenienti dal II° e III° quadrante su quelle del II°.

In conseguenza, ricordando quanto è emerso dallo Studio dei piani d'onda, si può concludere che il regime del moto ondoso nel paraggio è tale da promuovere movimenti detritici prevalentemente rivolti verso Levante.

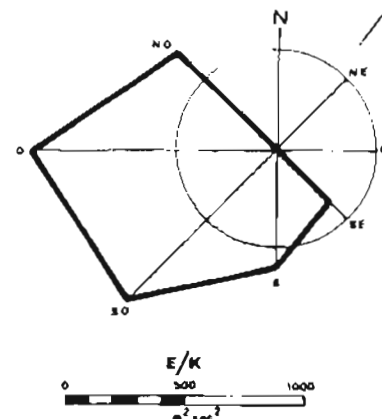


Figura 2 - Diagramma di energia dei moti ondosi incidenti.

1.2 Studio Storico

Lo studio storico del litorale di Terracina - San Felice Circeo è stato impostato sul confronto della cartografia disponibile e dei fondali.

Le successive cartografie hanno evidentemente scale e metodi di rilievo non confrontabili direttamente. Si è pertanto suddiviso il confronto in tre successive fasi basate sull'epoca e sulle scale disponibili.

1.2.1 Cartografia antica e notizie bibliografiche

In epoca pre romana la spiaggia di Terracina era molto arretrata rispetto alla linea attuale.

Secondo Arturo Bianchini (Storia di Terracina pag. 69) essa si appoggiava alla collina denominata il Montone ed a ridos-

(1) Non sono riportati nel presente studio e possono essere consultati in originale presso la Regione Lazio Assessorato ai Lavori Pubblici.

so di essa e fino allo sperone roccioso di Pisco Montano, si trovava una piccola baia bordata da spiaggia che per la sua posizione ridossata, ben si prestava per il riparo ed alaggio per le navi dell'epoca. Successivamente, probabilmente prima di Traiano, si sentì la necessità di costruire i primi moli, comunque è accertato che sotto quell'Imperatore fu intrapresa e portata avanti la vera trasformazione del porto che, scavato in parte nelle sabbie, fu protetto da molo.

Il bacino, collegato ad un corso d'acqua reso navigabile, avrebbe reso possibile alle merci trasportate per mare, di proseguire per l'interno verso Roma. Esso era costituito inizialmente da due moli convergenti che delimitavano uno specchio acque pressoché circolare del diametro di ml. 400.

La bocca del porto era orientata ad Est ed in corrispondenza di essa si radica oggi l'attuale molo foraneo.

Il porto fu, fin dalla sua costruzione, soggetto ad interrimento, se come testimoniano gli scritti di Antonio Pio, ebbe necessità di grandi opere di escavazione oltre che di manutenzione dei moli.

Nel periodo medioevale, per il completo abbandono, il bacino portuale Traiano fu completamente interrato e rimase in funzione solo il canale centrale.

Per proteggerlo dall'interrimento ed assicurare una sufficiente copertura dai mari di traversia, il molo subì successivi prolungamenti che certamente influirono nell'equilibrio della spiaggia.

Dal 1700 sono disponibili carte topografiche della costa in scala abbastanza leggibile: (Figg. da 22 a 28).

— La nuova carta geografica dello Stato Ecclesiastico datata 1755 di Ruggero Giuseppe Boscovich;

— La carta geografica dello Stato della Chiesa datata 1777, scala 1/47.536;

— La carta geografica dello Stato della Chiesa e Granducato di Toscana datata 1796;

— La carta geografica datata 1820 senza indicazioni particolari;

— La carta geografica dello Stato Pontificio, scala 1/86.400 datata 1851;

— La prima carta I.G.M. 1/250.000 non datata.

Dalla prima si nota come le acque delle zone paludose interne scaricavano attraverso il Sisto ed il canale di Terracina che certo aveva sotto questo aspetto una importanza notevole.

Ciò è confermato anche dalla seconda carta che mostra come particolarità interessante una notevole inclinazione verso Ovest della Foce del Portatore.

La carta dello Stato della Chiesa e Granducato di Toscana mostra il Portatore privo di Foce ed indica come unico scarico il canale di Terracina.

La carta del 1820 riporta il disegno di una bonifica (forse in corso od in progetto) che sembra convogliare tutti gli scarichi nel canale di Terracina, ma indica ancora la Foce del Portatore come la precedente.

Lo stesso disegno è ripreso dalla carta dello Stato Pontificio e dalla successiva I.G.M. scala 1/250.000.

Non è possibile da questi documenti avere indicazioni di una qualche attendibilità sulla evoluzione della linea di battigia.

1.2.2 Confronto della cartografia I.G.M.

Il confronto delle cartografie I.I.M. ed I.G.M. (Figg. da 29 a 49) è stato fatto in parte in scala 1/25.000 (dal Circeo a Porto Badino) basato sulle successive edizioni 1928-1929-1932 e 1936 I.G.M. e sui grafici di campagna I.I.M. del 1883 ed in parte al 50.000 (edizioni 1936-1907-1876-1878) I.G.M. per il tratto successivo fino a Sperlonga.

Secondo il confronto delle due edizioni 1/50.000 I.G.M. 1878 e 1936 risulta un arretramento di una cinquantina di metri nel tratto corrispondente alla foce del Rio Torto e un contemporaneo avanzamento alla foce del Sisto (in seguito alla apertura del nuovo sfocio diretto).

Questo fatto è in contraddizione con quanto risulta dal confronto delle cartografie 1/25.000 del 1936, con il rilievo della linea di costa del 1883 desunto dai brogliacci di campagna I.I.M.

Evidentemente si tratta di un errore dovuto ai diversi metodi di rilievo che però deve servire per avvertire dei limiti di attendibilità di questi confronti.

In sostanza il confronto delle due edizioni 1/50.000 indicherebbe un arretramento al Rio Torto ed un corrispondente avanzamento alla foce del Sisto in seguito alla apertura dello sfocio diretto del Fiume, mentre il confronto al 25.000 I.G.M. 1936 ed I.I.M. 1883, indicherebbe un generale avanzamento tra il Rio Torto ed il Sisto ed oltre nello stesso periodo, con avanzamento però alla foce del Sisto subito dopo che fu realizzato il nuovo sfocio.

Comunque dai confronti risulta che fino al 1928-1929 il fiume Sisto non aveva sfocio diretto, ma si divideva in "fiume delle volte" che lo univa al Portatore e "Fiume Olevola" che lo collegava al Rio Torto, che però era praticamente chiuso dal 1887.

Tra il 1929 ed il 1932 fu aperto uno sfocio diretto a mare del Sisto, contemporaneamente o comunque prima del 1936 fu costruito un pennello alla foce del Rio Torto in sponda destra (lunghezza circa 125 ml.).

La edizione del 1/25.000 1936 I.G.M. riporta una linea di costa nettamente avanzata rispetto al 1932-1929 in corrispondenza della nuova Foce del Sisto.

Il protendimento si sfuma gradualmente su un fronte di oltre 2,5 Km. a cavallo della Foce ed è nettamente più marcato a Ponente (75 metri contro 25 a Levante). Nello stesso periodo, su tutto l'arco costiero a Ponente fino a Terracina, non si notano variazioni apprezzabili.

Nei tratti di litorale tra Circeo e Sabaudia e tra Terracina e Sperlonga, nell'intero periodo 1878-1936, non si manifestano variazioni di rilievo nell'andamento della linea di costa.

1.2.3 Confronto della cartografia recente in piccola scala e rilievo attuale della linea di costa

Nelle tavole n. 48 e 49 Vol. 2 sono riportate le successive linee di battigia del 1883 (Brogliacci di campagna I.I.M. per punti, aereofotogrammetrie 1959-68-72, Catasto: levate 1956 per Circeo e 1969 per Terracina e rilievo Studio Volta del Dicembre 1979).

Nei tratti singolari (presso l'Approdo, Foce del Portatore e Foce del Sisto) sono riportate in scala 1/2.000 le successive linee di battigia.

Come si può notare nel 1968 la profondità della spiaggia era ancora notevole. Il fenomeno di erosione (cioè l'inversione della tendenza dal protendimento a recessione) si può ubicare perciò intorno agli anni '60-'65.

Nel 1955 fu prolungato per circa 35 ml. il pennello in sponda destra alla Foce del Portatore (Porto Badino).

Alla realizzazione dell'opera seguì, come risulta dalle successive posizioni della battigia nel 1959 e 1968, un avanzamento della spiaggia a Ponente ed una retrocessione a Levante.

L'avanzamento avvenuto tra il 1959 ed il 1968, è molto regolare e raggiunge i 14 ml. e si raccorda a ponente a circa 1.800 ml. dalla Foce.

L'arretramento avvenuto nello stesso periodo a Levante, notevole a circa 400 ml. dalla Foce (una ventina di metri) va rapidamente diminuendo fino ad annullarsi in corrispondenza di Via Piegarello e nel tratto seguente fino alla scogliera dell'Hotel l'Approdo che nel frattempo era stata spostata leggermente in avanti per ampliare il piazzale dell'albergo.

Il giorno 5/9/64 erano consegnati i lavori per la costruzione del Porto di San Felice Circeo e proseguivano anche nel 1965 con la costruzione di buona parte del molo foraneo (fino alla batimetrica —6,00 circa).

Nel 1965 i lavori furono sospesi, fu approvata una perizia suppletiva che prevedeva l'ampliamento del porto e quindi del molo foraneo fino a raggiungere il fondale —7,00 circa.

Il lavoro fu ripreso nel 1968 e fu ultimato allo stato attuale nel 1970.

Già con il primo lotto di lavori si manifestò sottoflutto al porto, sulla spiaggia di San Felice Circeo un forte fenomeno di corrosione.

A Ponente del Sisto, (nel tratto di circa 900 ml.), come risulta dal confronto delle posizioni della linea di battigia tra il 1968 ed il 1972 (sarebbe interessante disporre dei rilievi successivi anche per il litorale di San Felice Circeo) si ebbe un arretramento pressoché costante, (anzi il suo andamento fa presumere un aumento del fenomeno verso Ponente) dell'ordine di 15-20 ml.

Il Genio Civile OO.MM. di Roma con Perizia n. 2616 del 10/3/70 per l'importo di L. 160.000.000, prevede la costruzione di una fila di scogliere sul litorale di S. Felice Circeo per lo sviluppo di circa 2 km.

Il lavoro fu finanziato parzialmente con

L. 30.000.000 ed i lavori furono iniziati il 14/3/72, ultimati l'11/9/72.

All'atto della consegna, come risulta dal verbale, si constatò che il fondale in cui dovevano sorgere era nel frattempo (dal progetto del 1980) aumentato di ben cm. 35.

A seguito di questi lavori si ebbe un immediato arretramento del litorale sottoflutto che interessò anche la sede del lungomare rendendolo non transitabile.

La linea di costa si arretrò di oltre 40 ml. rispetto alla posizione del 1968 e raggiunse la posizione del 1883.

Tra il 1972 ed il 1979 si continuò a realizzare dighe parallele a T procedendo verso Levante correndo dietro al fenomeno erosivo.

Nel frattempo a Terracina nel corso del 1972, a cura dell'Hotel l'Approdo, fu ulteriormente ampliato il piazzale a Ponente dell'albergo secondo un nuovo andamento planimetrico protetto dalla scogliera costituita da massi molto grandi e di-

sposti con ripidissima pendenza.

Si assistette quindi tra il 1968 ed il 1973 ad un fortissimo arretramento locale con massimo di quasi 40 ml. in corrispondenza dell'Approdo e sfumato verso Ponente per oltre 600 ml.

A seguito dello "Studio del litorale di Terracina" condotto da Studio Volta per conto dell'Amministrazione comunale, si procedette ad un addolcimento della scarpata della scogliera dell'Hotel l'Approdo (1975-1976).

Negli anni seguenti, come mostrano le successive posizioni delle linee di battigia, si ebbe un sensibile miglioramento della situazione locale presso l'Approdo, mentre nel litorale a Ponente continuò lento ma inesorabile l'arretramento.

1.2.4 Evoluzione della batimetria

Nelle tavole n. 48 e 49 Vol. 2 sono riportati accanto ai valori dei fondali rilevati

nel corso dello studio, quelli ricavati dai brogliacci di campagna I.I.M. relativi all'anno 1883 (rilievo generale) e 1969 (rilievo particolare per il Porto di San Felice Circeo).

Se si tiene conto che il porto è stato realizzato nel 1964-1966 e che con ogni probabilità i fondali per la massima parte rocciosi non erano molto diversi da quelli rilevati nel 1883, è interessante notare che già nel 1969 si riscontrava un certo accumulo di sabbia sia sopraflutto che sottoflutto al porto.

Tra il 1969 ed il 1979 tale accumulo continua.

È pure da tenere conto che mentre sopraflutto al porto l'accumulo è esteso fino oltre al fondale —8 e —10 metri, sottoflutto è concentrato esclusivamente nella zona ridossata.

Procedendo verso Est in corrispondenza delle difese parallele si nota chiaramente la tendenza del fondale ad abbassarsi al piede delle dighe e a sollevarsi per rifles-

Figura 3 - Dalle pendici del Circeo verso Terracina. Il litorale è ancora integro, si noti la netta prominenza della foce del Sisto.



Figura 4 - 1976 - Il sistema di difesa sta procedendo verso Levante immobilizzando enormi volumi di sabbia sottratti alla alimentazione delle spiagge sottoflutto.



Figura 5 - 1976 - San Felice Circeo: Erosione violenta a Levante delle opere di difesa; sullo sfondo il porto di San Felice.



Figura 6 - San Felice Circeo: Le difese a T procedono veloci verso Levante incalzando l'erosione.



Figura 7 - 1979 - Dalla stessa posizione della foto precedente verso Levante.





Figura 8 - 18/11/79 - San Felice Circeo:
L'erosione a Levante delle opere di difesa (in
secondo piano le scogliere e sullo sfondo il
promontorio con il Porto).



Figura 9 - Dicembre 1979 - La spiaggia è
completamente scomparsa, il mare batte sul
muro di sostegno e le onde vengono riflesse
asportando il sedimento.



Figura 10 - Ottobre 1980 - Durante l'estate una
striscia di sabbia si è ricostruita, ma sempre
esile.

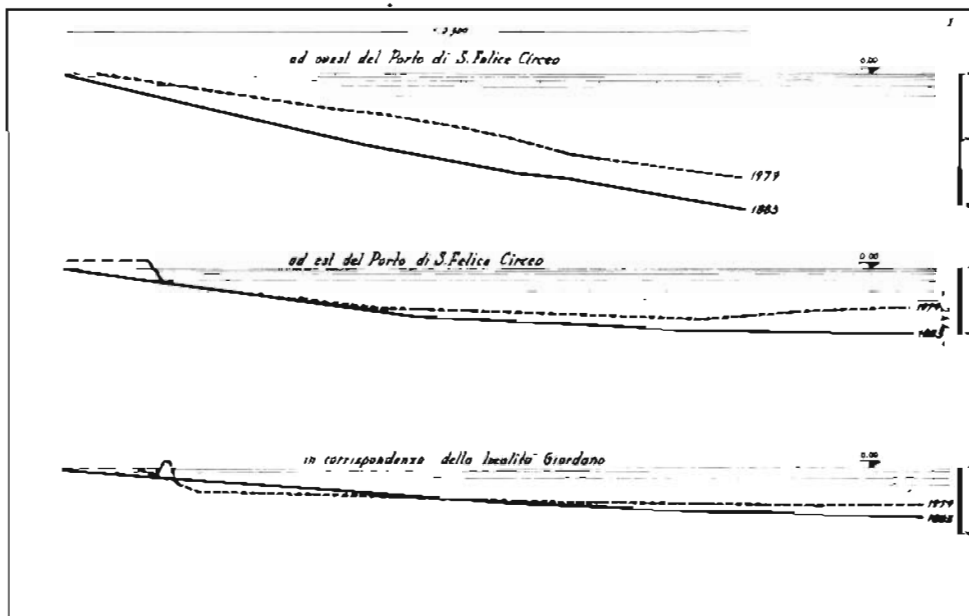


Figura 11

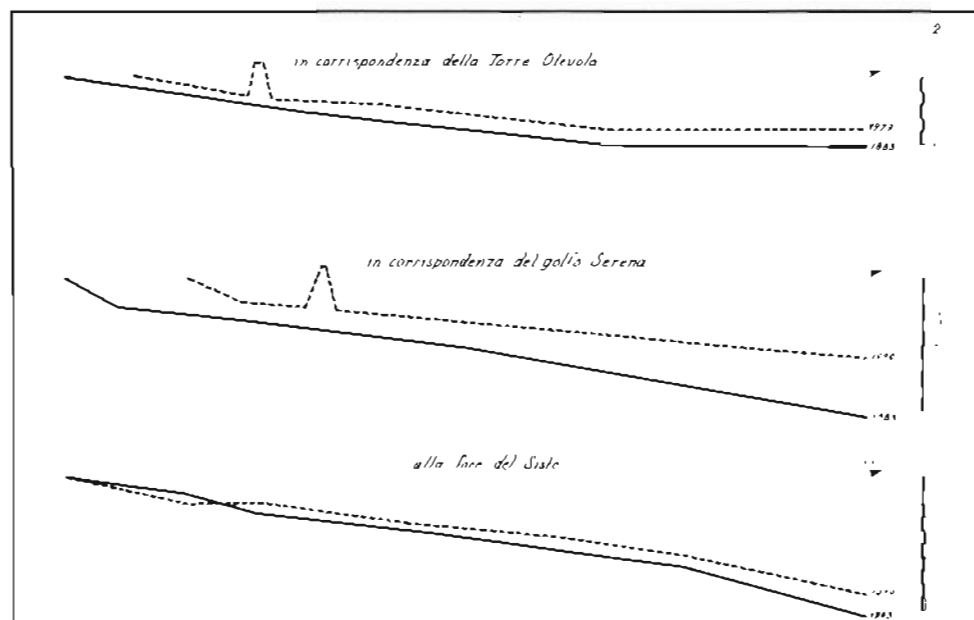


Figura 12

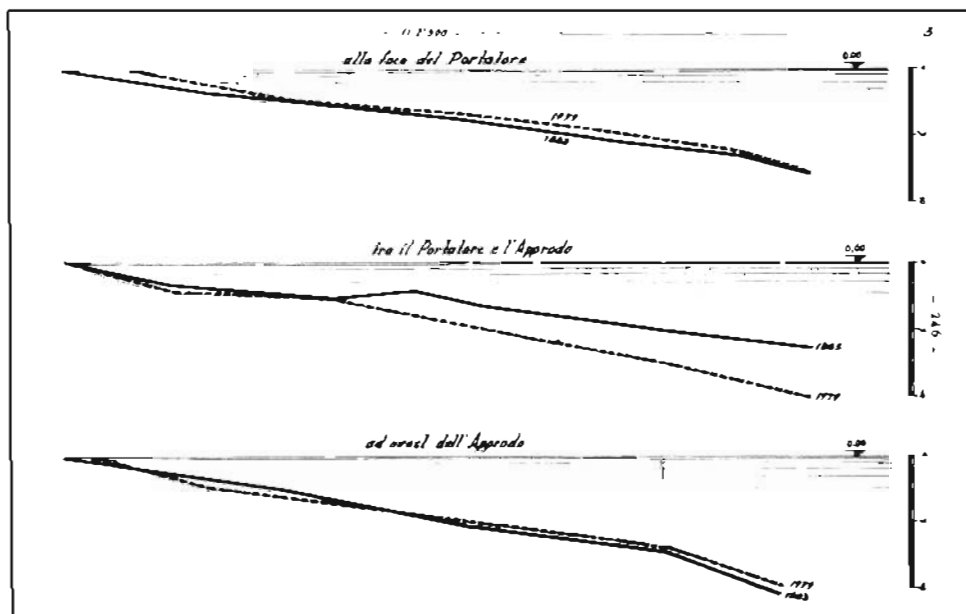


Figura 13

so nei fondali più elevati con tendenza generale ad innalzamento (vedi le sezioni Figg. 11, 12 e 13).

In corrispondenza della Foce del Sisto si ha ancora un leggero insabbiamento molto minore però che nella sezione precedente tenuto conto anche che la battigia attuale è in questa sezione solo una ventina di ml. più avanzata rispetto al 1883. Alla Foce del Portatore i profili attuali e 1883 praticamente coincidono se si tiene conto dell'avanzamento della battigia (circa 60 ml).

Più a Est ancora si assiste tra il 1883 ed il Settembre 1979 ad un progressivo irripidimento del profilo procedendo verso Levante soprattutto sui fondali elevati. A proposito di questa zona è interessante richiamare l'attenzione su un fatto particolare:

Come si vede dalle annotazioni sulle tavole, la maggior parte dei rilievi sono stati condotti nel Settembre 1979.

Nell'Aprile 1980 tuttavia si è provveduto ad alcuni ritocchi anche per riscontrare possibili variazioni stagionali.

Se si presta attenzione a questo fatto si vede che in corrispondenza della nuova sezione batimetrica immediatamente a Ovest dell'Approdo radicata sulla spiaggia, i fondali di Aprile non coincidono con quelli di Dicembre.

In questo mese è invece possibile rilevare una linea trasversale vicino alla spiaggia con fondali di circa due metri dove nel mese di Settembre ciò non era stato possibile perché emergeva la barra ed anche le piccole onde rendevano impossibile la necessaria stabilità (per i rilevamenti) della barca.

Si nota anche che questa sezione coincide praticamente con il profilo del 1883.

1.3 Studio Sedimentologico

Le tavole n. 18 e 19 (Vol. 2) riportano le posizioni di prelevamento dei campioni e delle carotature).

Tre campioni prelevati a Torre Paola (O), ad Ovest del Porto (I°) ed a Est del Porto (II°), sono stati sottoposti a diffrattogrammi a raggi x.

Le tabelle pubblicate nelle pagine che seguono riportano i dati granulometrici dei campioni superficiali e delle carotature ottenute per depressione.

Essi sono ricavati mediante passaggio in setacci con passo $1/2 \varphi$ e riportano diametro medio: M_2 , Sorting: (SD), Skewness: (SK) e Kurtosis: (Kg).

Per ciascuna carota si sono eseguite le sopracitate analisi per almeno tre campioni a diversa profondità.

1.3.1 Diffrattogrammi e foto morfoscopiche

Allo scopo di confrontare la natura petrografica di campioni di battigia prelevati a Torre Paola (campione o), immediatamente ad Ovest del Porto (campione I°) ed a Est del Porto (campione II°) si è proceduto all'analisi diffrattometrica. Le figure 14, 15 e 16 mostrano appunto il confronto tra i tre diffrattogrammi.

Come si può osservare dalla quasi perfetta sovrapposibilità dei tre diagrammi le tre sabbie esaminate sono estremamente simili.

Unica differenza di un certo rilievo è la presenza di Mica nel campione o (Torre Paola) che manca nei campioni I° (ad Ovest del Porto) e II° (ad Est del Porto) che peraltro risultano tra loro estremamente simili.

Le stesse foto microscopiche dei due campioni ottenute 30 x, offrono già visivamente una notevole impressione di analogia tra le sabbie (Figg. 17, 18 e 19).

È da notare a proposito delle piccole differenze riscontrate che la diversità di ambiente di sedimentazione e quindi di granulometria ed il travaglio subito dal sedimento nel passaggio attraverso i fondali antistanti il promontorio ed il porto non possono non provocare qualche selezione anche petrografica nei granuli.

È il caso della mica che oltre il promontorio non si trova più in quanto probabilmente per la sua forma di cristallizzazione in lamine è stata allontanata in altri fondali.

Per quanto riguarda l'aspetto morfoscopico dei granuli si può osservare che, a parte i cristalli di quarzo che per la massima parte sono ancora a spigoli vivi, gli altri materiali appaiono molto od abbastanza elaborati.

1.3.2 Analisi granulometriche

Sulla base dei dati granulometrici sono stati calcolati dei parametri suscettibili di dare indicazioni di carattere ambientale. Il più semplice di tali parametri, il diametro medio (M_2), viene, per ragioni di semplicità ed immediatezza di percezione, presentato in mm.

Gli altri parametri, skewness (Sk), Sorting (SD) e Kurtosis (Kg), vengono presentati in ϕ , dove $\phi = -\log_2$ delle dimensioni espresse in mm.

Il diametro medio (M_2) rappresenta la larghezza media dei granuli della sabbia esaminata ed è pertanto un indice di grossolanità.

La classazione (Sorting o SD, standard deviation) indica il grado di selezione granulometrica della sabbia. Sabbie ben classate corrispondono in genere ad ambienti di elevata energia. La asimmetria, o Skewness (Sk), esprime il grado di simmetria della curva cumulativa dei valori granulometrici.

Se la distribuzione granulometrica è simmetrica, Sk è uguale a 0; Sk è invece positivo quanto la pendenza della curva cumulativa verso le frazioni più fini è minore che verso le frazioni più grossolane, negativo nel caso opposto. Le sabbie pertanto con una coda di materiale più grossolano presentano asimmetria negativa. Il Kurtosis (Kg) è il rapporto fra la pendenza della curva cumulativa nella parte centrale e la pendenza verso le estremità ed esprime pertanto il grado di prevalenza delle frazioni dimensionalmente intermedie rispetto a quelle estreme.

In una stessa zona sabbie di dimensioni maggiori corrispondono a settori di maggiore energia. Genericamente valori di

ZONA CAMPIONE TERRACINA-S. FELICE CIRCEO SEZIONE I (W Porto)

P	Caratteristiche	Profondità				
		0	-2	-3	-5	-7
0,24	M2	0,23	0,22	0,21	0,21	0,21
0,59	SD	0,62	0,72	0,85	0,84	0,82
0,27	SK	0,23	-0,20	0,15	0,11	0,17
0,96	Kg	0,82	0,87	0,98	0,94	0,91
	CaCO ₃	23%	21%	23%	22%	24%

SEZIONE II (Est Porto)

Caratteristiche	Profondità				
	0	-2	-3	-5	-7
M2	0,220	0,234	0,213	0,203	0,180
SD	0,595	0,608	0,638	0,516	0,432
SK	-0,241	-0,157	-0,031	-0,245	-0,165
Kg	0,848	0,769	0,742	1,102	1,103
CaCO ₃	20%	21%	22%	23%	24%

SEZIONE III (Dopo le dighe)

Caratteristiche	Profondità				
	0	-2	-3	-5	-7
M2	0,181	0,202	0,13	0,13	0,11
SD	0,461	0,514	0,88	0,81	0,69
SK	-0,178	-0,244	-0,08	-0,04	0,002
Kg	1,165	1,107	0,97	0,95	0,85
CaCO ₃	22%	19%	22%	21%	23%

Carotature	-3 L = 0,65			-5 L. = 1,000		
	top	metà	fondo	top	metà	fondo
M2	0,13	0,14	0,18	0,13	0,12	0,11
SD	0,88	0,90	1,08	0,81	0,80	0,85
SK	-0,08	-0,08	-0,14	-0,04	-0,05	-0,32
Kg	0,97	1,00	1,03	0,95	0,94	0,99
CaCO ₃	22%	21%	21%	21%	22%	25%

Skewness negativi, elevati valori di classazione, corrispondenti a bassi valori parametrici, e di Kurtosis corrispondono ugualmente ad ambienti di energia elevata e pertanto più soggetti a fenomeni di erosione.

Valori opposti o minori degli stessi parametri corrispondono invece per lo più ad ambienti tranquilli e quindi più facilmente sede di fenomeni di sedimentazione. Per quanto riguarda il diametro medio (M_2) si nota una brusca diminuzione da Torre Paola ad Ovest del Porto da 0,307 a 0,23, come era naturale attendersi, procedendo verso Ovest, il diametro medio raggiunge il minimo nella sezione II subito dopo le dighe (a ridosso di una diga) e si mantiene circa costante per aumentare livemente in corrispondenza dell'Approdo.

La distribuzione granulometrica in profondità appare molto regolare su tutte le sezioni.

Degno di particolare nota è il fatto che il granulo medio del campione P., prelevato all'interno del Porto di San Felice Circeo (0,24), è addirittura superiore a quello medio presente sulla spiaggia sottoflutto.

Gli indici granulometrici forniscono indicazioni piuttosto contrastanti non suscettibili di esatta interpretazione.

La distribuzione del CaCO₃ (analisi calcimetriche) è molto regolare intorno al 20-23% con una sola punta del 26% in corrispondenza del Fiume Sisto, confermata anche in parte dai campioni di fondo, mentre in corrispondenza del Portatore i valori rimangono bassi.

Questo fatto indicherebbe una importanza del Sisto nella alimentazione della spiaggia e parallelamente come secondaria la funzione del Portatore, tuttavia è da osservare che la indicazione è in effetti molto labile per la evanescenza delle differenze riscontrate che potrebbero essere casuali.

1.3.3 Carotature

Le carotature prelevate nella sezione III forniscono tre indici granulometrici a diversa profondità.

Non si sono notati particolari fenomeni di variazioni granulometriche o di colore della sabbia nel corpo della carota. Come si può notare infatti gli indici gra-

Subst.	Misura	Dur.
AD	Albite	8
Cal	Calcite	8
Dol	Dolomite	8
Mic	Microcline	8
Nef	Nepheline	8
Qz	Quartz	7
Ves	Vesuvianite	8

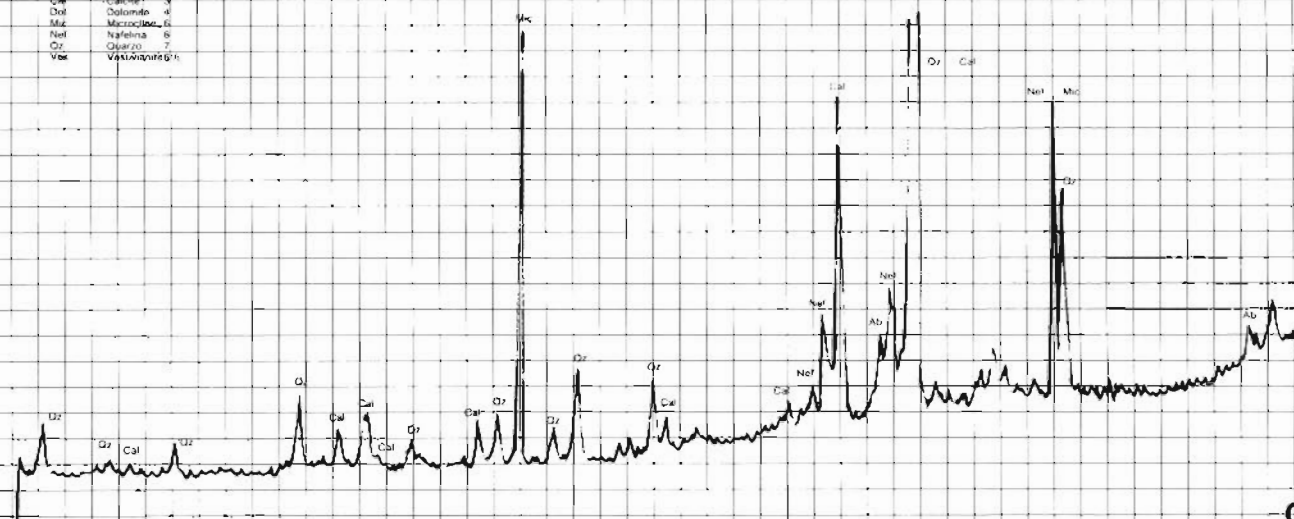


Figura 14 - Difrattogramma del campione 0.

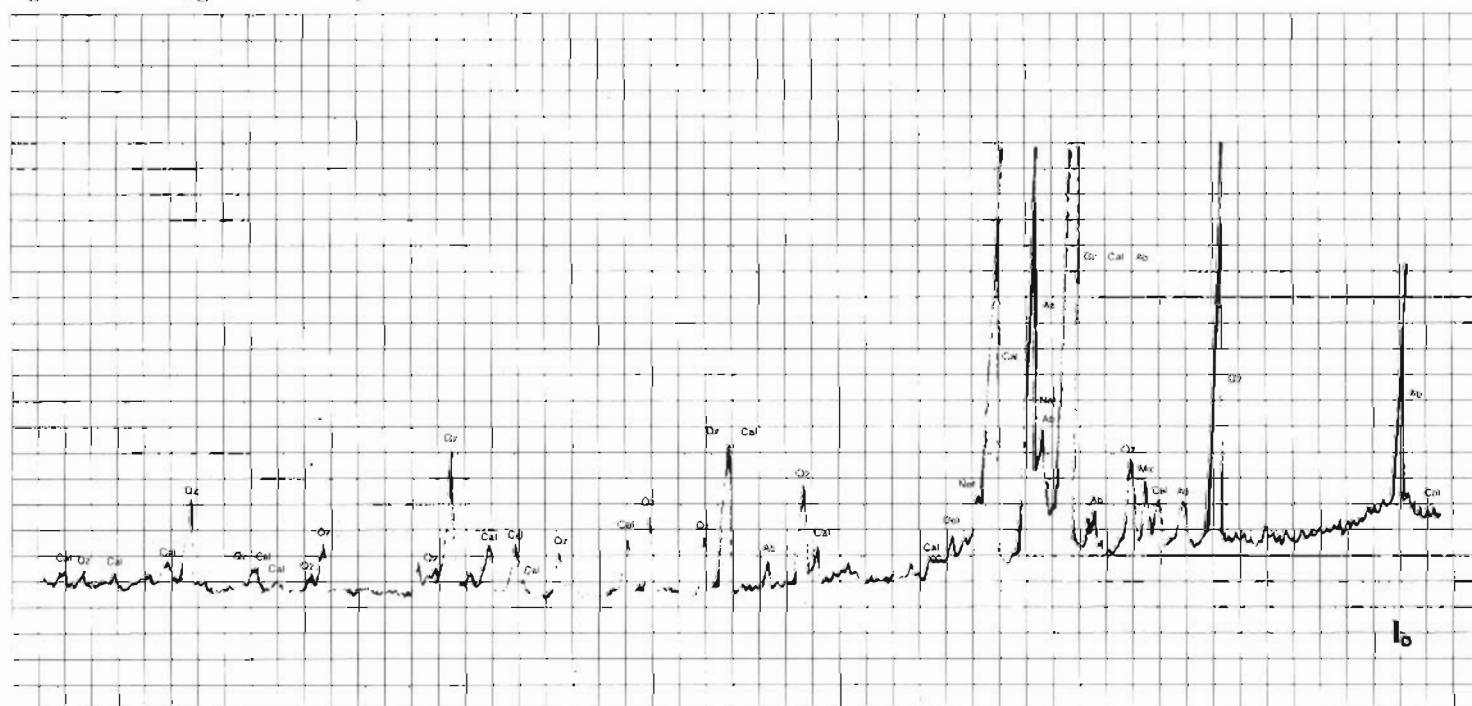


Figura 15 - Difrattogramma del campione I₀.

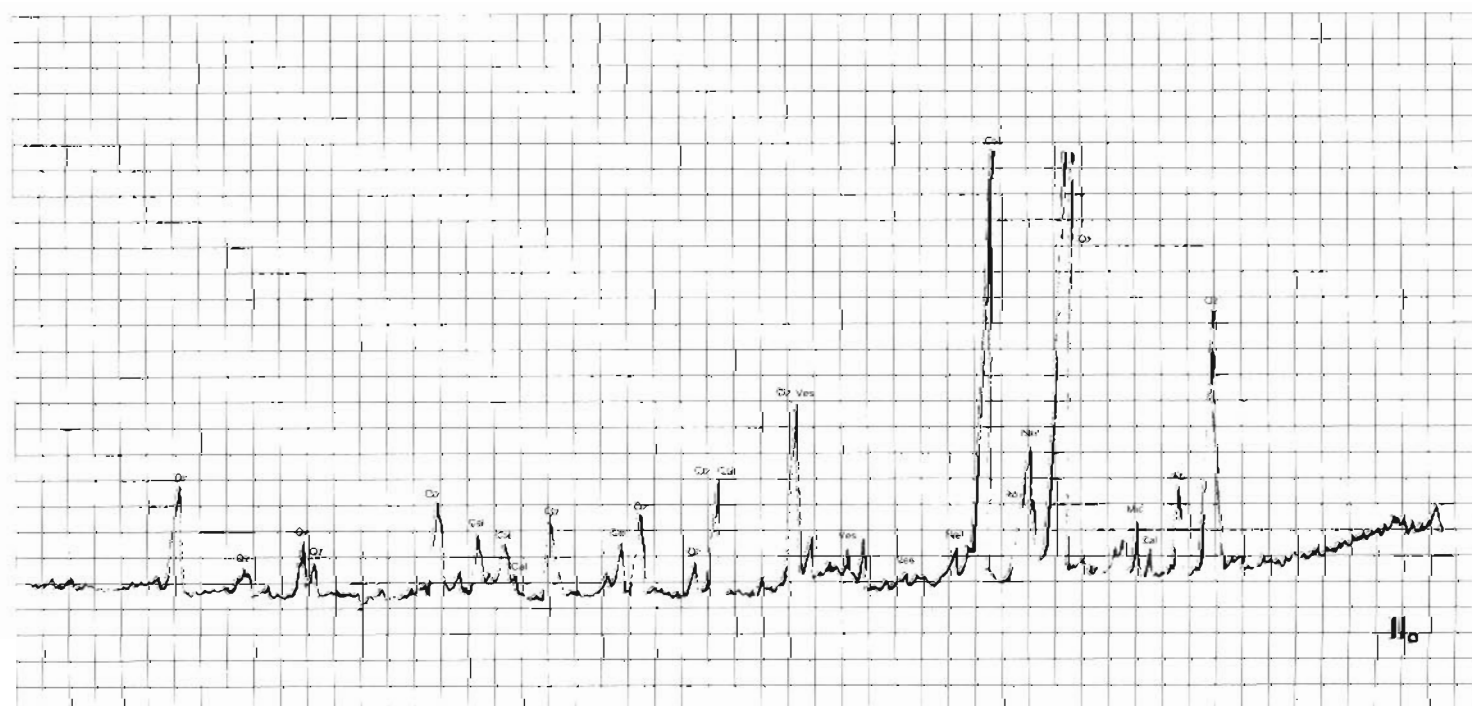


Figura 16 - Difrattogramma del campione II₀.

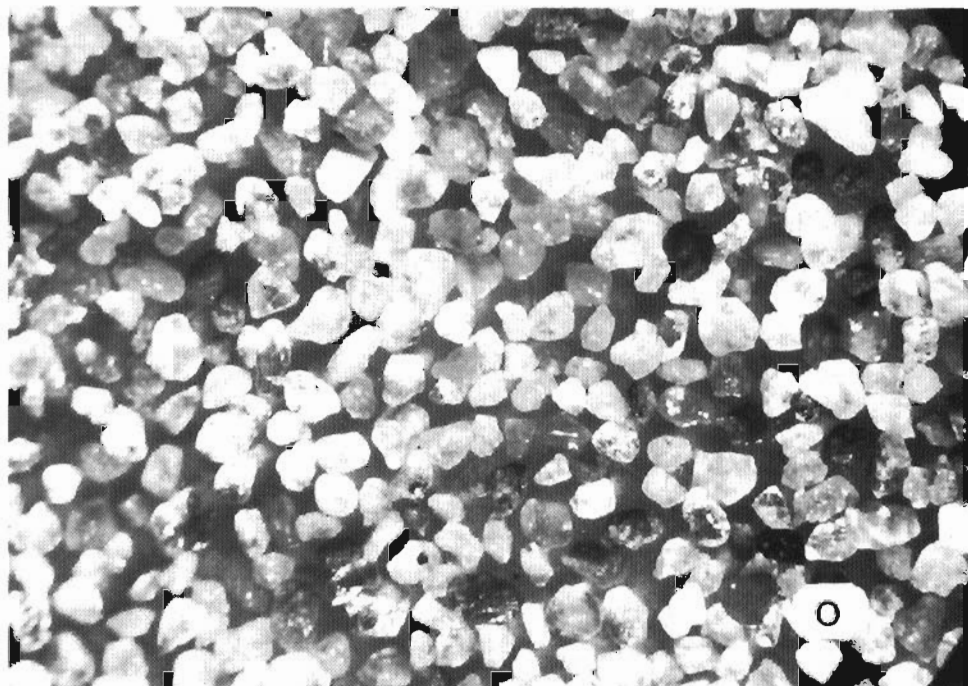


Figura 17 - Foto campione 0

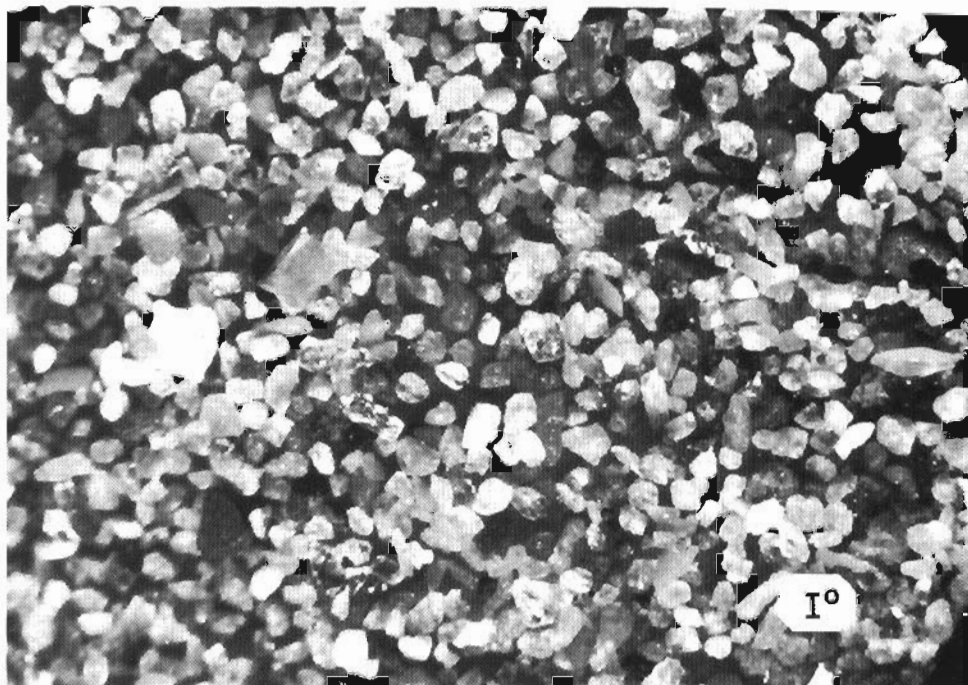


Figura 18 - Foto campione I°

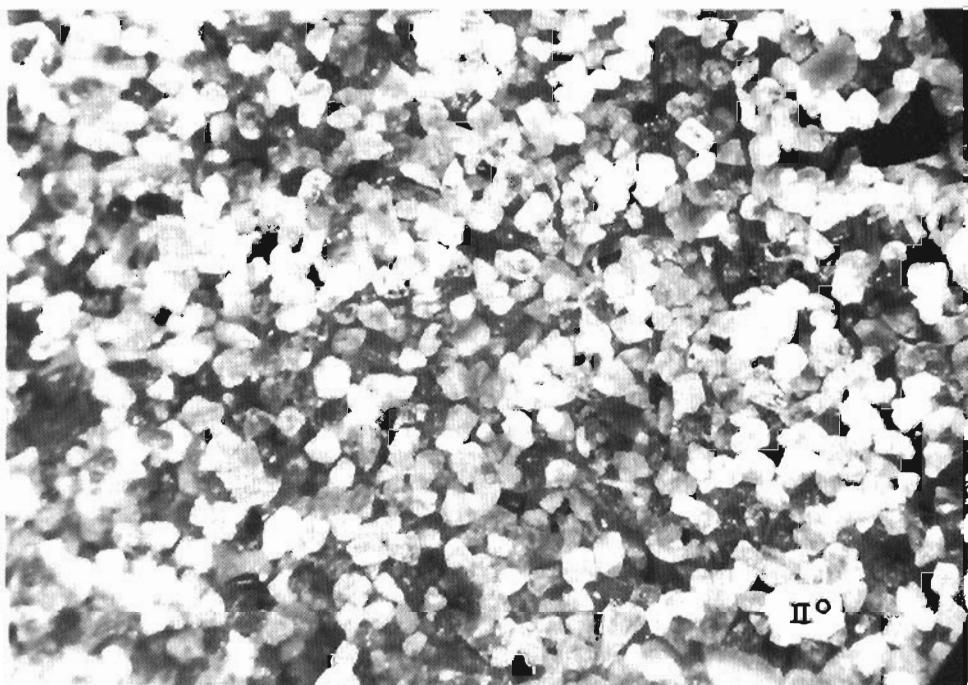


Figura 19 - Foto campione II°

SEZIONE IV (Fiume Sisto)

Caratteristiche	Profondità				
	0	-2	-3	-5	-7
M2	0,207	0,18	0,13	0,12	0,15
SD	0,551	0,32	0,76	0,78	0,85
SK	-0,258	-0,03	0,03	-0,01	-0,04
Kg	1,076	0,78	1,04	0,98	1,14
CaCO ₃	26%	25%	19%	23%	25%

SEZIONE V (Fiume Portatore)

Caratteristiche	Profondità				
	0	-2	-3	-5	-7
M2	0,198	0,20	0,19	0,18	0,12
SD	0,537	0,51	0,46	0,33	0,80
SK	0,264	0,25	-0,17	-0,03	0,40
Kg	1,146	1,11	1,11	0,78	0,86
CaCO ₃	21%	22%	19%	24%	21%

SEZIONE VI (Fiume Approdo)

Caratteristiche	Profondità				
	0	-2	-3	-5	-7
M2	0,226	0,22	0,21	0,21	0,12
SD	0,615	0,61	0,78	0,80	0,81
SK	-0,209	0,28	0,12	0,09	0,42
Kg	0,788	0,91	0,90	0,90	0,95
CaCO ₃	21%	19%	22%	23%	21%

Carotature	-3 L = 0,80			-5 L = 1,20			
	top	metà	fondo	top	1/4	3/4	fondo
M2	0,21	0,20	0,14	0,21	0,19	0,19	0,14
SD	0,78	0,79	0,88	0,80	0,85	0,84	0,84
SK	0,12	0,05	-0,07	0,09	-0,05	-0,02	-0,04
Kg	0,90	0,90	1,04	0,90	0,98	1,00	1,05
CaCO ₃	22%	22%	22%	23%	22%	21%	23%

nulometrici sono abbastanza costanti in profondità.

Poiché peraltro, come risulta dal confronto delle batimetrie in corrispondenza di questa sezione, si è registrato un forte innalzamento del fondale (dell'ordine del ml.) le granulometrie di Top e fondo dovrebbero corrispondere a diverse epoche di sedimentazione.

Ciò porterebbe a concludere, che l'ambiente energetico non è in effetti cambiato sensibilmente nel tempo.

Le differenze di calcimetrie sono parimenti molto limitate.

1.4 Individuazione dell'equilibrio psammografico e ricostruzione dell'evoluzione recente della spiaggia

Come risulta dallo Studio generale, la spiaggia di Terracina-San Felice Circeo è alimentata da Nord per via marina da sabbie che superano il promontorio del Circeo ed in parte dalle alluvioni dei corsi d'acqua locali Sisto e Portatore.

Questa tesi è largamente confermata dalle risultanze emerse nel presente approfondimento che in breve si elencano.

— La constatazione che con la apertura dello sfocio diretto del Fiume Sisto e la contemporanea armatura della Foce

(1929) si determinò in corrispondenza della nuova foce un avanzamento del litorale ma più pronunciato a Est, porta a concludere che esiste un flusso detritico verso Ovest e che il Sisto aveva una portata solida tale da influenzare il litorale. La prominenza alla foce del Sisto allora determinatasi è tutt'ora rilevabile all'esame dell'andamento costiero.

— L'accumulo di sabbia sopraflutto al porto, emerso dai confronti batimetrici, dimostra che esiste un flusso di sabbie da NW.

— I risultati dello Studio idraulico marittimo portano a riconoscere una prevalenza dei moti ondosi che producono movimenti detritici verso Levante.

— La identità quasi assoluta della natura mineralogica del sedimento a Torre Paola e sottoflutto al porto dimostra la interdipendenza delle due spiagge.

Dallo Studio Idraulico-Marittimo ed in particolare dai piani d'onda e dal diagramma dell'energia, risulta anche che alla estremità Est dell'arco, in corrispondenza del porto di Terracina, esiste un sia pur debole flusso detritico verso Est.

Questo fatto è stato constatato anche in occasione della realizzazione di setti sperimentali in lamierino metallico che hanno sempre denunziato un accumulo verso Ponente.

L'interrimento del porto di Terracina appoggia ulteriormente queste tesi (Fig. 20). Si deve constatare che questo flusso, andando a interessare fondali abbastanza elevati, oltre il molo è praticamente perduto per l'equilibrio delle spiagge più a Sud.

Questo fatto ha una importanza decisiva in quanto consente di prevedere opere che ne rendono possibile la utilizzazione unitamente ad apporti artificiali per provocare un certo protendimento della spiaggia a ponente del porto.

L'analisi delle successive posizioni della linea di battigia, in tempi recenti (tra il 1946 ed il 1979), porta a constatare che variazioni cui si è assistito sono in effetti abbastanza limitate rispetto, per esempio, a quanto verificato nel periodo precedente.

In ultima analisi infatti, i più forti arretramenti in questo periodo sono tutti contenuti in un massimo di circa 30 ml. ed i fenomeni erosivi più repentini e disastrosi si sono verificati in corrispondenza dei tratti immediatamente sottoflutto al porto e alle opere di difesa.

Le variazioni che si riscontrano sui fondali, come risulta dal confronto, non sono cospicue e mai a senso unico.

In linea generale si può quindi concludere, per quanto ciò possa sembrare sorprendente, che la spiaggia di Circeo-Terracina non è soggetta ad un marcato fenomeno erosivo. Pur esistendo un lentissimo fenomeno di recessione generale dimostrato dai piccoli arretramenti che si riscontrano dal 1950, il vero e proprio fenomeno erosivo è da ritenersi conseguente alla serie di interventi umani che hanno scatenato un fenomeno di squilibrio che mano mano si sta propagando all'intero arco e che cercheremo di analizzare.

A questa situazione, che più che erosiva potrebbe chiamarsi di squilibrio generale del regime dell'intera spiaggia, si sovrappongono localmente fattori minori che però talvolta possono innescare fenomeni gravissimi di dissesto.

A questo proposito vogliamo analizzare un fenomeno particolare individuato dallo Studio Volta nel 1973 per la spiaggia di Terracina seguito negli anni successivi fino ad oggi.

Nel 1971 veniva ampliato il piazzale antistante l'albergo Approdo a Terracina mediante la costruzione di una scogliera aderente molto ripida realizzata con grossi massi naturali.

Immediatamente si verificò un forte arretramento localizzato sopraflutto di circa 20 metri sfumato verso Ponente su un fronte di circa 500 ml. (tav. n. 49 Vol. 2). Con una serie di sopralluoghi si appurò che in corrispondenza del piede della scogliera si era formato un ampio solco in cui si notava, anche con mari molto limitati, l'instaurarsi di una forte corrente verso Ovest.

Contemporaneamente si aveva l'impressione che i fondali antistanti fossero sensibilmente insabbiati.

Analizzando la situazione con l'aiuto dei diagrammi del moto ondoso ci si convinse che il fenomeno localizzato di arretramento della spiaggia era legato all'azio-



Figura 20 - Setto sperimentale a Terracina: Si noti l'accumulo a Ponente.

ne di riflesso dovuta alla parete della scogliera molto ripida.

In effetti, modificata la struttura, la situazione migliorò (almeno localmente) pur continuando il fenomeno lento di arretramento generale come si può constatare esaminando le successive posizioni delle linee di battigia.

Abbiamo riportato questa esperienza apparentemente irrilevante per far rimarcare come a volte fenomeni localizzati possano sovrapporsi a cause di sottofondo e far precipitare una situazione.

1.5 Programmi di intervento del Ministero LL.PP. e previsioni della evoluzione del fenomeno

I lavori attualmente in corso da parte del Ministero LL.PP. prevedono il completamento di un ultimo alveolo e la costruzione di una serie di pennelli trasversali nel tratto seguente di 2-300 ml.

Nel tratto successivo, ancora comune di San Felice Circeo, si sta studiando una struttura semisommersa.

Nel territorio del Comune di Terracina non esistono programmi ministeriali di intervento.

1.5.1 Interpretazione dell'evoluzione della spiaggia in periodo recente e previsioni della futura evoluzione

Intorno al 1964 veniva costruito il Porto di San Felice Circeo.

Si determinava pertanto un arresto della alimentazione da Ovest che veniva in parte bloccata sopraflutto e sottoflutto al porto come si è visto.

Questo fatto veniva a privare le spiagge sottoflutto della normale alimentazione e pertanto esse entravano in arretramento.

Si costruivano quindi le prime scogliere di protezione a Sud del Rio Torto.

Esse provocavano un imbonimento nella zona protetta ed un cambiamento di profilo con innalzamento del fondale an-

tistante per azione di riflesso, come si può vedere dalla analisi del confronto batimetrico in questa zona.

Si determinava perciò lateralmente, sia sopraflutto che sottoflutto, una fortissima accentuazione della erosione per cui fu necessario proseguire nella realizzazione di opere di difesa a catena.

Nel frattempo dal 1964 ad oggi la compromissione territoriale dell'arco costiero è andata paurosamente crescendo, interessando praticamente tutto il litorale con la erezione di nuove costruzioni e con la realizzazione della nuova viabilità litoranea.

Questa situazione, mentre obbliga drammaticamente ad interventi urgenti che, come si è visto, ripropongono puntualmente il fenomeno accentuandolo sottoflutto, è anche suscettibile di determinare nel prossimo futuro un pericolosissimo fenomeno di inversione generale di equilibrio nell'intero tratto del comune di Terracina:

Quando l'onda giunge a battere contro la parete riflettente (muri di sostegno, costruzioni o difese aderenti) si determina un'onda riflessa che sposta il sedimento nei fondali antistanti innalzando a danno del materiale costituente la spiaggia (vedi foto n. 37 e 38).

Si determina pertanto una rottura di equilibrio, che, a seconda della gravità del fenomeno, può essere definitiva.

Se infatti al cadere della mareggiata rimane un esile lembo di spiaggia, o essa emerge al cessare della marea, le piccole onde che si formano normalmente riportano la sabbia dallo scanno sulla spiaggia ricostruendola gradualmente.

Se viceversa anche le piccole onde continuano a battere sulla parete riflettente, il nuovo profilo diviene definitivo.

Si comprende che in questo gioco la escursione di marea in rapporto al succedersi delle agitazioni ha una importanza determinante.

Nel caso specifico si assiste a Terracina ad un continuo alternarsi di queste situazioni come si può vedere anche dalla documentazione fotografica.

Il fenomeno prosegue e, mano mano che l'erosione lentamente avanza, è sempre più difficile il ritorno al profilo normale dopo le mareggiate.

Sarà perciò sufficiente un ulteriore arretramento di qualche metro, ciò che è d'altra parte è ampiamente prevedibile per rendere irreversibile in modo definitivo il cambiamento del tipo di profilo.

Si prevede pertanto che in mancanza di ulteriori interventi si verificherà quanto sopra entro brevissimo tempo su tutto l'arco di Terracina, procedendo da ponente a levante. È quindi indispensabile che entro il prossimo autunno si proceda alla realizzazione dei progetti pilota ed in particolare del n. 1 e n. 2,

Nel frattempo sarebbe auspicabile che si provvedesse almeno al riempimento degli alveoli delle dighe recentemente costruite come d'altra parte consigliato già nel II rapporto extracontrattuale del 26/10/1979.

La situazione è resa pertanto oggi drammatica da un fenomeno di rottura di equilibrio più che da una vera e propria erosione e soprattutto dal fatto che è impossibile, per la descritta situazione di compromissione urbanistica e viabile un benchè minimo arretramento della linea di battigia.

1.6 Problema dell'ampliamento del porto di San Felice Circeo

Come accennato nelle premesse è assolutamente necessario che eventuali ampliamenti del porto di San Felice Circeo siano studiati in guisa da non costituire un ulteriore ostacolo al flusso di sabbia da Ponente, ma anzi possibilmente che favoriscano questo flusso.

Sotto questo profilo abbiamo esaminato il *progetto generale di ampliamento del porto*, predisposto in base ad incarico conferito dal Comune in data 1/6/78 all'Ingegnere Scalzi.

L'elaborato prevede esecutivamente opere di attrezzatura e sistemazione interna

ed in linea di massima il futuro ampliamento del porto.

Mentre le prime non interessano in questa sede, è importante esaminare le previsioni di ampliamento del bacino.

Il disegno è basato sul prolungamento dell'attuale braccio terminale del molo foraneo per città 160 ml. cui segue un ulteriore tratto di circa 40 ml. ruotato verso Nord di circa 40 gradi.

L'intero prolungamento si svolge in fondali di circa 5 metri o poco superiori.

Il nuovo molo sottoflutto è disegnato parallelo all'esistente ed a circa 180 metri da esso, e giunge a sfiorare il fondale —4,50. In sostanza tutto il disegno del porto viene traslato, per quanto riguarda la parte orientale, verso Levante parallelamente a se stesso.

L'articolazione prevista se può essere accettata per quanto riguarda i fondali interessati dal molo foraneo, ripete tuttavia la situazione oggi esistente sottoflutto che, come risulta dallo Studio idraulico marittimo, presenta l'inconveniente di creare dinanzi al porto una zona con forte tendenza alla sedimentazione dei materiali che da Ponente riescono a scavalcarlo. Sarà quindi indispensabile che in sede di progettazione esecutiva, sia affrontato il problema con il dovuto approfondimento eventualmente anche con l'ausilio di prove su modello in vasca, allo scopo di escludere qualunque ulteriore aggravio nella alimentazione detritica da Ovest della spiaggia.

2. PROGETTO GENERALE DI MASSIMA

2.1 Relazione Tecnica

2.1.1 Scopo dell'intervento e premesse

L'intervento si prefigge i seguenti scopi:

1) Arrestare il processo erosivo in atto su tutto l'arco costiero considerato;

2) Rendere possibile, senza traumi per le spiagge vicine, e secondo una progressione articolata, un primo avanzamento di circa 20 ml. della spiaggia tra l'Approdo e la foce del Sisto in grado di mantenersi dopo la realizzazione senza ulteriori interventi;

3) Rendere possibili ulteriori avanzamenti con un secondo intervento;

4) Realizzare una sistemazione definitiva del litorale compreso tra il Porto di S. Felice Circeo e la foce del Sisto che tenga conto delle esigenze balneari e di estetica del paesaggio.

Dallo studio generale e dall'approfondimento relativo a questo arco costiero assunto come zona campione, come già dal "Rapporto extracontrattuale" datato 26/10/79, risulta quanto segue:

1) Sull'intero arco di costa compreso tra i due porti di S. Felice Circeo e Terracina il movimento detritico è prevalentemente rivolto verso Levante;

2) Alla alimentazione dell'arco di spiaggia concorrono sia apporti marini da Nord che superano il promontorio del Circeo, sia apporti dei corsi d'acqua locali (Sisto e Portatore).

3) Causa determinante dello scatenarsi della erosione in questo tratto di costa sono state in ordine di tempo:

— L'affievolirsi delle portate solide da Nord conseguente ad un generale impoverimento degli apporti dei corsi d'acqua;

— La costruzione del porto di San Felice Circeo che ha provocato un arresto della alimentazione da N.

A questa serie di cause si è reagito con la costruzione di dighe parallele o a T, che, pur sanando in modo discutibile, la situazione dei tratti di litorale, oggetto degli interventi, hanno privato della alimentazione le spiagge sottoflutto (a Levante) provocando fortissimi arretramenti.

Questa situazione ha indotto a ripetere lo stesso tipo di intervento a Levante, giungendo ad interessare un fronte di quasi cinque chilometri.

2.1.2 La situazione attuale

Nella zona interessata dalle scogliere a T, realizzate tra il 1972 ed il 1977, da un calcolo di confronto tra le batimetrie, risulta che si sarebbe accumulato in 8 alveoli un volume di circa 170.000 mc. di sabbia. Poiché questo tipo di opere ha, come effetto secondario, di provocare un innalzamento del fondale nella zona antistante per azione di riflesso, si può ritenere che il volume accumulatosi nella zona ammonti a circa 200.000 mc. e probabilmente maggiore.

Tenuto conto che la maggior parte delle opere sono state realizzate tra il 1975 ed il 1977, si deve ammettere che negli ultimi due o tre anni di quel periodo è stato sottratto al litorale sottoflutto un volume di almeno 50-60.000 mc./anno.

Con i nuovi lavori realizzati negli ultimi due anni sono stati creati sette nuovi alveoli e probabilmente un nuovo lotto più o meno simile sarà realizzato a Levante nel corrente anno.

Nei prossimi due o tre anni si può quindi prevedere che almeno altri 200.000 mc. di sabbia saranno catturati dalle nuove opere o immobilizzati dinanzi ad esse. Ciò andrà ad aggiungersi temporaneamente al deficit detritico del litorale provocato dalle cause primitive.

2.1.3 Ipotesi ed elementi in base ai quali è stato impostato l'intervento

La presente impostazione è valida nelle seguenti ipotesi:

1) Che interventi del tipo fino ad ora realizzati o comunque suscettibili di turbare ulteriormente il flusso detritico litoraneo non interessino comunque il litorale di Terracina.

2) Che eventuali ampliamenti del porto di S. Felice Circeo siano studiati (come meglio si dirà in seguito) in guisa da non provocare un aggravamento della situazione attuale in rapporto alla alimentazione da Nord per via marina del litorale, ma anzi tendano a favorire il trasporto detritico.

Ciò per due ragioni fondamentali:

a) La costruzione di dighe parallele o a T o comunque di opere tali da squilibra-

re ulteriormente il regime litoraneo in corrispondenza della foce del fiume Sisto (che assicura una alimentazione ormai essenziale per il mantenimento di un nuovo equilibrio nell'arco) farebbe cadere una delle premesse essenziali su cui è basato l'intervento;

b) La ulteriore esaltazione del deficit detritico da Nord renderebbe inattuati le proposte che saranno avanzate.

Come già accennato, l'intervento si propone di creare, gradualmente e senza traumi per le spiagge vicine, un nuovo equilibrio nella zona in grado di mantenersi stabile (dopo la realizzazione) con un flusso detritico pari all'attuale.

Esiste infatti sul litorale un sia pur limitato flusso detritico rivolto verso Est che, superato il molo del porto di Terracina, va in gran parte disperso in alto fondale e concorre in parte ad interrere la bocca del porto.

Esso è in grado di compensare il fenomeno di usura dei granuli che si verifica nell'arco.

Pertanto ove si ottenga mediante la costruzione di opere fisse e di versamenti iniziali un primo avanzamento della linea di battigia, il flusso naturale continuerà a scorrere su di esso e a compensare il fenomeno di usura.

Non è possibile con il grado di conoscenze attuali valutare, con una certa approssimazione, il volume detritico in movimento sul litorale, né la quantità che ogni anno supera il porto di Terracina (1).

Ciò impedisce in pratica di delineare un progetto esecutivo di intervento con precise tappe di realizzazione.

È perciò necessario, accanto ad una ipotesi di intervento, basata sui dati disponibili, prevedere una serie di realizzazioni parziali (progetti pilota) che daranno modo, con la osservazione degli effetti indotti sull'equilibrio del litorale, di perfezionare le previsioni del progetto di massima procedendo per successivi stralci esecutivi.

Parimenti i progetti pilota dovranno tendere a migliorare l'equilibrio litoraneo evitando un precipitare della situazione che renderebbe impossibile il tipo di intervento proposto.

2.1.4 Interventi previsti nella zona compresa tra la località Tumoleti di Terracina e l'Approdo

In base alle risultanze delle prove in vasca condotte dallo Studio Volta nel 1973 a Grenoble presso i laboratori della Soc. Sogreah (vedi comunicazione al XXIII Congresso internazionale di Navigazione di Ottawa del 1973), risulta che un setto sporgente dal fondale e posto normalmente alle isoipse, ove esista trasporto longitudinale, provoca un innalzamento del fondale sopraflutto al setto stesso ed un conseguente incurvamento delle linee isoipse di fondo nel senso di diminuire l'angolo di incidenza delle onde che provocano il trasporto.

(1) Dalla bocca del porto di Terracina in media sono dragati annualmente circa 15-20.000 mc. di sabbia

Ciò ha per conseguenza la diminuzione della corrispondente intensità di trasporto del moto ondoso e quindi limita il trasporto stesso generando un accumulo sopraflutto al setto.

La intensità del fenomeno dipende, oltre che dal regime del paraggio, dalla lunghezza del setto e dalla sua sporgenza dal fondale.

Naturalmente se questo dispositivo fosse posto in opera ad esempio nella zona in fortissima erosione immediatamente sottoflutto alle opere di difesa fino ad ora realizzate, provocherebbe un accumulo sopraflutto, ma il fenomeno sarebbe accompagnato da ulteriore aggravamento del deficit sottoflutto (a Ponente).

È quindi opportuno iniziare l'intervento all'estremo dell'arco e cioè in corrispondenza dell'"Approdo" e proseguire gradualmente verso Ponente con successiva realizzazione di manufatti nel tempo, in base sia al flusso detritico naturale che ai versamenti artificiali che potranno essere programmati parallelamente.

In base ai risultati delle prove di cui sopra e dello studio, si ritiene di prevedere, come primo orientamento, la costruzione di setti realizzati in sacchi di sabbia od in palancole metalliche, sporgenti dal fondale di m. 1,30 circa, spinti fino alla batimetria —7 metri e realizzati ad interassi di circa 700 ml.

Ciascuno di essi dovrebbe essere in grado di provocare un accumulo di sabbia sopraflutto corrispondente al volume, necessario per fare avanzare il litorale di circa 20 ml. in media.

Il volume di accumulo è quindi facilmente valutabile tenendo conto che l'effetto è contenuto nella fascia compresa tra la battigia ed il fondale —7 metri.

Esso è quindi facilmente determinabile in base allo schizzo di Fig. 21.

Per non avere ripercussioni sul litorale, sottoflutto sarebbe quindi sufficiente prevedere il versamento di 60-70.000 mc. per ogni setto che si andrà a costruire e quindi predisporre un piano di realizzazione dei setti contemporaneamente alla effettua-

zione di versamenti artificiali.

A rigore sarebbe anche possibile diminuire la quantità da versare contando di usufruire del volume che attualmente sfugge verso Levante in alti fondali o va in parte ad interrare la bocca del porto di Terracina.

Allo scopo tuttavia di riservarci un alto grado di sicurezza, non vogliamo tenere conto del flusso detritico naturale e proponiamo per il momento il versamento di 100.000 mc./anno per ogni setto che sarà costruito, volendo con ciò tenere conto sia delle inevitabili dispersioni di materiali, sia del fatto che il litorale si trova attualmente in una situazione di grave carenza detritica.

Il presente progetto di massima prevede pertanto, per questo arco di spiaggia, la costruzione di n. 15 setti intervallati di circa 700 ml. nel periodo di 9 anni, procedendo da Ponente verso Levante secondo la seguente progressione:

Nei primi 5 anni dovrebbero essere costruiti n. 6 setti con versamenti annuali di 100.000 mc./setto (il ritmo piuttosto ridotto è consigliato dalla esigenza di seguire attentamente gli effetti delle opere). Nei successivi 4 anni dovrebbero essere costruiti i rimanenti 9 setti e versati complessivi 900.000 mc. di sabbia.

Naturalmente le osservazioni degli effetti dei progetti pilota e dei successivi primi stralci molto probabilmente consiglieranno una diminuzione graduale dei versamenti anche perché nel frattempo le condizioni di grave carenza detritica della spiaggia dovrebbero essere almeno in parte superate.

Occorre anche tenere conto che, come accennato più sopra, dal porto di Terracina e di San Felice Circeo, sono dragati ogni anno oltre 40.000 mc. di sabbia. Almeno una parte di questo materiale (quello dragato fuori dalle bocche) è sicuramente idoneo per i versamenti. Si può quindi ritenere che almeno 30.000 mc. saranno disponibili da questa fonte. Allo scopo tuttavia di semplificare le previsioni e porsi dal lato più svantaggioso

non si è fatto assegnamento nei conti economici sul materiale di dragaggio.

Si ritiene comunque che, almeno dopo il primo anno di intervento, in seguito sia alle osservazioni sugli effetti degli interventi (tra i quali anche il versamento di materiale di dragaggi) che al proseguimento degli studi condotti dalla Regione, si dovrebbe essere in grado di prevedere refluentanti di sabbie prelevate da mare e non solo dalle bocche dei porti con considerevole vantaggio economico per il minor costo di questo materiale rispetto a quello di cava.

Si è quindi previsto orientativamente nel presente progetto di massima che negli anni successivi al 1980, il 20% del materiale necessario provenga da cava, mentre l'80% provenga da mare.

La granulometria del materiale da usare dovrà essere almeno pari a quella presente in media nella fascia litoranea compresa tra la battigia ed i —7 metri (ossia con diametro medio di circa 0,17 mm.), ma materiale di granulometria sensibilmente superiore avrà una resa sensibilmente maggiore consentendo profili più ripidi e quindi maggiori avanzamenti di battigia a parità di volume.

Si prevede quindi di usare per i versamenti da terra sabbione di cava avente diametro medio di 3-4 mm., mentre il materiale prelevato da mare difficilmente sarà reperibile con diametro medio superiore a 0,20 mm. e cioè a quello delle sabbie presenti in sito, è tuttavia possibile trovare giacimenti sottomarini (spiagge fossili) con diametro medio notevolmente superiore al sedimento attuale.

Le tavole n. 1 e 2 illustrano l'intervento nelle sue linee generali e nella progressiva realizzazione nel tempo.

Per quanto riguarda le ubicazioni dei versamenti sia da mare che da terra è opportuno osservare che le indicazioni contenute nella tavola n. 1 debbono essere considerate semplicemente orientative.

Preziosi elementi al proposito saranno forniti dalla osservazione degli effetti degli interventi pilota e successivamente dai risultati che mano mano sarà possibile riscontrare con una attenta osservazione nel corso della realizzazione.

2.1.4.1 I setti sommersi

2.1.4.1.1 Tipo di strutture adottate

Per la realizzazione dei setti sommersi sono stati adottati due tipi di struttura. In sede di sperimentazione iniziale (progetti pilota) si è ricorso all'impiego di sacchi di fibre poliammidiche della capacità di 1 mc. e riempiti di sabbia prelevata sul posto.

Questo tipo di struttura è stato ampiamente sperimentato all'estero proprio per la costruzione di setti sommersi (Vedi Coastal Engineering 1969 - Vol. 2). Esso presenta il vantaggio della facilità di esecuzione e della elasticità di intervento (ossia della facilità di modificare il profilo della struttura sia in sede di realizzazione che successivamente).

Non richiede particolari precauzioni per

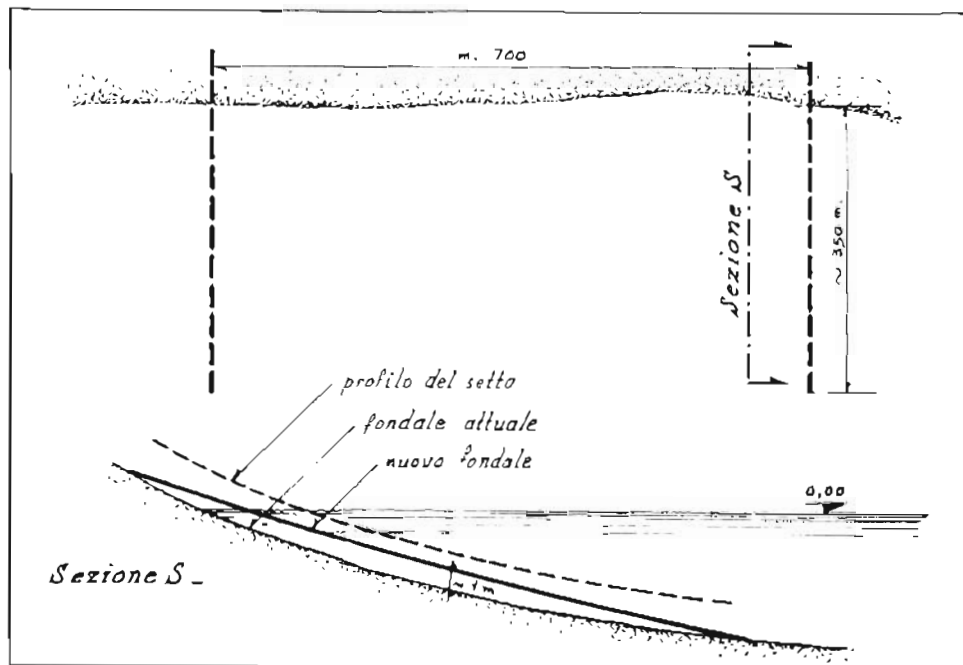


Figura 21 - Schema di funzionamento del setto sommerso e valutazione del volume di accumulo.

la sicurezza della balneazione ed infine può essere facilmente rimosso.

In questa sede interessa inoltre sperimentare le tecniche relative alla sua posa in opera in vista di eventuali interventi di emergenza.

Tuttavia non è, a nostro parere, opportuno impostare lavori definitivi su questo tipo di manufatto, in quanto esso può essere manomesso facilmente da cause accidentali o da atti di vandalismo.

Pertanto una volta che attraverso i manufatti realizzati nel quadro dei "progetti pilota" si sia giunti a determinare con sufficiente sicurezza il profilo e l'interesse da assegnare ai setti definitivi, riteniamo opportuno prevedere la costruzione di opere fisse.

Il tipo più ovvio per una struttura del genere è la palancolata leggera che eventualmente potrà essere realizzata con profili speciali.

Esiste peraltro il problema della pericolosità in basso fondale e presso la battigia della struttura metallica sporgente dell'arenile o dal fondo marino.

A questo inconveniente si è ovviato prevedendo in corrispondenza del setto e conglobato con esso nella parte emergente un pontile costituito da un travone in c.a. La struttura, realizzata a pelo d'acqua, si protende in mare di quanto è sufficiente per coprire e segnalare il setto fino a quando il suo ciglio superiore si trovi in fondale inferiore a m. 2,50.

Oltre tale fondale non si ravvisa pericolosità per la balneazione.

Eventualmente in sede di progettazione esecutiva si esaminerà l'opportunità di ricoprire il bordo superiore del setto per un certo tratto oltre il fondale di —2,50, mediante un tubo di acciaio di diametro adatto.

Il pontile di protezione e segnalamento è previsto con sezioni e profilo tale da poter agevolare resistere al frangimento dell'onda.

Esso oltre alla funzione principale assolverà anche alle necessità della balneazione.

In corrispondenza del primo setto in sacchi di sabbia radicato in corrispondenza della scogliera di protezione a Ponente del porto, non sarà realizzato il pontile di protezione in quanto non necessario.

In un secondo tempo sarà tuttavia realizzata la palancolata e avvolta nei sacchi di poliammide fino al fondale.

2.1.4.1.2 Profilo dei setti sommersi

Il profilo dei setti metallici indicato schematicamente nelle tavole di progetto è da considerarsi semplicemente indicativo. Il profilo definitivo sarà determinato in sede di progetto esecutivo in base alla esperienza acquisita con i progetti pilota.

2.1.4.2 Possibilità di adeguamento successivo delle strutture per ottenere un nuovo avanzamento della spiaggia

È prevedibile che successivamente alla realizzazione del primo intervento si senta

la necessità di provocare un ulteriore avanzamento della spiaggia.

Ciò sarà entro certi limiti possibile mediante il prolungamento od il raffittimento dei setti od ancora aumentando la loro altezza sul fondale e provvedendo parallelamente ad effettuare nuovi versamenti di ripascimento.

Questa ultima possibilità non dovrebbe comportare particolari difficoltà specialmente se sarà prevista in sede di progettazione esecutiva.

2.1.5 Interventi previsti nella zona compresa tra la località Tumuleti di Terracina e il porto di San Felice Circeo

Questo tratto di litorale è stato interessato in modo massiccio dagli interventi cui si è accennato in precedenza.

La successione di dighe crea una serie di alveoli molto chiusi con scarso ricambio idrico che deturpano il litorale dal lato estetico e non consentono un pieno uso balneare.

Per ovviare a questo inconveniente si propone un intervento graduale basato sul noto fenomeno del lento degrado delle opere di scogliera.

Si propone in sostanza di prevedere gli usuali rifiorimenti, in guisa da trasformare gradualmente (nel periodo di circa 20 anni) le difese a T in "piattaforme isole". Questa trasformazione avrà per conseguenza un graduale cambiamento di assetto della linea di battigia che attualmente è articolata in anse profonde negli alveoli e che in seguito alla trasformazione si disporrà secondo un andamento del tipo indicato nella stessa tav. 1.

Ciò provocherà la graduale rimessa in circolo di parte della sabbia trattenuta immediatamente a ridosso delle difese con vantaggio per l'equilibrio litoraneo.

Oltre a ciò, con la trasformazione proposta, in seguito al diverso comportamento nei riguardi della riflessione del moto ondoso incidente, tra i due tipi di struttura, dovrebbe gradualmente essere eliminata la tendenza del formarsi della barra di sabbia antistante alle opere di difesa (1).

Ciò provocherà una ulteriore rimessa in circolo di una quantità non trascurabile di sabbia.

Allo scopo di verificare il comportamento di questo tipo di struttura nell'arco considerato si propone, nel quadro del progetto pilota n. 3, la realizzazione di un arenile artificiale in corrispondenza della località Rio Torto.

2.1.7 Impostazione degli interventi pilota

Gli interventi pilota si prefiggono i seguenti scopi:

- Sperimentare "in situ" nuove tecniche di intervento;
- Acquisire anticipazioni per mezzo di realizzazioni parziali sui risultati che sarà possibile conseguire con un uso sistematico di queste tecniche;
- Mettere a punto le strutture specifiche

dei manufatti anche in relazione alle particolari situazioni locali;

d) Ottenere risultati immediati per il riequilibrio del litorale.

Nel caso essi sono inquadrati nel progetto generale di massima di intervento e ne costituiscono la prima fase.

2.1.7.1 Intervento pilota n. 1

Prevede:

a) La realizzazione di due setti sommersi in corrispondenza della estremità orientale dell'arco campione.

La struttura prescelta, per le ragioni già esposte è realizzata in sacchi di tessuto poliammidico riempiti di sabbia.

b) La parallela realizzazione di un versamento di ripascimento sopraflutto di mc. 20.000 di materiale sabbioso.

Esso costituisce la prima parte dell'intervento contemplato nel progetto generale di massima e quindi ha un fine che è inquadrato sulla visione generale di intervento.

I versamenti previsti hanno anche, a tempi brevi, lo scopo di fornire alla spiaggia tra il Portatore e l'Approdo un minimo di alimentazione per evitare un ulteriore ritiro che ne pregiudicherebbe definitivamente l'equilibrio.

Contemporaneamente si prefiggono di alimentare il flusso detritico onde rendere possibile il funzionamento del setto. Il secondo, ma non secondario scopo dei versamenti previsti, è di rendere possibile un ulteriore approfondimento delle conoscenze relative al regime litoraneo.

Infatti poichè la sabbia di ripascimento sarà costituita almeno per l'80% di materiale proveniente da cava, si può prevedere che essa avrà caratteristiche diverse dal materiale presente naturalmente sul luogo.

Sarà perciò molto probabilmente possibile per mezzo di analisi morfoscopiche e mineralogiche seguire la dispersione delle sabbie di apporto nel sedimento esistente.

Parallelamente all'intervento è stato predisposto un programma di studio delle variazioni della linea di battigia, della batimetria e della dispersione del nuovo sedimento nell'ambiente.

Le deduzioni che se ne potranno trarre saranno preziose per il passaggio alla progettazione esecutiva di quanto previsto nel progetto generale di massima.

2.1.7.2 Intervento pilota n. 2

Persegue i seguenti scopi:

- Assodare se sia possibile arrestare il propagarsi, apparentemente inarrestabile, del processo erosivo sottoflutto alle opere tradizionali di difesa mediante operazioni di ripascimento artificiale del litorale.
- Acquisire ulteriori elementi sul meccanismo di funzionamento dei setti sommersi.

(1) V. Berriolo e Siritto "Spiagge e Porti Turistici" Hoepli.

Nel caso specifico per quanto riguarda il punto a) si prevede il versamento di 200.000 mc. di sabbia nel periodo di due anni (tanta quanta nello stesso periodo sarà catturata dalle opere di difesa) allo scopo di sottrarre il litorale sottoflutto dalla situazione di deficit detritico contingente.

Con questa operazione si metterà in circolo una notevole quantità di materiale che potrebbe almeno in parte sfuggire verso Levante.

Si è quindi pensato di prevedere la costruzione di un secondo setto sommerso a circa 1.400 ml. a Ponente del primo ma realizzato con diverso profilo.

Il confronto tra il comportamento dei tre setti realizzati (due con il progetto pilota n. 1) fornirà preziose indicazioni per i successivi progetti esecutivi.

D'altra parte il nuovo setto andrà ad assolvere la sua funzione di favorire la sedimentazione e far progredire la spiaggia. Anche in questo caso come per il progetto n. 1 è previsto parallelamente alla esecuzione e successivamente, un programma di studio della variazione della linea di battigia, della batimetria e della dispersione del sedimento versato nell'ambiente.

A tale scopo nella voce "spese tecniche" è prevista la somma occorrente per questa necessità in aggiunta a quanto usualmente necessario per la direzione dei lavori.

2.1.7.3 Progetto pilota n. 3

Il progetto pilota n. 3 si propone di sperimentare il comportamento nel paraggio delle "piattaforme-isole" utilizzate dallo Studio Volta per una serie di interventi in Liguria nell'ultimo decennio (1).

Nel caso specifico il progetto di massima di sistemazione del litorale prevede la graduale trasformazione in piattaforme-isole delle scogliere a T realizzate dal 1972 ad oggi sul litorale tra il porto di San Felice Circeo e la località Tumoletti di Terracina. Poiché la trasformazione sarà graduale, condotta mediante il particolare lento rifiorimento delle strutture esistenti, non è possibile prevedere una trasformazione in breve tempo.

Si è quindi prevista la costruzione di una struttura di questo genere in corrispondenza di un tratto ancora privo di difese presso lo sfocio del Rio Torto.

Questo tratto di costa, che ha visto negli ultimi anni la totale scomparsa della spiaggia, è ritenuto dall'Amministrazione Comunale di notevole interesse turistico.

Si è quindi previsto un intervento, di cui più diffusamente si dirà nella relazione allegata al progetto, che prevede la realizzazione di una spiaggia mediante la costruzione di una piattaforma isola, di un pennello (strutture fisse) ed il successivo versamento di materiale sabbioso di cava. Parallelamente, anche a scopo di studio, è consigliato il versamento in zona (in un'area particolarmente idonea) dei materiali dragati dalla bocca del porto di San Felice Circeo.

Nella stessa zona si prevede di versare una

certa quantità di materiale tracciante onde poterne seguire la dispersione nel sedimento presente ed acquisire quindi preziosi elementi per il migliore sfruttamento dei versamenti da mare.

È da osservare al proposito la estrema importanza di questa esperienza in quanto non è pensabile procedere a sempre più massicci versamenti da terra di materiali da ripascimento.

Gradualmente, come d'altra parte avviene nei paesi più evoluti sotto questo aspetto, le spiagge dovranno essere mantenute oltre che con appropriate opere fisse anche con versamenti massicci di materiale prelevato da mare e refluito (2).

Anche in questo caso, come nei precedenti, è previsto parallelamente una pro-

gramma di studio, per il controllo della evoluzione dei fondali della linea di battigia e per indagare sulla dispersione del materiale di ripascimento.

In particolare durante la prima fase della esecuzione dei lavori, dovrà essere condotta una indagine per la scelta di un materiale tracciante da lanciare da mare. Nelle cifre a disposizione per spese tecniche si è pertanto tenuto conto delle necessità connesse con le indagini previste).

(1) Berriolo e Sirito "La Marina Mercantile" n. 3 marzo 1976.

(2) Shore protection Manual 1975.

A. Brambati: Il ripascimento artificiale di spiagge in erosione nell'Adriatico settentrionale. Istituto di Geologia - Università di Trieste 1971.

2.2 Computo metrico estimativo

Zona tra il Porto di San Felice Circeo e Tumoletti di Terracina

Anno 1980

Progetto pilota n. 3

Pennello	L.	71.000.000
Piattaforma	L.	36.000.000
Pista di servizio	L.	6.000.000
Versamenti di ripascimento	L.	146.000.000
	L.	259.000.000

A disposizione per spese tecniche ed IVA e versamento di materiale tracciante

	L.	107.000.000
	L.	366.000.000 L. 366.000.000

Graduale trasformazione delle dighe a T in piattaforma-isola

Piattaforma-isola

Massi naturali da 2 a 4 tonn.:

mq. $14 \times \text{ml. } 2 \times 9,00 \times 3,14 = \text{mc. } 791$

ml. $3,00^2 \times 3,14 \times 1,00 = \text{mc. } 28$

mc. 819

mc. $819 \times 2,1 = \text{tonn. } 1.720$

mc. $1.720 \times \text{L. } 10.500 = \text{L. } 18.000.000$

Tout-venant di cava:

ml. $5,40' \times 3,14 \times 1,50 = \text{mc. } 137$

ml. $4,00 \times 2 \times 7,50 \times 3,14 = \text{mc. } 188$

mc. 325

mc. $325 \times 2,1 = \text{tonn. } 683$

tonn. $683 \times \text{L. } 8.500 = \text{L. } 5.800.000$

Calcestruzzo di cemento:

$(5,00 \times 3,14)^2 - (3,00^2 \times 3,14) =$

$= \text{mq. } 50 \times 1,00 = \text{mc. } 50,00$

mc. $50,00 \times \text{L. } 70.000 \text{ L. } 3.500.000$

Ferro per c.a.:

$\varnothing 20 = \text{anelli: } n. 12 \times \text{ml. } 4,00 \times$

$\times 2 \times 3,14 \text{ ml. } 301$

verticali:

n. $42 \times 2 \times 1,35 = \text{ml. } 113$

ml. 414

ml. $414 \times \text{Kg. } 2,466 = \text{Kg. } 1020$

Kg. $1020 \times \text{L. } 750 = \text{L. } 800.000$

L. 28.100.000

Piattaforma-isola:

n. $17 \times \text{L. } 28.100.000 = \text{L. } 478.000.000$

A disposizione per imprevisti, spese tecniche IVA $\approx 30\%$

L. 144.000.000

L. 622.000.000 L. 622.000.000

Zona tra i Tumoleti di Terracina

e l'Approdo

Anno 1980:

Progetto pilota n. 1:

Setto "A" in sacchi di sabbia	L.	101.000.000	
Setto "B" in sacchi di sabbia	L.	21.000.000	
Versamenti di ripascimento	L.	133.000.000	
	L.	255.000.000	
A disposizione per spese tecniche ed I.V.A.	L.	77.000.000	
	L.	332.000.000	L. 332.000.000

Anno 1980:

Progetto pilota n. 2:

Setto n. 3 in sacchi di sabbia	L.	99.000.000	
Versamenti di ripascimento	L.	1.268.000.000	
	L.	1.367.000.000	
A disposizione per spese tecniche I.V.A.	L.	269.000.000	
	L.	1.636.000.000	L. 1.636.000.000

Anno 1981:

Setto n. 1:

Fornitura e posa in opera di sacchi di tessuto poliammidico della capacità di mc. 1,00:

ml. 25 × 6/2,15 = n. 698

n. 698 × 75.000 = L. 52.000.000

Fornitura e posa in opera di filtro telo di base della larghezza di ml. 5,30 e della lunghezza del setto:

ml. 530 × 2,50 = mq. 1325

ml. 220 × 2,50 = mq. 550

mq. 1875

mq. 1875 × L. 20.000 = L. 37.000.000

Fornitura e posa in opera di palancole tipo

Larsen SL1:

ml. 170 × 4 = mq. 680 × Kg. 54 = Kg. 36.720

Kg. 36.720 × L. 700 = L. 26.000.000

L. 115.000.000

Setto in palancole:

Calcestruzzo di cemento dosato a

Kg. 300

ml. 220 × 1,20 × 0,50 = mc. 132

mc. 132 × L. 90.000 = L. 1.190.000

Ferro:

mc. 106 × Kg. 40 =

= Kg. 4.240 × L. 700 = L. 3.000.000

Palancole tipo Larsen SL1

ml. 500 × 4,00 = mq. 2000

ml. 100 × 4,00 = mq. 400

mq. 2400

mq. 2.400 × Kg. 54 = Kg. 129.600

Pilastrini in palancole

ml. 10/5 = n. 20 × 4 × 4 × 2,00 = mq. 640

mq. 640 × Kg. 54 = Kg. 34560

Tiranti, ancoraggi etc. Kg. 40.000

Kg. 204.160

Kg. 204.160 × L. 700 = L. 142.910.000

L. 147.100.000

arrotondato... L. 147.000.000

n. 2 × L. 147.000.000 = L. 294.000.000

Versamenti di ripascimento:

Materiale versato da terra di cava

tipo I (> 0,3 mm.):

mc. 80.000 × L. 6.800 = L. 544.000.000

Materiale versato da terra tipo II

(> 0,3 mm.)

mc. 20.000 × L. 4.500 = L. 90.000.000

L. 1.043.000.000

3. PROGETTO PILOTA N. 1

3.1 Relazione Tecnica

3.1.1 Premesse

Il presente progetto pilota fa seguito al II rapporto extracontrattuale consegnato in data 26 ottobre 1979 e relativo in modo specifico alla situazione dell'arco di spiaggia compreso tra i porti del Circeo e di Terracina.

In detto rapporto sono stati consigliati interventi di ripascimento del litorale oggetto di intervento da parte del Ministero LL.PP. ed immediatamente sottoflutto allo scopo di interrompere il propagarsi del fenomeno erosivo.

Purtroppo, in parte per esigenze burocratiche, secondo quanto è emerso dalle riunioni successive con i responsabili del Ministero LL.PP., non è stato possibile seguire i suggerimenti da noi avanzati.

Non sono infatti stati effettuati ripascimenti e le opere di realizzazione delle difese parallele sono state proseguite.

Ciò ha avuto per diretta conseguenza l'aggravamento della situazione nel tratto di litorale sottoflutto e con le mareggiate degli ultimi giorni di dicembre la situazione sull'intero arco compreso tra Circeo e Terracina è divenuta veramente drammatica.

Questa successione di eventi conferma le previsioni contenute nel secondo rapporto extracontrattuale.

Non è possibile in questa situazione intervenire nell'arco immediatamente sottoflutto alle opere di scogliera attualmente in costruzione in quanto con il perdurare di questo tipo di intervento è facilmente prevedibile che il processo erosivo sarà ancora esaltato e diverrà ancora più incontrollabile.

D'altra parte, come già indicato nel citato II rapporto extracontrattuale, riteniamo che per salvare la spiaggia sia necessario iniziare gli interventi all'estremo opposto e procedere a ritroso verso la zona in erosione, provvedendo, nelle zone più colpite, a versamenti artificiali di tamponamento.

Si pensa, quindi, di applicare questo concetto all'arco compreso tra la foce del Portatore ed il porto di Terracina pur, mentre gli interventi governativi procedono nel litorale di San Felice Circeo, provvedendo con versamenti artificiali e tamponarne temporaneamente gli effetti.

Ancora una volta peraltro si consiglia di sospendere in quell'arco la realizzazione di opere suscettibili di arrestare quel debole flusso detritico litoraneo ancora in atto e di provvedere a versamenti di materiale sia a riempimento degli alveoli, sia direttamente sul litorale per compensare le perdite provocate dall'arresto del flutto detritico.

Si vuole a questo proposito richiamare l'attenzione sul fatto che l'eventuale prosecuzione delle opere di difesa in corso a San Felice Circeo verso Levante, andrebbe ad interessare la foce del Sisto e successivamente quella del Portatore.

Poichè questi due corsi d'acqua costituiscono ormai (la alimentazione da Nord è stata bloccata dal porto ed intercettata

A disposizione per imprevisti, spese tecniche IVA = 30%	L. 313.000.000		
	L. 1.356.000.000	L. 1.356.000.000	
Anno 1982:			
Setto n. 4 in palancole:			
n. 1 × L. 147.000.000 =	L. 147.000.000		
Versamenti di ripascimento:			
Materiale di cava tipo I versato da terra: mc. 20.000 × L. 6.800 =	L. 136.000.000		
Materiale prelevato da mare:			
mc. 80.000 × L. 3.000 =	L. 240.000.000		
	L. 523.000.000		
A disposizione per imprevisti, spese tecniche ed IVA = 30%	L. 157.000.000		
	L. 680.000.000	L. 680.000.000	
Anno 1983:			
Setto n. 5 palancole:			
n. 1 × L. 147.000.000 =	L. 147.000.000		
Versamenti di ripascimento:			
Materiale di cava tipo I versato da terra: mc. 20.000 × L. 6.800 =	L. 136.000.000		
Materiale prelevato da mare:			
mc. 80.000 × L. 3.000 =	L. 240.000.000		
	L. 523.000.000		
A disposizione per imprevisti, spese tecniche ed IVA = 30%	L. 157.000.000		
	L. 680.000.000	L. 680.000.000	
Anno 1984:			
Setto n. 6 in palancole:			
n. 1 × L. 147.000.000 =	L. 147.000.000		
Versamenti di ripascimento:			
Materiale di cava tipo I versato da terra: mc. 20.000 × L. 6.800 =	L. 136.000.000		
Materiale prelevato da mare:			
mc. 80.000 × L. 3.000 =	L. 240.000.000		
	L. 523.000.000		
A disposizione per imprevisti, spese tecniche, IVA = 30%	L. 157.000.000		
	L. 680.000.000	L. 680.000.000	
Anno 1985:			
setti n. 7 e 8 in palancole:			
n. 2 × L. 147.000.000 =	L. 294.000.000		
Versamenti di ripascimento:			
Materiale di cava tipo I, versato da terra: mc. 40.000 × L. 6.800 =	L. 272.000.000		
Materiale prelevato da mare:			
mc. 160.000 × L. 3.000 =	L. 480.000.000		
	L. 1.046.000.000		
A disposizione per imprevisti, spese tecniche, I.V.A. = 30%	L. 314.000.000		
	L. 1.360.000.000	L. 1.360.000.000	
Anno 1986:			
Setti n. 9 e 10 in palancole:			
n. 2 × L. 147.000 =	L. 294.000.000		
Versamenti di ripascimento:			
Materiale di cava tipo I, versato da terra: mc. 40.000 × L. 6.800 =	L. 272.000.000		
Materiale prelevato da mare:			
mc. 160.000 × L. 3.000 =	L. 480.000.000		
	L. 1.046.000.000		
A disposizione per imprevisti spe- se tecniche, I.V.A. = 30%	L. 314.000.000		
	L. 1.360.000.000	L. 1.360.000.000	
Anno 1987:			
Setti n. 11 e 12 in palancole:			
n. 2 × L. 147.000.000 =	L. 294.000.000		

dalle opere di difesa) la ultima risorsa di alimentazione di questa spiaggia, è facilmente prevedibile che non appena le opere giungeranno a lambire i lobi di foce (già sfiorano quello del Sisto), la situazione della spiaggia di Terracina non potrà che precipitare.

È pertanto necessario mettere qui bene in chiaro che nel caso non si provveda a massicci versamenti sottoflutto alle nuove opere di difesa il *miglioramento che potrà conseguire dalle opere che con il presente progetto si andranno a realizzare, non potrà essere che momentaneo*. La limitazione delle risorse disponibili non consente infatti con il presente progetto di andare oltre ad un successo stagionale. (Nel caso che l'intervento possa essere iniziato entro il mese di luglio 1980).

Solo con il coordinamento degli sforzi e con un intervento organico esteso all'intero arco costiero, compreso tra i due porti, sarà possibile trarre tutti i vantaggi dalla sperimentazione che si propone e completare l'intervento con una realizzazione organica definitiva.

3.1.2 Tipo di intervento proposto

L'intervento si propone di migliorare l'equilibrio nell'arco di spiaggia compreso tra la foce del Portatore ed il Porto di Terracina.

La tecnica di intervento è dal punto di vista concettuale estremamente semplice. Assodato che la spiaggia è soggetta ad un flusso detritico rivolto verso Est, si propone un intervento che preveda:

- Un rallentamento di detto flusso detritico mediante la creazione di un ostacolo che vi si opponga;
- La alimentazione artificiale di detto flusso, tenuto conto che sopraflutto al tratto in esame, con altri interventi, il flusso detritico residuo naturale è oggi in gran parte intercettato.

Il rallentamento del flusso è ottenuto mediante la costruzione di due setti sommersi disposti normalmente alla linea di battigia realizzati in sacchi di tessuto di fibre di poliammide, riempiti di sabbia prelevata dal fondale stesso.

Questa soluzione è stata preferita alla versione in palancole metallica proposta nel progetto redatto per conto del Comune di Terracina nel 1974, in quanto meno pericolosa per la balneazione e suscettibile di rettifiche strutturali.

Per quanto riguarda il concetto base e le prove in vasca relative, rinviamo alla nostra comunicazione al XXIII (1973) Congresso di Ottawa di cui si riporta un estratto.

Questo concetto, successivamente a contatti intercorsi con il Coastal Engineering Center, è stato realizzato in pratica in U.S.A., sulla spiaggia di Panama City (1).

In sostanza la presenza dei setti, agendo sulla inclinazione delle isoipse, rispetto agli angoli di attacco dei moti ondosì, do-

Versamenti di ripascimento: Materiale di cava tipo I, versato da terra: mc. 40.000 × L. 6.800 =	L.	272.000.000	
Materiale prelevato da mare: mc. 160.000 × L. 3.000 =	L.	480.000.000	
	L.	1.046.000.000	
A disposizione per imprevisti spe- se tecniche, I.V.A. = 30%	L.	314.000.000	
	L.	1.360.000.000	L. 1.360.000.000
Anno 1988: Setti n. 13-14-15 in palancole: n. 3 × L. 147.000.000 =	L.	441.000.000	
Versamento di ripascimento: Materiale prelevato da mare: mc. 300.000 × L. 3.000 =	L.	900.000.000	
	L.	1.341.000.000	
A disposizione per imprevisti spe- se tecniche, I.V.A. = 30%	L.	402.000.000	
	L.	1.743.000.000	L. 1.743.000.000
Totale			L. 12.175.000.000

vrebbe intercettare, in un primo tempo, il flusso detritico, provocando un avanzamento della spiaggia e limitare in un secondo tempo il flusso detritico stesso. Poiché l'effetto dei setti è determinato in linea teorica dal loro numero e dalla loro consistenza, sarà possibile costruire un sistema in equilibrio con un flusso detritico anche molto inferiore all'attuale. Dalla interpretazione dei primi dati sperimentali, si pensa che sarà possibile, impostando un progetto che contempli tutto l'arco tra i due porti, prevedere un intervento basato su opere fisse (setti) accompagnati da versamenti artificiali in misura sempre decrescente fino ad annullarsi, in quanto con il rallentamento del flusso ottenuto il residuo movimento detritico sarà in grado di mantenere in equilibrio il sistema.

3.1.3 I particolari della proposta

La tavola 3 allegata alla Parte 3/C, su cui è tra l'altro riportata la evoluzione costiera nell'ultimo ventennio, riporta la posizione ed estensione dei due setti e la posizione dei versamenti di ripascimento. Il primo setto A) è stato previsto in corrispondenza della scogliera che limita a levante la spiaggia a ponente del porto. Ad esso si è assegnata una sezione costruita con cinque sacchi della capacità di 1 mc. ciascuno avente una altezza massima di m. 1,30-1,40.

La lunghezza è prevista in ml. 2.75 necessari per giungere in fondale di circa 7 m. che, tenuto conto della esposizione della zona dovrebbe essere il limite della fascia in cui avviene la maggior parte del trasporto detritico litoraneo.

Il setto, secondo le previsioni teoriche e i risultati delle prove in vasca, dovrebbe provocare un certo innalzamento del fondale sopraflutto (a ponente) con conseguente avanzamento della linea di battigia.

Le curve isoipse dovrebbe incurvarsi rendendo minore l'angolo di attacco delle onde e quindi minore il trasporto.

Non appena però si sarà prodotto l'accumulo, il flusso riprenderà ristabilendosi un equilibrio dinamico.

Naturalmente l'influenza di questo meccanismo sulla spiaggia a ponente sarà gradualmente sfumata con la distanza. Sarà pertanto necessario costruire nuovi setti ad opportuni intervalli per spostare l'effetto progressivamente verso ponente e graduarne l'altezza e la lunghezza (a ciò si provvederà con una progettazione successiva redatta in base ai risultati dell'intervento pilota).

Allo scopo di meglio indagare in linea sperimentale sulla zona di influenza di ciascun setto e sulla opportunità o meno di spingere queste strutture in fondali più o meno alti, si è prevista a una distanza piuttosto ragguardevole (ml. 700 circa) (1) ed in un tempo successivo, la costruzione di un secondo setto radicato sulla spiaggia, spinto fino al fondale di m. 3 e quindi di lunghezza di ml. 195 e realizzato con una sezione costituita da soli 3 sacchi (altezza = m. 0,80).

Il primo setto A) è stato completato con la previsione di un filtro di appoggio in materiale fibroso e spugnoso in grado, secondo esperienze condotte in USA, di limitare notevolmente l'affondamento delle strutture nella sabbia.

Nello stesso setto si è anche prevista la interposizione di un secondo filtro in senso verticale tra i sacchi avente lo scopo di rendere il setto impermeabile al flusso detritico longitudinale anche in caso di piccole imperfezioni di accostamento dei sacchi che costituiscono la sezione.

Il secondo setto B) è stato invece previsto privo di filtri proprio allo scopo di poterne valutare l'efficacia.

Allo scopo di meglio fissare la situazione iniziale, si è prevista la posa di picchetti realizzati in tubo di acciaio infissi nel fondale ad interassi di m. 30, lungo linee adrenti e parallele alle strutture dei setti e su una sezione intermedia.

Detti picchetti saranno accuratamente rilevati rispetto al fondale all'atto della infissione e prima della realizzazione dei

setti e costituiranno sicuri riferimenti per i rilievi successivi.

Essi renderanno possibili confronti di profili estremamente precisi e la esatta valutazione dell'affossamento delle strutture nella sabbia.

In un secondo tempo, sempre con intento sperimentale, ed in base ai primi risultati ottenuti, si potrà procedere a nuovi interventi.

Essi potranno riguardare ad esempio il ricarico dei setti realizzati in guisa da compensare gli eventuali affossamenti o di innalzarne la quota del ciglio, la costruzione di nuovi setti intercalati tra i due prototipi e la realizzazione di nuovi setti a ponente.

Contemporaneamente a queste realizzazioni sarà naturalmente necessario provvedere a nuovi versamenti ed evitare con i lavori in corso a ponente di compromettere il delicato equilibrio.

3.1.4 Versamenti di ripascimento

Scopo tampone stagionale dei versamenti previsti:

Come accennato in precedenza i versamenti previsti nel presente progetto avranno il primo scopo di sottrarre almeno per qualche mese, il tratto di litorale oggetto dell'intervento, dall'attuale situazione di deficit di alimentazione detritica. *Essi dovranno continuare con nuovi finanziamenti fino a quando si sarà assorbito il deficit detritico determinato dalla realizzazione delle nuove opere a Ponente.*

Naturalmente nel presente progetto non è possibile prevedere l'intervallo di tempo che intercorrerà tra questa prima realizzazione sperimentale e quella del progetto generale di intervento che in base ai dati sperimentali dovrà essere redatto. Interventi a lungo termine non possono tra l'altro oggi essere previsti sia in relazione alla incertezza sul tipo di lavori che saranno attuati sull'arco sopraflutto (San Felice Circeo e Terracina fino al Portatore) sia per il carattere stesso sperimentale del presente progetto, sia infine per evidenti limitazioni di disponibilità finanziaria.

Pertanto i versamenti previsti nel presente progetto si devono intendere come un minimo necessario per compensare l'attuale squilibrio costiero in un periodo stagionale di alcuni mesi.

Granulometria del materiale:

La granulometria del materiale presente nella zona, immediatamente a ponente del porto di Terracina, è per quanto riguarda almeno l'80% del volume, compresa tra 0,40 e 0,20 mm.

È opportuno secondo le più recenti esperienze condotte a questo proposito in U.S.A., che il materiale di ripascimento sia di granulometria sensibilmente superiore a quella presente in zona.

È peraltro da osservare che abbondare nella granulometria, almeno quando non

(1) Le previsioni teoriche porterebbero a prevedere intorno ai 400 ml. l'intervallo con cui realizzare i setti sulla spiaggia in oggetto

si tratti di grandissima quantità, è sempre prudente in quanto aumentando la granulometria aumenta la pendenza di equilibrio della spiaggia e quindi a parità di volume versato, aumenta la resa in ml. di avanzamento della battigia.

Ciò premesso esistono varie possibilità. a) Prevedere versamenti di materiale di cava aventi granulometria decisamente superiore al materiale in situ (0,5-5 mm.) e quindi con granulo medio di 2,5 mm. circa. Questo materiale di alto costo avrebbe il vantaggio della uniformità e assicurerebbe una notevole resa in termini di avanzamento della spiaggia.

b) Prevedere versamenti di granulometria limitata sempre però con granulo medio superiore a 0,3 mm., che potrebbero essere ricavati da cave di prestito lungo la fascia litoranea. In questo caso il prezzo del materiale potrebbe essere sensibilmente inferiore al prezzo del materiale di cava.

Allo scopo di consentire un più facile approvvigionamento si può in questo caso prevedere il compenso in ragione della frazione granulometrica utile escludendo frazioni più fini (non utili) ma consentendo una più vasta facilità di approvvigionamento.

c) Prevedere infine la utilizzazione di materiale proveniente dalla escavazione delle bocche dei porti di Terracina e S. Felice Circeo.

In questo caso il prezzo del materiale potrebbe essere molto limitato o nullo in quanto la escavazione dello stesso sarebbe prevista con altro appalto.

Non si prende al presente in considerazione questa terza possibilità che peraltro potrà essere esaminata in corso d'opera, ove i tempi di esecuzione dei due lavori di escavazione dovessero consentirlo e la granulometria del materiale si rivelasse adatta.

È opportuno pertanto limitare le previsioni del presente progetto alle prime due possibilità a) e b).

Non è stato però possibile accertare in questa sede la reale possibilità di disporre di materiale tipo b) in quanto questo fatto dipende in gran parte da situazioni contingenti.

Si è perciò prevista la maggior parte del versamento necessario del tipo a) (90%) in quanto di sicuro approvvigionamento e solo il 10% del tipo b).

Ove peraltro in corso d'opera se ne ravvisasse la convenienza in base ad eventuali offerte dell'impresa aggiudicataria, si potrà aumentare sensibilmente la percentuale relativa al materiale tipo b).

3.1.5 Previsione degli effetti dell'intervento

Come accennato nei punti seguenti gli effetti dei setti sommersi sono stati studiati su modello in vasca (da Studio Volta nel 1973) e successivamente realizzati "in situ" negli U.S.A. Golfo del Messico città di Panama da Yu Hwa Wang - Walter W. Howard ed altri nel 1978 (Coastal Engineering - Departement).

I risultati sperimentali hanno pienamente confermato le previsioni teoriche.

Si può prevedere che i setti previsti nel presente progetto provocheranno un sensibile innalzamento del fondale in corrispondenza di sezioni parallele gradualmente sfumato verso Ponente.

Parallelamente si dovrebbe assistere ad un avanzamento di una decina di metri della spiaggia sfumato verso Ponente fino a ridursi a zero nell'arco di 4-500 ml.

3.1.6 Possibilità di approfondire le conoscenze sul flusso detritico servendosi dei versamenti artificiali

Non si è ritenuto al proposito di impartire particolari prescrizioni sulla composizione minerale del materiale di ripascimento.

È però prevedibile che il materiale tipo a) sia molto ricco di calcio e poco di silice (data la litologia della zona).

Esso dovrebbe perciò essere riconoscibile sulla spiaggia di Terracina e Circeo che viceversa è piuttosto povera di calcio. Data la diversa granulometria e la natura a spigoli vivi il materiale di cava dovrebbe essere anche riconoscibile all'analisi morfoscopica.

I versamenti di questo tipo di materiale potrebbero pertanto essere utilizzati proficuamente per una conferma o meno del-

le deduzioni sull'equilibrio litoraneo. I materiali b) e c) viceversa non sarebbero utili a questo scopo in quanto certamente molto simili al sedimento presente.

3.1.7 Spese tecniche per direzione lavori e per osservazioni sugli effetti dell'intervento

Il presente progetto non può essere considerato un lavoro di normale routine di ingegneria marittima prevedendo un tipo di intervento mai prima d'ora attuato in Italia e avendo scopi specificatamente sperimentali.

Le spese tecniche relative alla Direzione Lavori devono pertanto essere integrate da altre spese per una speciale direzione tecnica e per il rilevamento delle ripercussioni che esso avrà sull'assetto dell'arenile.

Si prevede pertanto che accanto alle spese di Direzione Lavori previste a base di tariffa sia compensata la presenza di due assistenti specializzati di cui uno sommozzatore per tutta la durata dei lavori.

Successivamente per il periodo di un anno dovranno essere compiuti rilievi sistematici ed esami del fondale a intervalli di circa 2 mesi (pertanto 6 rilievi successivi confrontabili).

3.2 Computo metrico estimativo

Setto "A":

24) Fornitura e posa in opera di sacchi di tessuto poliammidico della capacità di mc. 1,00:

sezione B-B:

ml. 235 × 6/2,15 = n. 656

sezione A-A:

ml. 20 × 9/2,15 = n. 84

radice setto n. 50

n. 790

n. 790 × L. 75.000 = L. 59.250.000

23) Fornitura e posa di sacchi in tessuto poliammidico della capacità di mc. 0,25:

n. 50 × L. 31.000 = L. 1.550.000

26) Fornitura e posa in opera di filtro telo di base della larghezza di ml. 5,30 e della lunghezza del setto:

ml. 5,30 × 270 = mq. 1.431

ml. 2,20 × 270 = mq. 594

mq. 2.025

mq. 2.025 × L. 20.000 = L. 40.500.000

L. 101.300.000 L. 101.300.000

Setto "B"

24) Fornitura e posa in opera di sacchi di tessuto poliammidico della capacità di mc. 1,00:

ml. 195 × 3/2,15 = n. 272

n. 272 × L. 75.000 = L. 20.400.000

23) Fornitura e posa in opera di sacchi di tessuto poliammidico della capacità di mc. 0,25:

n. 15 × L. 31.000 = L. 465.000

L. 20.865.000 L. 20.865.000

Versamenti di ripascimento:

27) Materiale tipo a):

mc. 18.000 × L. 6.800 = L. 122.400.000

28) Materiale tipo b):

mc. 2.000 × L. 4.500 = L. 9.000.000

L. 131.400.000 L. 131.400.000

25) Fornitura e posa in opera di picchetti in tubi di acciaio Ø 2"

serie gas:

n. 37 × L. 50.000 = L. 1.850.000

L. 1.850.000

Spese tecniche, direzione lavori, assistenza speciale e rilievi batimetrici = 14%

L. 35.585.000 L. 35.585.000

L. 291.000.000

IVA 14%

L. 41.000.000 L. 41.000.000

Totale

L. 332.000.000

4. PROGETTO PILOTA N. 2**4.1 Relazione Tecnica**

Si propone di sperimentare la possibilità di arrestare la concatenazione di cause ed effetti che genera il propagarsi del fenomeno erosivo mano mano che si procede alla realizzazione delle opere di difesa su un litorale inizialmente in erosione.

Come scopo secondario si propone di sperimentare un diverso profilo di setto sommerso rispetto ai propri tipi proposti nel progetto pilota n. 1.

Il versamento di una quantità di materiale da ripascimento di adatta granulometria corrispondente alla quantità che sta per essere catturata sopraflutto dalle opere di difesa (vedi relazione al progetto generale di intervento e sulla impostazione dei progetti pilota) sarà in grado di ristabilire un certo equilibrio sottoflutto.

La quantità necessaria in due anni è stata valutata in 200.000 mc. ed il presente progetto prevede appunto il versamento in due anni di una tale quantità.

4.1.1 Granulometria del materiale di ripascimento

Vale quanto già esposto al punto 3.1.4, 2ª colonna della pagina precedente dopo il titolo "Granulometria del materiale".

4.1.2 Forma e posizione del setto

Si prevede la realizzazione di un setto (il n. 3) procedendo da Levante posto a Circa 1.400 ml. dal primo.

Esso costituirà quindi il terzo setto costruito in ordine di tempo in quanto il n. 1 e n. 2 sono previsti realizzati nel progetto pilota n. 1.

Esso è previsto realizzato come i setti n. 1 e n. 2 in sacchi di tessuto poliammidico da mc. 1, riempiti di sabbia.

Il setto ha la funzione che è assegnata nel progetto generale di massima, ma con-

temporaneamente avrà lo scopo di sperimentare un diverso tipo di profilo.

A differenza dei primi due setti che hanno sezione costante il setto n. 3 oggetto del presente sarà infatti realizzato con profilo variabile.

Nel primo terzo esso sarà come il setto n. 1 (cinque sacchi di sabbia) con ciglio a quota circa 1,30, il secondo terzo con soli 3 sacchi (altezza circa m. 0,90) ed il terzo con due sacchi (altezza circa 0,40 metri).

L'attenta osservazione del profilo a monte ed a valle del setto sarà estremamente interessante per la progettazione esecutiva dei setti definitivi.

Per la migliore osservazione dei profili si è prevista la realizzazione di due file di picchetti metallici del tipo meglio descritti nel progetto pilota n. 1.

Allo scopo di tamponare eventuali squilibri sul litorale immediatamente a Levante determinati dalla realizzazione del setto n. 3 è previsto il versamento diretto immediatamente sottoflutto di una limitata quantità di materiale.

4.2 Computo metrico estimativo

1° anno: (1980)

Versamenti di ripascimento:

27) Materiale tipo a):

mc. 100.000 × 0,80 =

= mc. 80.000 × L. 6.800 =

L. 544.000.000

28) Materiale tipo b):

mc. 100.000 × 0,20 =

= mc. 20.000 × L. 4.500 =

L. 90.000.000

L. 634.000.000

Spese tecniche, direzione lavori, assistenza speciale = 5%

L. 32.000.000

L. 666.000.000

I.V.A. 14%

L. 93.000.000

L. 759.000.000

L. 759.000.000

2° anno: (1981)

Setto n. 3

24) Fornitura e posa in opera di sacchi di tessuto poliammidico della capacità di mc. 1,00:

sez. A-A:

ml. 1,40 × 6/2,15 = n. 391

4.1.3 Previsione degli effetti

Con gli interventi previsti si prevede di arrestare temporaneamente (per il periodo di almeno due anni) la concatenazione di causa ed effetto legato al propagarsi della erosione determinata dagli interventi operati sul litorale più a Ponente.

La base della previsione è ovviamente che detti interventi siano sospesi.

Non sono da attendersi in conseguenza dei versamenti previsti avanzamenti della linea di battigia (se non localizzati e temporanei nelle zone di versamento).

Il setto sperimentale dovrebbe invece, soprattutto se realizzato in coordinazione con i versamenti, produrre un certo innalzamento del fondale e quindi un limitato protendimento della battigia.

Il diverso comportamento del suddetto setto rispetto a quello determinato dai setti n. 1 e n. 2 circa le modifiche indotte nel fondale e nella linea di battigia forniranno preziose indicazioni sulle progettazioni successive.

4.1.4 Predisposizione di osservazioni sperimentali

Come nel progetto pilota n. 1 la realizzazione del presente progetto dovrà essere opportunamente sfruttata per acquisire più approfondite conoscenze sul regime del litorale e sugli effetti ottenuti dalle opere realizzate.

Si predisporrà quindi una successione di rilievi batimetrici prima, nel corso e successivamente alla realizzazione dei lavori appoggiati ai capisaldi e picchetti subacquei stabiliti con il progetto n. 1 ed ai nuovi picchetti predisposti con il presente.

Contemporaneamente saranno prelevati campioni di sedimento e dei versamenti di ripascimento.

Le analisi sedimentologiche potranno consentire conoscenze sul regime litoraneo e sull'azione dei setti nella distribuzione detritica.

sez. B-B:		
ml. $1,40 \times 3/2,15 =$	n. 195	
sez. C-C		
ml. $1,40 \times 2/2,15 =$	n. 130	
	n. 716	
n. $716 \times L. 75.000 =$	L.	53.700.000
23) Fornitura e posa in opera di sacchi di tessuto poliammidico della capacità di m. 0,25:		
n. $50 \times L. 31.000 =$	L.	1.550.000
26) Fornitura e posa in opera di filtro telo di base e della lunghezza del setto:		
ml. $5,30 \times 140 =$	mq. 742	
ml. $3,90 \times 2,80 =$	mq. 1092	
ml. $2,20 \times 140 =$	mq. 308	
	mq. 2142	
mq. $2142 \times L. 20.000 =$	L.	42.840.000
<i>Versamenti di ripascimento:</i>		
27) Materiale tipo a):		
mc. $100.000 \times 0,80 =$ mc. 80.000		
mc. $80.000 \times L. 6.800 =$	L.	544.000.000
28) Materiali tipo b):		
mc. $100.000 \times 0,20 =$ mc. 20.000		
mc. $20.000 \times L. 4.500 =$	L.	90.000.000
25) Fornitura e posa in opera di picchetti di tubi di acciaio $\varnothing$ 2" serie gas:		
n. $13 \times L. 50.000 =$	L.	650.000
	L.	732.740.000
Spese tecniche, direzione lavori, assistenza speciale $\approx 5\%$	L.	36.260.000
	L.	769.000.000
I.V.A. 14%	L.	108.000.000
	L.	877.000.000
	L.	877.000.000
Totale	L.	1.636.000.000

5. PROGETTO PILOTA N. 3

5.1 Relazione Tecnica

5.1.1 L'intervento

Si propone di sperimentare la possibilità di realizzare spiagge artificiali appoggiate a strutture di contenimento sul tipo di quelle realizzate in Liguria dallo Studio Volta nello scorso decennio.

Nel caso specifico si è prescelta la zona presso la foce del Rio Torto in quanto ancora sguarnita di difese e di particolare interesse dal punto di vista balneare. Dallo studio approfondito delle ondazioni è risultato che il tratto di costa oggetto dell'intervento, si trova praticamente fuori della zona d'ombra creata dal porto di San Felice Circeo immediatamente sottoflutto.

Anzi per il particolare andamento dei fondali tra il porto ed il paraggio prescelto, si è rilevata una zona in cui si manifestano, praticamente con tutte le ondazioni incidenti di un qualche rilievo, marcati fenomeni di concentrazione di energia.

Questa situazione unita al fatto che nella zona, praticamente per tutte le agitazioni possibili di una qualche intensità, il senso di trasporto risulta nettamente rivolto verso Levante, dovrebbe garantire che versamenti eseguiti in loco od anche

sopraflutto per un buon tratto non andranno ad aggravare il fenomeno di interrimento del porto, ma concorreranno alla alimentazione delle spiagge a Levante.

Ciò posto i problemi da risolvere per ottenere lo scopo sono stati i seguenti:

a) Creare le premesse per la sedimentazione del materiale versato evitando l'instaurarsi di azioni di riflesso;

b) Evitare i fenomeni di concentrazione locale di correnti da moto ondoso.

Per ottenere il primo scopo si è ricorso alla previsione di una piattaforma isola che assicura un parziale assortimento locale dell'energia del moto ondoso incidente evitando dannose riflessioni (1).

Per ottenere il secondo scopo e nel contempo separare l'ambiente prescelto per l'intervento, dalla zona a Levante, protetta da dighe parallele, si è dovuto ricorrere ad un netto diagramma emerso (pennello) che obblighi le correnti da moto ondoso a svolgersi ad una certa distanza dalla battigia e funzioni da appoggio al sedimento.

Con le strutture descritte si è pertanto predisposto un ambiente caratterizzato, nella parte a Ponente, (sopraflutto) da un basso contenuto di energia, ma ancora soggetto a correnti da moto ondoso (necessarie per la futura alimentazione naturale) mentre nella parte a Levante (lato del pennello) pur essendo maggiore il livello

energetico, per l'aggetto della struttura, sono fortemente attenuate le correnti da moto ondoso.

Il complesso dovrebbe quindi essere adatto per trattenere sufficientemente versamenti iniziali e risultare in seguito stabile con la alimentazione naturale.

Ciò naturalmente presuppone una alimentazione naturale che attualmente, e probabilmente per qualche anno ancora, sarà molto scarsa per la relativamente recente costruzione del porto di San Felice Circeo.

Per questo si prevedono due generi di interventi successivi alla realizzazione iniziale quale prevista dal presente progetto:

a) Che il materiale escavato dal porto di S. Felice Circeo sia versato sopraflutto all'opera in adatta posizione;

b) Che nei primi anni si provveda eventualmente ad integrare le perdite con saltuari versamenti da terra.

Per quanto riguarda il punto a) in base allo studio dettagliato dei moti ondosi nel paraggio si è individuata una zona in cui si riscontra un alto contenuto di energia con trasporto praticamente unidirezionale verso Est, immediatamente a Ponente del sito oggetto dell'intervento.

In questa area (vedi planimetria) dovranno essere versati i materiali di risulta del dragaggio del porto di S. Felice Circeo. Essi andranno in parte ad alimentare la nuova spiaggia ed in parte comunque saranno trasportati verso Levante a ripascere l'intero arco.

Per quanto riguarda il punto b) si ritiene che esistano serie possibilità che il nuovo arenile risulti stabile. In caso contrario si prevede che i versamenti da effettuare via terra saranno molto ridotti e saltuari.

5.1.2 Predisposizione di osservazioni sperimentali

Come per i progetti pilota n. 1 e n. 2 la realizzazione del presente progetto dovrà essere convenientemente utilizzata per acquisire più approfondite conoscenze.

Ciò sia in ordine al comportamento delle strutture realizzate, sia riguardo alla verifica delle tesi che sono state alla base della progettazione.

Si è quindi predisposto un programma di successivi rilievi batimetrici e di battigia opportunamente esteso all'intero tratto tra il porto e la foce del Sisto.

In questa sede si vedrà di indagare anche sulla distribuzione del sedimento versato da terra sfruttando le diverse caratteristiche rispetto al sedimento presente in loco. Poiché peraltro con ogni probabilità questo intervento sarà o quasi contemporaneo rispetto ai progetti n. 1 e n. 2 ed il materiale versato da terra avrà quasi certamente caratteristiche simili a quello versato nel quadro dei primi due interventi, nasceranno notevoli difficoltà nella valu-

(1) V. Berriolo e Sirito "Spiagge e Porti Turistici" Hoepli cap. X 5.

lazione del movimento detritico almeno per quanto riguarda l'ambito compreso tra la zona dell'intervento e la foce del Sisto.

D'altra parte l'indagare questo fenomeno è estremamente importante come è importante valutare se versamenti di materiale granulometricamente molto fine (ad esempio di dragaggio) versati nella zona prescelta per i ripascimenti da mare, possano in qualche modo andare ad interrire il porto e siano idonei per il ripascimento delle spiagge sottoflutto.

A questi risultati non si ritiene di poter giungere senza particolari artifici in quanto i materiali di dragaggio saranno praticamente irriconoscibili e i versamenti da terra quasi sicuramente di granulometria troppo elevata per muoversi comunque verso la bocca del porto.

Si è quindi previsto il versamento di una certa quantità di materiale tracciante.

Per la scelta del materiale più idoneo da usare come tracciante, sarà necessario procedere ad una apposita indagine sui materiali disponibili in relazione al tipo di sedimento presente.

5.2 Stima dei lavori

Pennello

23) Salpamento parziale del pennello esistente e riutilizzo dei massi per formazione di nuova scogliera:

mc. $94,00 \times 2,1 =$ tonn. 197

tonn. $197 \times L. 5.500 =$ L. 1.084.000

24) Fornitura e posa in opera di massi naturali da 2 a 4 tonn.:

mc. $1171,00 \times 2,1 =$ tonn. 2.459

tonn. $2.459 \times L. 10.500 =$ L. 25.820.000

25) Fornitura e posa in opera di tout-venant di cava:

mc. $1612 \times 2,1 =$ tonn. 3385

tonn. $3385 \times L. 8.500 =$ L. 28.773.000

26) Calcestruzzo di cemento dosato a Kg. 250

mc. $253 \times L. 60.000 =$ L. 15.180.000

L. 70.857.000 L. 70.857.000

Piattaforma-isola:

27) Calcestruzzo di cemento dosato a Kg. 350:

mc. $50 \times L. 70.000 =$ L. 3.500.000

24) Massi naturali da 2 a 4 tonn.:

mc. $625 \times 2,1 =$ tonn. 1313

tonn. $1313 \times L. 10.500 =$ L. 13.787.000

25) Tout-venant di cava:

mc. $1008 \times 2,1 =$ tonn. 2117

tonn. $2117 \times L. 8.500 =$ L. 17.995.000

28) Ferro per c.a.

Kg. $1020 \times L. 750 =$ L. 765.000

L. 36.047.000 L. 36.047.000

Pista di servizio:

29) Ghiaione:

mc. $1440 \times L. 4.000 =$

L. 5.760.000 L. 5.760.000

Versamenti:

30) Materiale di ripascimento tipo a):

mc. $18.400 \times L. 6.800 =$ L. 125.120.000

31) Materiale di ripascimento tipo b):

mc. $4.600 \times L. 4.500 =$ L. 20.700.000

L. 145.820.000 L. 145.820.000

Sommano i lavori

L. 258.484.000

A disposizione dell'Amministrazione per versamento di materiale tracciante

L. 12.000.000 L. 12.000.000

L. 270.484.000

Spese tecniche, direzione lavori, assistenza speciale, e rilievi batimetrici

L. 50.516.000 L. 50.516.000

L. 321.000.000

I.V.A. 14%

L. 45.000.000 L. 45.000.000

Totale

L. 366.000.000

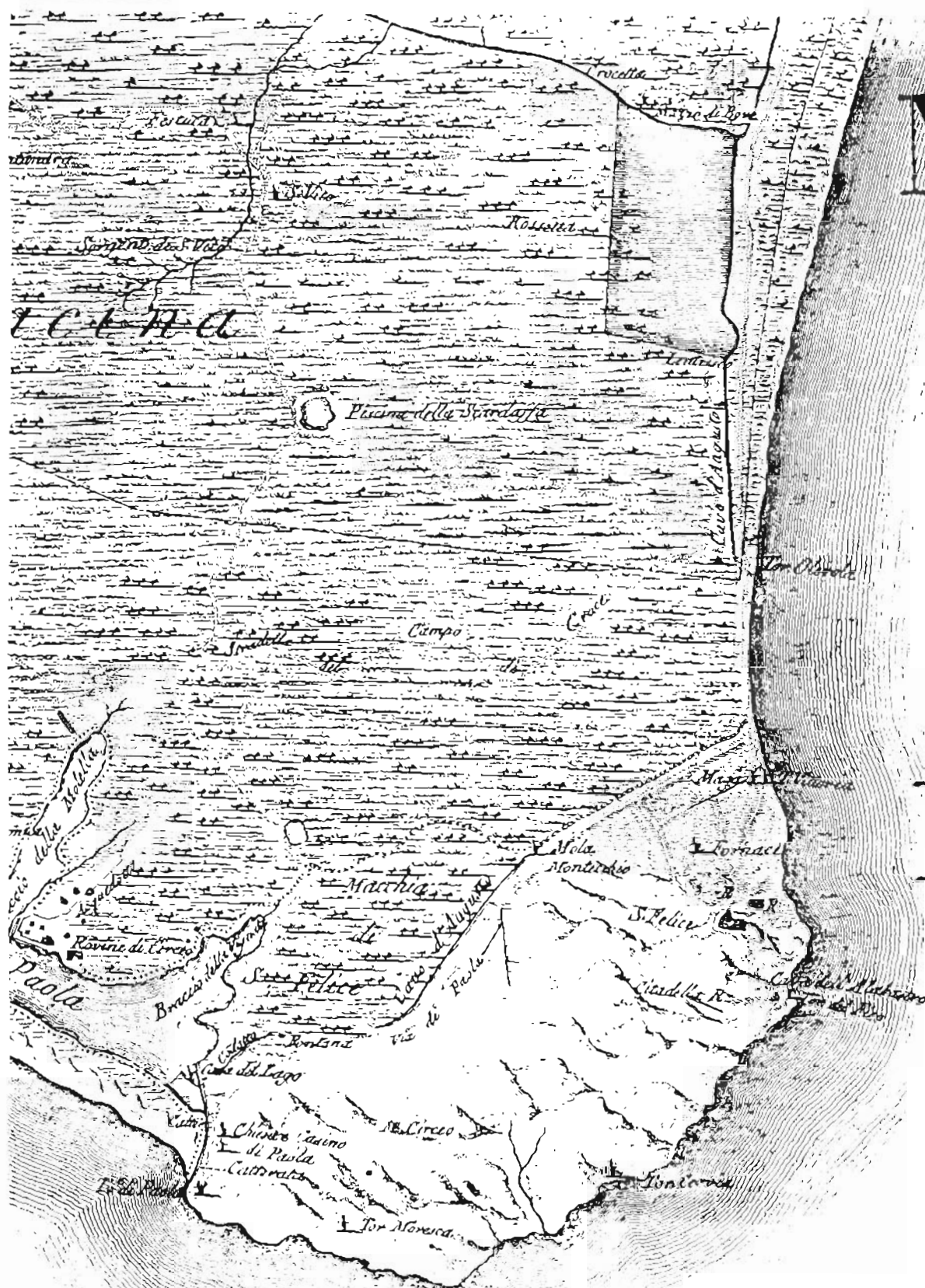
ALLEGATI

PARTE 3/C

	pag.
Cartografia antica	143
Confronto cartografia IGM	150
Tavole	173

ME

RA



Spiegazioni

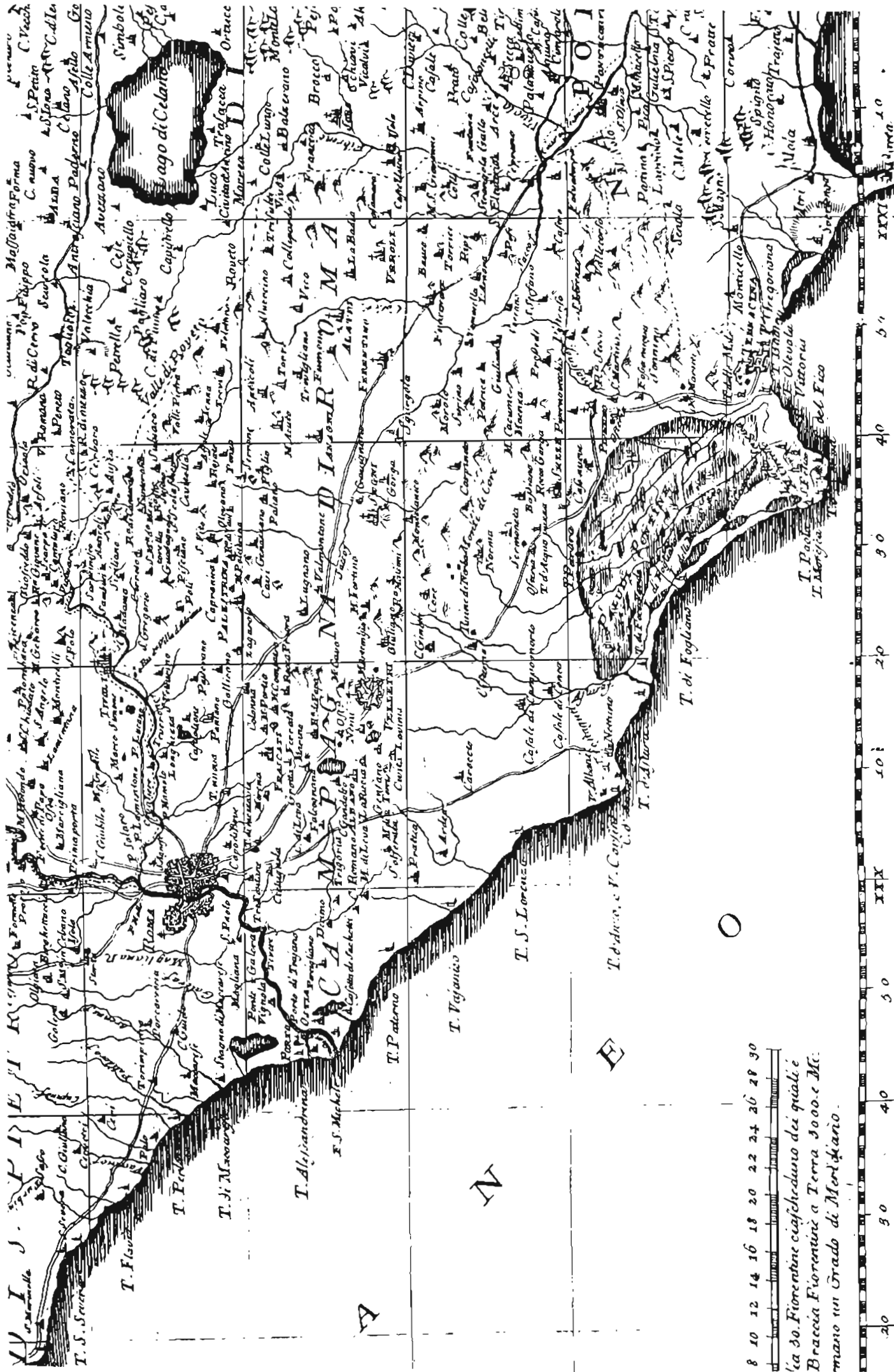
scrive la Palude riservata alla
piatura



indica quei Terreni ritrovati

in secondo grado nella detta visita e concordati del 1777
La linea segnata di Verde indica il limite di quei Terreni tutti, che
Le linee segnate con punti indicano i Confini de' limitrofi Terreni
che sono stati ritrovati con distinzione che

Figura 25 - Carta geografica dello Stato della Chiesa e Granducato di Toscana - 1796.



8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30
la 30. Firenze c'è la strada dei quali è
Braccia Fiorentina a Terra 3000 e Mi.
mano un Grado di Meridiano.

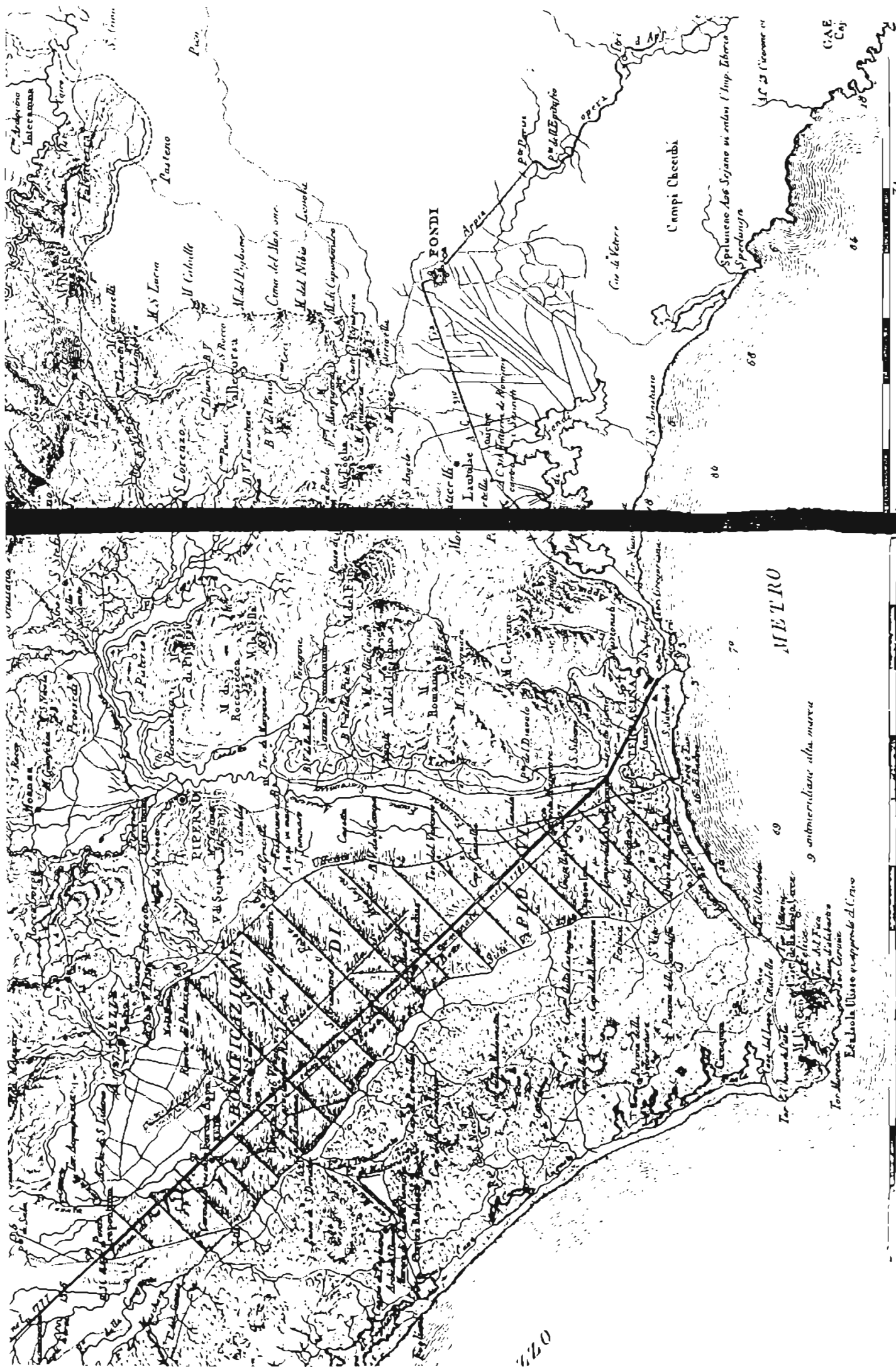


Figura 26 - 1820.

Figura 27 - Stato Pontificio - 1851.

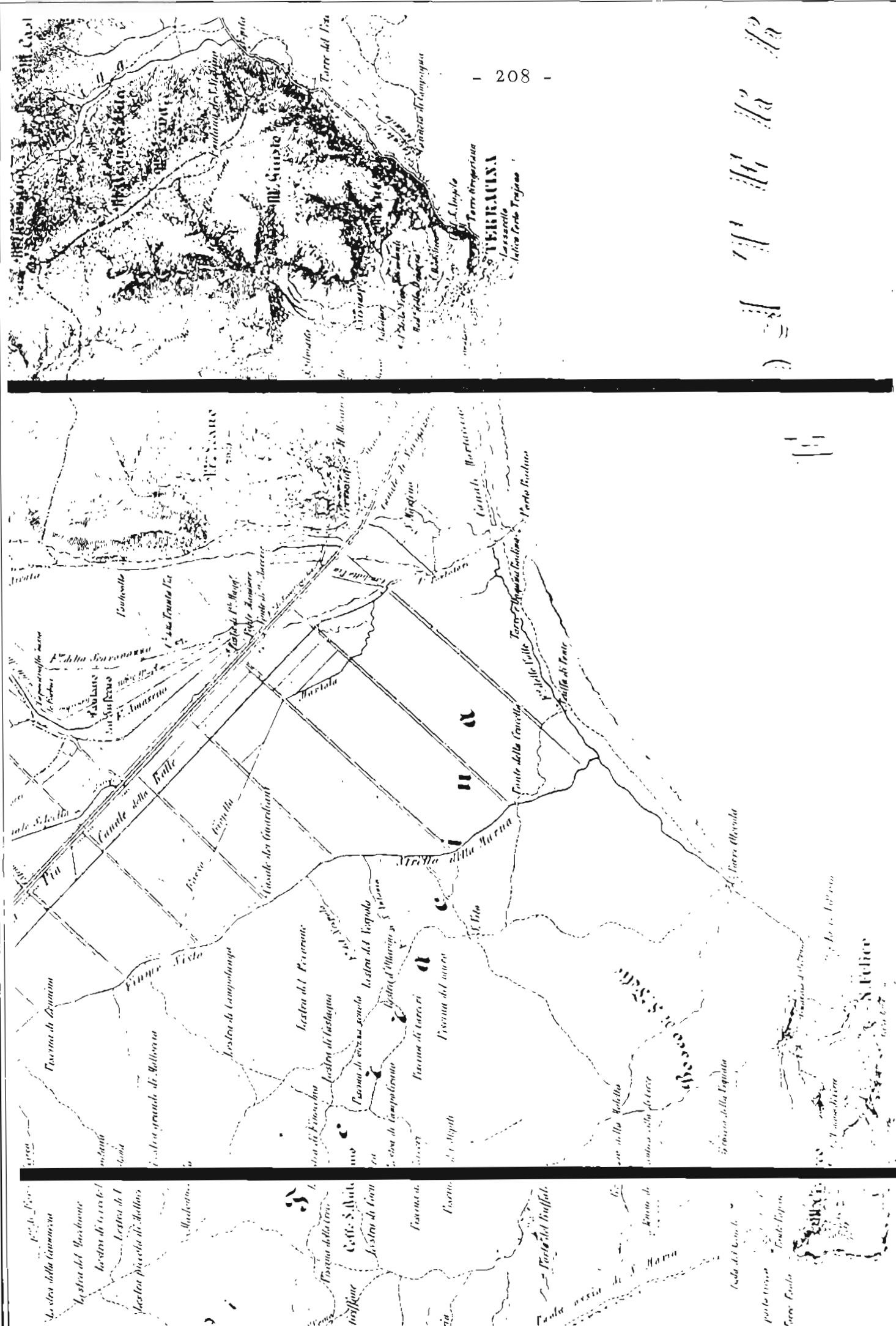




Figura 28 - I.G.M. 1/250.000 senza data.

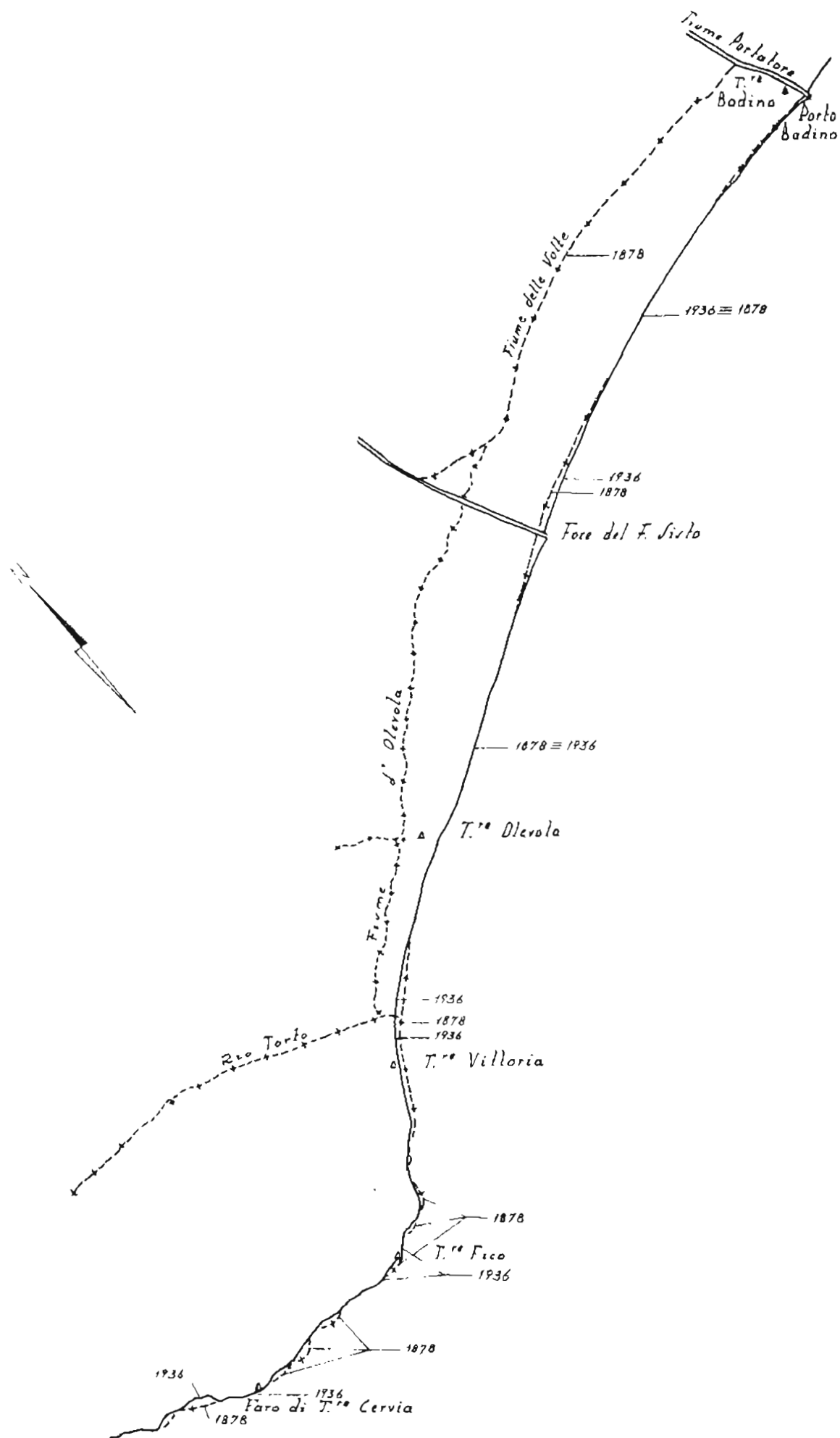


Figura 29 - S. Felice Circeo - Terracina - Confronto 1878-1936 (figg. 30-31)



Figura 31 - S. Felice Circeo - Terracina - I.G.M. 1936

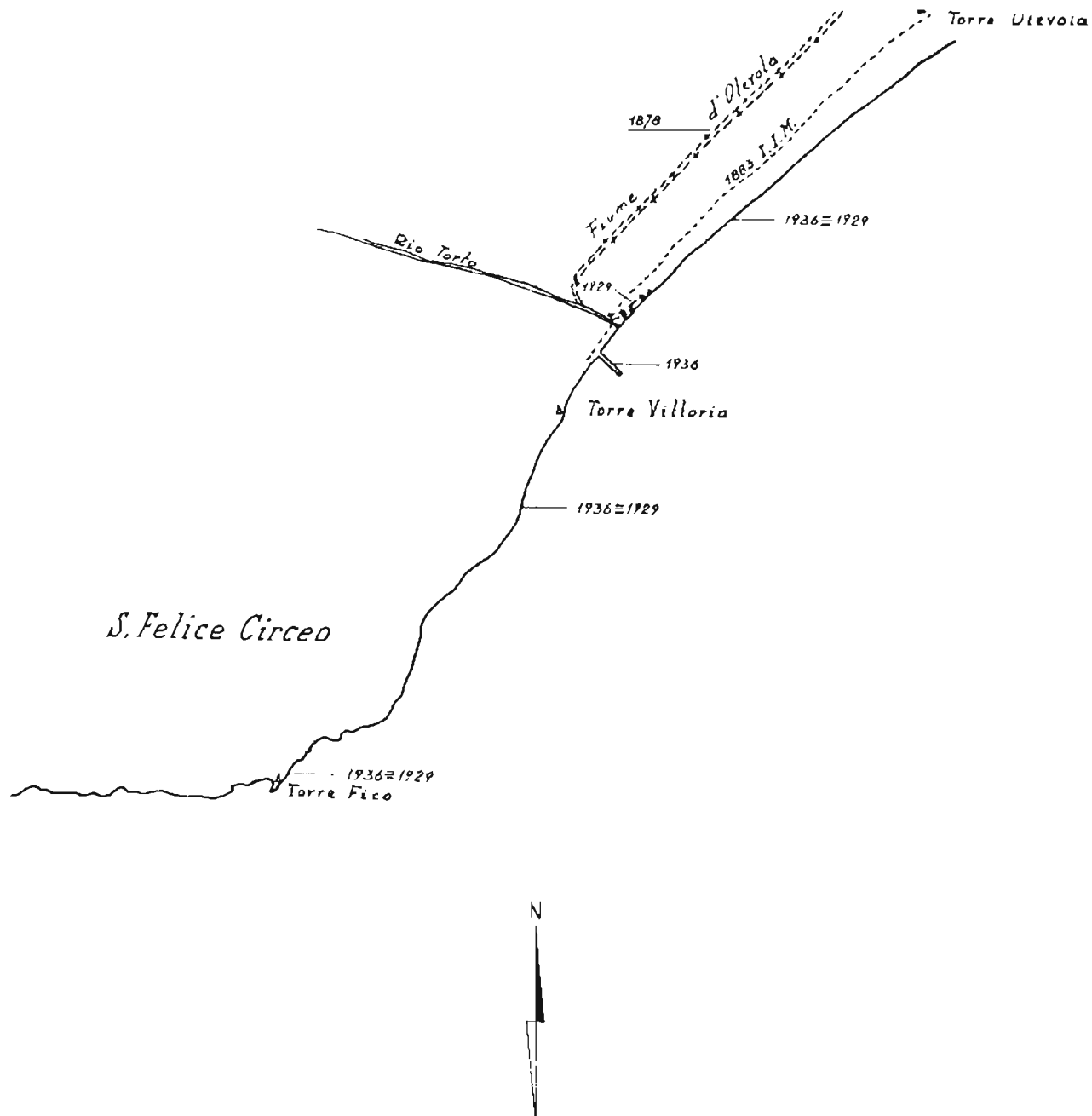


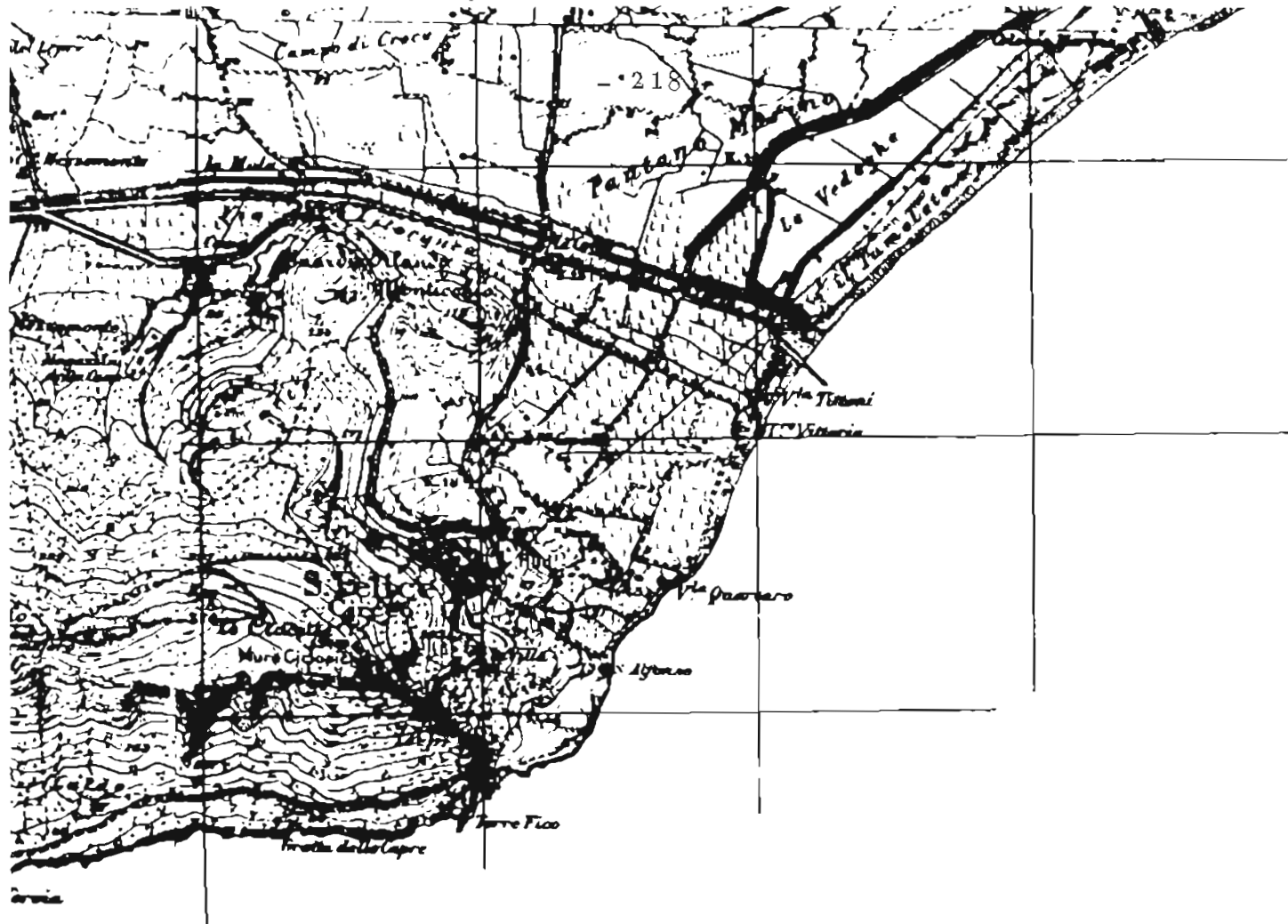
Figura 32 - S. Felice Circeo - Confronto 1929-1936 (figg. 33-34)

0°38'

0°39'

0°40'





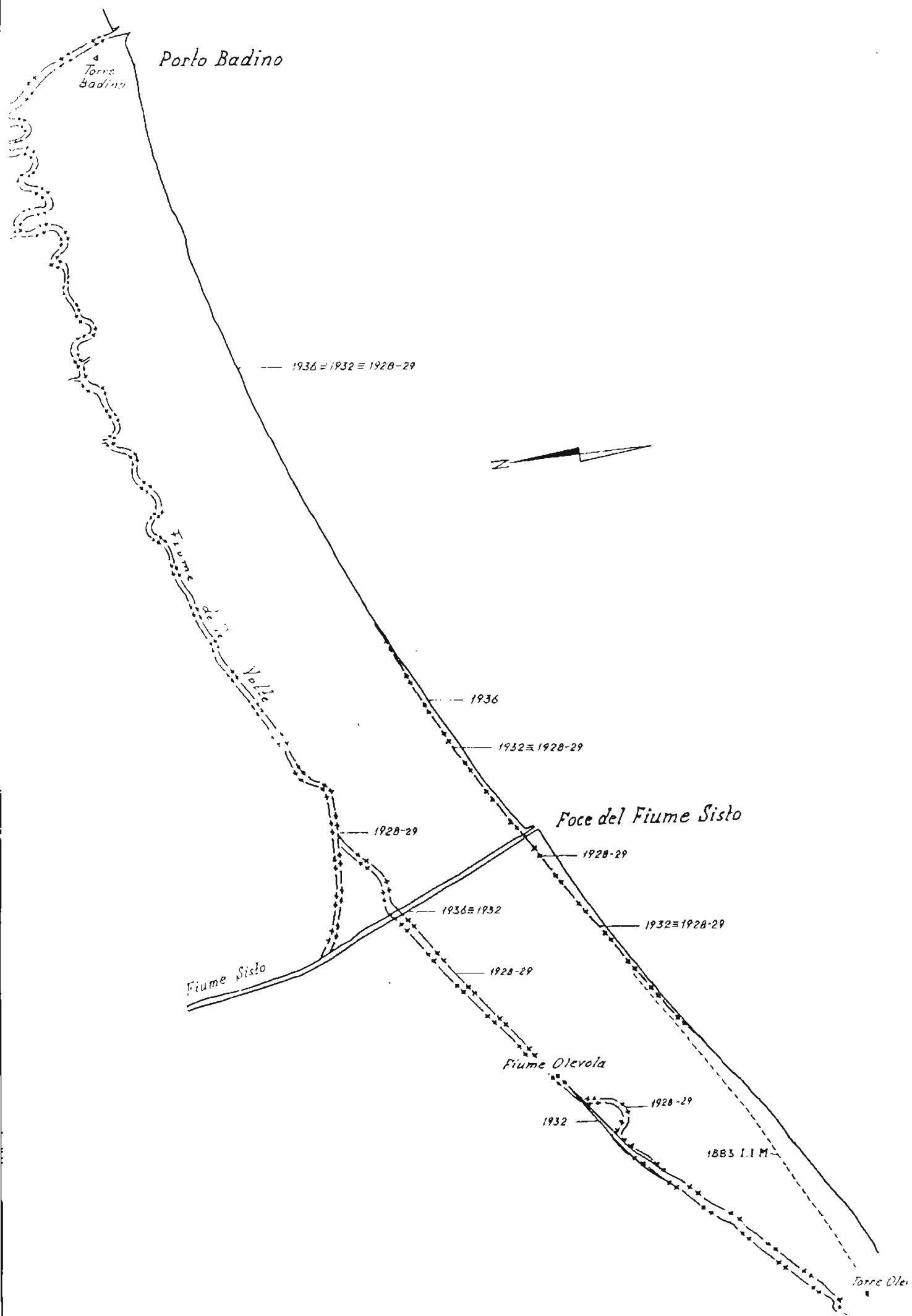


Figura 35 - Borgo Ermada - Confronto 1928/29-1932-1936 (figg. 36-37-38)

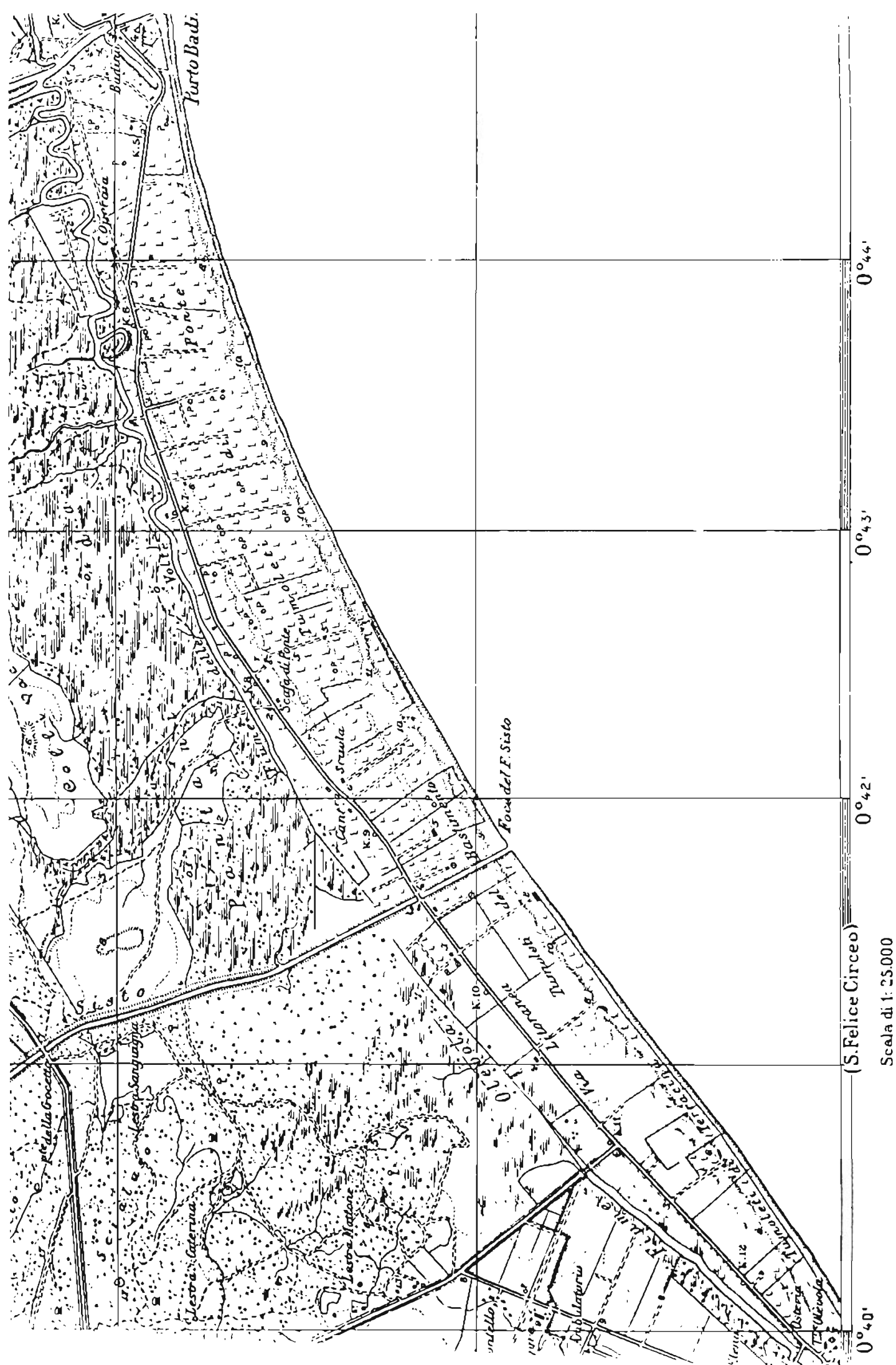


Figura 37 - Borgo Ermada - I.G.M. 1932

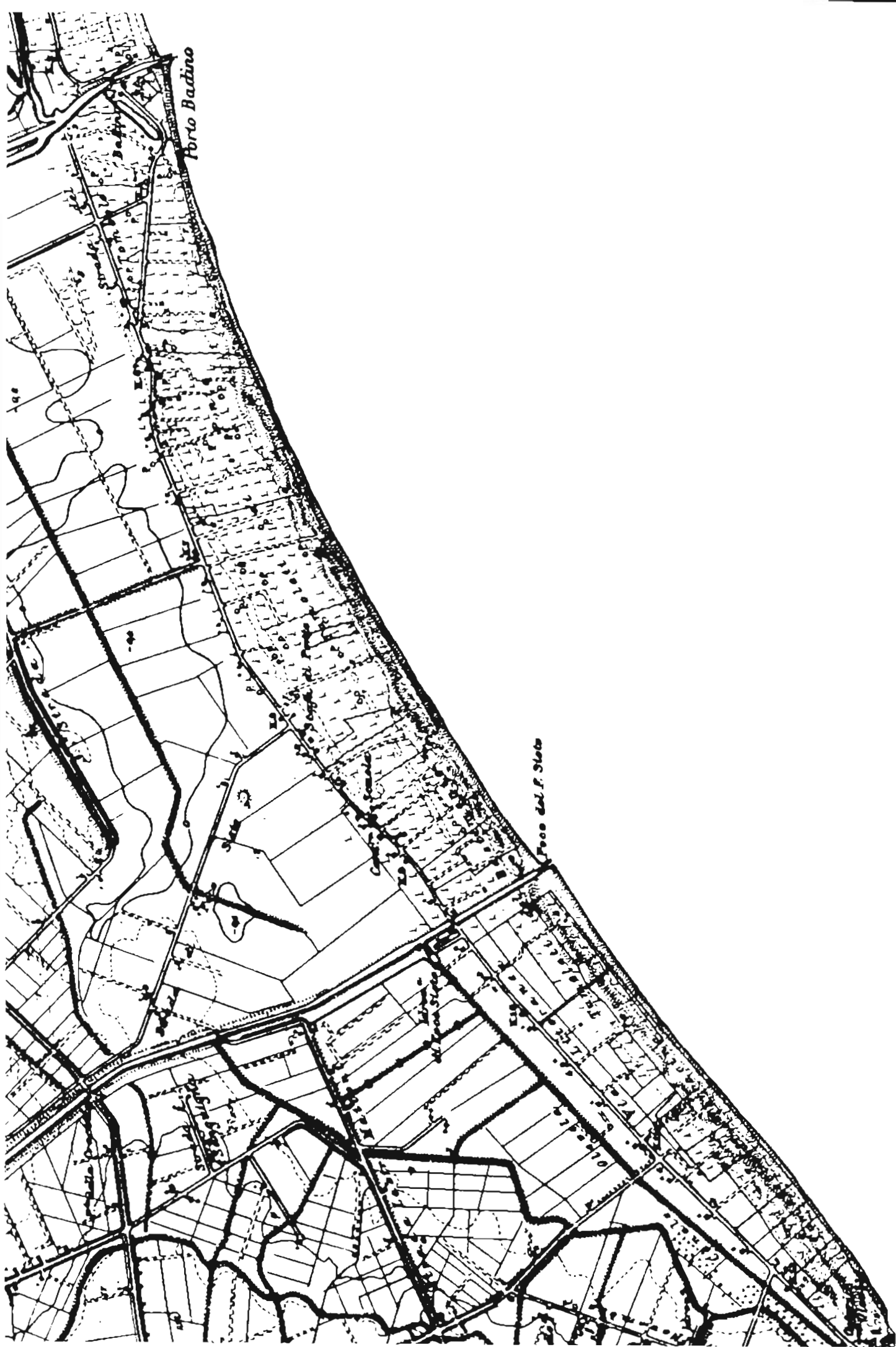
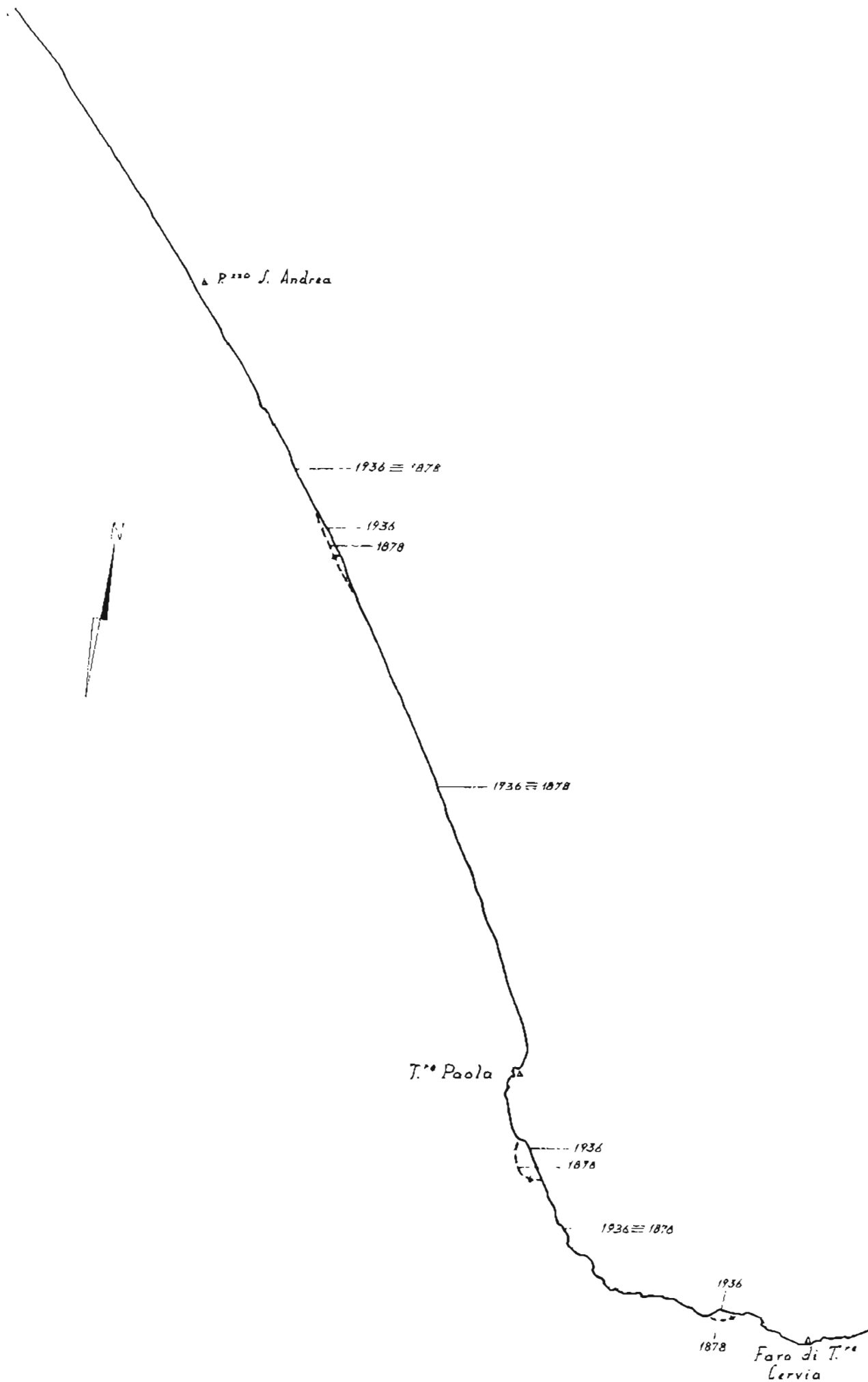


Figura 38 - Borgo Ermada - I.G.M. 1936





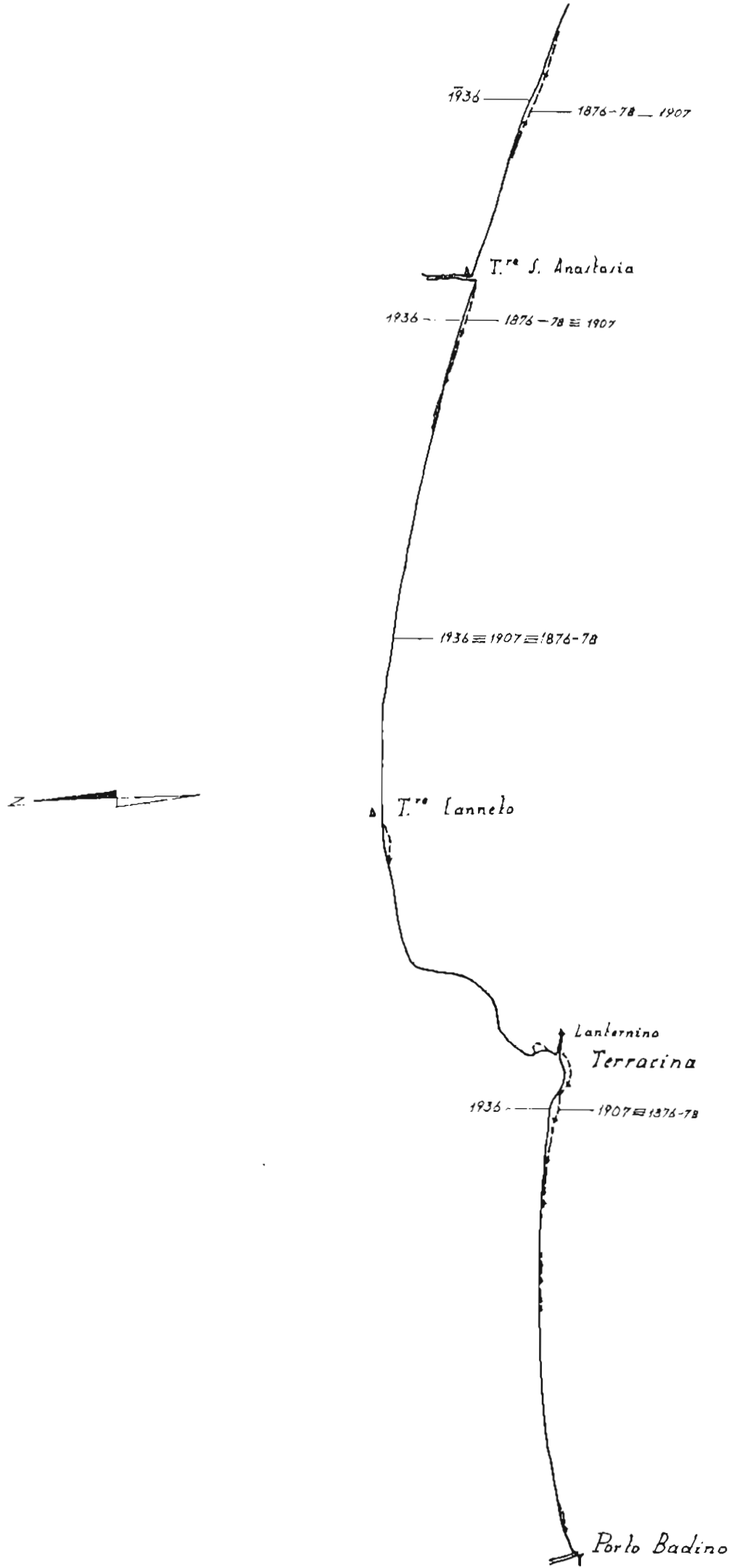
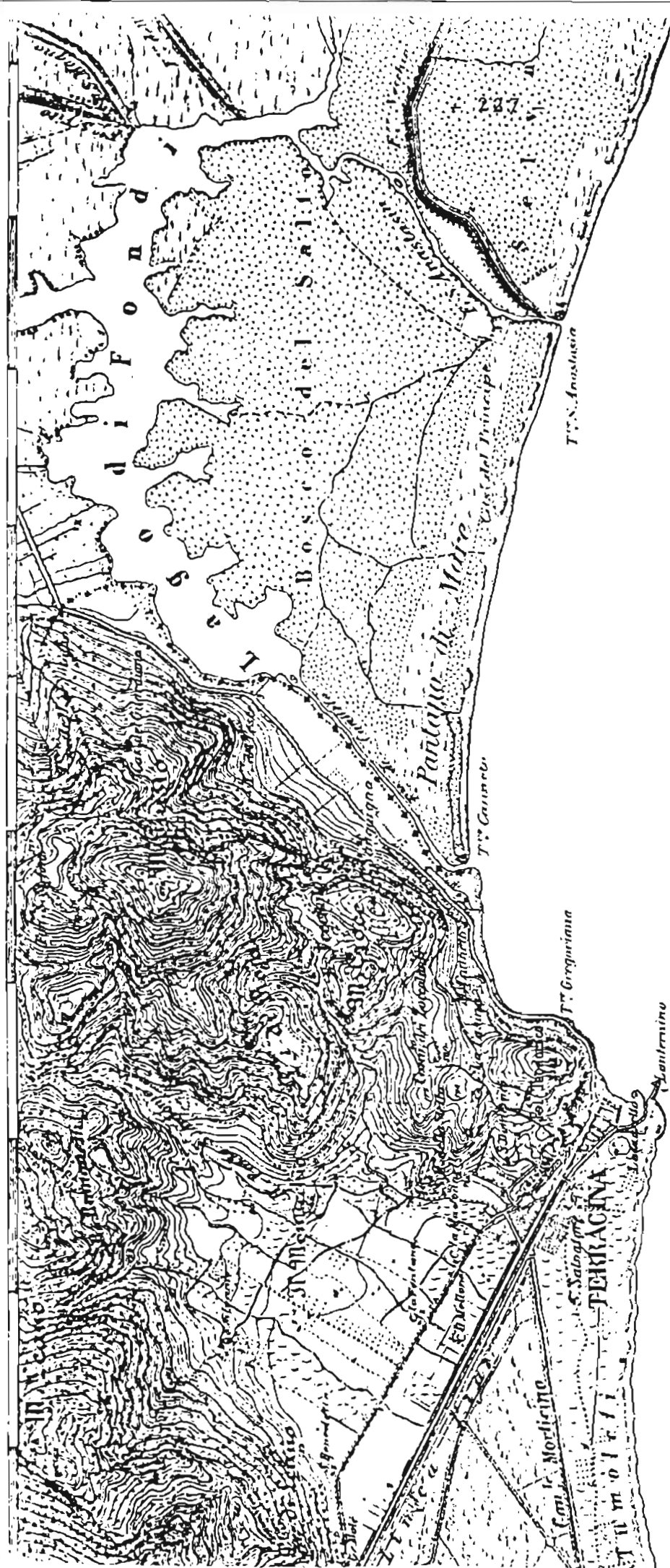


Figura 42 - Terracina - Confronto 1876/78-1907-1936 (figg. 43-44-45)



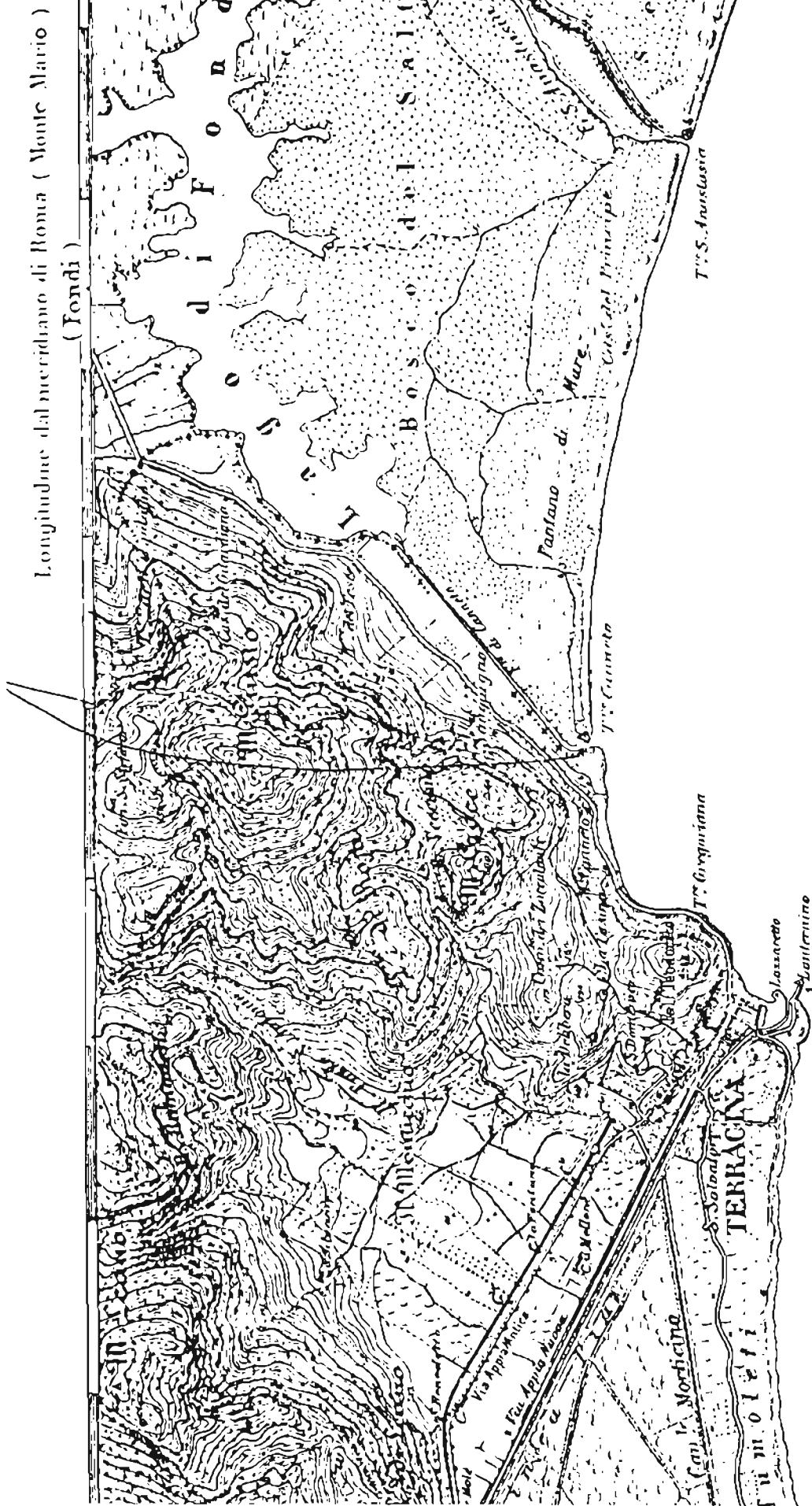
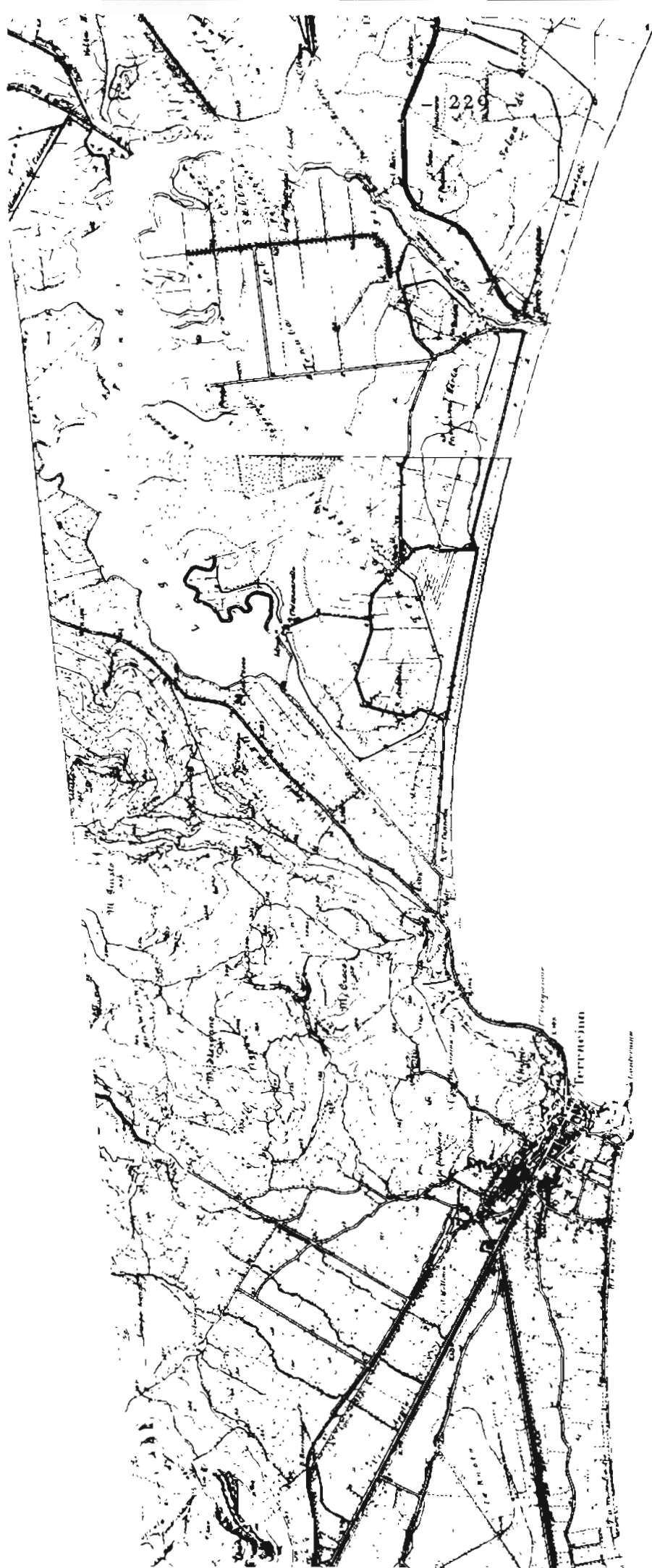


Figura 44 - Terracina - I.G.M. 1907



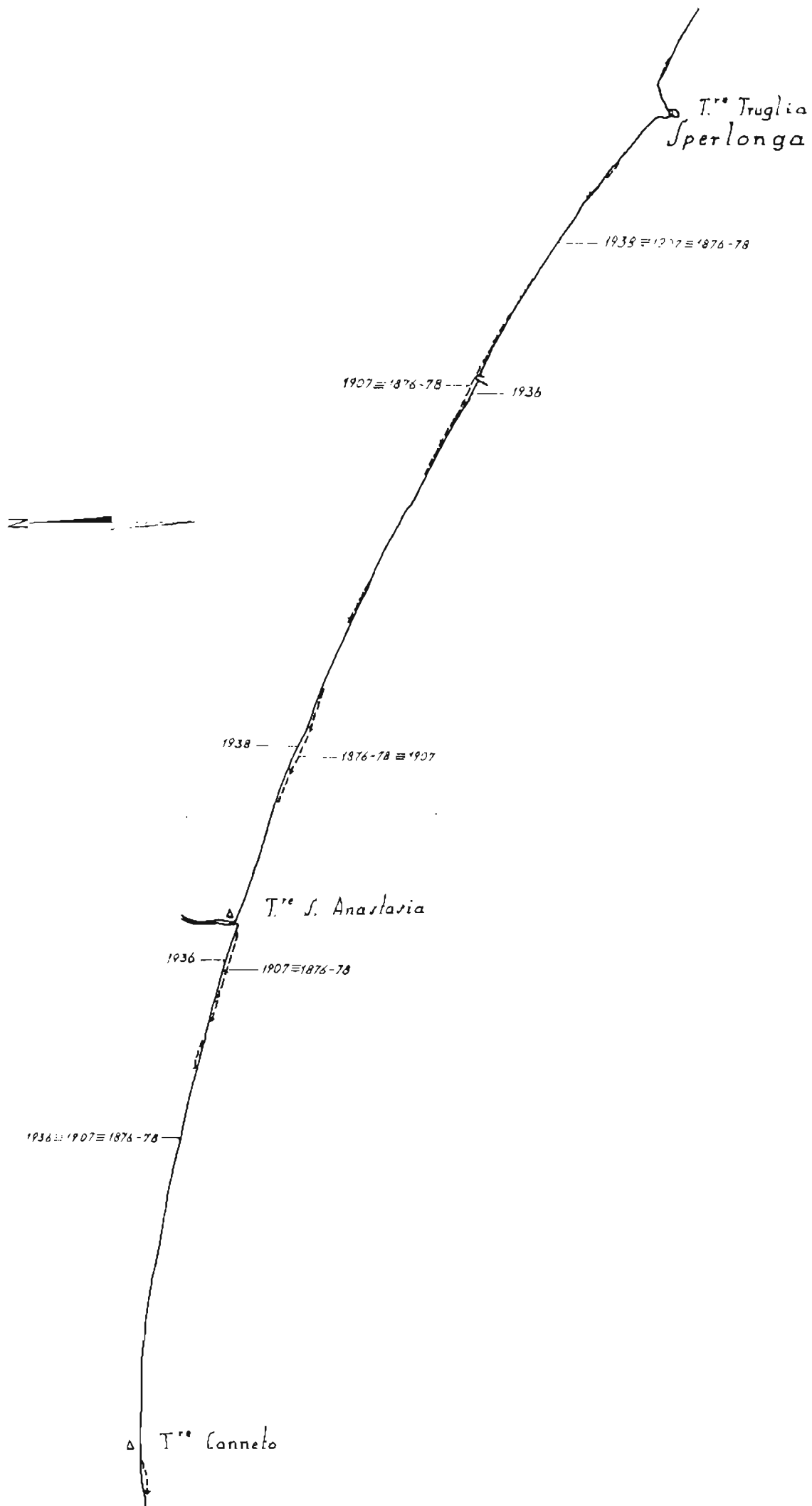


Figura 46 - Sperlonga - Confronto 1876/78-1907-1936 (figg. 47-48-49)

Figura 47 - Sperlonga - I.G.M. 1876/78





Le scale indicate sulle tavole sono relative al lavoro originale. Per esigenze di stampa le tavole sono state ridotte del 50 per cento; pertanto le scale risultano raddoppiate ($1/50.000 = 1/100.000$; $1/10.000 = 1/20.000$ ecc).

STUDIO GENERALE
DELLE SPIAGGE LAZIALI
E DELLE ISOLE PONTINE

PROGETTO GENERALE DI MASSIMA
"ZONA CAMPIONE TERRACINA —
S. FELICE CIRCEO"

PLANIMETRIA E SCHEMA GENERALE
DI INTERVENTO

SAVONA, 18 MARZO 1980

3/C - TAVOLA 1

1:5000



Successivi Interventi

- Anno 1980 — Progetto Pilota n°1: costruzione setti n°1 e n°2 in sacchi di sabbia — Versamento sott'altutto alla foce del Portoforo di mc. 20'000 di sabbia di cava — Importo L. 332'000
- Anni 80-81 — Progetto Pilota n°2: (periodo di intervento anni 2). costruzione setto n°3 in sacchi di sabbia — Versamento di mc. 200'000 di sabbia di cava (zona indicata in planimetria) — Importo L. 1'636'000
- Anno 1980 — Progetto Pilota n°3: costruzione di piattaforma — isola e di pennello in località Rio Torto — Versamento di mc. 23'000 di sabbia di cava. Versamento tracciante — Importo L. 368'000

Successivi stralci dal progetto di massima.

(zona tra i Tuzioletti di Terracina e l'Appennino)

- Anno 1981 — Trasformazione in palancole del setto n°1, costruzione dei setti n°2 e n°3 in palancole con pontili di protezione, versamento di mc. 100'000 di sabbia di cava — Importo L. 1'336'000
- Anno 1982 — Costruzione del setto n°4 in palancole — Versamento di mc. 100'000 (20% da terra e 80% da mare) — Importo L. 680'000
- Anno 1983 — Costruzione del setto n°5 in palancole — Versamento di mc. 100'000 (20% da terra e 80% da mare) — Importo L. 680'000
- Anno 1984 — Costruzione del setto n°6 in palancole — Versamento di mc. 100'000 (20% da terra e 80% da mare) — Importo L. 680'000
- Anno 1985 — Costruzione dei setti n°7 e 8 in palancole — Versamento di mc. 200'000 (20% da terra e 80% da mare) — Importo L. 1'360'000
- Anno 1986 — Costruzione dei setti n°9 e 10 in palancole — Versamento di mc. 200'000 (20% da terra e 80% da mare) — Importo L. 1'360'000
- Anno 1987 — Costruzione dei setti n°11 e 12 in palancole — Versamento di mc. 200'000 (20% da terra e 80% da mare) — Importo L. 1'360'000
- Anno 1988 — Costruzione dei setti n°13, 14, 15 in palancole — Versamento di mc. 300'000 (100% da mare) — Importo L. 1'743'000

Zona tra il Porto di S. Felice Circeo e i Tuzioletti di Terracina:

- Anni 1980-2000 — Graduale trasformazione di dighe a T in piattaforme — isole — Importo L. 622'000

Totale L. 12'179'000

STUDIO GENERALE
DELLE SPIAGGE LAZIALI
E DELLE ISOLE PONTINE

PROGETTO GENERALE DI MASSIMA
"ZONA CAMPIONE TERRACINA —
S. FELICE CIRCEO"

PLANIMETRIA E SCHEMA GENERALE
DI INTERVENTO

SAVONA, 18 MARZO 1980

3/C - TAVOLA 2

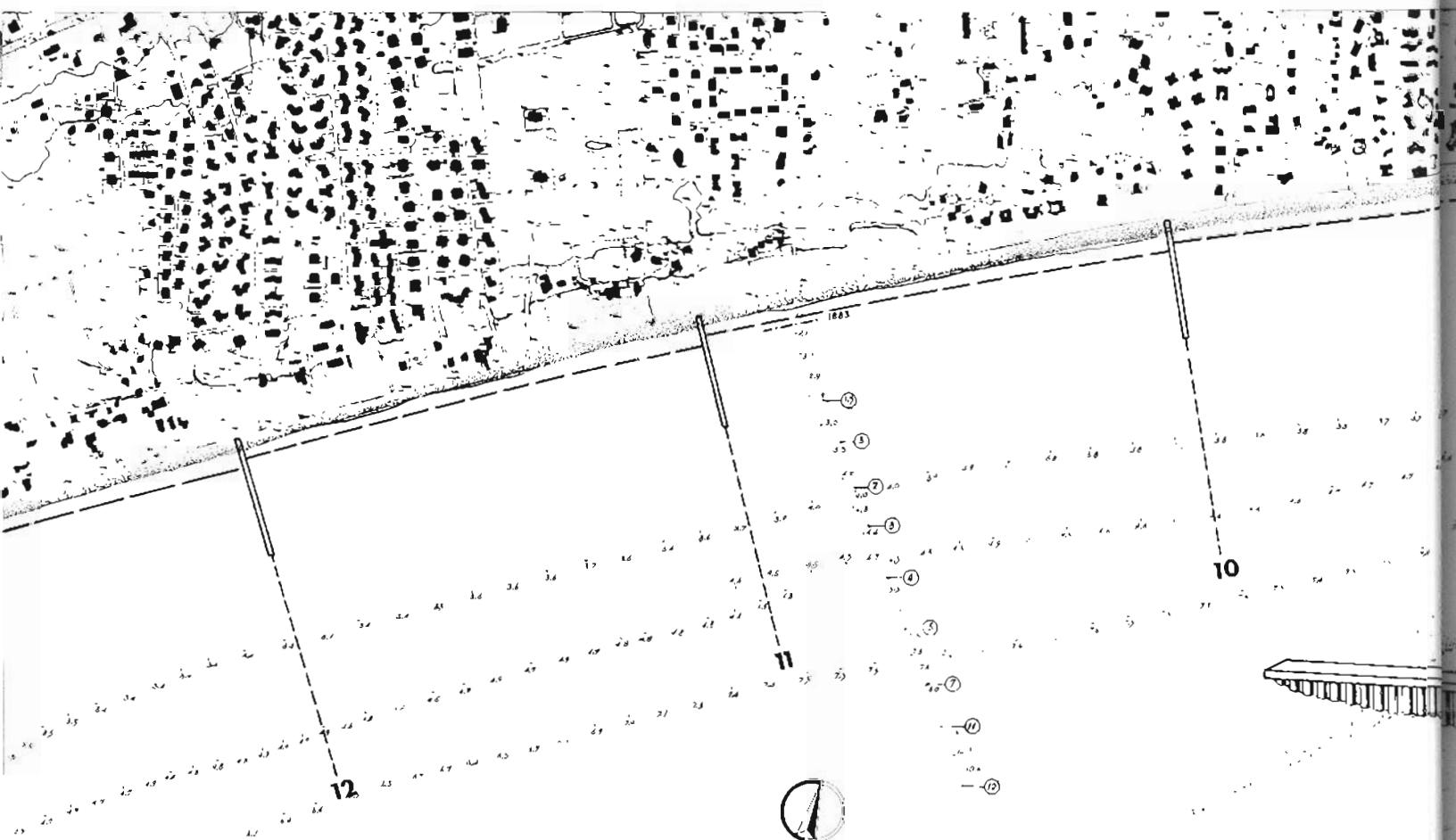
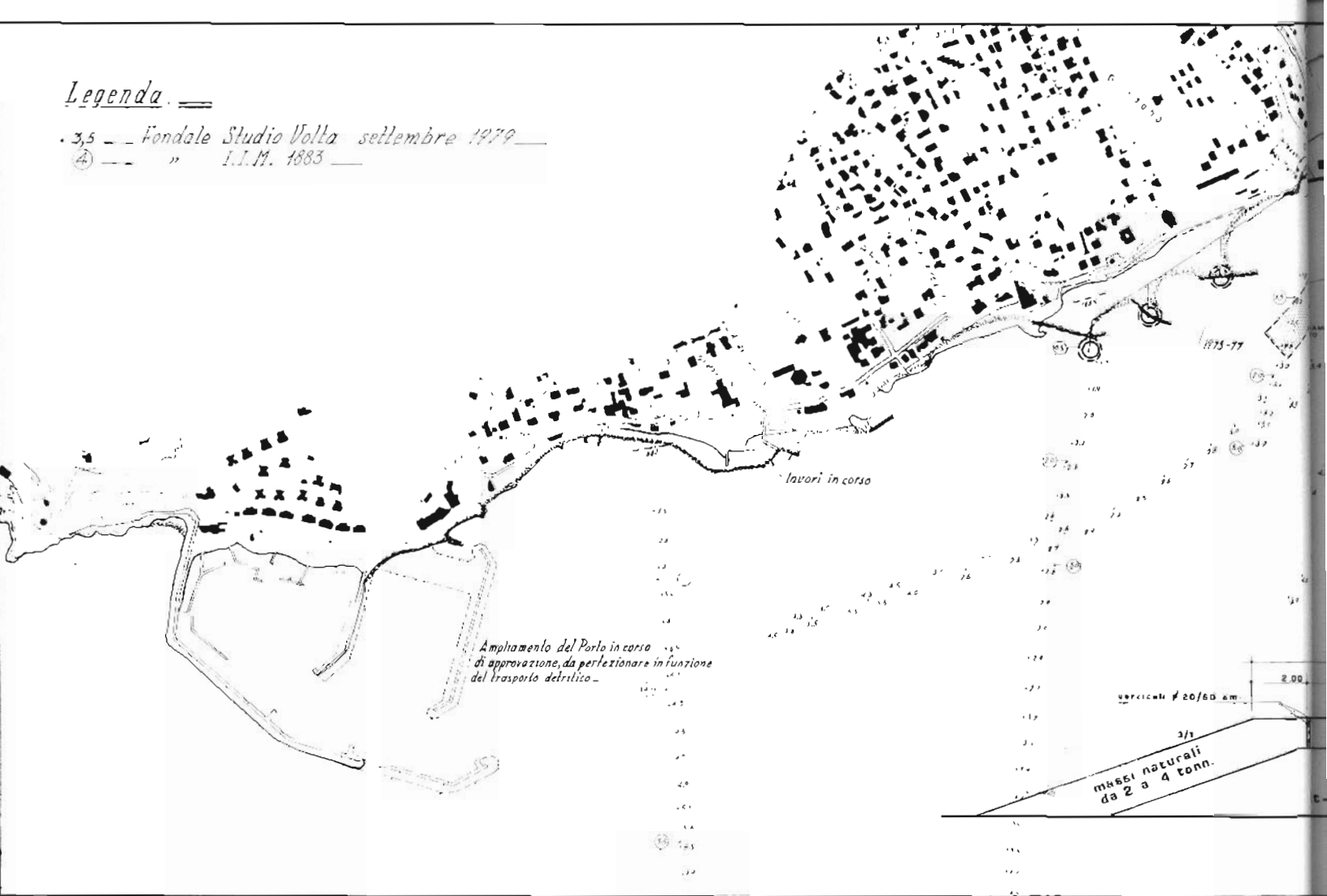
1:5000



Legenda —

• 3,5 — Fondale Studio Volta settembre 1979 —

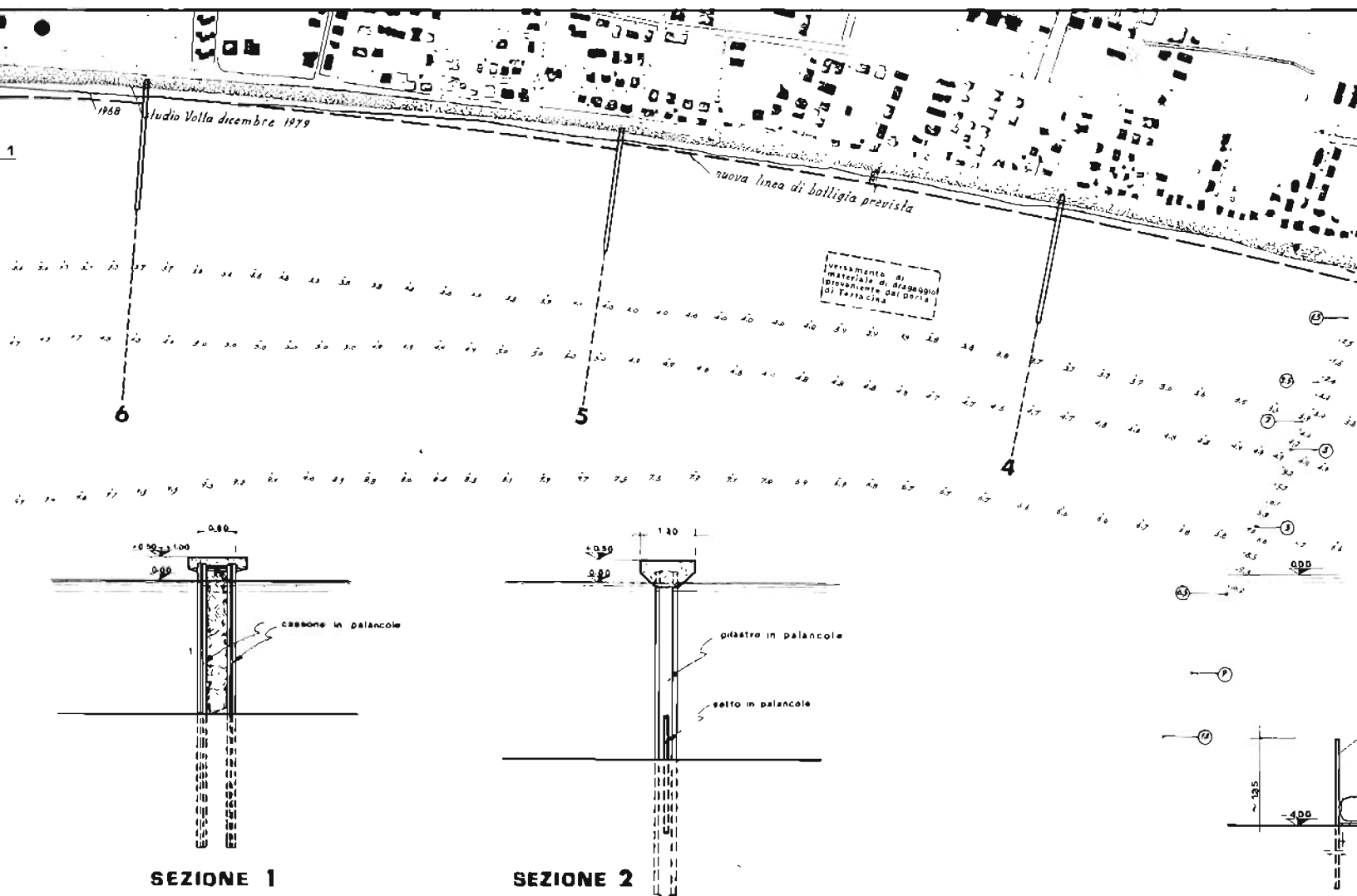
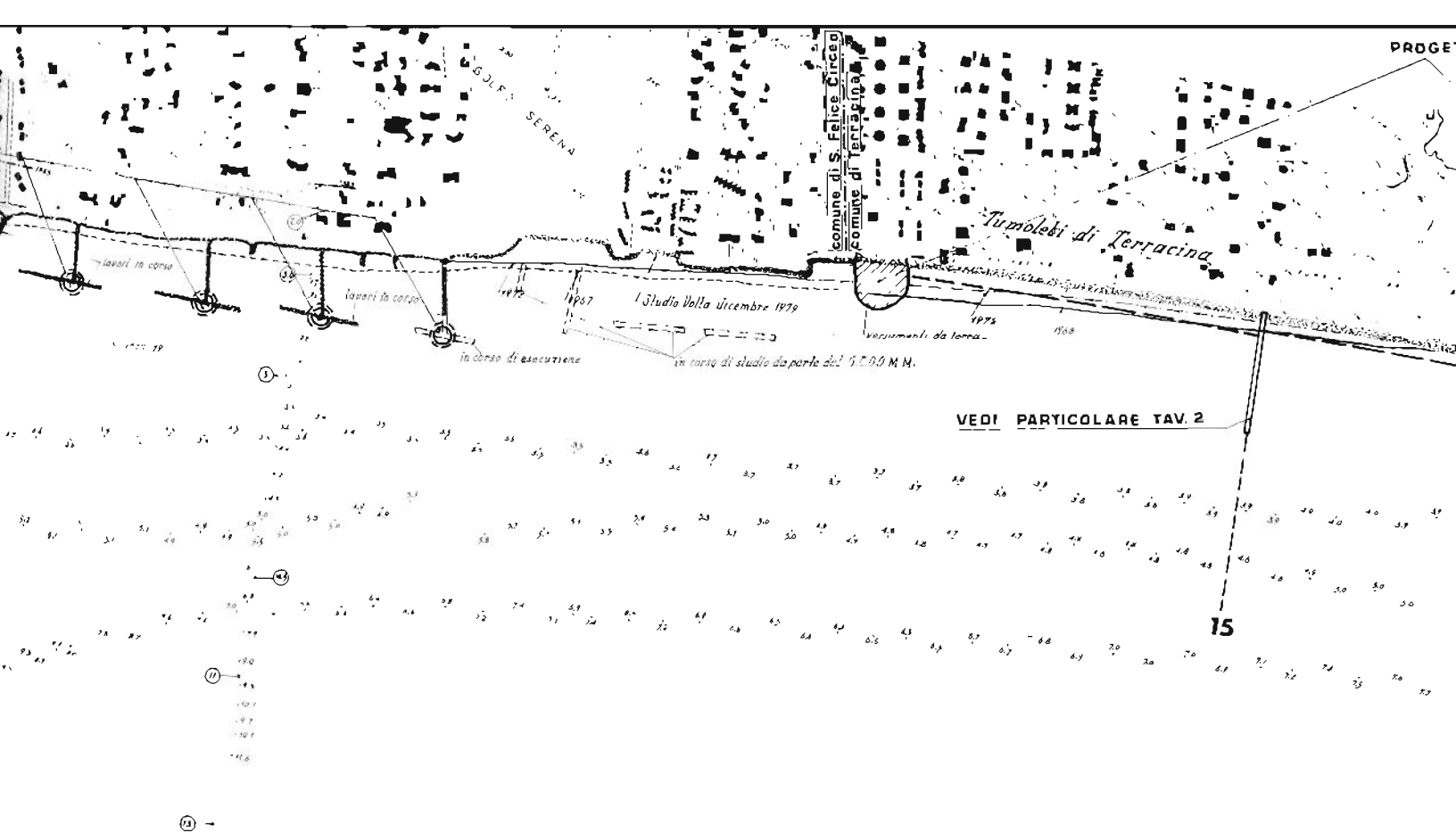
④ — " I.I.M. 1883 —

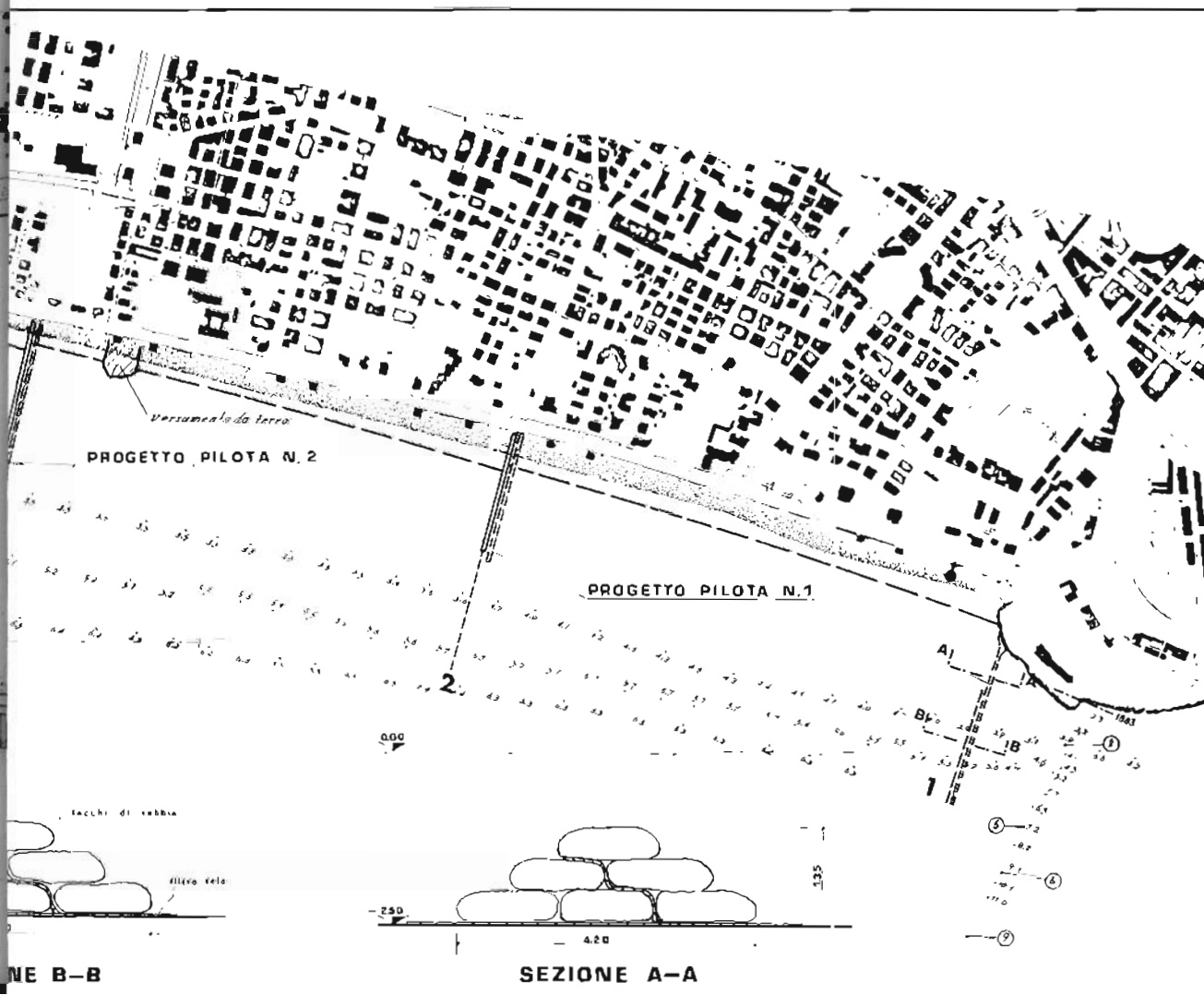
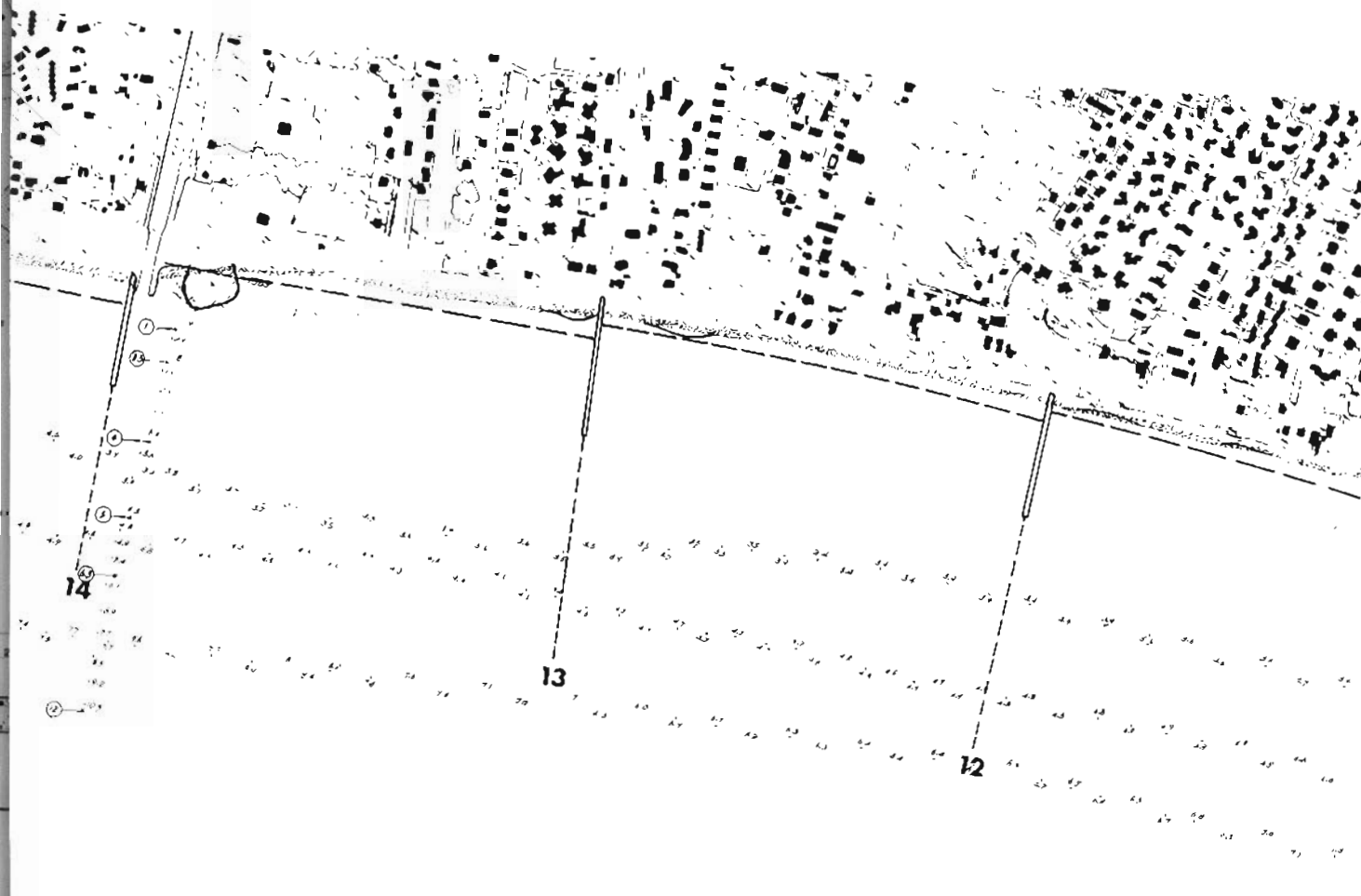


Legenda —

• 3,5 — Fondale Studio Volta settembre 1979 —

④ — Fondale I.I.M. 1883 —





Le scale indicate sulle tavole sono relative al lavoro originale. Per esigenze di stampa le tavole sono state ridotte del 50 per cento; pertanto le scale risultano raddoppiate ($1/50.000 = 1/100.000$; $1/10.000 = 1/20.000$ ecc).

REGIONE LAZIO

ASSESSORATO AI LAVORI PUBBLICI

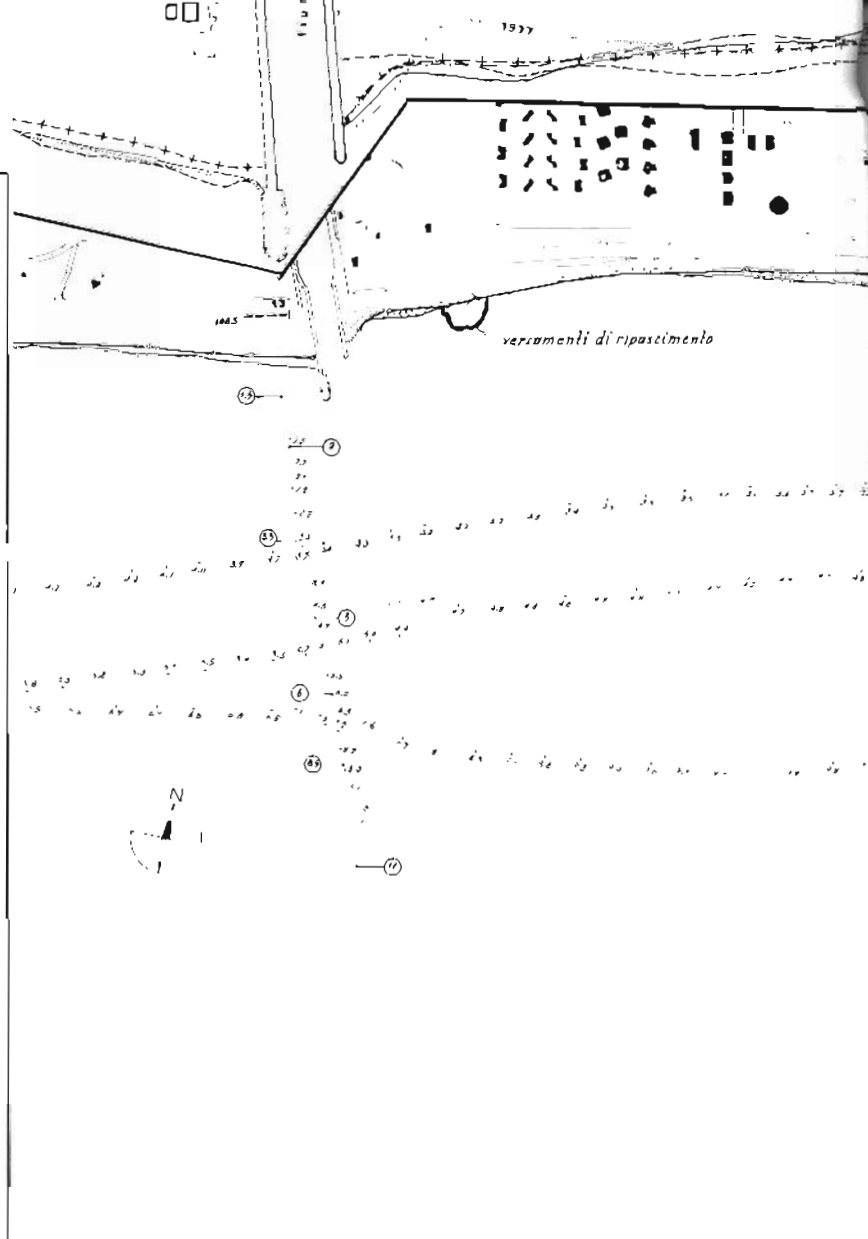
STUDIO GENERALE
DELLE SPIAGGE LAZIALI
E DELLE ISOLE PONTINE

"PROGETTO PILOTA N. 1"
INTERVENTO SPERIMENTALE
IN DIFESA DELLA SPIAGGIA
DEL COMUNE DI TERRACINA

PLANIMETRIA

SAVONA - 5/10/1960

3/C - TAVOLA 3



REGIONE LAZIO

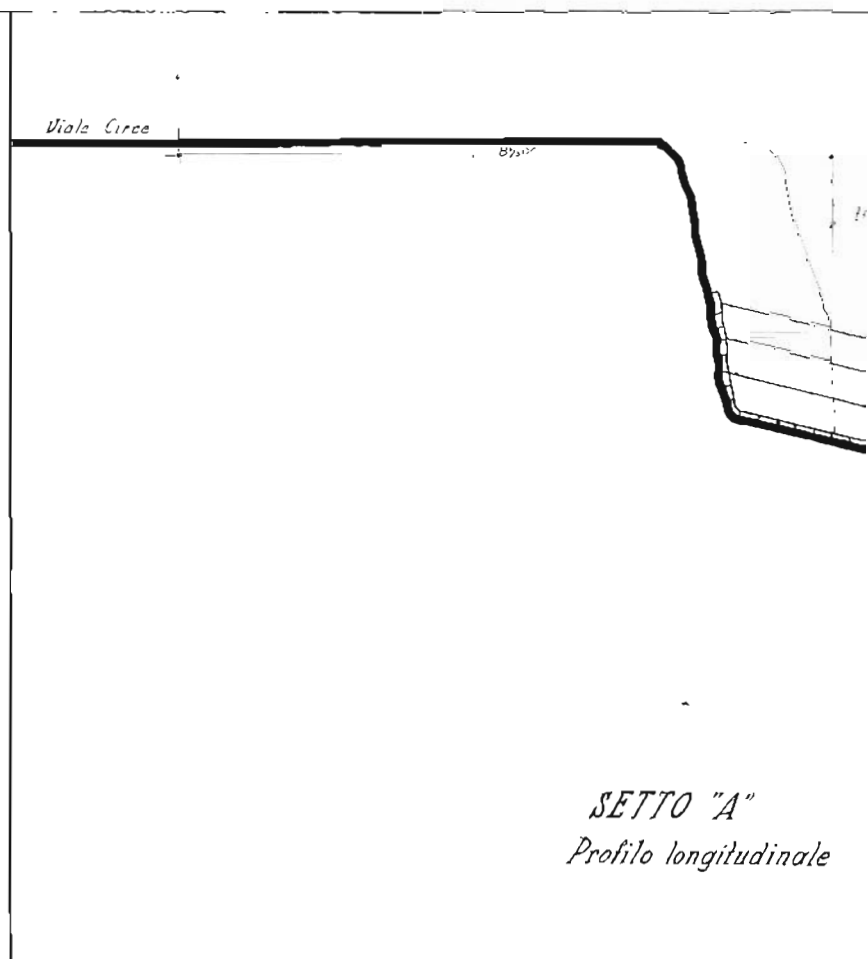
ASSESSORATO AI LAVORI PUBBLICI

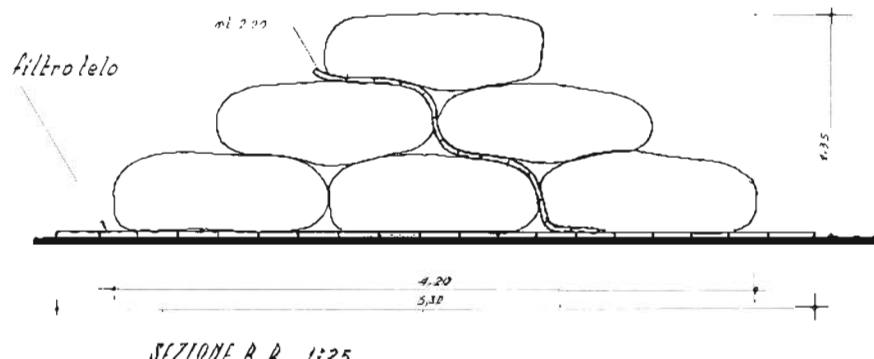
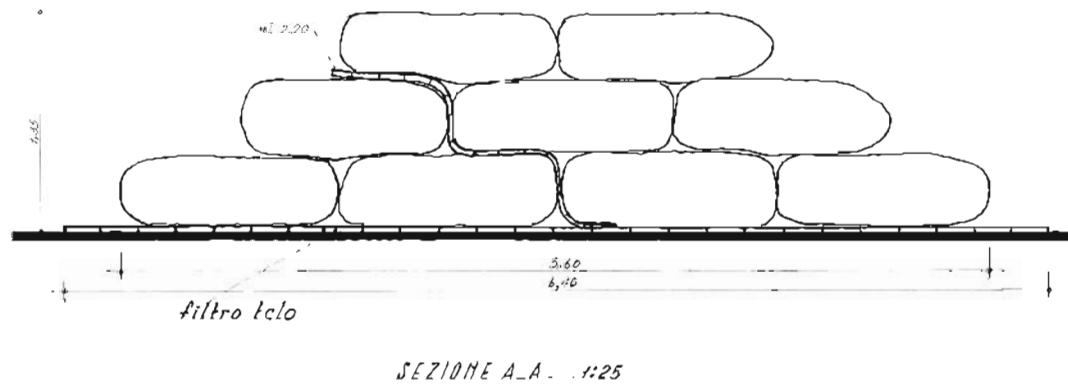
STUDIO GENERALE
DELLE SPIAGGE LAZIALI
E DELLE ISOLE PONTINE

"PROGETTO PILOTA N. 1"
INTERVENTO SPERIMENTALE
IN DIFESA DELLA SPIAGGIA
DEL COMUNE DI TERRACINA

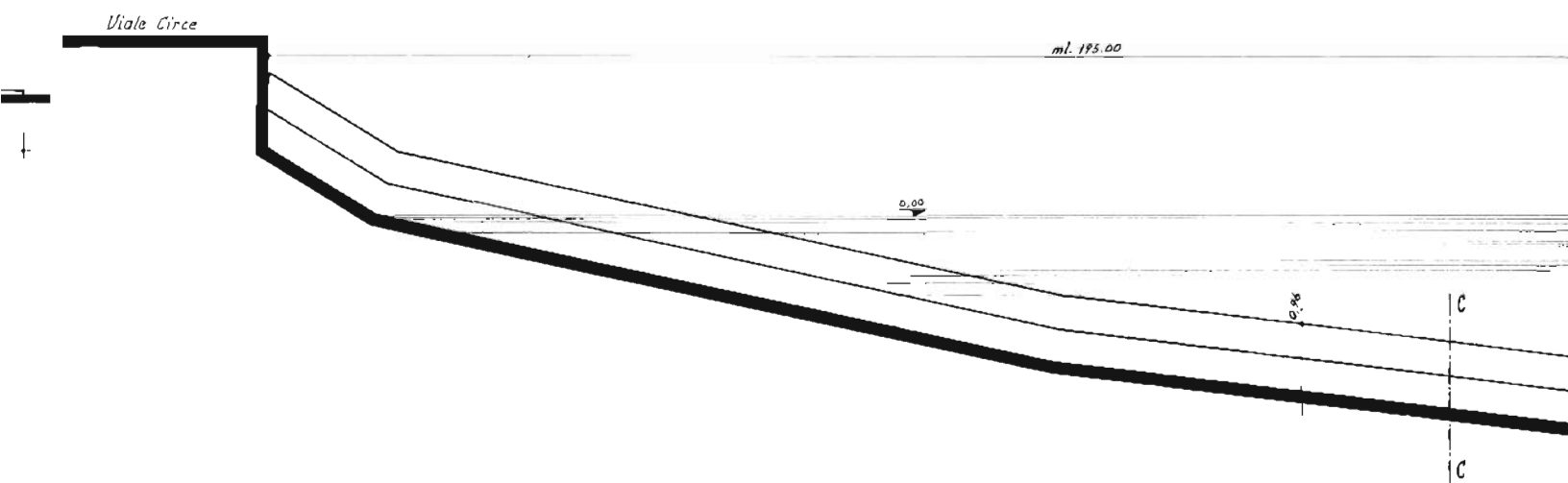
TAV. 2 PROFILI E SEZIONI
DEI SETTI

SAVONA - 5/10/1960

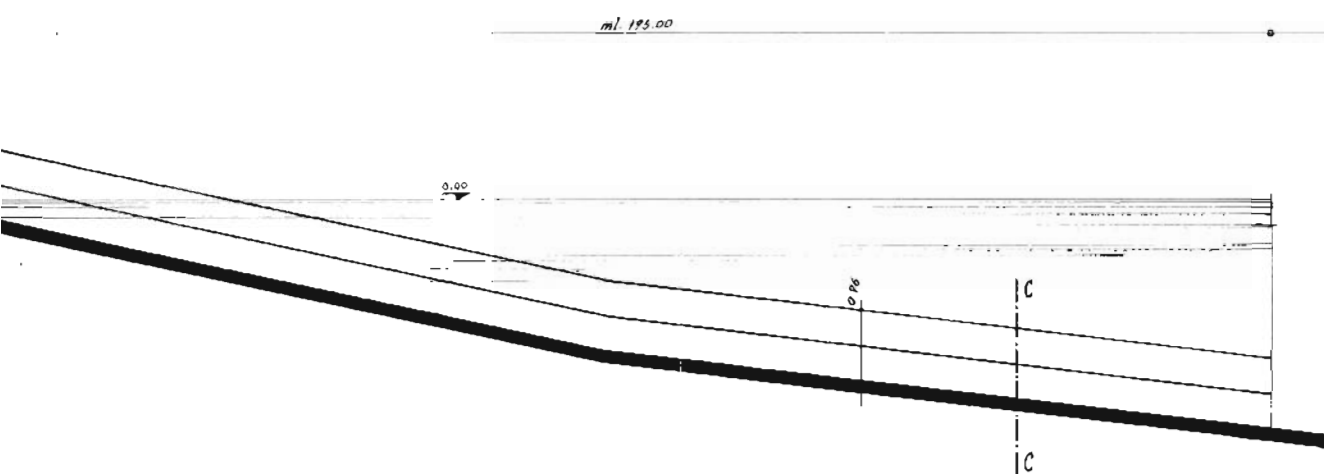






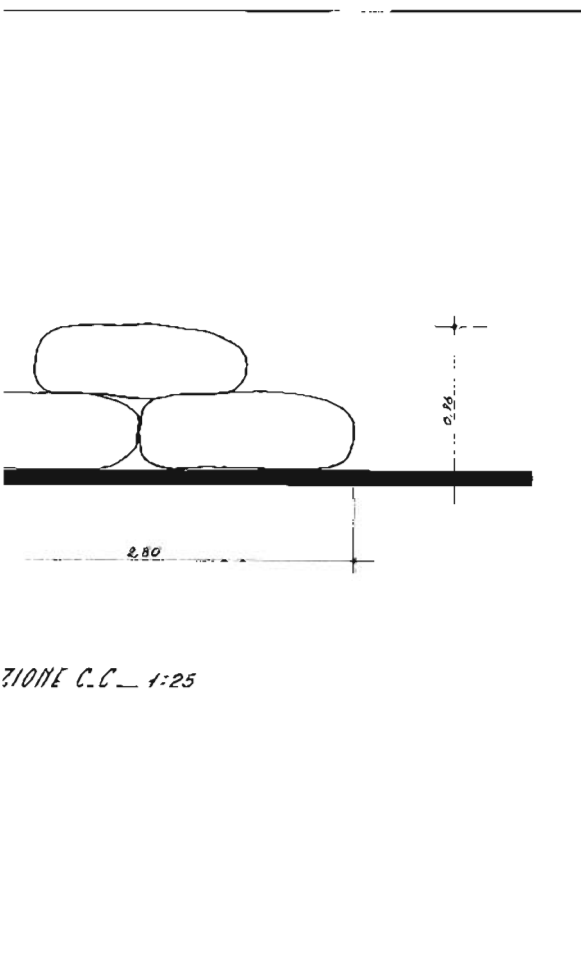


SETTO "B"
Profilo longitudinale 1:50 - 1:500



SETTO "B"
Profilo longitudinale 1:50 - 1:500

segue dietro
sovrapporre →



SECTION C-C - 1:25

Le scale indicate sulle tavole sono relative al lavoro originale. Per esigenze di stampa le tavole sono state ridotte del 50 per cento; pertanto le scale risultano raddoppiate ($1/50.000 = 1/100.000$; $1/10.000 = 1/20.000$ ecc).

STUDIO GENERALE
DELLE SPIAGGE LAZIALI
E DELLE ISOLE PONTINE

"PROGETTO PILOTA N. 2"
INTERVENTO SPERIMENTALE
IN DIFESA DELLA SPIAGGIA
DEL COMUNE DI TERRACINA

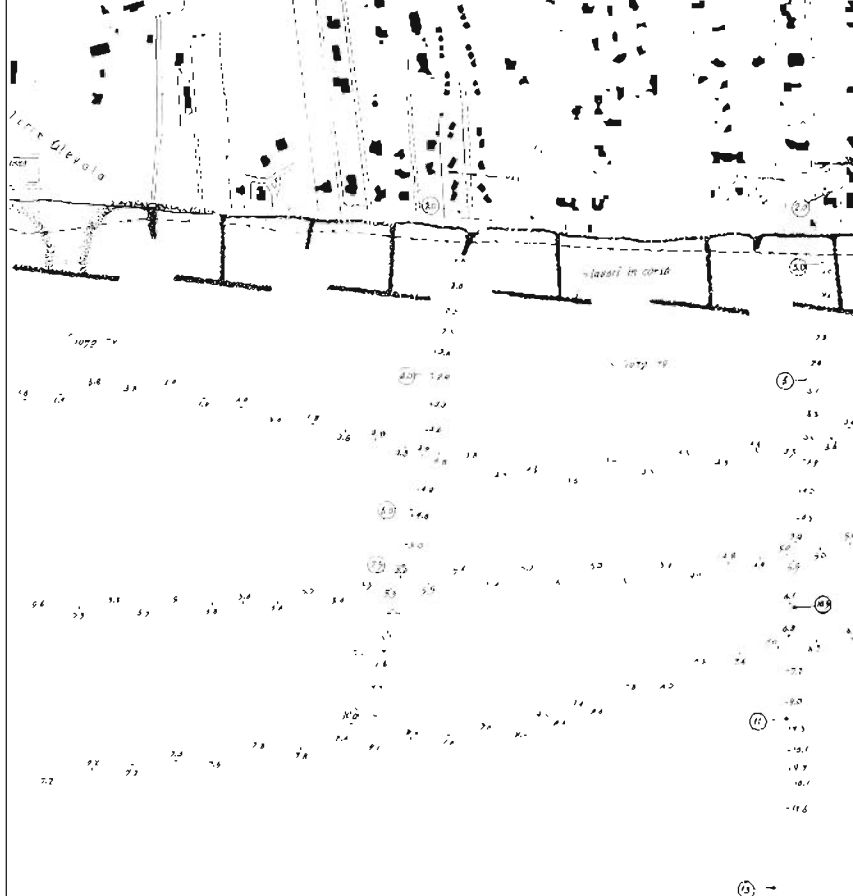
PLANIMETRIA

1:5'000

SAVONA - 17 MARZO 1980



3/C - TAVOLA 5



Legenda —

3.5 — Fondale Studio Volta settembre 1979 —

④ — Fondale I.I.M. 1883 —

STUDIO GENERALE
DELLE SPIAGGE LAZIALI
E DELLE ISOLE PONTINE

"PROGETTO PILOTA N. 2"
INTERVENTO SPERIMENTALE
IN DIFESA DELLA SPIAGGIA
DEL COMUNE DI TERRACINA

PLANIMETRIA

1:5'000

SAVONA - 17 MARZO 1980



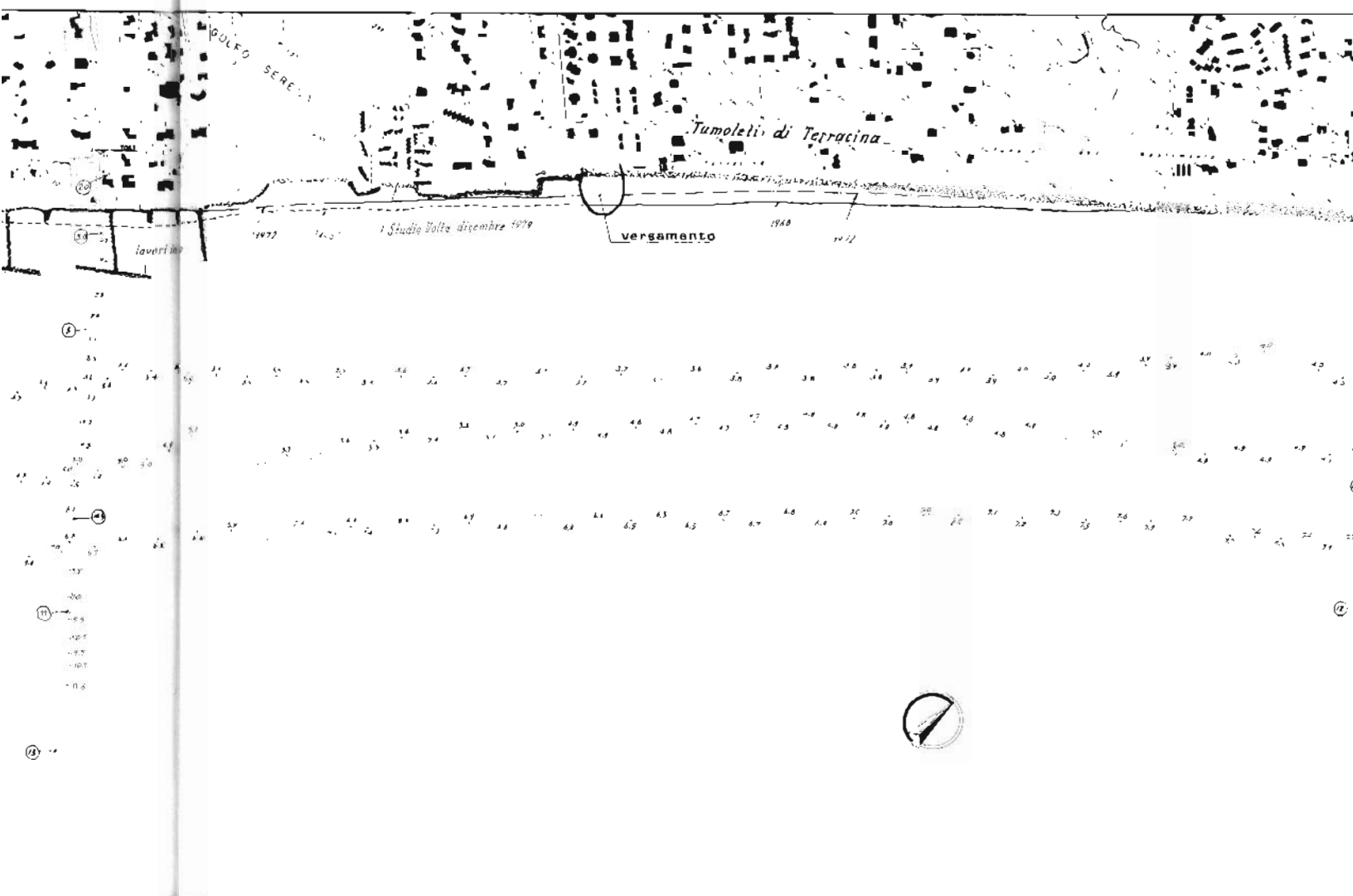
3/C - TAVOLA 6

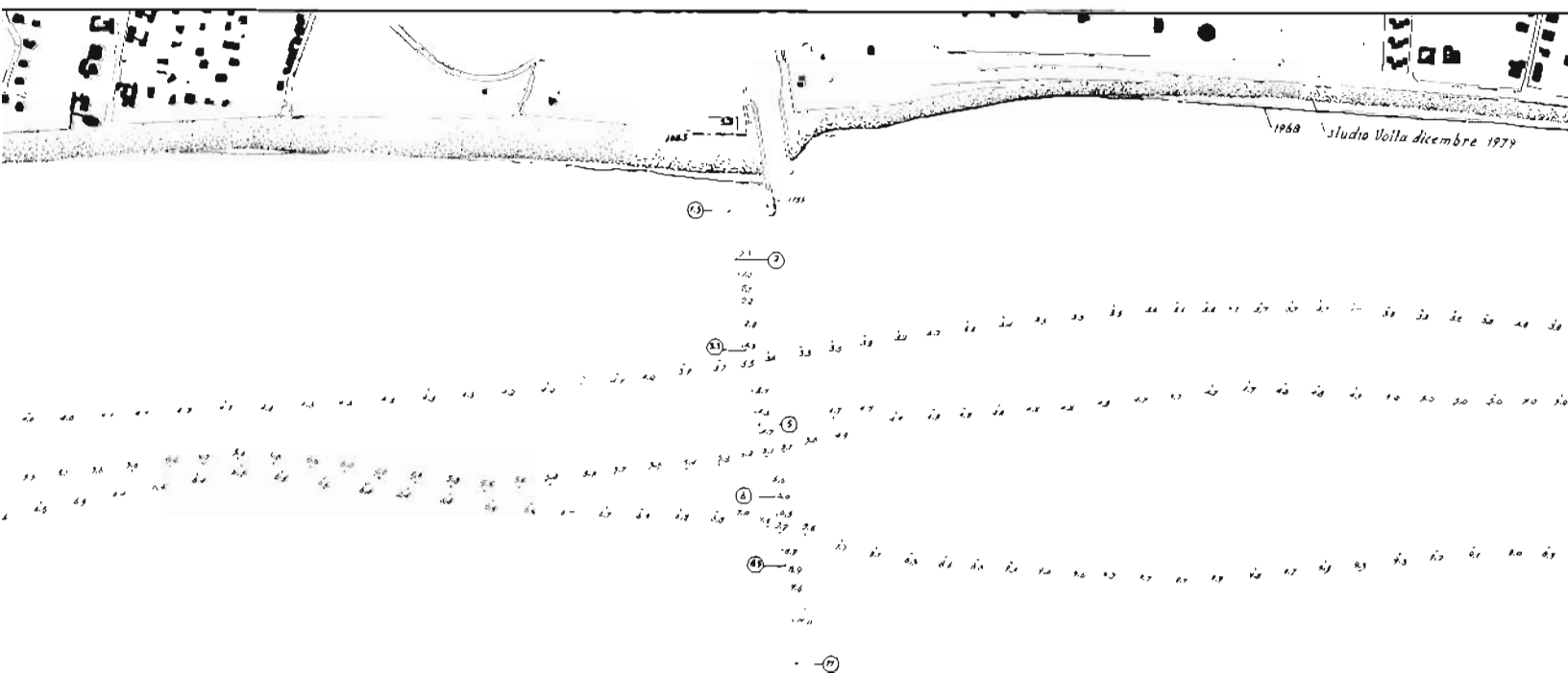


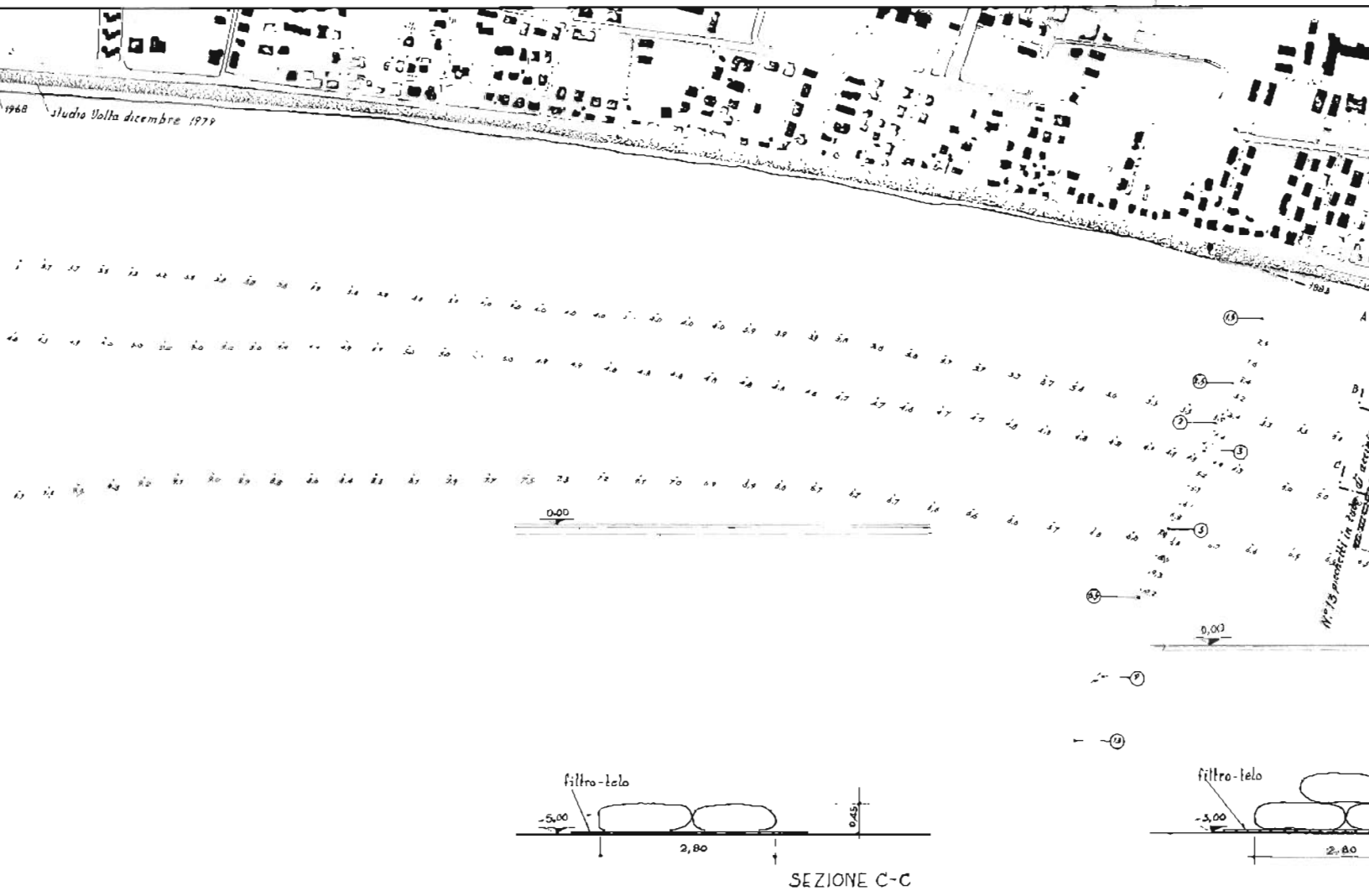
Legenda —

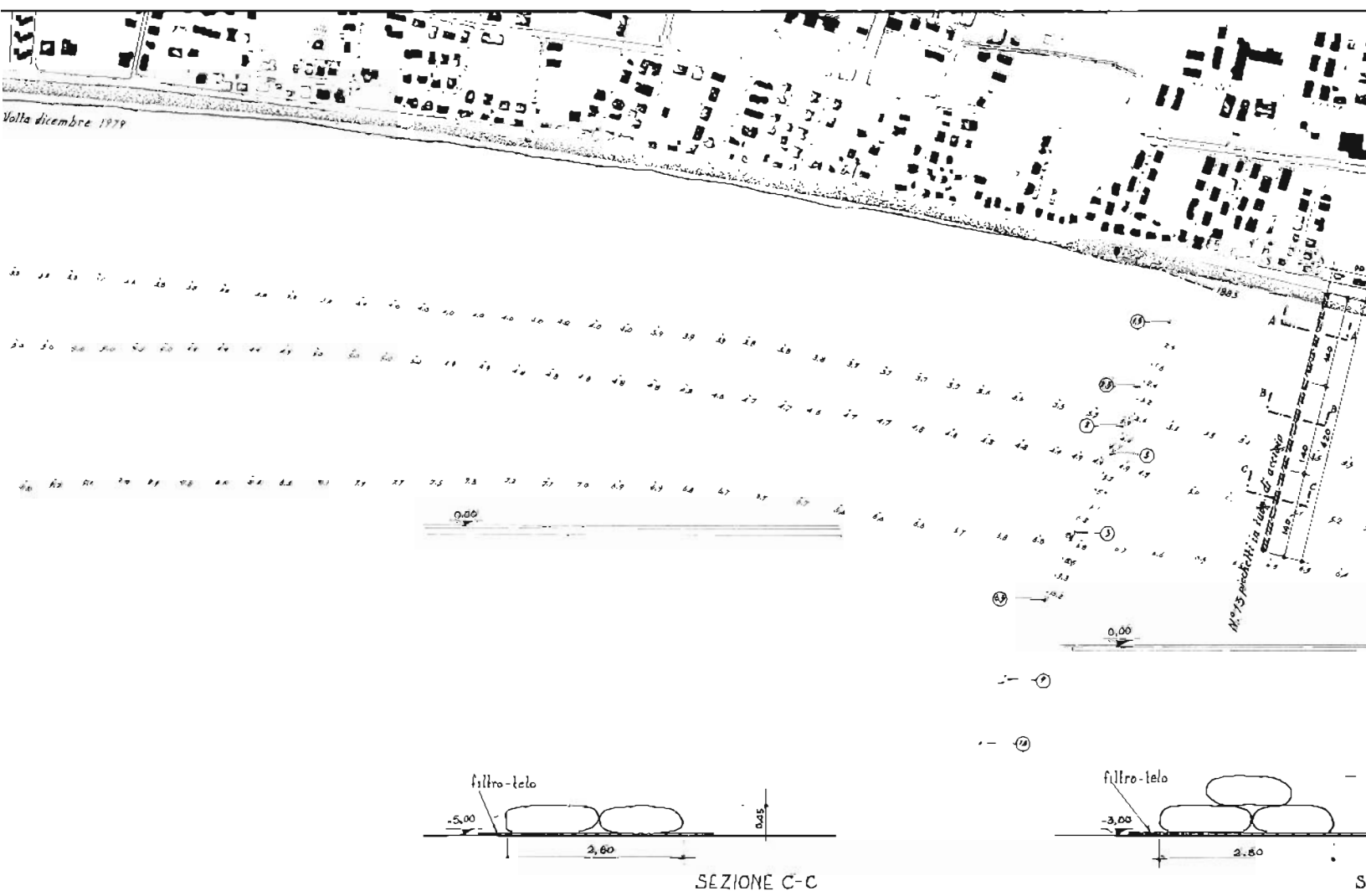
3.4 — Fondale Studio Volta settembre 1979 —

④ — Fondale I.I.M. 1883 —











segue dietro
sovrapporre





Le scale indicate sulle tavole sono relative al lavoro originale. Per esigenze di stampa le tavole sono state ridotte del 50 per cento; pertanto le scale risultano raddoppiate ($1/50.000 = 1/100.000$; $1/10.000 = 1/20.000$ ecc).

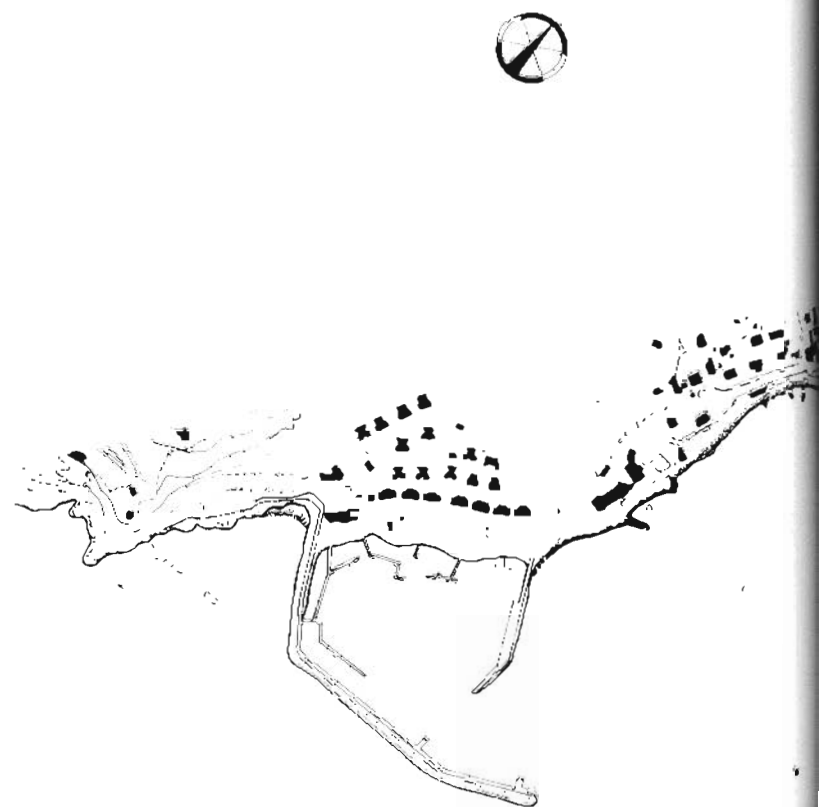
STUDIO GENERALE
DELLE SPIAGGE LAZIALI
E DELLE ISOLE PONTINE.

**"PROGETTO PILOTA N. 3"
INTERVENTO SPERIMENTALE
IN DIFESA DELLA SPIAGGIA
DEL COMUNE DI S. FELICE
CIRCEO**

PLANIMETRIA

SAVONA 18 marzo 1980

3/C - TAVOLA 7



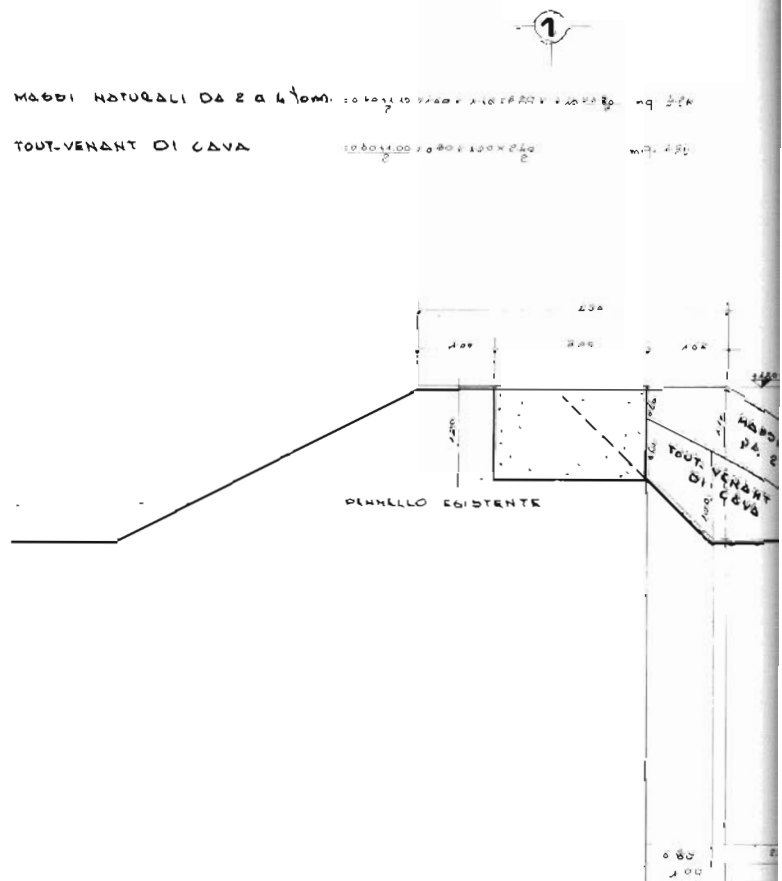
STUDIO GENERALE
DELLE SPIAGGE LAZIALI
E DELLE ISOLE PONTINE.

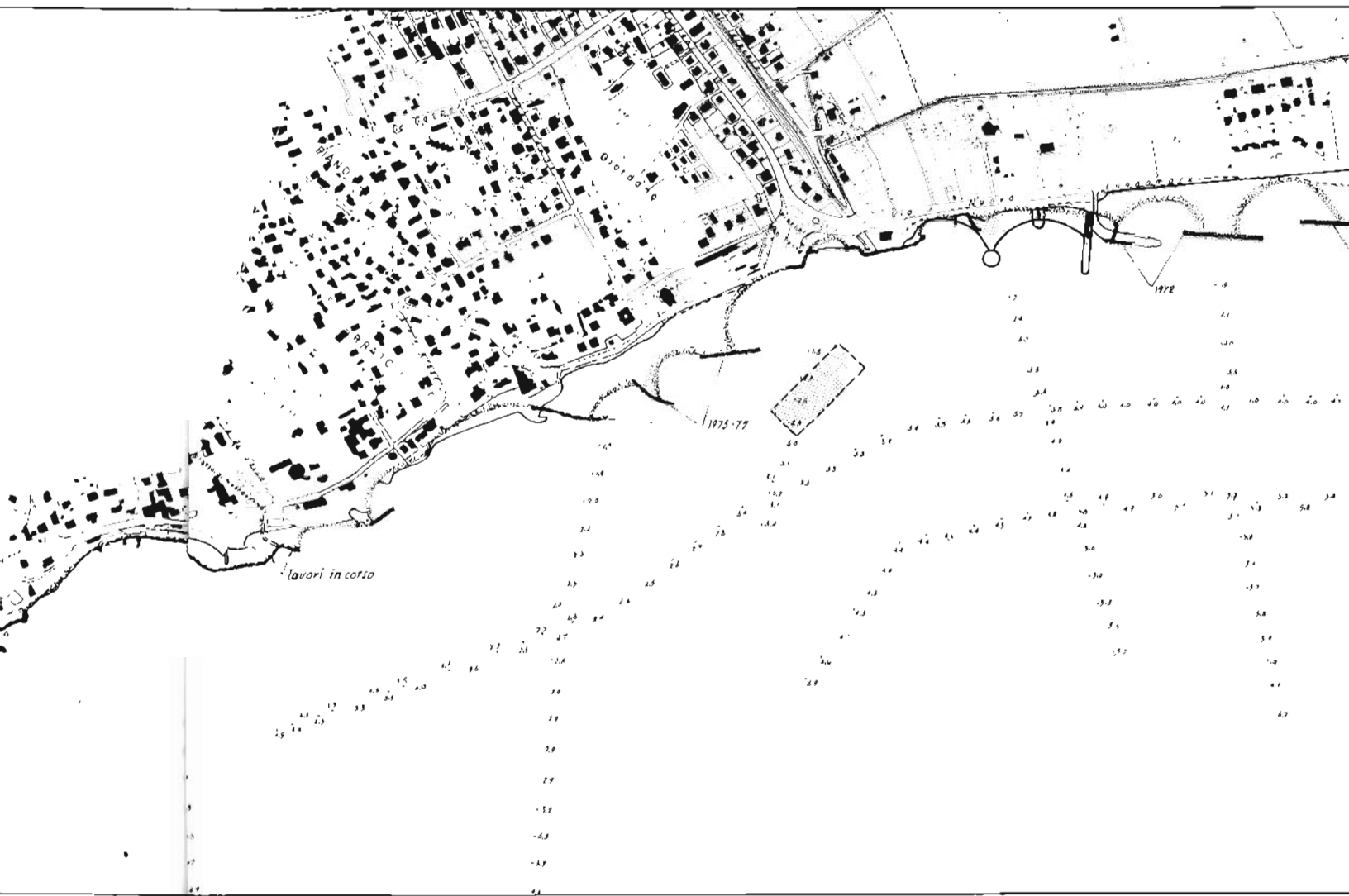
**"PROGETTO PILOTA N. 3"
INTERVENTO SPERIMENTALE
IN DIFESA DELLA SPIAGGIA
DEL COMUNE DI S. FELICE
CIRCEO**

SEZIONI DEL PENNELLO E DELLA PIATTAFORMA-ISOLA

SAYONA 18 MAR 1971

3/C - TAVOLA 8





- 2 -

penne

MASSI NATURALI DA 2 A 4 TONN. $(330 \times 170 + 170 \times 240 + 170 \times 180 + 100) \times 2$

= mq. 16.66

TOUT-VENANT DI CAVA

$(100 \times 100 + 100 \times 300 + 100 \times 300 + 100 \times 100 + 100 \times 100 + 100 \times 100) \times 2 = \text{mq. } 27.18$

