

PROGETTO DEFINITIVO MARINA DI MARSALA FUTURO PIANO REGOLATORE PORTUALE



Tav.

Stato Progetto **DEFINITIVO**

Rev.

Data **Aprile 2014**

Scala

Descrizione

Studio geologico - tecnico

AP

Committente

M.Y.R. Marsala Yachting Resort S.r.l.
Via Favara 452/c bis- T. +39 0923 722319

MyR
Marsala Yachting Resort

R.06

Capo Progetto e Marina Designer

Ing. Massimo Ombra

Ordine degli Ing. della Provincia di Trapani n°1046

Timbro e Firma



Progettisti

Coordinamento gruppo di progettazione:

Ing. Francesco Di Noto

Progettazione Architettonica:

Arch. Stefania Bacci

Progettazione Architettonica:

Itineralab Srl - Architetti Nuzzo

Ingegneria marittima / civile e studi ambientali:

Ing. Antonio D'Arrigo

Collaborazioni

Opere marittime:

Ing. Agostino La Rosa

Analisi strutturali e geotecniche:

Ing. Nicola Rustica

Impianti idrici:

Ing. Giovanni Berbiglia

Impianti elettrici e di illuminazione:

Ing. Pietro Inferrera / Ing. Massimo Brancatelli

Aspetti ambientali:

Ing. Domenico Mangano

Studi geologici e geotecnici:

Dott. Piero Merk Ricordi

Piero Merk Ricordi
Geologo

Regione Siciliana

Comune di Marsala

Marsala Yachting Resort



Provincia di Trapani

Aggiornamento e riorganizzazione dell'area portuale di Marsala

Studio geologico - tecnico

Progetto definitivo

Premessa e attività precedenti

Sulla base dell'incarico conferito dalla MYR srl Marsala Yachting Resort prot ORD0012011 del 06/06/2011 vengono di seguito esposti i risultati dello studio geologico a supporto del progetto definitivo per l'aggiornamento e riorganizzazione del comprensorio portuale di Marsala catalogato in 2° cat. 2° cl" nel repertorio dei Porti Italiani (vedi carta nautica 1:100.000).



Attuale impianto portuale di Marsala (TP)

La presente relazione costituisce il secondo livello di progettazione essendo stato valutato fattibile sulla base del progetto preliminare e di fattibilità in un'ottica di previsione del futuro assetto e sviluppo di tutta l'area portuale che, grazie alla sua ubicazione, anche in relazione ai vicini porti di Trapani e di Mazara del Vallo, presenta una notevole potenzialità turistica e da diporto.

In questa fase, il lavoro è consistito nella esecuzione di un piano di indagine geognostica idoneo a fornire tutti i dati necessari a dare risposte alle problematiche emerse nel corso del progetto di fattibilità, ed a fornire tutti i dati basilari onde consentire ai Progettisti di delineare l'assetto futuro del porto soprattutto alla luce delle eventuali modificazioni indotte dall'installazione delle attrezzature ed opere previste.

In previsione dell'esecuzione di un dragaggio e della realizzazione di una diga di sottoflutto, è stato eseguito un piano di caratterizzazione ambientale approvato dall'APAT secondo il protocollo ICRAM che ha anche consentito di delineare l'attuale stato di salute dell'area con le eventuali problematiche e di individuare tutte le emergenze su cui concentrare l'eventuale risanamento.

In relazione a tali attività vengono prodotti, oltre la presente relazione generale e di compendio, i dati relativi allo studio geotecnico, sismico, sedimentologico e geochimico ambientale che consentiranno poi in sede di progetto esecutivo, di avere a disposizione tutte quelle informazioni necessarie alla realizzazione delle opere previste.

Il comprensorio portuale di Marsala, realizzato come struttura di livello provinciale, ad oggi non presenta uno schema organizzato nonostante la struttura sia stata realizzata verso una direzione commerciale. Infatti, l'industria vinicola rappresenta oggi una forte realtà produttiva a livello nazionale.

Con lo sviluppo della nautica da diporto e le recenti realizzazioni di manifestazioni internazionali nella vicinissima Trapani, Marsala ha assunto una importanza strategica grazie anche alla sempre maggiore offerta a livello turistico che la zona fornisce agevolata anche dall'ampliamento e notevole sviluppo dei flussi del vicino aeroporto di Birgi.

Per tale motivo, grazie ad uno specchio acqueo di 365.000 metri quadri, uno sviluppo costiero di 3.547 metri ed una estensione a terra di 96.000 metri quadri, il porto è stato riconosciuto dal piano strategico per lo sviluppo della nautica e da diporto in Sicilia, come un punto di forza e nevralgico, del turismo nautico mediterraneo e, pertanto, indicato come porto hub.

L'attuale porto di Marsala nasce solo in tempi recenti in quanto, già dai tempi delle guerre puniche, gli approdi avvenivano nella laguna dello Stagnone, ed in epoca araba nell'area di Punta Alga fino al 1575 quando Carlo V ne dispose l'interramento per contrastare i Saraceni.

La realizzazione del primo impianto portuale su cui poi si è pervenuti allo stato attuale si deve a J. Woodhouse a partire dalla fine del settecento (1773), il quale, spinto dalla produzione vinicola locale non organizzata, la evolse verso un livello più industriale avviandone l'esportazione e realizzando quindi il "nuovo porto di Margitello", l'embrione dell'attuale impianto portuale esistente.

Dopo la realizzazione del molo Colombo e della attuale banchina curvilinea, cui è seguito un primo intervento di dragaggio negli anni '70 - '80, (vedi carta nautica 1:5.000) il porto ha assunto fin dal dopoguerra l'attuale configurazione con la costruzione della diga di sottoflutto attaccata alla terraferma lungo la strada provinciale prima e quella di sopraflutto, in tempi più recenti, attaccata al molo Colombo.

Con l'aumento del tonnellaggio e pescaggio delle barche, soprattutto dei pescherecci e con una maggiore frequenza nella presenza di navi, è stato realizzato l'ultimo intervento di dragaggio nel 2003 dalla COMAS sas eseguito dalla draga S. Giuliano con un disgregatore per fango (nella foto) che ha interessato buona parte del settore interno fino all'altezza della punta del molo Colombo. (vedi tav. 1 carta batimetrica del dragaggio eseguito nel 2003).



Disgregatore per fango della draga S. Giuliano - Dragaggio del 2003

Piero Merk Ricordi
Geologo

Questi lavori; oltre ad un rilevamento periodico del fondale, hanno comportato anche alcune analisi sedimentologiche e chimico - fisiche che hanno consentito una correlazione dello stato precedente con quello attuale come si vedrà nei §§ seguenti.

Attualmente nel comprensorio sono presenti tre cantieri navali due officine per riparazione dei motori e due scali di alaggio per imbarcazioni fino a 50 tonnellate.

Il rifornimento idrico come anche i rifornimenti dei carburanti sono possibili solo nelle ore diurne dalla condotta e dal deposito siti sia nel piazzale dei Mille che nella via dei Mille.

1. Inquadramento topografico e geomorfologia

Il porto di Marsala, prospiciente l'omonimo centro abitato, è ubicato sulla costa meridionale siciliana al centro del Mediterraneo in corrispondenza del Canale di Sicilia, braccio di mare largo circa 145 km con batimetrie fortemente variabili e talvolta esigue che consentono di definirlo come la soglia siculo tunisina che separa l'Europa dall'Africa (vedi tav. 2 carta batimetrica soglia siculo tunisina). Nell'inquadramento IGMI su scala 1:25.000, è ubicato alla tavoletta "Marsala" F° 256 II NE alle coordinate geografiche Lat. 37° 47' 24"N e Long. 12° 26' 10"E ed UTM 33S 274098 4185741 mentre nella CTAR scala 1:10.000 è ubicato nella tavoletta Marsala sud n° 617020 . (vedi tav. 3 carta CTAR).

Anche se l'impianto urbano di Marsala ha stravolto la morfologia del capo Boeo, il grado di urbanizzazione medio basso consente ancora di riconoscere i tratti più significativi della struttura sia geomorfologica che geologica dell'area circostante.

Geomorfologicamente il porto di Marsala è ubicato al margine nord occidentale dell'unità fisiografica (fig 2) compresa fra capo Boèo a nord e Punta Biscione a sud su una zona interessata da una delle piattaforme carbonatiche costiere che costituiscono le pianure quaternarie che circondano i complessi geologico – strutturali più antichi della Sicilia occidentale e che degradano verso il mare a SW con acclività medie variabili fra 1° e 4°.



Unità fisiografica di riferimento

La morfologia tavolare del settore di superficie è attribuibile alla presenza del sistema di terrazzi calcarenitici quaternari articolato in quattro cicli culminanti con quello più rappresentativo ubicato più a monte denominato da Ruggieri e Unti nel 1974 Grande Terrazzo Superiore (GTS).

Tale sistema geologico come anche verificato nei rilevamenti inseriti nel presente progetto e sulla base di alcune immersioni effettuate dallo scrivente su Capo Boéo e punta Biscione, prosegue anche sotto il livello del mare almeno entro la fascia litorale approssimativamente entro il limite della isobata -5 mt slm.

I rilevamenti eseguiti sia in superficie che a mare hanno consentito di riconoscere una sequenza di sette terrazzamenti quaternari che vanno dal più antico al più recente dal GTS di età tirreniana a quota 100 m slm ad un terrazzo sommerso - 3 m dal l.m. di età versiliana.

Ognuno di questi terrazzi presenta uno step morfologico di livello di riva rappresentato da un gradone, o da una piattaforma di abrasione o, nel caso attuale da una spiaggia, in modo tale da consentire l'individuazione delle variazioni della linea di riva nel corso del tempo ed in particolare del pleistocene superiore.

Per quanto riguarda la granulometria intrinseca della calcarenite, i granuli hanno dimensioni comprese fra il decimo di millimetro ed il millimetro con una tendenza verso la sezione millimetrica e comunque di tipologia arenitica.

Nell'unità fisiografica in esame, molto esposta come evincibile dal diagramma di distesa libera su base morfologica (vedi tav. 4 carta batimetrica), la costituzione meno erodibile ai margini indica chiaramente come fra le due tipologie di calcarenite, il GTS, affiorante in corrispondenza del margine settentrionale dell'unità, sia meno erodibile dell'altra tipologia, più tenera ed affiorante al centro della detta unità e più in generale verso mare.

In seno alla detta unità, la presenza del canale di Marsala o Sossio, con il suo edificio alluvionale conferisce al settore centrale della struttura una maggiore resistenza all'azione meccanica del moto ondoso.

Lungo tale unità e fino al canale di Marsala, il litorale si presenta generalmente roccioso ma, dopo il canale fino a torre Scibiliana, si instaura una ampia fascia di duna costiera con un litorale sabbioso dovuto probabilmente all'azione di accumulo ad opera delle correnti cui non è estraneo l'apporto di materiale eolico che rappresenta una componente degli accumuli di sedimenti sciolti. Da torre Scibiliana in poi, il litorale riprende la conformazione di costa rocciosa.

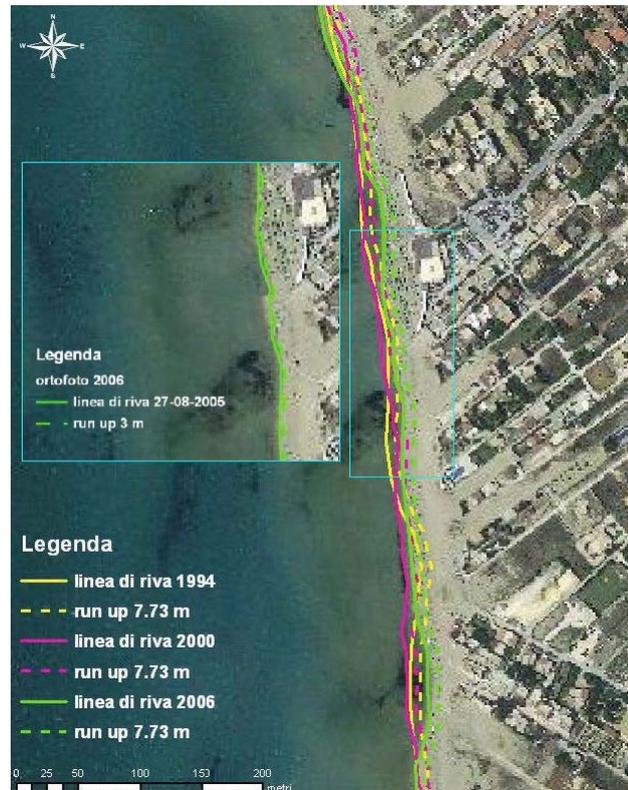
E' da osservare infine che da Trapani fino a Mazara del Vallo, la costa presenta ampie plaghe di depositi palustri per la cui costituzione e genesi si rimanda ai paragrafi seguenti, tipici di

zone lagunari. In particolare, il settore più settentrionale dell'area portuale è interessato da tali depositi che presentano una conformazione geomorfologica pianeggiante e ovunque entro la fascia litorale indicando così la loro genesi di zona lagunare costiera.

Infine, per ciò che riguarda la ricostruzione delle variazioni lineari e areali della linea di riva o di costa avvenute negli ultimi anni, non potendo rilevare tale dato nell'area portuale in quanto urbanizzato e quindi non rappresentativo, si è ricorso ai dati bibliografici disponibili.

In particolare un'analisi molto esauriente è contenuta su uno studio dell'influenza del clima ondoso e delle maree sulla posizione della linea di riva a lido Signorino a sud di Marsala a cura degli ingg. *G. Manno, C. Lo Re, G. Ciraolo, e A. Maltese*.

Con questa analisi gli autori hanno costruito un modello di analisi vettoriale su base informatizzata in ambito GIS basandosi su ortofoto riprese per un periodo compreso tra il 1994 e il 2006 riferite in sistema UTM-WGS84-33N e quindi perfettamente comparabile con il sistema utilizzato in questa sede; in particolare si tratta del volo Italia 1994 in scala di grigio e risoluzione spaziale nominale, R_s , pari a 1 m, Volo IT 2000 a colori e $R_s = 1$ m ed infine il volo IT 2006 a colori e $R_s = 0,5$ m. con margine di errore per ogni linea di costa entro i 5 metri.



Linee di riva degli anni 1994, 2000 e 2006 con i run-up relativi alla mareggiata ordinaria (7,73 m). L'ortofoto 2006 è stata ripresa da un volo aereo in data 27-08-2005 (in questa data il run-up è di 3 m)

Il confronto fra le ortofoto ha posto in evidenza le criticità legate alla natura stessa dei dati rilevati ovvero agli errori di graficismo, al georiferimento stesso, e ai valori di marea e di clima ondoso presenti al momento della ripresa aerea.

E' chiaramente visibile un arretramento seppur differenziato della linea di riva soprattutto fra il 2000 ed il 2006 anche se in alcuni punti si osserva una tendenza inversa derivante però, a parere della scrivente, a dinamiche deposizionali dovute a eventi locali.

In particolare, oltre alle variazioni della linea di riva è stato misurato il *run up* massimo sulla battigia pari a 7,73 m con una pendenza media della spiaggia pari a $\tan \beta_f = 0,0359$ avendo assunto $H_{orms} = 1,27$ m.

Una onda di tale altezza e con un *run up* quale quello calcolato è attribuibile generalmente ad onde con un periodo superiore a quello di onde generate da moto ondoso, quali onde di *marrobbio* cui la costa in studio è esposta.

Questo fenomeno si verifica generalmente nei mesi primaverili tra Aprile e Giugno, raramente anche in autunno.

Trattasi di una onda di marea anomala dovuta all'innalzamento del livello del mare e di ampiezza variabile da qualche decina di centimetri fino ad oltre un metro che interessa le coste della Sicilia meridionale .

Tale fenomeno della durata media di circa 30 minuti, è dovuto a squilibri di pressione preceduti da venti occidentali o di scirocco (SE) che alterano il livello del mare in presenza di atmosfera calma e cielo livido .

2. Caratteristiche ambientali dell'area

Per ciò che riguarda l'analisi eolica, si è fatto riferimento ai dati provenienti dalla stazione anemometria n° 429 di Trapani Birgi (lat 37° 91' long 12° 59') per il periodo 1962 – 2004.

Questi dati, sono stati raggruppati secondo intensità in relazione alle frequenze ed alle direzioni di provenienza su base totale del periodo di osservazione e su base statistica in relazione alle stagioni.

L'analisi delle intensità nel periodo totale considerato innanzitutto indica un ambiente con ventilazione moderata generalmente sotto i 30 km/h e una frequenza del 22% dei periodi di calma anche se sono possibili fenomeni di vento sopra i 90 km/h.

Con riferimento ai grafici di cui all'allegato 1, ed alla distribuzione delle frequenze in relazione alle intensità nell'arco dell'anno i venti dominanti sono quelli che spirano dal quadrante di NW con percentuali del 37.94% ed un valore massimo, relativo al vento da NNW, del 10.88% mentre i venti prevalenti spirano generalmente dal quadrante di SE con frequenze maggiori per i venti da SSE. Le calme costituiscono il 22.68% del totale di frequenza. I venti con velocità superiore 90 km/h sono piuttosto rari e con l' 1.1% del totale.

L'analisi stagionale evidenzia una corrispondenza con quanto osservato per tutto l'arco dell'anno.

Nel periodo invernale si osserva una lieve riduzione dei periodi di calma ed un altrettanto lieve incremento della frequenza dei venti da SE.

La maggiore frequenza in particolare viene rilevata per i venti da SSE, la cui percentuale è del 12.5%, seguito dai venti da WNW con una frequenza del 10.3%.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti dal quadrante da SE assumono il carattere di venti regnanti con intensità comprese fra 30 e 90 km/h.

nel periodo primaverile prevalgono decisamente i venti provenienti dal quadrante NW mentre si registra una diminuzione dei venti dal quadrante NE ed in subordine di SW rispetto alla media annuale.

La maggiore frequenza è attribuita ai venti da NNW, con una percentuale del 13.4%. In subordine spirano i venti da Nord con una frequenza del 10.87%.

La classificazione secondo intensità assegna le frequenze maggiori ai venti da SSE che assumono il carattere di vento dominante.

Il periodo estivo è caratterizzato da un incremento dei periodi di calma ma con una prevalenza dei venti provenienti dal quadrante di NW ed in subordine dal quadrante NE e infine dagli altri quadranti.

la maggiore frequenza è misurata sui venti da NNW, con percentuale del 14.12% seguita dai venti da NE con una frequenza del 12.56%.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti di intensità maggiore di 60 km/h sono rari

In venti da NW spirano con le maggiori intensità anche se moderate assumendo carattere di vento regnante.

Infine nel periodo autunnale si osserva un incremento dei venti dal quadrante SE con una diminuzione dei venti dal quadrante NW ed una lieve riduzione dal quadrante di SW.

La maggiore frequenza viene rilevata per il vento da SSE, con una percentuale del 14.5%. Seguito in subordine dai venti da ESE con una frequenza del 9.36%.

Per i venti di intensità maggiore si osserva che le frequenze maggiori sono rilevate da SSE ed in subordine da W, WNW e ESE. In questo periodo sono rilevate percentuali elevate di periodi di calma.

Il diagramma di distesa libera in correlazione alla dinamica eolica descritta (v. tav. 4 carta batimetrica) ha evidenziato l'esposizione ai venti meridionali occidentali di tutta l'unità fisiografica.

In particolare i settori più centrale e meridionale presentano un approfondimento che denota una dinamica marina più incidente da WSW e SW.

A tal proposito, l'incidenza eolica in relazione alla morfologia della costa e alla distesa libera indica come i venti dal quadrante SW e Levante (E), quest'ultimo non influente però sul sito, siano i più incidenti in termini di intensità anche se statisticamente i venti dal quadrante di NW sono più frequenti.

Dal punto di vista dinamico marino (tav. 5), il settore occidentale della Sicilia rappresenta un punto di incontro fra correnti al centro del Mediterraneo con le Isole Egadi, ubicate in una posizione di incrocio fra correnti, ed il settore di Marsala sito in una posizione di passaggio. Tale circostanza, unitamente alla conformazione delle terre emerse rende l'area piuttosto complessa.

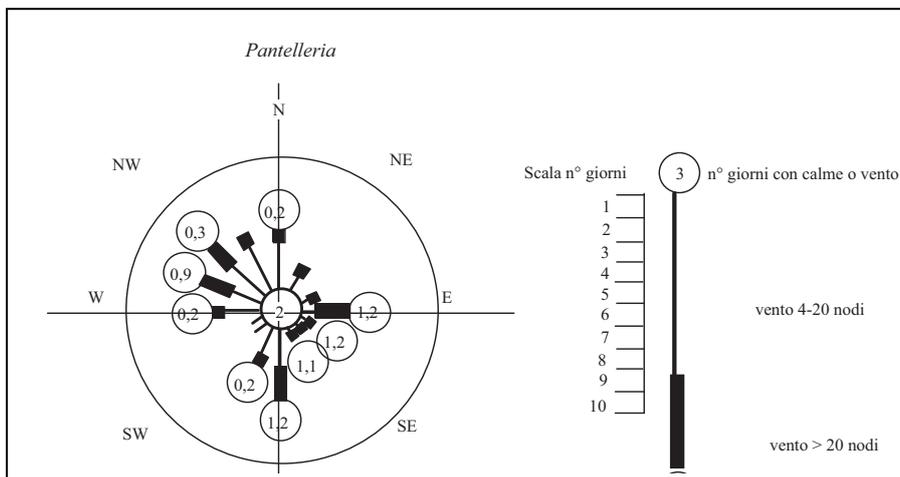
Il flusso di corrente che maggiormente influenza la dinamica marina della soglia siculo-tunisina è quella proveniente dalla soglia di Gibilterra. E' una corrente di compensazione che entra superficialmente ed esce in profondità in dipendenza dal grado di salinità e quindi di densità. La corrente fluisce in superficie dal bacino meno denso, l'oceano atlantico a quello più denso, il Mediterraneo, e viceversa in profondità.

Questa corrente si inoltra nella soglia siculo - tunisina verso il settore orientale e, accelerando per effetto Venturi, costeggia la costa meridionale della Sicilia scontrandosi, nell'area delle isole Egadi, con una corrente più debole e più calda corrente di deriva tirrenica proveniente dalle coste occidentali italiane in direzione est - ovest.

Nei casi in cui la dinamica eolica lo consente, generalmente nei periodi freddi, questa corrente si appressa maggiormente verso la Sicilia provocando una flessione verso terra della corrente tirrenica favorita dallo sbarramento costituito da Capo S. Vito. Qui, nel Golfo di Castellammare, la corrente tirrenica viene deviata verso l'entroterra per poi uscire verso est. Nei periodi caldi, invece, la dinamica eolica porta la corrente atlantica ad allargarsi verso nord consentendo alla corrente tirrenica di superare verso ovest Capo S. Vito giungendo nell'area delle isole Egadi e lambendo anche la costa siciliana.

L'incontro fra le due correnti, all'altezza delle isole Egadi, provoca la flessione della più debole verso la costa meridionale della Sicilia per cui le due si uniscono correndo in direzione ovest - est in dipendenza del regime eolico presente in quel momento per cui la corrente più fredda atlantica può avvicinarsi o meno verso la costa.

A tale dinamica deve correlarsi la corrente di marea che si propaga in senso antiorario attorno al punto anfidromico posto presso Pantelleria di cui si riporta nella figura sottostante per completezza il regime eolico.



Sintesi della dinamica eolica dell'area

Questa, nell'area delle Egadi spinge le masse d'acqua verso la zona di Mazara - Marsala con un ritardo di circa 7 - 9 ore rispetto al punto di partenza che si trova in prossimità di Djerba in Tunisia.

In merito alle oscillazioni di marea sulla zona del porto si è fatto riferimento sia ai dati registrati *in situ* che quelli calcolati mediante opportuno software con correzione di pressione e confrontati con quelli rilevati presso la stazione della Rete Mareografica Nazionale dell'ISPRA di Porto Empedocle.

Piero Merk Ricordi
Geologo

Le fluttuazioni massime rilevate nel periodo di osservazione (vedi grafico in allegato 1) risultano dell'ordine di m 0,40.

3. Tettonica, geologia e stratigrafia

Lo schema strutturale della Sicilia occidentale, (tav. 6) quasi interamente occupato dalla provincia trapanese, è costituito da terreni a costituzione prevalentemente calcarea, calcareo-dolomitica e calcareo -marnosa riferibili ad un periodo compreso tra il Trias superiore e l'Olocene.

Nel settore centro-settentrionale, che culmina a nord con le formazioni che danno forma al Capo S. Vito, si osserva un sistema a falde costituito da argille, marne ed arenarie, con inclusi elementi litoidi poligenetici riferibili ad un periodo compreso fra il Cretaceo ed il Miocene.

Nel settore compreso fra la zona di Trapani e nell'area meridionale sono presenti le formazioni post-tortoniane tipicamente evaporitiche che poi continuano nella limitrofa provincia agrigentina.

In ricoprimento sulle formazioni più antiche e che fanno da cerniera con i settori costieri e sottomarini sono presenti le formazioni quaternarie di piattaforma.

L'assetto tettonico dell'area è piuttosto semplice ed è il risultato finale di una evoluzione di un sistema di avanfossa che indica chiaramente la genesi dei sedimenti di tipo molassico presenti nell'area e mostra una sovrapposizione di unità tettoniche verso sud e sud-ovest delle Unità Carbonatiche Panormidi su quelle Trapanesi.

In ricoprimento, come detto, vi sono le litologie rigide dei sedimenti di piattaforma quaternaria su cui insiste il sito in studio.

Le successioni litostratigrafiche principali che concorrono allo schema descritto appartengono ai Domini Panormide e Trapanese.

Le successioni riconducibili al dominio Panormide riconoscibili in affioramento lungo l'asse di capo S. Vito sono rappresentate dal basso verso l'alto da dolareniti e doleruditi da bianche a giallastre talvolta vacuolari e farinose per fenomeni di alterazione con rare intercalazioni di calciruditi e calcareniti con resti di alghe e foraminiferi; sono riferibili al Trias superiore e lo spessore stimato è di 200 m.

Seguono le dolomie stromatolitiche e loferitiche ad intraclasti e bioclasti, calcareniti con uno spessore variabile da 300 ai 500 m di età compresa tra il Trias superiore ed il Lias.

Quindi si rinvengono calcari nodulari ad *Ammoniti*, calcareniti a *Crinoidi* passanti lateralmente e verticalmente a calcilutiti rossastre silicizzate ed argilliti silicee; sono riferibili al Dogger - Malm e lo spessore è compreso tra 5 e 40 m.

Al top della formazione si rinvengono calciruditi e breccie ad *Ellipsactinie* e calcilutiti a *Calpionelle* con spessore variabile dai 200 ai 300 m riferibili al Cretaceo inferiore - Titonico.

Seguono le marne biancastre, calcilutiti marnose a liste e noduli di selce con ricca fauna a Bellemniti, Ammoniti ed Aptici del Cretaceo medio e di spessore sino a 40 m.

In successione si rinvengono calcilutiti e calcareniti a peloidi ed intraclasti, biolititi algali, calcareniti oolitiche con intercalazioni di livelli di lave pillow lava a composizione basaltica con spessori tra 150 e 300 m di età Cretaceo medio-superiore.

In continuità si rinviene la formazione della "Scaglia auctona" rappresentata da calcilutiti marnose e marne a foraminiferi planctonici con spessori variabili tra 100 e 200 m ed età compresa tra il Cretaceo superiore e l'Eocene.

Seguono le biocalcareni e biocalciruditi a luoghi glauconitiche a macroforaminiferi con spessore tra i 5 ed i 30 m del Miocene inferiore-medio.

La sequenza stratigrafica si chiude con un'alternanza di peliti predominanti e sabbie quarzose in strati decimetrici con microfauna a foraminiferi planctonici di spessore compreso tra 15 -200 m ed età Langhiano - Tortoniano medio.

Le formazioni appartenenti al Dominio Trapanese raggiungono il loro assetto attuale nel Miocene e provengono dai domini paleogeografici dei settori più settentrionali.

sono osservabili nel settore compreso fra Monte Inici, Monte Bonifato – Contrada Calatubo e Ramalloro.

La Formazione Fanusi è costituita dalle dolomie stromatolitiche, loferitiche, calcareniti oolitiche, breccie loferitiche di spessore variabile dai 50 ai 400 m ed età riferibile al Trias superiore - Lias.

In sequenza insistono i calcari nodulari ad *Ammonites*, calcareniti a Crinoidi e calcilutiti a Brachiopodi del Lias superiore - Malm di spessore variabile tra i 10 ed i 40 m.

Seguono i calcari a "lattimusa" costituita da calcilutiti e calcisiltiti bianche con liste e noduli di selce, Radiolari e Calpionelle con spessore variabile tra 10 e 140 m riferibili al Titonico - Cretaceo inferiore.

Seguono le marne, marne argillose e calcilutiti marnose di spessore compreso tra 20 e 40 m, ed età medio Cretacea.

Segue la "Scaglia auctona" costituita da calcilutiti, calcisiltiti marnose e marne a Radiolari e Foraminiferi di spessore compreso tra 20 e 180 m e l'età Cretaceo superiore - Eocene.

In posizione stratigraficamente superiore si osservano biocalcareni, biocalciruditi marnose a macroforaminiferi con spessore variabile da 10 a 70 m di età compresa tra l'Eocene superiore e l'Oligocene cui seguono i terreni della Formazione delle "Marne di San Cipirello" rappresentata da

argille e marne sabbiose a Foraminiferi planctonici di spessore compreso tra 50 e 150 m e di età Serravalliano-Tortoniano medio.

I depositi neogenici interessano essenzialmente il settore settentrionale e centrale della Sicilia occidentale e sono rappresentati dai terreni della Formazione Cozzo Terravecchia costituiti da peliti, sabbie e conglomerati, da calcari e calcareniti organogene con intercalazione di argille grigie fossilifere della Formazione calcareo - arenacea di Baucina del Messiniano inferiore; da biolititi a coralli di età Messiniano; dai gessi macrocristallini, gessareniti ed argille gessose databili Messiniano; dai calcari a "congerie" del Messiniano superiore; dai calcari marnosi e marne a Globigerine conosciute come "Trubi" del Pliocene inferiore ed infine dai depositi terrigeni pelitico - arenacei e calcarenitici appartenenti alla Formazione Marnoso Arenacea della Valle del Belice del Pliocene medio - superiore.

Fra i terreni tardorogeni si annoverano i depositi di genesi marina del Pleistocene inferiore rappresentati da biocalcareni e biocalciruditi con granuli quarzosi, e intercalazioni di argille siltose presenti diffusamente lungo la costa settentrionale e, soprattutto, meridionale della provincia e specificatamente sul sito in studio, passanti superiormente a marne siltose e sabbie quarzose del Pleistocene medio.

Lungo la fascia costiera nel settore meridionale si possono osservare estesi depositi di sedimenti di mare basso e di piattaforma con le calcareniti giallastre, a vario grado di cementazione con lenti sabbiose e argillose dell'Emiliano superiore – Siciliano conosciute come "Calcareniti di Marsala".

Gli affioramenti calcarenitici terrazzati del Pleistocene medio appartenenti al "Grande Terrazzo Superiore" (G.T.S.) del Tirreniano, come già esposto al paragrafo precedente, sono da mettere in relazione con le oscillazioni eustatiche e con i movimenti tettonici.

Infine, in quasi tutto il settore costiero si osserva la presenza, di affioramenti più o meno estesi, di depositi di genesi continentale costituiti da conglomerati fluviali, depositi palustri, sabbie quarzose eoliche, paleosuoli, alluvioni antiche terrazzate e non e recenti, depositi di spiaggia e detriti di falda. In tav. 7 è esposto lo stralcio geologico dell'area su grande scala.

Specificatamente dal punto di vista geologico il litotipo più esteso su cui ricade il comprensorio portuale può essere considerato appartenente alla formazione della "Calcarenite di Marsala" s.l. costituita essenzialmente da una sequenza di unità cicliche sedimentarie di età quaternaria in trasgressione sulla formazione marnoso - arenacea ("trubi") della valle del Belice affiorante più a nord est ma comunque fuori dal nostro contesto.

Possono essere individuate in tale contesto quattro diverse unità costituenti dei cicli sedimentari caratterizzate da successioni con caratteri di piattaforma carbonatica arenacea a giacitura sub orizzontale e stratificazione incrociata datati dall'Emiliano - Siciliano fino al tirreniano. Lo spessore totale di tutto il complesso è valutabile fra i 30 m e i 70 m.

E' da segnalare inoltre, come già descritto, la presenza di sedimenti palustri costituiti da limi neri e argille scure a contenuto sabbioso generati dalla evoluzione di ambienti lagunari, localizzati nel settore più settentrionale della darsena portuale e che, come da piani di indagine eseguiti in precedenza, interessano un settore specifico dell'area in studio compreso fra la radice del molo Colombo, la via colonnello Maltese ed il lungomare Mediterraneo.

Alla luce dei risultati emersi dall'esecuzione del Piano di indagine, il dragaggio eseguito nel 2003, è stato condotto on seno alla formazione dei sedimenti limo sabbiosi di colore scuro costituenti i limi palustri.

In tav. 7 é riportato uno stralcio geologico che visualizza tutti i tipi di terreno affioranti nell'area mentre in tav. 8 è esposta la carta geologica di dettaglio dell'area portuale.

Stratigraficamente dal basso verso l'alto la formazione calcarenitica quaternaria è costituita, nei settori interni, da terre rosse coperturali di genesi continentale ed a carattere argilloso di spessore massimo di un metro poggianti sulle calcareniti tenere giallastre, colore tipico di alterazione, con orizzonti lenticolari sabbioso - argillosi attribuibili all'Emiliano – Siciliano.

Tale componente di terre rosse è raramente presente nei settori costieri e mai negli affioramenti subacquei.

A quote topografiche inferiori fino al livello del mare come anche sul fondale si rinviene l'ultimo e più basso ciclo sedimentario calcarenitico con superfici riconducibili a due principali ordini di terrazzamento marino costituiti da calcareniti di colore variabile dal giallo a terra di Siena e spessori decimetrici di età tirreniana.

Al di sopra si rinviene il Grande Terrazzo superiore (GTS) s.s. costituito da calcareniti organizzate in depositi terrazzati di spessori relativamente esigui che verso l'alto si evolvono a conglomerati poligenici anch'essi di scarsa potenza.

Fra le quote 50 m slm e 100 m slm infine si rinviene un altro ciclo calcarenitico molto esteso anche se non potente di calcareniti giallastre a vario grado di cementazione di età pre - tirreniana.

Infine, in merito alla stratigrafia del sito il rilevamento di sedimenti sciolti e la circostanza che gli spessori di questa tipologia di calcarenite sono piuttosto ridotti, inducono ad ipotizzare la

presenza di terreni derivanti dai depositi di terrazzamenti alluvionali e/o palustri più o meno sabbiosi presenti lungo tutta la costa interessata dal corpo carbonatico calcarenitico.

Tale deduzione scaturisce anche dalla notevole distanza in cui affiorano a monte i depositi terrigeni pelitico arenacei e arenacei del pliocene superiore che rende poco probabile la loro presenza così vicino al mare in questa zona.

Le calcareniti biancastre presentano una granulometria omogenea, e sono costituite da un'alta percentuale di materiale organogeno carbonatico immerso in una matrice anch'essa carbonatica.

La stratificazione, in alcune zone è rappresentata sia da strati di spessore centimetrico sia da un'alternanza di strati cementati e sabbie sciolte ambedue di spessore variabile.

Una analisi microscopica mette in evidenza il carattere detritico organogeno litologicamente molto variabile degli elementi che compongono il sedimento.

In quest'area, le calcareniti presentano caratteristiche peculiari differenti da quelle insistenti in altre aree costiere siciliane.

La granulometria risulta piuttosto uniforme e costituita da tritume organogeno di genesi carbonatica immerso in una matrice carbonatica di genesi secondaria.

La giacitura degli strati in linea di massima è suborizzontale, tranne che in alcune zone del GTS (vedi §§ precedenti) dove questi hanno una inclinazione di 20° al massimo.

Talvolta, soprattutto nella zona nord dell'abitato, alternate a queste calcareniti, si rinvengono lenti argillo-sabbiose e argillo-siltose dei terrazzi alluvionali e depositi palustri.

Il grado di cementazione è variabile, generalmente la roccia si presenta formata da nuclei e blocchi di varia grandezza immersi in sabbie a diverso grado di cementazione molto variabile spazialmente.

In età post - pleistocenica inferiore si individuano due cicli successivi di sedimentazione marina, con depositi calcarenitici organogeni grossolani riscontrabili soprattutto nelle aree costiere con spessori limitati entro 10 mt.

Dal punto di vista petrografico i dati analitici indicano che i campioni attribuibili al GTS rientrano nel gruppo delle *Grainstone* a composizione eterogranulare e polidimensionale di colore variabile dal bruno al rosso giallastro a causa dello stato di ossidazione di Ferro e Manganese presente in tale tipologia di calcarenite.

I granuli sono organizzati in contatto fra loro e gli interspazi sono riempiti da cemento calcitico di formazione secondaria che ne riduce la porosità primaria.

I componenti sono di origine bioclastica ed in subordine da intraclasti per lo più micritici e granuli di quarzo di dimensioni micrometriche ($\approx 100 \mu$) a basso grado di usura.

Il campioni provenienti dall'area portuale invece dovrebbero rientrare nel gruppo delle *Packestone* anch'esse a composizione eterogranulare e polidimensionale di colore variabile dal giallo al rosso a causa dello stato di ossidazione del Ferro e Manganese ma con spazi intergranulari riempiti di matrice micritica che in alcuni casi è stata allontanata da fenomeni di dissoluzione secondaria e/o ricristallizzazione che hanno comportato la formazione di pori riempiti in tutto o in parte da cemento calcitico e che conferiscono alla roccia un carattere apparentemente più vicino alla tipologia precedente delle *Grainstone*. Per tale motivo la porosità residuale è molto bassa.

La differenziazione è evidente all'analisi microscopica dei granuli di quarzo che si presentano sia mono - che poli-cristallini con dimensioni superiori ai 100μ fino a 168μ .

4. Idrogeologia.

La zona appartiene al comparto idrografico di Palermo - versante meridionale - bacino di Marsala - Mazara del Vallo limitata ad est dalla Fiumara di Mazarò, che è la più rilevante nell'area e a nord dalla Fiumara di Marsala (Sossio) (Tav. 9).

La caratteristica idrologica più rilevante è costituita, escludendo le incisioni torrentizie della Fiumara di Mazarò e della Fiumara di Marsala o Sossio, dalla assenza generalizzata di idrografia superficiale a causa dell'alta permeabilità dei litotipi presenti nella pianura calcarenitica di Marsala.

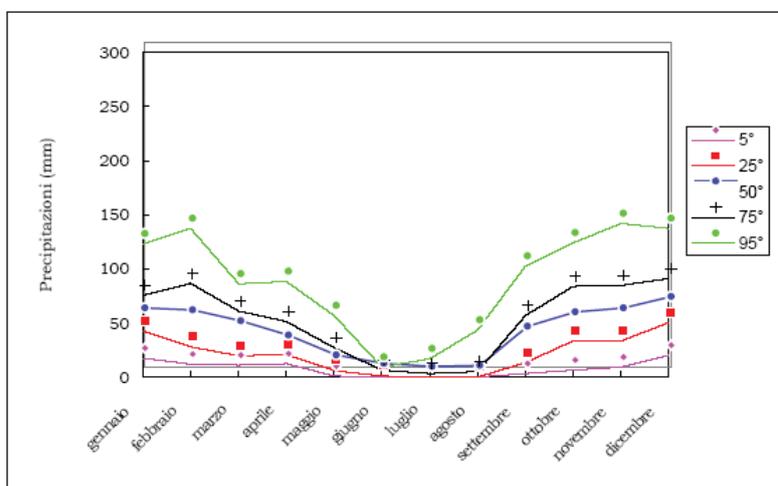
In alcuni settori della fascia costiera sono presenti zone umide, dette "margi", dovute all'affioramento della superficie piezometrica.

La fiumara Mazarò, il cui bacino si estende per 125,5 kmq trae origine dal M.te Polizzo in comune di Salemi con un'asta totale di 32 km.

Il corso d'acqua ha solo un affluente, il torrente Bucari, in sinistra idrografica dell'asta principale.

Il bacino imbrifero, compreso fra il bacino del Fiume Delia, del Fiume Birgi e del Fiume Freddo a nord, si estende fra un'altitudine minima 0,00 m slm ed una massima di 713 m slm con una altitudine media di bacino calcolata pari a 176 m slm.

Per ciò che riguarda il regime pluviometrico e l'infiltrazione meteorica, (vedi allegato 1) sono stati utilizzati i dati della capannina meteorologica di Marsala, gestita dal Servizio Tecnico Idrografico della Regione Siciliana, che è quella che ha fornito i dati più rappresentativi per illustrare il regime climatico della Piana di Marsala-Mazara del Vallo. Grazie a questa stazione, è stato possibile trattare statisticamente una serie completa di dati trentennali che hanno consentito di delineare le caratteristiche climatiche dell'area.

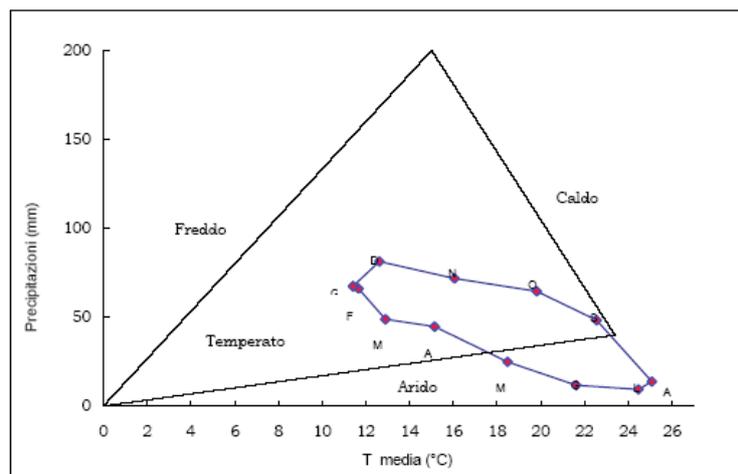


Andamento delle precipitazioni meteoriche per la stazione di Marsala

Il climogramma di Peguy riassume sinteticamente le condizioni climatiche dell'area Marsalese. Sono costruiti a partire dai dati medi mensili di temperatura media e precipitazioni cumulate. Sulle ascisse è riportata la scala delle temperature (°C), mentre sulle ordinate quella delle precipitazioni (mm). Unendo i punti relativi a ciascun mese, si ottiene un'area, la cui forma e dimensione rappresentano bene le caratteristiche climatiche di ciascuna stazione. Sul climogramma è anche riportata un'area triangolare di riferimento che, secondo Peguy, distingue una situazione di clima temperato (all'interno dell'area stessa), freddo, arido, caldo (all'esterno del triangolo, ad iniziare dalla parte in alto a sinistra del grafico, in senso antiorario). Il triangolo è costruito sulla base delle seguenti coordinate dei vertici: (0°C, 0 mm); (23,4°C, 40 mm); (15°C, 200 mm). La posizione dell'area poligonale, rispetto a quella triangolare di riferimento fornisce una rappresentazione immediata delle condizioni climatiche della stazione.

Marsala m 12 s.l.m.

<i>mese</i>	<i>T max</i>	<i>T min</i>	<i>T med</i>	<i>P</i>
gennaio	15,0	7,7	11,3	61
febbraio	15,3	7,9	11,6	60
marzo	16,8	8,9	12,8	43
aprile	19,1	11,0	15,1	39
maggio	22,9	13,9	18,4	19
giugno	26,3	16,8	21,6	6
luglio	29,3	19,5	24,4	3
agosto	29,9	20,1	25,0	8
settembre	26,7	18,2	22,5	42
ottobre	24,0	15,5	19,7	58
novembre	19,9	12,0	16,0	66
dicembre	16,2	8,8	12,5	75



Andamento delle temperature e climogramma per la stazione di Marsala

Dall'esame del climogramma riferito alla stazione di Marsala si osserva che il clima è temperato fra settembre e aprile, e che il clima è arido da aprile a settembre.

La precipitazione media annua per la serie temporale 1965-1994 è pari a circa 480 mm/a.

La ripartizione dell'uso delle superfici vede un utilizzo del 57% per seminativo, 26 % di colture arboree e 16 % di prato e pascolo.

Per ciò che riguarda l'aspetto idrogeologico, data la sua costituzione geologica, il complesso normalmente è sede di acquiferi talora estesi soprattutto in corrispondenza delle porzioni a carattere maggiormente arenitico presentando una permeabilità per porosità generalmente nelle porzioni sciolte o alterate, e per fessurazione, nelle porzioni più compatte e/o lapidee, di medio grado.

L'acquifero presenta anche falde sovrapposte ed è caratterizzato dalla presenza di diversi livelli idrici comunicanti.

Infatti i dati e le ricostruzioni e correlazioni delle stratigrafie di pozzi rilevati nella zona più a ridosso della costa indicano che, tanto la Calcarenite di Marsala quanto i depositi terrazzati tirreniani, presentano intercalazioni di orizzonti calcarenitici a differenti permeabilità e livelli argilloso-siltosi poco o scarsamente permeabili che sono responsabili della presenza dei diversi livelli idrici.

Da studi condotti dallo scrivente in altre occasioni e secondo alcuni dati bibliografici è possibile distinguere due falde idriche principali:

- una profonda in seno alla Calcarenite di Marsala parzialmente confinata da livelli discontinui poco permeabili.
- una più superficiale e libera, in seno ai depositi terrazzati tirreniani, alimentata dalle precipitazioni efficaci e in condizioni idrodinamiche di interscambio idrico con la falda profonda in funzione delle rispettive altezze piezometriche.

Nel caso in studio infine, bisogna prendere in considerazione i rapporti fra l'acquifero costiero ed il mare.

Nei casi di contatto con le acque del mare, si assiste al fenomeno dell'intrusione dell'acqua marina in seno al corpo serbatoio.

La superficie di separazione tra i due liquidi, di diversa densità, detta "interfaccia", è in effetti una zona di miscelazione fra acqua dolce e acqua marina.

L'acqua dolce meno densa galleggia sul l'acqua marina più densa a causa del suo contenuto in sali, con una superficie di interfaccia concava verso l'alto e spesso delimitata inferiormente dall'acquifero.

Il fattore che condiziona la morfologia di questa superficie è rappresentato dal volume di acqua dolce che l'acquifero scarica in mare; maggiore è tale apporto, minore è l'avanzamento delle acque marine verso l'entroterra anche per ragioni di pressione.

I rapporti tra acqua dolce ed acqua marina rappresentano, quindi, un equilibrio naturale che può essere facilmente alterato nel caso di diminuzione delle acque di infiltrazione o di sovrasfruttamento della falda idrica nelle aree a monte.

Nel presente caso, a causa dell'elevato sfruttamento delle risorse il volume idrico di afflusso verso la linea di costa è ridotto, con la conseguente progressione verso l'entroterra delle acque del mare e quindi si ha intrusione o ingressione marina e conseguente e progressiva salinizzazione della falda.

Quindi si deduce che, la causa principale dell'insalinamento per intrusione marina è da attribuire allo sfruttamento delle acque sotterranee ed in particolare al fatto che i prelievi superano la ricarica idrica annuale.

L'ingressione marina, viene evidenziata dagli elevati valori di conducibilità e di concentrazione di cloruri delle acque di alcuni pozzi costieri e dalla bassissima resistività dei terreni nel sottosuolo soprattutto della zona più prossima alla linea di costa.

Per ciò che riguarda le caratteristiche ideologiche dei litotipi, la porosità primaria si mantiene generalmente medio - alta cui corrisponde una porosità secondaria bassa in seno alle panchine calcarenitiche.

In relazione a tali caratteristiche il bacino presenta un pattern di drenaggio tipicamente convergente a monte, in accordo con le litologie impermeabili insistenti, mentre, verso valle, tende a diventare leggermente meandriforme inserendo il suo corso d'acqua su linee di debolezza meccanica o tettonica in accordo con il litotipo in cui scorre.

In merito ai parametri idrodinamici, si possono assegnare al litotipo calcarenitico di questa zona i seguenti valori medi rimandando all'allegato 3 per i dettagli :

	Minimo	Medio	Massimo
Tramissività (T):	$1,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	$1,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	$7,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
Permeabilità (K) :	$2,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$	$9,0 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	$1,4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

Va precisato che per tramissività si intende la conducibilità idraulica in funzione della falda, mentre per permeabilità si intende la conducibilità idraulica.

5. Caratteristiche geomorfologiche del fondale del porto di Marsala

Sulla base dei rilevamenti e del piano di indagine eseguito ed esposto al paragrafo seguente, è stato possibile delineare l'assetto geomorfologico e geologico del fondale e della costa ricostruendo così la cronologia degli eventi che hanno condotto all'attuale assetto.

Dal punto di vista geomorfologico, (tav. 4) il fondale si può dividere in tre settori: quello più interno fino all'imboccatura sul lato del molo Colombo che risente del dragaggio eseguito nel 2003 un secondo settore fra l'attuale molo di sottoflutto e la strada litoranea ed un terzo settore, fuori l'imboccatura e a ridosso della diga di sopraflutto che ancora conserva il canale di navigabilità pressochè tale a quello dragato nel 1987.

In effetti, il dragaggio del 2003, modificando la batimetria del fondale del settore interno, rende non immediatamente palesi tutte quelle indicazioni che consentono di ricostruire la dinamica di deposizione e trasporto interno.

Dall'analisi delle stratigrafie sui fori di carotaggio per le quali si rimanda al paragrafo seguente, tutta l'area presenta un assetto in accordo con la struttura geologica, presentando una geomorfologia degradante verso SW ma con una batimetria piuttosto irregolare a causa del deposito di ricoprimento con aree in cui le isobate, partendo dalla zona dei cantieri a nord con una profondità media intorno a -2,00 m slm – 3,00 m slm, e procedendo verso sud scendono intorno al -4,00 m – 6,00 m sul slm, ma con alcune zone localizzate in cui la profondità si riduce fino anche a -2,40 m slm che, in occasione della bassa marea, può arrivare anche a -1,90 m slm.

Nel settore che corre lungo la strada litoranea, la batimetria risente della vicinanza della costa e dell'urbanizzazione per cui si osserva una riduzione progressiva delle isobate con brusca risalita in prossimità del rilevato e della massicciata stradale. In questo settore le isobate raramente scendono oltre 3,50 m slm.

L'imboccatura, in corrispondenza del molo Colombo, presenta invece una batimetria più regolare, con un canale di navigabilità stabile intorno a – 6,50 m slm degradante verso fuori a oltre -7,00 m slm.

Motivo di rilievo è il fosso a -7,50 m slm alla base interna del riccio del molo Colombo. Qui probabilmente la correntometria provoca un processo di escavo.

Il settore più esterno infine è caratterizzato da un deposito di sedimenti sia a ridosso del molo di sottoflutto che del molo di sopraflutto con un canale di navigabilità che, come detto, è stato formato in seguito ad un dragaggio eseguito nel 1987.

Tale circostanza è evidente alla luce del ridosso del molo di sopraflutto dove le isobate risalendo da -6,50 m slm a circa -3,50 m slm, formano un riempimento con un gradone ad inclinazione del 7% non naturale che indica l'intervento di escavo del canale di navigabilità del porto attuato in tempi antecedenti e che ha interessato anche l'interno a ridosso del molo di sottoflutto ad est, mentre all'esterno del molo di sottoflutto tale inclinazione è più graduale e, probabilmente dovuta alla formazione calcarenitica che i dati di indagine indicano affiorante e ricoperta di uno spessore sottile di sedimenti fini recenti fino alla strada.

Nel riempimento a ridosso della diga di sopraflutto è da notare la presenza di due incisioni sul fondale. Il primo, più vicino alla radice del paraggio, che parte da una isobata a -3,00 m slm si estende su un pianoro a -4,00 m slm e poi si incanala verso l'isobata -6,50 m slm ed un secondo ubicato a metà del paraggio, ben più marcato in cui da una isobata -3,00 m slm si arriva alla profondità di -6,50 m slm.

Queste strutture sono dovute a due grosse fessurazioni passanti del paraggio con conseguente collegamento con il mare aperto che provoca una corrente che forma le due strutture descritte. Tale dinamica è stata anche osservata in occasione di una mareggiata di scarsa entità come da foto sotto.



Effetti delle fessurazioni sul molo di sopraflutto

La dinamica correntometrica indica un flusso da nord ovest che probabilmente forma un vortice lento fra la diga di sopraflutto e la costa che favorisce una circolazione antioraria contro la diga di sopraflutto con uscita verso sud a ricongiungersi con il ramo di corrente principale.

Tale dinamica porta ad una deposizione di sedimenti da fini a finissimi sia dentro che ad est dopo l'imboccatura con conseguente tendenza alla deposizione del sedimento fine su tutta la darsena portuale e soprattutto in corrispondenza del moletto che delimita la banchina curvilinea ai piedi della formazione calcarenitica fino sotto il molo di sottoflutto come indicato dalle isobate.

Lo spessore misurato nel corso dell'indagine è mediamente di circa 1,00 mt con variazioni a livello locale.

6. Piano di indagine eseguito

Il piano di indagine eseguito è stato articolato in un piano di indagine geognostica e un piano di caratterizzazione ambientale.

Sono stati eseguiti fra il 20 ed il 22 Luglio 2011 con l'impiego del Pontone St. George della Impresa Ador.mare su autorizzazione n° 18/2011 della locale Capitaneria di Porto (nella foto).



Pontone St George della Ador.mare

La ditta che ha curato l'esecuzione dei carotaggi e delle prospezioni elettriche e sismiche è stata la SI.AR di R. Simonetti, mentre l'esecuzione delle analisi ambientali sotto la supervisione dell'ARPA Sicilia, è stata affidata alla CEFIT srl che ha curato sia l'aspetto analitico sia quello biologico che quello ecotossicologico. Il tutto sotto la supervisione della Direzione dei Lavori.

In tav. 10 sono esposti sia la tavola con l'ubicazione DGPS dei punti su cui sono state condotte le operazioni.

Si precisa che tutta la cartografia prodotta è georeferenziata secondo il sistema internazionale WGS 84 coordinate UTM per come stabilito con la Committenza

Si rappresenta inoltre che alcuni punti di indagine hanno subito piccoli spostamenti rispetto a quanto preventivato a causa di problematiche logistiche e di opportunità di indagine a scopo migliorativo ma senza per questo pregiudicare o contravvenire in alcun modo le indicazioni del piano preventivo. In allegato 2 viene prodotta la documentazione fotografica integrale.

6.1. Piano di indagine geognostica

6.1.1. Prospezione meccanica.

A consuntivo delle operazioni di indagine viene di seguito esposto il *report* delle operazioni condotte e dei dati di laboratorio (allegato 3).

Sono stati eseguiti n° 7 sondaggi meccanici a carotaggio continuo, dei quali 5 in mare, da motopontone, e 2 in superficie.

I sondaggi SM2 e SM3 erano inizialmente previsti sulle banchine. Ma a causa dell'impossibilità di accesso ai luoghi e per motivi di opportunità operativa, tempistica e autorizzativa, è stato ritenuto necessario eseguirli dal pontone. Alla tabella seguente sono esposte le ubicazioni e dati accessori.

Punti	Coordinate		Livello mare	Profondità	Campioni	Profondità	Prova SPT
SM1	274319	4185838	+1,50	10	1	7,70-8,00	2
SM2MAR	274294	4185375	-6,00	15	2	5,50-5,80 11,6-12,0	1
SM3MAR	274485	4185217	-5,00	15	1	10,0-10,5	1
SM4	274469	4185110	-5,00	15	1	15,0-15,5	1
SM5	274398	4185031	-5,50	20	1	13,5-14,0	1
SM6	274006	4186175	+1,60	10	0		1
SM7	274308	4185476	-6,50	35	2	24,0-24,5 34,5-35,0	1

Per ciò che riguarda il sondaggio SM7, in corrispondenza del previsto megadock, è stato necessario spingerlo in profondità a causa del terreno scadente incontrato e per accertare l'effettiva profondità e consistenza del terreno di fondazione in posto su cui prelevare un campione attendibile da inviare in laboratorio.

Su tutti i sondaggi è stata prelevata una carota per tutta la lunghezza del foro, collocata in opportuna cassetta e redatta la relativa stratigrafia con tutte le notazioni opportune.

Sono stati anche prelevati n° 8 campioni da inviare al laboratorio ai fini della caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni.

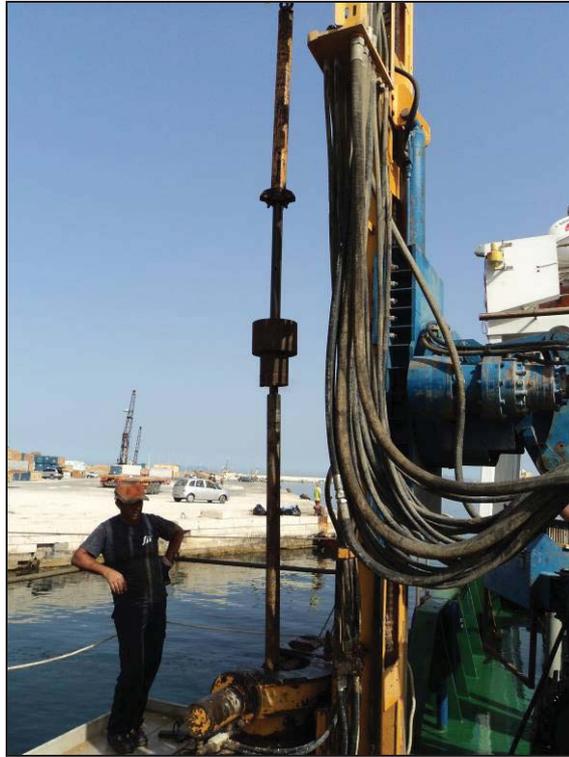
Su tali campioni sono state eseguite sia i test per la caratterizzazione fisica e quindi per definire la tipologia di terreno che i test meccanici, per quanto è stato possibile, ai fini della loro caratterizzazione meccanica.

In particolare, per tutti i campioni sono state eseguite misurazioni del contenuto naturale d'acqua, peso dell'unità di volume e specifico, i limiti di plasticità, la granulometria sia in mm che in unità $\phi = -\log_2(D_{mm})$.

Infine sono state eseguite le prove per la determinazione delle caratteristiche meccaniche ed in particolare le prove di taglio diretto ed il modulo edometrico.

Tali dati sono serviti alla correlazione con le prove eseguite in situ (SPT - Standard Penetration Test) che hanno consentito di fornire dati attendibili sul comportamento meccanico dei terreni di sedime che andranno a recepire le opere edili previste.

Nella foto è visibile in dispositivo SPT nel sondaggio SM2 in prossimità del Molo Colombo.



Dispositivo SPT in funzione

Tutti i sondaggi sono stati eseguiti in corrispondenza delle maggiori opere da impiantare al fine di fornire ai sigg.ri progettisti il maggior numero di informazioni.

Per il dettaglio si rimanda alle stratigrafie prodotte, le foto delle cassette dei carotaggi ed alla relazione geotecnica di laboratorio in allegato.

6.1.2. Prospezione elettrica.

A supporto della prospezione meccanica sono stati previsti n° 4 Sondaggi Elettrici Verticali (SEV) tipo Schlumberger al fine di integrare i dati in profondità (allegato 4 con relative foto).

Alla tavola 10 sono riportate le ubicazione dei SEV e la previsione della lunghezza degli stendimenti.

Punti	Coordinate	
SEV1	274317	4185839
SEV2	274317	4185839
SEV3	274250	4185367
SEV4	274250	4185367

E' stato impiegato un georesistivimetro controllato da microprocessore, P.A.S.I. Mod. E 2 digit ed i risultati sono stati elaborati in prima interpretazione con il metodo di confronto con le curve guida teoriche di Orellana - Mooney sia bistrato che a tre strati impiegando gli abachi ausiliari per curve tipo A, H, K e Q. Successivamente i parametri ricavati dalla interpretazione manuale sono stati rielaborati ed affinati utilizzando una procedura computerizzata a cicli iterativi.

I parametri ricavati dalla interpretazione dei diagrammi di resistività, hanno permesso di effettuare la correlazione geo-litologica con i vari valori di resistività riscontrati per le varie unità litologiche e con le stratigrafie ricavate dai sondaggio meccanici. Per il dettaglio si rimanda alla relazione in allegato.

6.1.3. Prospezione sismica.

E' stata eseguita la prospezione sismica di tipo passivo con l'obiettivo primario, oltre che della individuazione degli orizzonti sismici e dei loro spessori e giaciture, anche le eventuali discontinuità e la profondità della formazione rocciosa compatta (bedrock geofisico).

Con tale metodo viene determinata la velocità di propagazione delle onde di taglio o orizzontali (V_{s30}), in seno ai litotipi e la loro risposta alle sollecitazioni telluriche in relazione alle caratteristiche meccaniche dei sedimenti attraversati peraltro in ottemperanza alle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.

L'indagine geofisica eseguita si avvale della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale tra le componenti del moto orizzontale e le componenti del moto verticale (H/V) meglio conosciuto come HVSR.

Piero Merk Ricordi
Geologo

La prospezione è stata articolata con n° 4 rilievi sismici in quattro differenti punti di misura, opportunamente scelti e chiamati rispettivamente Rilievo sismico T1, T2, T3 e T4.

Punti	Coordinate	
SS1	274317	4185839
SS2	274518	4185258
SS3	273938	4186136
SS4	274250	4185367

La prospezione sismica è stata correlata con i dati scaturiti dalle prove SPT eseguite sui fori dei sondaggi meccanici e con le stratigrafie al fine anche della taratura degli strumenti. Per il dettaglio si rimanda alla relazione in allegato 4.

6.2. Piano di caratterizzazione ambientale

Le attività inerenti il piano di caratterizzazione ambientale, (allegato 5) sono state eseguite specificatamente, e per come previsto in sede di colloqui preventivi con l'Ente Istituzionale, secondo il protocollo ICRAM APAT dal CEFIT e sotto la supervisione dell'ARPA Sicilia che ha inviato i suoi specialisti nei giorni di esecuzione e della Direzione dei Lavori e, alla fine delle attività, ha redatto opportuno verbale di conclusione lavori e consegna delle aliquote di campioni campioni ciascuno per la propria competenza.

Il piano è stato articolato secondo le seguenti tipologie di indagine:

Punti	Coordinate		Quota m slm	Tipologia	Campioni
A1-1	274282	4185276	-4,60	Vibro-corer/benna	
A1-2	274270	4185237	-5,20	Vibro-corer/benna	
A2-4	274413	4185094	-5,60	Vibro-corer/benna	
A3-1	274486	4185300	-3,50	Vibro-corer/benna	
A4-1	274534	4185316	-4,00	Vibro-corer/benna	
A4-2	274576	4185321	-3,50	Vibro-corer/benna	
A4-3	274543	4185371	-4,80	Vibro-corer/benna	
A4-4	274608	4185312	-3,40	Vibro-corer/benna	
ACQ1	274031	4185989	-2,50	Prelievo fondo/superficie	
ACQ2	274561	4185365	-4,50	Prelievo fondo/superficie	
ACQ3	274301	4185285	-5,00	Prelievo fondo/superficie	
ACQ4	274444	4185123	-4,50	Prelievo fondo/superficie	
STAB1	274175	4184924	-7.00	Stabulazione mitili	
STAB2	274536	4185302	-3,00	Stabulazione mitili	

6.2.1. Prelievi di sedimento

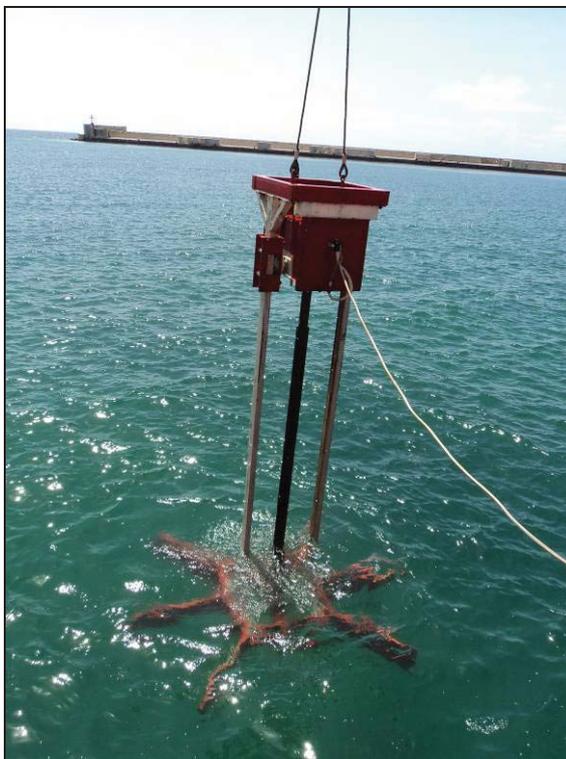
Alla tavola 11 sono indicate le aree interessate dal campionamento e l'ubicazione dei punti di prelievo secondo quanto stabilito in sede preventiva e come da protocollo ICRAM APAT.

I campionamenti dei sedimenti superficiali sono stati eseguiti con vibro-carotiere e, su richiesta degli specialisti dell'ARPA, anche con benna benna Van Veen.

Tutti i campionamenti sono stati eseguiti da pontone, e caratterizzati geograficamente mediante posizionamento satellitare e batimetrico come da tabella precedente.

Il vibrocarotiere o *vibrocorer* (nella foto alla pagina seguente), ha un diametro di 100 mm.ed ha consentito su tutti i campioni il recupero del 100% ed il prelievo di sedimento indisturbato senza soluzione di continuità per tutto lo spessore da caratterizzare.

Gli specialisti dell'ARPA hanno constatato l'assenza di contaminazioni della carota da parte della strumentazione utilizzata grazie al rivestimento interno (liner) al carotiere in polietilene inerte.



Vibrocorer sul settore A3

E' stato anche evitato il ricorso a sostanze detergenti di qualunque tipo producendo su specifica richiesta dell'ARPA, di quantitativi di campione sufficienti per tutte le determinazioni analitiche da effettuare. per ogni stazione di prelievo e per soddisfare il quantitativo richiesta per tutte le aliquote prodotte.

Per ogni campione è stata redatta una scheda riassuntiva in cui riportare le informazioni ad essa relative (coordinate e profondità di campionamento, descrizione della carota, scelta e codifica dei livelli di prelievo, etc.).

6.2.2. Prelievi di acque

I campionamenti delle acque sono stati eseguiti con modalità tali da prelevare campioni sia a circa 1 mt dal fondo che a circa 1 mt dalla superficie utilizzando campionatori specifici secondo le prescrizioni del già citato protocollo ICRAM APAT.

Sono stati eseguiti alla presenza dello Specialista ARPA e della D.L. e consegnati al CEFIT per le indagini previste.

6.2.3. Stabulazioni

Al fine di eseguire la caratterizzazione ecotossicologica della darsena portuale, sono stati posizionati n° 2 pacchi di mitili da 5 kg secondo le ubicazioni indicate alla tabella precedente in due posizionamenti opportunamente scelti.

Tali ubicazioni, poste a circa 1 mt dal fondale, sono state opportunamente scelte in corrispondenza di punti ove, come da informazioni locali, viene ritenuto che l'acqua sia pulita (punto di bianco – stab 1) e dove sia inquinata (punto di nero stab 2).



Bidone di segnalazione sul punto di stabulazione STAB 1

Tali sacchi ancorati ciascuno ad un bidone siglato (nella foto) sono stati mantenuti sul posto per 40 giorni. Dopo tale periodo sono state eseguite le opportune analisi ecotossicologiche esposte nell'allegato 5.

7. Caratterizzazione meccanica dei terreni

La definizione delle caratteristiche meccaniche dei terreni di sedime misurate in laboratorio, non può prescindere dall'esame e dalla correlazione con le stratigrafie ricavate dai sondaggi meccanici e con i risultati delle prove SPT eseguite in foro (allegato 3).

L'analisi delle stratigrafie ricavate dai carotaggi (vedi allegati) indicano innanzitutto quasi ovunque, la presenza di una copertura limosa o limo sabbiosa riferibile ai limi palustri di cui ai §§ precedenti.

Gli spessori di questa copertura sono variabili ma generalmente oscillano nel settore costiero con valori i circa 2,00 metri. Gli spessori maggiori sono stati misurati nel settore intermedio dell'area portuale compreso fra i sondaggi SM7 e SM 4. Uscendo verso ovest, tale coltre sembra assottigliarsi con spessori di circa un metro.

Solo nel settore del molo di levante, in corrispondenza del sondaggio SM3, tale coltre non è presente, ma comunque andando verso la riva, è ancora presente con spessori di circa 1,50 metri.

La formazione in posto di natura calcarenitica si presenta, nella sua porzione più superficiale, mista a limo e sabbia. Scendendo in profondità, si presenta ovunque con caratteristiche nodulari ma con frequenti livelli sabbiosi o limo sabbiosi.

Solo nei carotaggi SM2, SM3 e SM5 è presente a profondità variabile fra -7 e -16 mt , un livello di calcarenite compatta.

Per ciò che riguarda le caratteristiche meccaniche su tutti i fori è stato possibile determinare le caratteristiche di resistenza con prove *in situ*.

I risultati esposti in allegato, hanno evidenziato per i sondaggi SM2, SM3, SM5 e SM6 caratteristiche idonee all'edificazione con l'inserimento del terreno di sedime in classe sismica B anche se però i terreni su cui impostare le opere edili devono essere quelli in posto costituiti dalla formazione calcarenitica.

Per i carotaggi SM1, SM4 ed SM7 invece le misurazioni hanno dato valori scadenti. In particolare l'SM1, ha fornito valori scadenti ma con un progressivo miglioramento all'aumento della profondità.

Tale circostanza, unitamente alla valutazione della colonna stratigrafica ha indotto lo scrivente ad inserire tali terreni di sedime in classe sismica C.

Per ciò che riguarda invece il sondaggio SM4, i valori scadenti misurati con la prova SPT, vengono spiegati in quanto probabilmente è stato intercettato un livello di sabbia sciolta e limo in seno alla formazione di calcarenite nodulare.

In tale senso l'esame della colonna stratigrafica ha fornito una correlazione esauriente tale da consentire l'inserimento dei terreni in classe sismica B.

Infine il sondaggio SM7, in corrispondenza del previsto megadock, ha fornito anch'esso valori scadenti di resistenza. Anche qui la spiegazione è attribuibile a livelli sabbiosi misti a limi ma localizzati in profondità. L'attribuzione dei terreni alla classe sismica B è condizionata al raggiungimento dello strato in posto di calcarenite nodulare.



Sondaggio meccanico a c.c. sul punto SM5

Meccanicamente le calcarenite bioclastiche a costituzione granulare di tipo carbonatico, sono composte da clasti carbonatici grigi e clasti di origine organogena di dimensioni variabili, immersi in una matrice carbonatica biancastra, ed alterata in superficie, cementata, in taluni casi, da calcite spatica secondaria.

Tale cementazione non è uniforme e può passare da livelli a consistenza litoide a livelli a consistenza sabbiosa determinando così variazioni volumetriche nel comportamento meccanico sotto carico.

I terreni di sedime calcarenitici in generale, se non sono frammisti a frazioni a granulometria fine, possono considerarsi scarsamente compressibili per lo più in relazione alla loro parte alterata, per cui sotto carico, raggiungono rapidamente l'equilibrio, con minime deformazioni.

Sulla base delle analisi eseguite dal laboratorio di geotecnica e dei dati SPT già esposti, è stato possibile delineare con precisione le caratteristiche meccaniche dei terreni che riceveranno le opere di fondazione per i quali è previsto il dragaggio.

In allegato 3 sono esposti i dati¹, la cui analisi eseguita a Palermo dal Laboratorio Ufficiale Con.Geo srl dell'ing. Pagano, evidenzia innanzitutto una maggiore coesione con l'aumento di profondità nella calcarenite.

I dati di coesione in tutti i sondaggi sono largamente sufficienti tranne che in SM2 a -5,50 m dal p.c. dove la consistenza dei limi sabbiosi è minore ($c=0,02$ t/mq).

Tale dato è un riferimento sulla tipologia di terreno che costituisce la maggior parte di sedimento che verrà dragato dal fondale.

Anche il valore del peso specifico è basso ($\gamma = 1,16$ t/mc) contrariamente che negli altri casi in cui si mantiene sopra le 2 t/mc. Solo il sondaggio SM7 presenta un dato anomalo pari a 1,77 t/mc che, correlandolo con i dati SPT, induce a ritenere il terreno su cui è stata eseguita la prova, appartenente ad un livello di sabbia sciolta. Ed in effetti le stratigrafie hanno evidenziato che tutta la formazione calcarenitica è interessata da diversi livelli a carattere sabbioso o limo sabbioso.

Altro dato che spicca è il contenuto naturale d'acqua in profondità nel sondaggio SM7 pari a W 33,92 % più elevato rispetto agli altri più superficiali eccetto il valore del SM 2 però superficiale che è dovuto ad un forte fenomeno di ingressione di acqua marina già trattato nel paragrafo inerente l'idrogeologia.

Per ciò che riguarda la portanza dei terreni, le prove SPT evidenziano un aumento con la profondità; la spiegazione di tale aumento risiede nel fatto che a maggiore profondità corrisponde un maggiore costipamento del terreno.

In particolare nei terreni più superficiali sono stati misurati valori minori analoghi sui settori a terra mentre a mare, per avere valori sufficienti bisogna scendere sulla calcarenite.

I valori misurati coincidono approssimativamente con il carico di rottura peraltro già riportato nella relazione preliminare ($\sigma_{lim} = 86,706$ kg/cmq). Anche gli angoli di attrito interni sono elevati ed in accordo con i litotipi descritti eccetto che nell'SM2.

Tale dato inferiore alla media è da mettere in relazione con il forte contenuto naturale d'acqua.

In merito ad eventuali rinvenimenti di livelli sabbiosi sciolti generalmente limitati localmente, le prove SPT hanno fornito valori riportati in allegato 3.

In merito infine ai termini limo sabbiosi rilevati diffusamente nell'area in studio appartenenti ai depositi alluvionali ed ai limi palustri, sono costituiti prevalentemente da uno strato di spessore variabile costituito da limo sabbioso e argilloso misto a sostanze organiche e materiale detritico eterogeneo.

Si presentano di colore scuro in corrispondenza delle porzioni a contenuto sabbioso più consistente, cambiando il colore fino a marrone chiaro in corrispondenza delle porzioni a contenuto maggiormente argilloso.

¹ $1Kg = 9,807 N$; $1KN = 0,102 ton$

8. Caratterizzazione sedimentologica

I campioni sono stati prelevati nei fori di sondaggio già descritti e ubicati mediante DGPS e catalogati ai fini dell'analisi granulometrica. I calcoli e i parametri statistici e i grafici sono esposti all'allegato 6.

Per la caratterizzazione superficiale è stato anche elaborato un campione prelevato in precedenza dallo scrivente ritenuto utile sia per la definizione del regime attuale che per un confronto con i dati pertinenti un periodo di prelievo precedente rispetto all'attuale.

In merito al trattamento, è stato effettuato a Palermo dal Laboratorio Ufficiale Con.Geo srl dell'ing. Pagano e si è svolto in tre fasi :

1-Preparazione e pretrattamento con acqua distillata per la riomozione dei sali.

2-Separazione frazione sabbiosa da frazione siltosa mediante via umida e per aerometria per le frazioni più fini.

3-Analisi della frazione secca pila di setacci con maglia in $\phi = -\log_2 D_{mm}$. In allegato sono riportati i certificati in originale e copia.

In merito ai parametri statistici ricavati dalla elaborazione delle granulometrie si ha :

QD ϕ deviazione interquartile come misura della dispersione

S_0 in mm coefficiente di cernita di TRASK da confrontare con il coefficiente di cernita $\sigma\phi$.

Media $M\phi$ che rappresenta la media del dimensioni le classi granulometriche.

Mediana D_{50} dimensione dei granuli in mm al centro della distribuzione.

Moda che rappresenta il diametro più frequente delle particelle

Cernita $\sigma\phi$ inteso come la diffusione della distribuzione granulometrica intorno alla media indicazione del grado di elaborazione del sedimento ed indice della capacità di selezione del mezzo di trasporto nell'ambiente. Esprime anche la forza della selzioen correntometrica.

Asimmetria $SK\phi$ che indica l'omogeneità della popolazione granulometrica e cioè la sua distribuzione rispetto al baricentro della curva di distribuzione.

Kurtosi K_G che misura l'appuntimento della curva di frequenza e confronta il rapporto tra la dispersione nella parte centrale e la dispersione nei settori periferici della curva. In tabella 1 sono esposti I risultati.

La caratterizzazione del sito è stata eseguita seguendo due direttrici. La prima utilizzando un campione superficiale prelevato nel precedente dragaggio, su cui venne eseguita una analisi granulometrica. In quell'occasione non vennero eseguite valutazioni di tipo sedimentologico.

La seconda direttrice analizza i sedimenti dei campioni prelevati nel corso del presente piano di indagine traendo tutte quelle considerazioni che poi hanno condotto a delineare sia l'attuale regime sedimentologico che la storia evolutiva sedimentologica della zona.

Il campione superficiale (allegato 4) prelevato nel punto di coordinate UTM 33 S 274330 4185470 è ubicato molto vicino al sondaggio SM7, si presenta costituito in parte maggioritaria da silt con un indice di classazione elevatissimo.

L'asimmetria $S_{k\phi}$ indica la presenza di una coda di materiali grossolani che, in considerazione delle classi granulometriche molto esili, si configura come una sabbia a media granulometria mentre l'appuntamento K_G indica il confronto fra cernita ed estremi di distribuzione che è vicino all'unità.

La mediana è pari a $M_{50} = 0,23$ mm confermando il carattere sottile dei sedimenti, ed è un parametro fondamentale ai fini della determinazione di trasporto solido.

Complessivamente la curva cumulativa di frequenza indica la presenza di una dinamica correntometrica che deposita inizialmente sabbia e, al decrescere della velocità deposita silt e argilla.

In merito ai campioni prelevati nei fori di sondaggi, bisogna premettere che le componenti granulometriche sono più ampie in quanto risentono del fattore di ricoprimento e della tipologia di analisi che ha interessato anche le componenti più sottili.

Il campione SM2C1 prelevato a circa -5.50 m dal p.c. sul molo Colombo, e quindi superficiale, è definibile come una silt sabbioso a componente minoritaria argillosa e presenta una curva granulometrica piuttosto composta con le due classi siltosa e sabbiosa maggioritarie e un grafico cumulativo di frequenza una asportazione delle frazioni più fini per ripulimento da un sedimento originario composto da silt e sabbia. La mediana è bassa $M_{50} = 0,03$.

Il campione SM2C2, prelevato a circa -12.00 m dal p.c. sullo stesso foro, invece si presenta come una sabbia siltosa a composizione minoritaria ghiaioso argillosa.

La curva cumulativa di frequenza è bimodale e mostra uno spostamento del grafico verso granulometrie più grossolane indicando ancora un allontanamento delle frazioni più fini per ripulimento da un sedimento originario composto da silt e sabbia probabilmente in un sistema a maggiore energia.

I campioni SM3C1 ed SM4C1 prelevati sul foro SM3 a circa -10 mt e -15 mt di profondità dal piano fondale sul foro SM4, si presentano anch'essi come una sabbia siltosa a composizione minoritaria ghiaioso argillosa.

E' da notare che il foro SM3 è in linea con il foro SM2 e quindi è ipotizzabile una sedimentologia analoga fra i due campioni, mentre sul foro SM4 la sedimentologia si sposta verso termini minori.

Ed infatti la curva cumulativa di frequenza presenta le stesse caratteristiche indicando anche qui un aumento di energia del sistema.

Anche il campione SM5C1 presenta la stessa composizione del precedente campione ma stavolta la curva è unimodale presentando un range granulometrico meno differenziato.

In ogni caso le caratteristiche dinamiche del sistema di costituzione rimangono analoghe ai due campioni precedenti .

Infine sul campione prelevato sul foro SM7 la granulometria si sposta su sedimenti molto fini. Infatti è definibile come una sabbia siltosa a componente argillosa. La mediana è molto fine $M_{50} = 0,05$ riflettendo anche la profondità a cui è stato prelevato il campione.

La curva cumulativa di frequenza indica una mescolanza dei componenti sedimentologici fini formatasi in un sistema ad energia elevata.

Con riferimento al grafico di comparazione granulometrica, il dato più rilevante è dato dalla diminuzione della componente limosa con la profondità cui corrisponde un aumento della componente sedimentologica a carattere sabbioso soprattutto nel settore di imposta della futura diga di sottoflutto dove è stata localizzata la calcarenite affiorante.

Il tenore di argilla è costante su tutti i campioni mentre nel SM4 si osserva un aumento della componente ghiaiosa anche se fine, tipo ghiaietto, dovuta alla tipologia di calcarenite nodulare presente e sottostante i limi sabbiosi.

La mediana subisce una riduzione con la profondità anche se nel SM7, ad una profondità di - 34,0 mt dal piano di fondale, presenta valori pari a quelli del campione più superficiale del sondaggio SM 2. Questo potrebbe essere in relazione allo scarso grado di costipazione del sedimento dovuto probabilmente al fatto che il campione è stato prelevato in un livello sabbioso che interessa la formazione in posto. In ogni caso comunque i valori di mediana sono generalmente bassi dove vi è presenza di limi in misura maggiore e cioè in SM 1 e SM 7 mentre nei settori dove la calcarenite è affiorante la mediana si riduce drasticamente verso materiali più grossolani.

Contestualmente questo campione presenta valori elevati di cernita che comunque su tutti i campioni indica sedimenti non classati indipendentemente dalla profondità.

Nei campioni più superficiali, l'asimmetria, pur essendo negativa, presenta valori in qualche caso vicini allo zero ma tutti con code di materiali grossolani.

Quanto esposto, delinea i caratteri sedimentologici in cui si sono formati i campioni esaminati.

Da quanto esposto si evince una evoluzione cronologica del sistema abbastanza semplice, in cui si ipotizza la presenza iniziale di un sistema dinamico attivo con una agitazione che manteneva *in situ* una frazione grossolana di tipo sabbioso allontanando i materiali più fini.

Successivamente tale sistema diventa dinamicamente meno attivo con deposizione di frazioni sedimentologiche più fini e correntometria meno incidente.

9. Caratterizzazione sismica

Sulla base della prospezione sismica eseguita di cui ai paragrafi precedenti ed all'allegato 4 è stato possibile delineare le caratteristiche dell'area e il suo inquadramento ai sensi della normativa tecnica attuale.

La provincia di Trapani, così come tutta la Sicilia, è stata interessata in passato da diversi eventi sismici di intensità variabile.

Storicamente, la prima segnalazione con descrizione di un evento sismico nella zona risale al 1740 quando una scossa fu avvertita a Salemi. Successivamente, il 19 maggio del 1861 furono avvertiti alcuni movimenti tellurici a Salemi, Calatafimi, Vita e Gibellina.

In tempi recenti, il primo evento sismico documentato si verifica il 20 novembre 1954 con scosse di IV grado della Scala Mercalli ad Alcamo e Poggioreale, di III grado a Gibellina, e di II grado a Calatafimi e S. Ninfa. Nel 1957 un terremoto di III grado colpisce Salaparuta.

Il principale evento sismico di Magnitudo 6.5 (scala Richter) pari al X grado della scala Mercalli, si è verificato il 15 Gennaio 1968 e ha interessato tutta la valle del Belice ed in particolare gli abitati di Gibellina, Salaparuta e Poggioreale. A Salemi, a Partanna ed a Vita l'intensità delle scosse raggiunse il IX grado della scala Mercalli; a Campobello di Mazara l'VIII grado, mentre ad Alcamo e Castelvetro raggiunse il VII grado della scala Mercalli.

L'ultimo evento di rilievo si è verificato in giugno del 1981 con scosse sismiche avvertite nei territori di Mazara del Vallo, Petrosino e Marsala.

Generalmente, i terremoti italiani, almeno quelli ubicati sopra la crosta, sono caratterizzati da profondità molto modeste, per la maggior parte contenute entro i 20 Km, e certamente originati entro la crosta terrestre. Ritenendo valida l'accezione, ormai accertata, che la crosta si assottiglia notevolmente verso il bacino meridionale del Mediterraneo, ne consegue che i terremoti della valle del Belice avrebbero il loro ipocentro nelle immediate vicinanze della discontinuità fisica fra la crosta inferiore ed il mantello superiore (Mohorovicic).

I dati di sismica a rifrazione profonda portano a dedurre che lungo la direttrice Trapani - Etna, la struttura della crosta si presenta molto complessa con il settore occidentale della Sicilia caratterizzato da una crosta sialica di circa 15 Km di spessore e da un'ampia zona di transizione al mantello superiore.

In ogni caso si ritiene, sulla base dei dati disponibili, che gli eventi sismici nell'area ed in particolare quello del 1968, non siano stati accompagnati dall'insorgere di nuove faglie superficiali o dal ringiovanimento di quelle preesistenti.

Infatti, pur accettando come scontato il rapporto tra sismicità e tettonica in generale, sembra assai poco probabile che il piano lungo il quale avviene la rottura profonda possa conservare la sua continuità fino in superficie.

Questa considerazione vale in particolare per regioni nelle quali gli ipocentri sono relativamente profondi e generalmente compresi tra una e qualche decina di chilometri, e la struttura geologica di superficie risulta molto complessa, come sembra essere nel nostro caso.

Generalmente l'insorgere di nuove faglie, osservabili direttamente in superficie, costituisce l'effetto e non la causa del terremoto.

Una tesi sulla genesi della sismicità nell'area in studio ipotizza l'esistenza di relazioni abbastanza strette fra le aree sismiche e le fasce di transizione fra regioni geologiche a facies diversa, da un lato, ed i bacini di subsidenza terziaria e quaternaria, dall'altro. La delimitazione delle aree di facies diversa e dei bacini di subsidenza si identifica, nelle grandi linee, con l'individuazione di zolle crostali che hanno avuto, nel tempo, una diversa evoluzione geologica. Sembrerebbe ipotizzabile che le zone di giunzione tra queste zolle crostali possano essere state ed essere tuttora sede di particolari deformazioni capaci di originare attività sismica.

Nella zona interessata dal sisma nel 1968, quello più indicativo per lo studio della sismicità dell'area, concordemente a quanto esposto ai §§ precedenti sulla geologia e tettonica dell'area, sembra possano identificarsi due zone che, almeno nell'intervallo Miocene medio-Calabriano, hanno avuto una evoluzione geologica sensibilmente diversa.

A Sud e a Sud-Est dell'allineamento Montevago - Contessa Entellina-Corleone, i Monti Sicani e le loro propaggini occidentali (Monte Magaggiaro) costituiscono una zona in massima parte emersa durante il Miocene ed il Pliocene; nei periodi precedenti, a partire dal Trias medio-superiore, questa catena montuosa è emersa o si trova in posizione di alto strutturale.

A Nord e a Nord-Ovest dell'allineamento precedentemente indicato la valle di Mazara e probabilmente la massima parte della valle del Belice sono state interessate da una notevole subsidenza che ha portato il tetto della serie prevalentemente calcarea ad oltre mille metri di profondità, come dimostrato dai sondaggi per ricerca petrolifera e da studi geofisici.

Il bacino subsidente è colmato da depositi argilloso-arenacei, attribuibili al Miocene medio, con intercalate colate gravitative. La sovrastante serie evaporitica gessoso - solfifera rappresenta la fine del colmamento del bacino subsidente ed il termine del relativo ciclo sedimentario.

I sedimenti del successivo ciclo pliocenico si sono depositati in due bacini subsidenti distinti, separati da una dorsale orientata circa NE-SW, disposta lungo la direttrice Castelvetro-

Monte Finestrelle che fisicamente separa la valle del Belice dalla val di Ma zara.

La zona epicentrale del sisma del Belice può essere situata grossomodo nel triangolo Poggioreale-Gibellina-Salaparuta cioè in vicinanza proprio della linea strutturale Castelvetro-Monte Finestrelle (fig.). Tuttavia gli epicentri di alcune scosse risultano alquanto spostati verso Sud-Est rispetto quelle che hanno investito gli abitati di Gibellina, Salaparuta e Montevago (fig.).

L'area sismica potrebbe quindi coincidere con la zona compresa tra due linee subparallele che hanno separato per lunghi periodi zone a differente evoluzione geologica e che potrebbero rivestire pertanto carattere di giunzioni, sismicamente ancora attive, tra zolle crostali a differente mobilità.

Non a caso gli epicentri delle scosse più importanti sono stati individuati tra i due allineamenti Castelvetro - Monte Finestrelle e Montevago-Bisaquino-Corleone.

La carta in fig. evidenzia come 19 dei 23 epicentri riportati cadono tra i due allineamenti e fra questi 9 cadono proprio lungo la linea Castelvetro-Monte Finestrelle.

Pur mancando riscontri o termini di paragone attendibili con eventi sismici verificatisi in passato in questa zona, la disposizione degli epicentri, le profondità degli ipocentri e la successione temporale delle scosse sembrano avvalorare l'ipotesi che le direttrici indicate possano corrispondere a giunzioni, sismicamente attive, che separano zolle crostali a diversa mobilità.

Questa ipotesi sulla genesi del sisma del 1968, sufficientemente realistica, porta ad ipotizzare che tutta la zona indicata dalle due direttrici sopra indicate, attualmente quiescente, possa essere ancora sede di epicentri di altre scosse sismiche.

In merito alle ripercussioni di tipo geomorfologico in seguito al sisma del 1968, è stato accertato che furono innestati alcuni fenomeni franosi che hanno interessato principalmente i complessi di rocce lapidee con fenomeni di crollo lungo superfici di discontinuità preesistenti come superfici di stratificazione e fratture.

I casi più vistosi si sono verificati negli strati massivi solfatici della serie gessoso-solfifera e nelle calcareniti bioclastiche.

A crolli veri e propri si è talora associata, in dipendenza dei fattori geomorfologici locali, l'apertura di fenditure con abbassamenti del suolo.

Altri movimenti franosi, tutti di modesta entità, hanno interessato, sotto forma di scoscendimenti, le coltri di materiali in disfacimento che ricoprono terreni limosi e argillosi.

Questi fenomeni, si sono verificati per lo più in zone già nel passato interessate da frane o in condizioni prossime all'equilibrio limite.

Da quanto sopra esposto, la considerazione del fatto che il Comune di Marsala ricade a margine di un'area storicamente definita a rischio sismico ha indotto lo scrivente ad uno studio più approfondito della tematica che, unitamente al piano di indagine condotto, ha consentito di definire con sufficiente precisione il rischio sismico cui è esposto il territorio.

Il comune è attualmente classificato in Zona 2 a sismicità media con picco di accelerazione al suolo PGA (Peak Ground Acceleration), per frequenza ed intensità degli eventi, variabile fra 0,15 e $0,25g^2$.

In un spettro di risposta elastico, il PGA coincide con il valore dell'accelerazione spettrale $S_e(T)$ quando il periodo proprio di oscillazione dell'oscillatore elementare di riferimento è pari a $T=0$ poiché in questo caso l'oscillatore è infinitamente rigido e pertanto ha la stessa accelerazione del terreno.

Per ciò che riguarda i dati misurati con la prospezione eseguita, è stata stimata la velocità di propagazione delle onde di taglio (orizzontali : V_{s30}) mediante la tecnica di sismica passiva meglio esposta all'allegato 4 al fine di avere una conoscenza del substrato e del suo comportamento sismico in relazione ai manufatti da impostare.

La prospezione sismica eseguita quindi consente di conoscere il comportamento del terreno sotto stress sismico e ricavare indicazioni valide sulle onde primarie V_p .

Il rilevamento è stato di tipo passivo mediante un dispositivo "Tromino" utilizzando la metodologia dei microtremori in corrispondenza del centro di misura ed ha consentito la correlazione del valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del substrato compatto (bedrock geofisico) oltre che di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, è stato possibile ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito.

La corrispondenza fra i picchi di frequenza e le profondità dell'orizzonte geofisico che genera il contrasto d'impedenza ha consentito anche di estrapolare la stratigrafia geofisica del sottosuolo e quindi di correlarla con quanto misurato attraverso le altre prospezioni.

La frequenza caratteristica di risonanza del sito risulta generata dalla discontinuità sismica localizzata alle medie frequenze ed è associabile a contatto copertura – roccia.

² $g=9,80665 \text{ m/s}^2$

In genere a maggiori frequenze si possono rilevare discontinuità geologiche mentre a basse frequenze è individuabile il rifrattore sismico superficiale.

Nella fattispecie, l'utilizzo del codice di calcolo sintetico per il rilievo eseguito ha evidenziato due discontinuità sismiche distinte rilevate nei rilevamenti che hanno consentito la correlazione con i SEV distinguendo i terreni di copertura costituiti da sedimenti eterogenei di riporto di natura sabbiosa e limosa ($V_s = 194 - 486$ m/s) poggianti su un substrato sabbioso con livelli calcarenitici e limosi a $V_s > 500$ m/s per oltre 30 mt di profondità.

La crescita di velocità di propagazione delle onde sismiche è correlabile ad un aumento della rigidità del sottosuolo che è legata a sua volta con l'aumento del grado di consolidamento.

Le frequenze caratteristiche di risonanza del sito in studio e le V_{s30} risultano essere nel rapporto H/V nel range 0.0 - 64 Hz di :

$$T1 \text{ SS1} = 5,81 \text{ Hz} \quad V_{s30} = 497 \text{ m/sec}$$

$$T2 \text{ SS2} = 33,44 \text{ Hz} \quad V_{s30} = 499 \text{ m/sec}$$

$$T3 \text{ SS3} = 1,19 \text{ Hz} \quad V_{s30} = 485 \text{ m/sec}$$

$$T4 \text{ SS4} = 4,47 \text{ Hz} \quad V_{s30} = 442 \text{ m/sec}$$

In merito alla definizione dell'azione sismica di progetto, ed in riferimento all'individuazione delle categorie di sottosuolo di fondazione basate sulla definizione delle V_{s30} , secondo il D.M. 14 gennaio 2008 inerente le Norme Tecniche di Costruzione.

In base a tale normativa si può suddividere l'area portuale in due settori: Il primo localizzato presso la banchina curvilinee in cui i dati sismici e stratigrafici inducono a considerare i terreni di **categoria C** caratterizzante i depositi a grana fine mediamente consistenti caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con l'aumento della profondità.

Tale inserimento è da mettere in relazione alle prove di resistenza in situ (SPT vedi allegato 3) che hanno fornito valori scadenti.

Per tutta l'area portuale restante, i terreni possono essere inseriti in **categoria B** che comprende depositi di sedimenti a grana fine consistenti con spessori superiori a 30 mt caratterizzati da un graduale miglioramento delle caratteristiche meccaniche all'aumentare della profondità e con valori di V_{s30} compresi fra 360 m/s e 800 m/s .

Per maggiori dettagli sul piano di indagine eseguito, in allegato 4 è riportato il risultato delle prospezioni con i grafici di riferimento.

10. Caratteristiche ambientali

Sulla base di alcuni precedenti studi eseguiti dallo scrivente e della bibliografia disponibile, viene esposto quanto rilevato in occasione della precedente analisi e, sulla base del nuovo piano di caratterizzazione eseguito, vengono esposte le descrizioni macroscopiche e microscopiche con note mineralogiche dei campioni prelevati sulla porzione più superficiale del fondale, rinviando all'allegato 5 prodotto dal CEFIT che ha curato l'esecuzione delle analisi per gli approfondimenti di carattere biologico, geochimico ed ecotossicologico.

La prima campagna di analisi fu di tipo batteriologico e venne eseguita il 22/05/02 dal dr. S. Vetro, e ha dato esiti negativi.

Nel Febbraio 2003 invece venne eseguita una analisi chimico fisica su un campione di acqua e su due campioni di sedimento di cui uno proveniente dal dragaggio in fase di esecuzione nella darsena portuale ai fini dello stoccaggio dei sedimenti di dragaggio in discarica.

L'analisi granulometrica eseguita in $\phi = -\log_2 D(\text{mm})$ del campione prelevato in quella occasione ha indicato una tipologia granulometrica prevalentemente limo – sabbiosa con una modesta percentuale argillosa di cui all'allegato dello studio sedimentologico.

Per ciò che riguarda l'analisi chimico - fisica, su richiesta ed in presenza della locale Capitaneria di Porto furono eseguiti due campionamenti di sedimento su cui è stato analizzato inizialmente il contenuto in idrocarburi totali.

Sia sul campione di cava che di fondale limo - sabbio – argilloso proveniente da decantazione nei vasconi di stoccaggio provvisorio dopo il dragaggio è stato riscontrato un contenuto inferiore a 5 mg/kg in idrocarburi totali.

L'analisi effettuata sul campione d'acqua, ha riportato valori chimici entro la normalità per un porto soggetto a traffico mercantile e commerciale.

Il pH = 7,5 è in linea con i valori medi dell'acqua di mare nel Mediterraneo. Si notano anche valori entro la norma di metalli (Pb, Cu e Cd) ma una seppur modesta presenza di idrocarburi pesanti derivanti esclusivamente da operazioni di bordo dei diversi pescherecci che stazionano in porto e comunque entro i predetti limiti.

Si nota invece una discreta presenza di Azoto (N) e Fosforo (P) e azoto ammoniacale (NH_4^+), anche se entro i limiti prescritti nel D.M. 471/99 riportati di seguito:

Elementi	Valore limite (μt)
Cadmio	5
Piombo	10

Rame	1000
Nitriti	500

Il valore dell'azoto ammoniacale, anche se entro la norma, fu spiegato in quanto si trattava di un campione di acqua di mare proveniente da una zona con scarsa circolazione e soggetta a sedimentazione continua di sedimenti fini e materia organica.

La materia organica che si deposita sul fondo, derivante da operazioni di pesca o altro che vengono generalmente condotte in ambito portuale, subisce un processo di decomposizione in due fasi che comporta l'instaurarsi di un processo di nitrificazione ad opera di batteri che si verifica attraverso due processi conseguenti : uno di ossidazione dei sali di ammonio e nitriti e uno di ossidazione da nitriti a nitrati, nel quadro di un processo di decomposizione naturale dovuto ad azione batterica ed indipendente da cause derivanti dalle operazioni di dragaggio.

Infine un ulteriore studio del 2005 è consistito nella caratterizzazione ambientale di un campione di fondale e nella sua classificazione ai sensi della normativa riferibile ai fanghi di dragaggio riassumibile in:

- D.M. 24/01/96
- d.lgs. 36/2003 GURI 59 del 12/03/03
- D.M. 3 agosto 2005 GURI 201 del 30 Agosto 2005.

Si precisa che l'analisi venne condotta ai sensi della normativa vigente e delle norme ASTM (American Society for Testing Materials), BSI (British standard Institution), CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche), ISRM (International Society for Rock Mechanics) UNI (Unificazione Nazionale Italiana) ed eseguita dalla CHIBIVET di Palermo (aut. Ass. Reg. Sanità n° 78971) e la relazione ambientale dallo scrivente.

Il campione venne prelevato al centro del porto e classificato come rifiuto speciale non pericoloso con codice CER 170506, stoccabile in una discarica ex II° categoria tipo B.

L'analisi chimica del campione di sedimento ha comportato l'utilizzo di diverse tecniche fra cui la spettrofotometria ad assorbimento atomico e la diffrattometria.

In particolare, vennero analizzati i contenuti in Mercurio, Cadmio, Piombo, Arsenico, Cromo totale, Rame, Nichel, Zinco, Idrocarburi totali, Idrocarburi policiclici aromatici (IPA), policlorobifenili (PCV), Pesticidi Organoclorurati, sostanza organica totale, Azoto totale, Fosforo totale ed Alluminio. Tutte le analisi sono state eseguite dal laboratorio ufficiale CHIBIVET di Palermo.

Piero Merk Ricordi
Geologo

Tutti i risultati delle analisi sono stati valutati sulla base del D.M. 471/99 sulla bonifica dei siti inquinati e ritenuti entro i limiti di legge.

L'unico elemento che pur rientrando entro i limiti ha mostrato un valore più elevato è stato il Piombo (0,009 mg/kg). Tale elemento si ritiene dovuto al rilascio di sostanze delle antivegetative dei natanti presenti in porto.

11. Descrizione macroscopica e mineralogica dei sedimenti superficiali

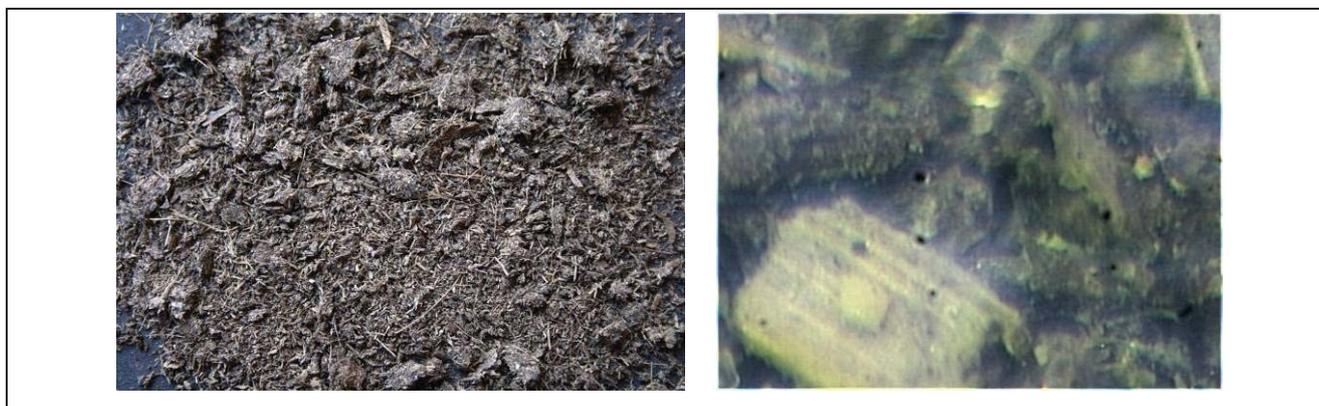
Sulla base dei prelievi eseguiti nel corso dell'esecuzione del più recente Piano di caratterizzazione e come da prescrizioni del protocollo ICRAM APAT, viene di seguito esposta la descrizione macroscopica dei campioni più superficiali di sedimento con una descrizione finale delle facies mineralogiche osservate.

Le foto sono state eseguite in macro digitale, mentre le foto al microscopio in luce riflessa, sono state acquisite digitalmente mediante ripresa elaborata al fine di ridurre i problemi di focalizzazione dovuti al progressivo ingrandimento.

Le immagini dei campioni sono state eseguite a visione normale e ingrandita a 7,5x 25x e, a 50x ritenute sufficienti a dare conto di quanto osservato e descritto anche se vengono esposte solo le foto ritenute più significative rimandando all'allegato 5 per tutte le altre foto macro. Per quanto riguarda la geologia si rimanda alla relazione specifica.

Campione 1107210142 punto prelievo A4/1A. profondità 0,00 – 0,20 mt

Il campione, al momento del prelievo si presenta di colore nero, melmoso e con odore tipico di un ambiente riducente (solforoso) derivante da decomposizione di tessuti molli. Dopo asciugatura, al microscopio (7,5x) si presenta costituito in massima parte da elementi vegetali di origine algale e qualche tubulo di briozoo il tutto immerso in una matrice terrigena costituita da minuti granuli. Ad un esame più dettagliato (25x) molti granuli sono costituiti da frammenti carbonatici e silicei di natura organica in particolare abbondanti frammenti lamellari di molluschi ed echinodermi, segmenti di briozoi e qualche spicola di spugna. Infine a 50x sono visibili minutissimi cristalli di quarzo tipicamente ialini e cristalli di calcite di colore bianca, di genesi inorganica probabilmente derivanti dalla disgregazione dei terreni superficiali in particolare della calcarenite diffusamente presente al di sotto dei limi di genesi palustre e talvolta affiorante.



Campione 1107210132 punto prelievo A4/4A. profondità 0,00 – 0,20 mt

Il campione, abbastanza simile al precedente, appena prelevato si presenta di colore nero, melmoso e con odore tipico di un ambiente riducente (solforoso) derivante da decomposizione di tessuti molli. Dopo asciugatura, al microscopio (7,5x) si presenta costituito in massima parte da elementi vegetali di origine algale e qualche tubulo di briozoo il tutto immerso in una matrice terrigena costituita da minuti granuli. Ad un esame più dettagliato (25x) molti granuli sono costituiti da frammenti carbonatici e silicei di natura organica in particolare abbondanti frammenti lamellari di molluschi ed echinodermi, segmenti di briozoi e qualche spicola di spugna. Infine a 50x sono stati osservati anche foraminiferi della specie *Globorotalia* oltre che i minutissimi cristalli di quarzo tipicamente ialini e cristalli di calcite di colore bianca, di genesi inorganica probabilmente derivanti dalla disgregazione dei terreni superficiali in particolare della calcarenite diffusamente presente al di sotto dei limi di genesi palustre e talvolta affiorante.



Campione 1107210138 punto prelievo A4/2A. profondità 0,00 – 0,20 mt

Il campione, abbastanza simile al precedente, appena prelevato si presenta di colore nero, melmoso e con odore tipico di un ambiente riducente (solforoso) derivante da decomposizione di tessuti molli. Dopo asciugatura, al microscopio (7,5x) si presenta costituito in massima parte da elementi vegetali di origine algale il tutto immerso in una matrice terrigena costituita da minuti granuli. Ad un esame più dettagliato (25x) molti granuli sono costituiti da frammenti carbonatici e silicei di natura organica in particolare abbondanti frammenti lamellari di molluschi ed echinodermi, segmenti di briozoi e qualche spicola di spugna. Infine a 50x sono stati osservati minutissimi cristalli di quarzo tipicamente ialini e cristalli di calcite di colore bianca, di genesi inorganica probabilmente derivanti dalla disgregazione dei terreni superficiali in particolare della calcarenite diffusamente presente al di sotto dei limi di genesi palustre.



Campione 1107210149 punto prelievo A3 A profondità 0,00 – 0,20 mt

Il campione appena prelevato si presenta di colore grigio molto scuro, melmoso e di odore tipico di un ambiente riducente (solforoso). Dopo asciugatura, al microscopio (7,5x) si presenta costituito in massima parte da elementi vegetali di origine algale e con una presenza diffusa di foraminiferi soprattutto bentonici. La matrice terrigena è meno abbondante che nei casi precedenti ma è sempre costituita da minuti granuli. Ad un esame più dettagliato (25x) molti granuli sono costituiti da frammenti carbonatici e silicei di natura organica in particolare abbondanti frammenti lamellari di molluschi ed echinodermi, segmenti di briozoi e qualche spicola di spugna. Infine a 50x sono stati osservati i cristalli di quarzo e cristalli di calcite di colore bianca più grossi che nei casi precedenti e meglio formati, anch'essi di genesi inorganica probabilmente derivanti dalla disgregazione dei terreni superficiali in particolare della calcarenite qui diffusamente presente ed affiorante.



Campione 1107210146 punto prelievo A4 3A profondità 0,00 – 0,20 mt.

Il campione, appena prelevato si presenta di colore grigio molto scuro, melmoso e di odore tipico di un ambiente riducente (solforoso). Dopo asciugatura, al microscopio (7,5x) si presenta costituito in

da elementi vegetali di origine algale e con una presenza diffusa di foraminiferi e lamellibranchi sia interi che in frammenti. La matrice terrigena è abbondante rispetto ai campioni precedenti sempre costituita da granuli di taglia maggiore. Ad un esame più dettagliato (25x) i granuli sono costituiti da frammenti carbonatici e di quarzo oltre che silicei di natura organica. Infine a 50x sono stati osservati abbondanti porzioni di cristalli di quarzo e cristalli di calcite di colore bianca più grossi che nei casi precedenti e meglio formati, anch'essi di genesi inorganica probabilmente derivanti dalla disgregazione dei terreni superficiali in particolare della calcarenite diffusamente presente.



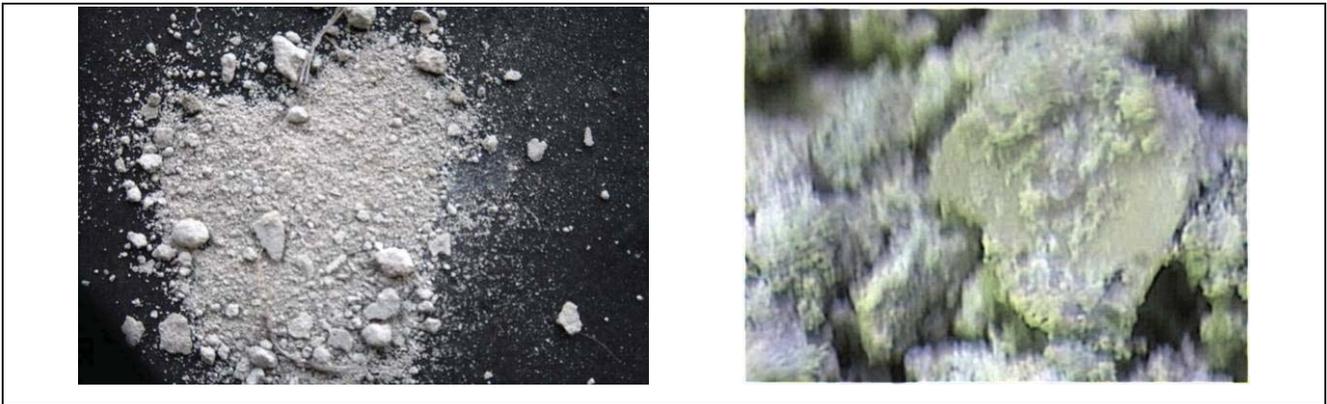
Campione 1107210125 punto prelievo A1/1A. profondità 0,00 – 0,10 mt

Il campione, appena prelevato si presenta di colore nero, melmoso e con odore tipico di un ambiente riducente (solforoso). Dopo asciugatura, al microscopio (7,5x) si presenta costituito in massima parte da elementi vegetali di origine algale il tutto immerso in una matrice terrigena costituita da minuti granuli. Ad un esame più dettagliato (25x) molti granuli sono costituiti da frammenti carbonatici e silicei di natura organica in particolare abbondanti frammenti lamellari di molluschi ed echinodermi, segmenti di briozoi e foraminiferi bentonici. Infine a 50x sono stati osservati diffusi cristalli di quarzo tipicamente ialini e cristalli di calcite di colore bianca, di genesi inorganica probabilmente derivanti dalla disgregazione dei terreni superficiali in particolare della calcarenite diffusamente presente al di sotto dei limi di genesi palustre.



Campione 1107210129 punto prelievo A1/2A. profondità 0,00 – 0,20 mt

Il campione, appena prelevato si presenta di colore grigio molto chiaro, plastico ed inodore. Dopo asciugatura, al microscopio (7,5x) si presenta bianco farinoso costituito in massima parte da una matrice costituita da minuti granuli di carbonato sfarinato, probabile risultato di processi di alterazione della calcarenite e occasionali resti di vegetali e lamellibranchi. Ad un esame più dettagliato (25x) frammisti alla matrice bianca si osservano frammenti di gusci, qualche foraminifero e frammenti carbonatici e silicei di natura inorganica a spigoli arrotondati. Infine a 50x si osserva la matrice di alterazione di materiali carbonatici che incrostanto i pochi resti di conchiglie e inorganici.



Campione 1107210124 punto prelievo A2 profondità 0,00 – 0,50 mt

Il campione, appena prelevato si presenta di colore marrone chiaro, sciolto e con un leggero odore di ambiente riducente. Dopo asciugatura, al microscopio (7,5x) si presenta granulare senza una matrice costituito in massima parte da granuli di natura essenzialmente carbonatica di genesi sia organica che inorganica. Occasionalmente sono presenti elementi silicei di natura organica.

Ad un esame più dettagliato (25x) si osservano molti foraminiferi bentonici e qualche platonico e frammenti carbonatici e silicei di natura inorganica a spigoli arrotondati. L'osservazione a 50x conferma quanto osservato.



Dalle descrizioni di cui sopra, è possibile desumere la costituzione mineralogica osservata nei campioni e che riflette essenzialmente quella dell'ambiente in studio.

Le fasi mineralogiche presenti nei campioni osservati sono essenzialmente due : calcite e, soprattutto quarzo.

Questi si rinvencono costantemente su tutti i campioni anche se in quantità differenti.

La loro genesi però è duplice : vi è una componente notevole di produzione organica, facilmente riconoscibile, e per la quale il contenuto di quarzo e di calcite si equivalgono, ed una inorganica sottoforma di cristalli minuti talora ben formati, per il quarzo, e sottoforma di carbonato di calcio a causa dei processi di alterazione per la calcite (vedi campione 1107210124).

In considerazione della tipologia di calcarenite riscontrata per la cui descrizione si rimanda al paragrafo 3, la quantità di CaCO_3 presente è certamente preponderante rispetto alla fase in cui è presente l' MgCO_3 .

I cristalli di quarzo osservati risultano sia puliti limpidi (vedi campione 1107210146) che incrostati.

Si possono inquadrare secondo due grandezze dimensionali: la prima millimetrica caratterizzata da un indice di usura elevato come testimoniato dall'arrotondamento dei cristallini osservati.

I granuli di dimensione submillimetrica invece presentano un indice di usura minore con forme spigolose e talora fratture concoidi tipiche dei materiali silicei.

In un caso è stata osservata la presenza di un cristallino probabilmente attribuibile ad una fase di selce anche se non si elude che possa avere una genesi detritica.

L'analisi mineralogica e petrografico tessiturale eseguita, indica chiaramente come la tipologia di quarzo e di calcite nelle fasi presenti ed osservate sono in accordo con la tipologia di calcarenite presente in posto di tipo giallo tendente al rossastro che indica anche la presenza di ferro.

Tale tipologia di calcarenite è spesso interessata da intercalazioni di livelli limo - sabbiosi in accordo con le stratigrafie rilevate dai sondaggi meccanici e presenta un contenuto in CaCO_3 intorno all'80%.

Nel residuo non carbonatico presentano quarzo in cristalli di dimensioni intorno a 0,5 – 1,0 mm e sono presenti alti tenori in Ferro e Manganese che gli conferiscono anche il tipico colore giallastro tendente al rosso.

Tali caratteristiche indicano che queste formazioni si sono sedimentate in ambienti deposizionali interessati da apporti solidi, con ossigenazione delle acque, e quindi moto ondoso, e correntometria marina.

Quanto analizzato, riflette sia la geologia che l'ambiente che insistono nell'ambito portuale. Nel settore del molo di levante e del molo di sopraflutto, la presenza diffusa di resti di vegetazione algale indica chiaramente un ambiente attivo ma con dinamiche di ricoprimento veloci ad opera dei sedimenti fini che, con il seppellimento dei materiali organici, portano all'instaurazione di un ambiente fortemente riducente.

Tali ricoprimenti però sono anche interrotti da sedimenti depositatisi in ambiente subaereo come osservabile nella stratigrafia del sondaggio SM6..

Il settore della estremità del molo Colombo, sembra interessato in modo piuttosto limitato da elementi organici probabilmente a causa della esposizione che condiziona l'impostazione di qualsiasi tipo di vegetazione algale.

Per ciò che riguarda i campioni prelevati nel settore A1, interno alla diga di sopraflutto, i dati indicano un settore più interno con vegetazione algale in ambiente riducente, mentre nel settore più esterno il campione appare molto ossigenato ma con pochi resti organici indice di probabile attività di moto ondoso in accordo con quanto rilevato per il campione A2 sul molo Colombo.

12. Ricostruzione del modello geologico e strutturale dell'area

I dati discussi indicano chiaramente la dinamica geomorfologica che ha interessato la zona portuale recente a prescindere dalla determinazione della cronologia, databile solo se condotta con valutazioni nucleari, intesa come successione di eventi

Il settore studiato, in tempi storici, inizialmente era costituito da una spiaggia aperta impostata sulla panchina calcarenitica con le caratteristiche giaciture attuali.

A supporto di tale ipotesi è il dato fornito dalla sedimentologia di un ambiente dinamicamente attivo e ossigenato con una sabbia a granulometria grossolana.

A seguito della formazione di un ostacolo al moto ondoso direttamente incidente, presumibilmente come una barra soffolta o emersa, si instaurò un sistema di laguna che porta ad un ambiente riducente come ben testimoniato dalla presenza di limi sabbiosi scuri.

In mezzo a questo periodo di ambiente lagunare si verificano probabilmente movimenti eustatici progressivi che portano il sistema, almeno quello più a riva, all'emersione, o ad un livello marino molto basso come testimoniato dal livello di torba del sondaggio SM 1, in cui si ipotizza che le alghe secche siano state accumulate dalla corrente o dal moto ondoso più incidente a causa dell'aumento del livello marino sull'ostacolo rappresentato dalla barra soffolta o emersa.

Successivamente, a seguito della diminuzione del livello del mare, si ritorna al sistema riducente di laguna di cui in precedenza per poi fermarsi all'assetto attuale.

Questo sistema riflette quello che attualmente è in atto nella laguna di Mothia e si ritiene che abbia interessato in tempi recenti (olocene) e storici anche la costa che corre da Mazara a Trapani, come testimoniato dalla presenza diffusa di limi palustri in tutto questo settore.

13. Conclusioni

L'esame dei dati scaturiti dai piani di indagine ha consentito di ricostruire sia gli eventi cronologici che hanno portato il settore del Porto all'attuale assetto sia le caratteristiche dei terreni di sedime su cui andranno a poggiare le opere previste.

L'esame delle stratigrafie esposte in allegato 3, ha consentito di delineare sia la geologia dei terreni affioranti che quelli sottostanti.

Il primo dato rilevante su tutta l'area è la presenza generalizzata di un pacco di sedimenti limo sabbiosi con presenza di residui algali allo stato anche di torba in *sandwich* all'interno di livelli limo sabbiosi grigio scuri.

Trattasi di limi palustri diffusi su tutta l'area della Sicilia occidentale che si rinvencono in affioramento tranne che in corrispondenza del sondaggio meccanico SM 3 dove si ritiene però che vi sia stato un processo di escavo ai fini dell'imposizione del molo di sottoflutto.

Lo spessore di tali sedimenti è variabile in modo decrescente da terra verso mare con spessori che vanno da 2-4 mt in corrispondenza dei sondaggi meccanici SM1 ed SM6 fino a ridursi in corrispondenza dei sondaggi meccanici SM5 ed SM2 in accordo con quanto detto.

In posizione stratigraficamente sottostante insistono le calcareniti del complesso di terrazzi marini delineato ai paragrafi precedenti, in particolare del settimo ed ultimo livello. A supporto di tale ipotesi è la composizione calcarenitica di tipo nodulare.

Tali calcareniti però, risentono del contatto con i limi palustri presentandosi soprattutto nelle sue porzioni più superficiali, sia con abbondanti frazioni limo sabbiose sia con livelli sabbiosi e limosi all'interno della formazione stessa, talora anche in profondità, che si presenta, quando non interessata da tali orizzonti, con caratteristiche nodulari sufficienti alla imposizione di carichi.

Gli spessori rilevati sono notevoli, oltre i 35 mt misurati nel sondaggio meccanico SM7, ma nelle porzioni più superficiali, in prossimità e/o al contatto con i limi palustri, la calcarenite si presenta con abbondanti frazioni limo sabbiose.

Per raggiungere la calcarenite nodulare, più affidabile, sono stati misurati spessori che vanno da 5,00 – 7,00 mt nei sondaggi meccanici SM1 e SM6, ai -9,00 – 11,00 mt degli altri sondaggi meccanici (vedi allegato 3)

La prospezione geoelettrica eseguita, in particolare, evidenzia e conferma una vistosa intrusione di acqua di mare già segnalata sia in questo progetto che in occasione di altri lavori e studi eseguiti in zona, conferma la presenza e gli spessori dei depositi palustri e della composizione limo sabbiosa della calcarenite su tutto il settore costiero .

Dal punto di vista sismico l'area si può definire generalmente rientrante nella tipologia B ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008 anche se nel settore della banchina curvilinea, i dati meccanici, stratigrafici, sismici e geoelettrici ne suggeriscono cautelativamente l'inserimento nella tipologia C.

L'osservazione che due prove SPT in foro hanno fornito caratteristiche scadenti, può essere spiegata con la presenza di livelli limo sabbiosi in seno alla formazione calcarenitica.

Dal punto di vista edificatorio, la presenza di questi limi, induce a cautela in quanto le caratteristiche meccaniche dei terreni superficiali non sono idonee all'imposizione di carichi come facilmente desumibile dalle analisi di laboratori in allegato 3. Infatti è facilmente verificabile la loro compressibilità e inconsistenza.

La consistenza aumenta con la miscelazione di questi limi con la sabbia di genesi calcarenitica che costituisce anche il graduale passaggio alla formazione calcarenitica s.s.

Tale passaggio inizia a profondità variabili fra -2,00 e -4,00 metri dal p.c. ma prima di passare alla calcarenite può estendersi ancora in profondità.

La formazione calcarenitica, quando integra, è costituita in questo settore da livelli di calcarenite nodulare di spessore minimo di 2 metri in alternanza con livelli sabbiosi o limo sabbiosi.

La tipica calcarenite lapidea è presente solo occasionalmente ed è stata accertata solo nel sondaggio SM3 a circa -10,0 di profondità e nel sondaggio SM5 a -12,0 e -16,0 mt e per lo spessore di circa 1 metro.

Poi è presente in profondità nel sondaggio SM6 proprio perché più a monte dove i limi tendono a ridursi in spessore.

Nella zona del SM5 la calcarenite è affiorante (vedi carta geologica di dettaglio 8) e si ritiene che da questo settore verso sud affiori più diffusamente rispetto all'ambito portuale dove è generalmente ricoperta dai limi palustri recenti.

Sempre nel settore portuale la calcarenite affiora a riva verso l'inizio del molo Colombo a nord anche se il passaggio laterale di facies verso i limi palustri è molto graduale e ricoperto dai terreni di riporto e vegetali misti a depositi di genesi antropica e per questo poco visibile se non alle prospezioni.

Il geologo incaricato

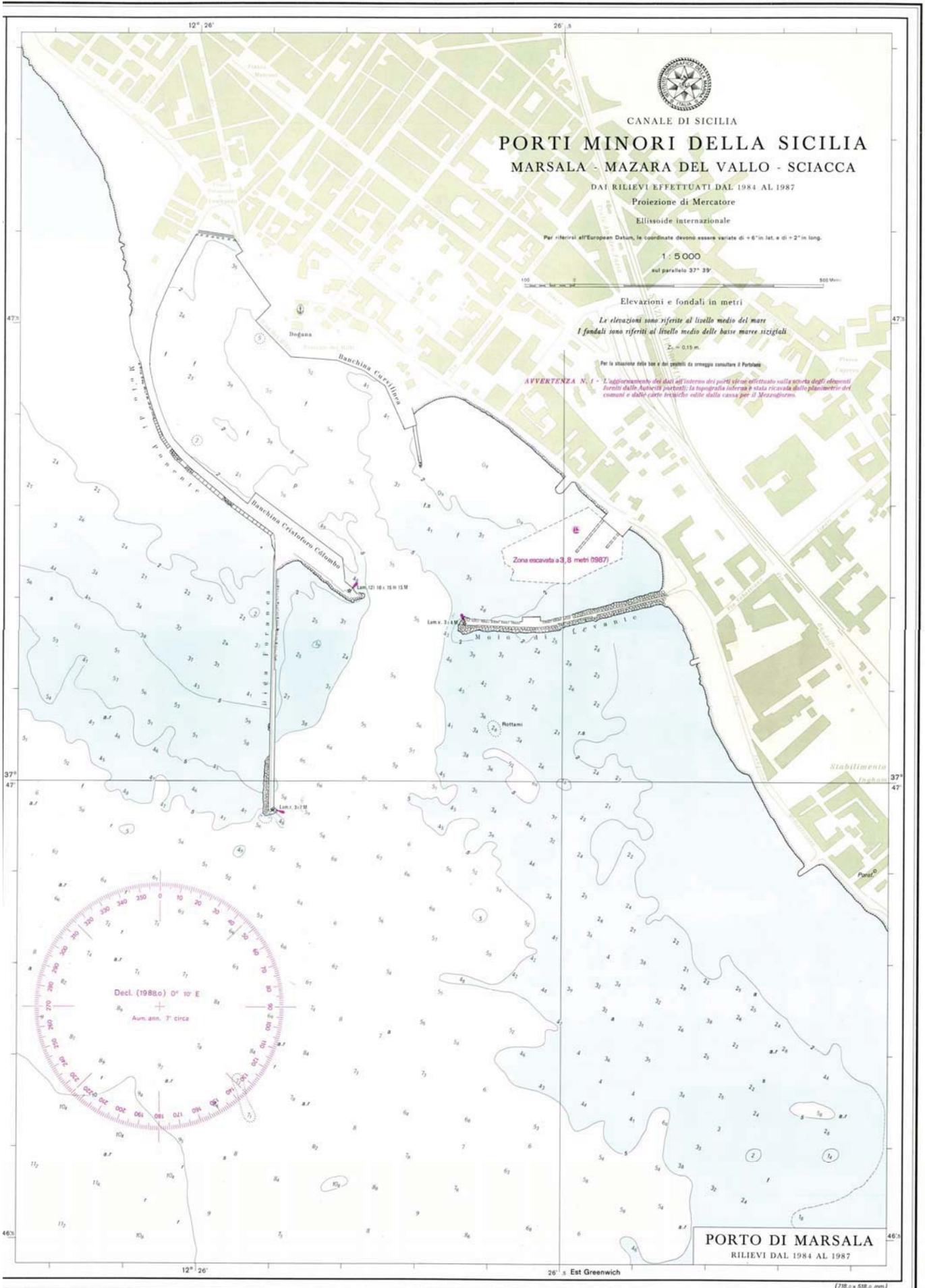
Piero Merk Ricordi



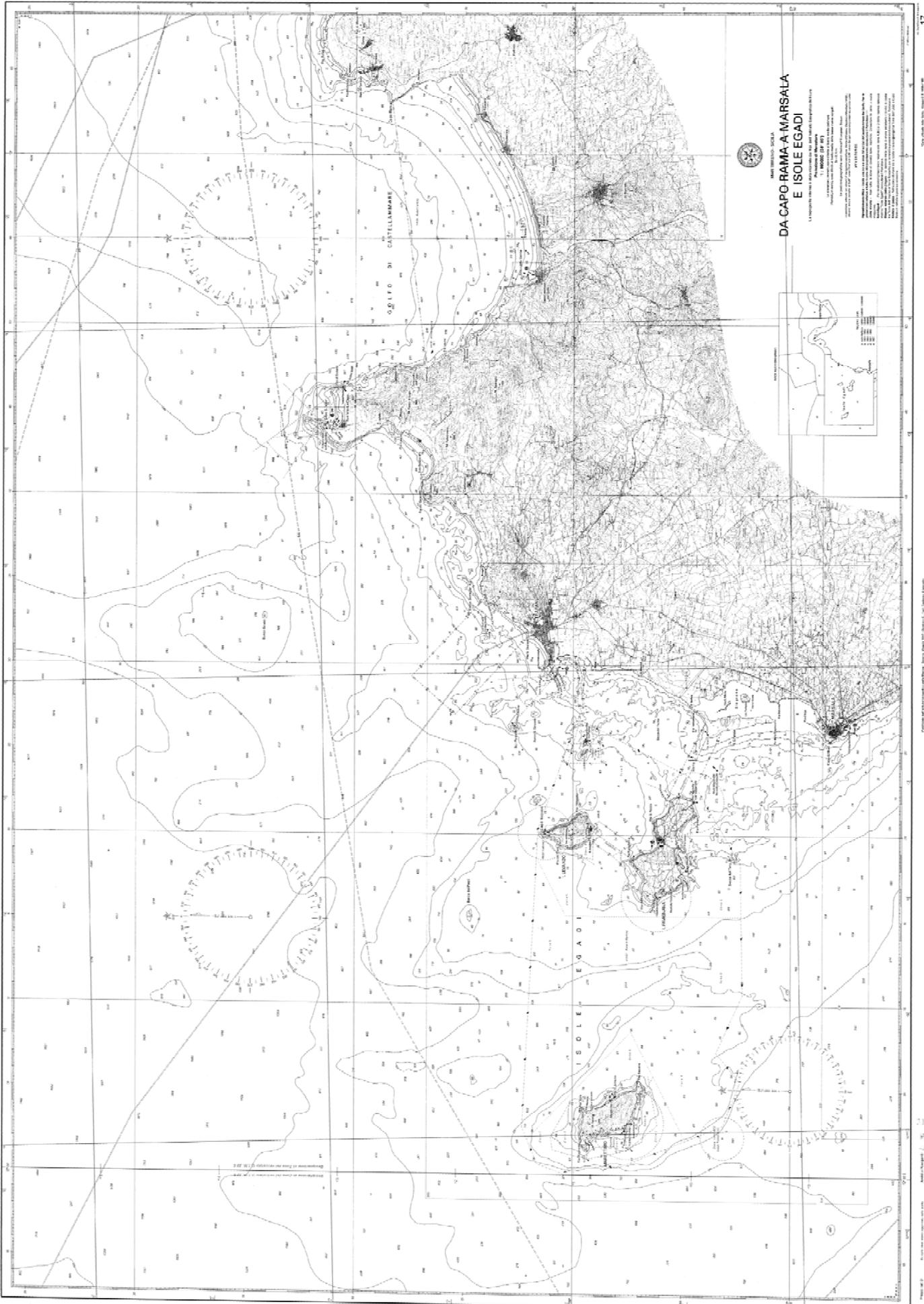
TAVOLE:

- ✓ Carta nautica 1 : 5000
- ✓ Carta nautica 1 : 10.000
- ✓ TAV. 1 – Dragaggi 2003
- ✓ TAV. 2 – Soglia Siculo Tunisina
- ✓ TAV. 3 – CTAR 617020
- ✓ TAV. 4 – Carta batimetrica
- ✓ TAV. 5 – Correnti
- ✓ TAV. 6 – Schema tettonico
- ✓ TAV. 7 – Carta geologica Marsala
- ✓ TAV. 8 – Carta geologica porto
- ✓ TAV. 9 – Carta idrogeologica
- ✓ TAV. 10 - Piano d'indagine

PER I SEGNALAMENTI LUMINOSI È INDICATA LA PORTATA NOMINALE
(VEDERE ELENCO DEI FARI)



CARTA NAUTICA – 1 : 10.000

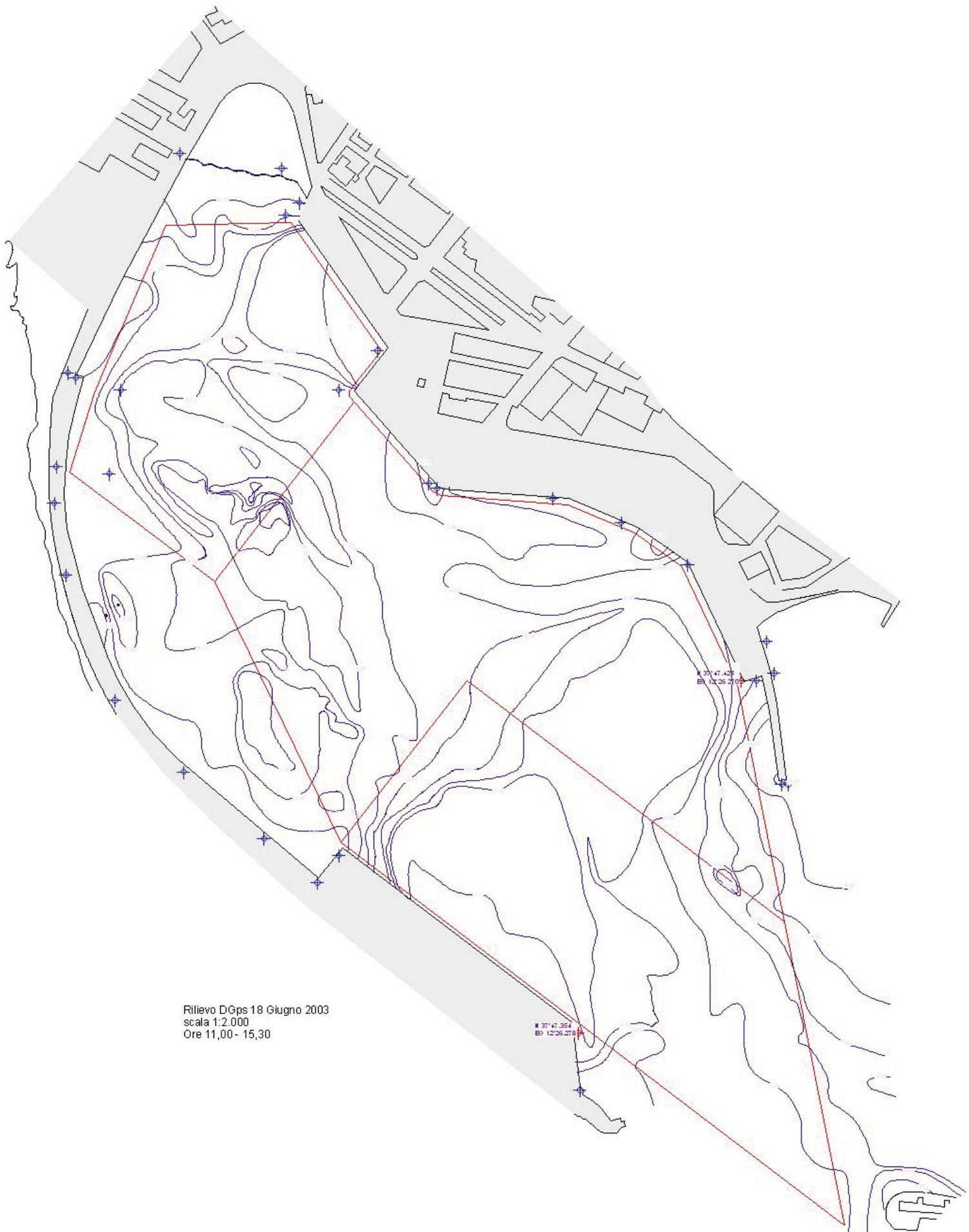


ISTITUTO IDROGRAFICO DELLA MARINA
DA CAPO RAMA A MARSALA
E ISOLE EGADI

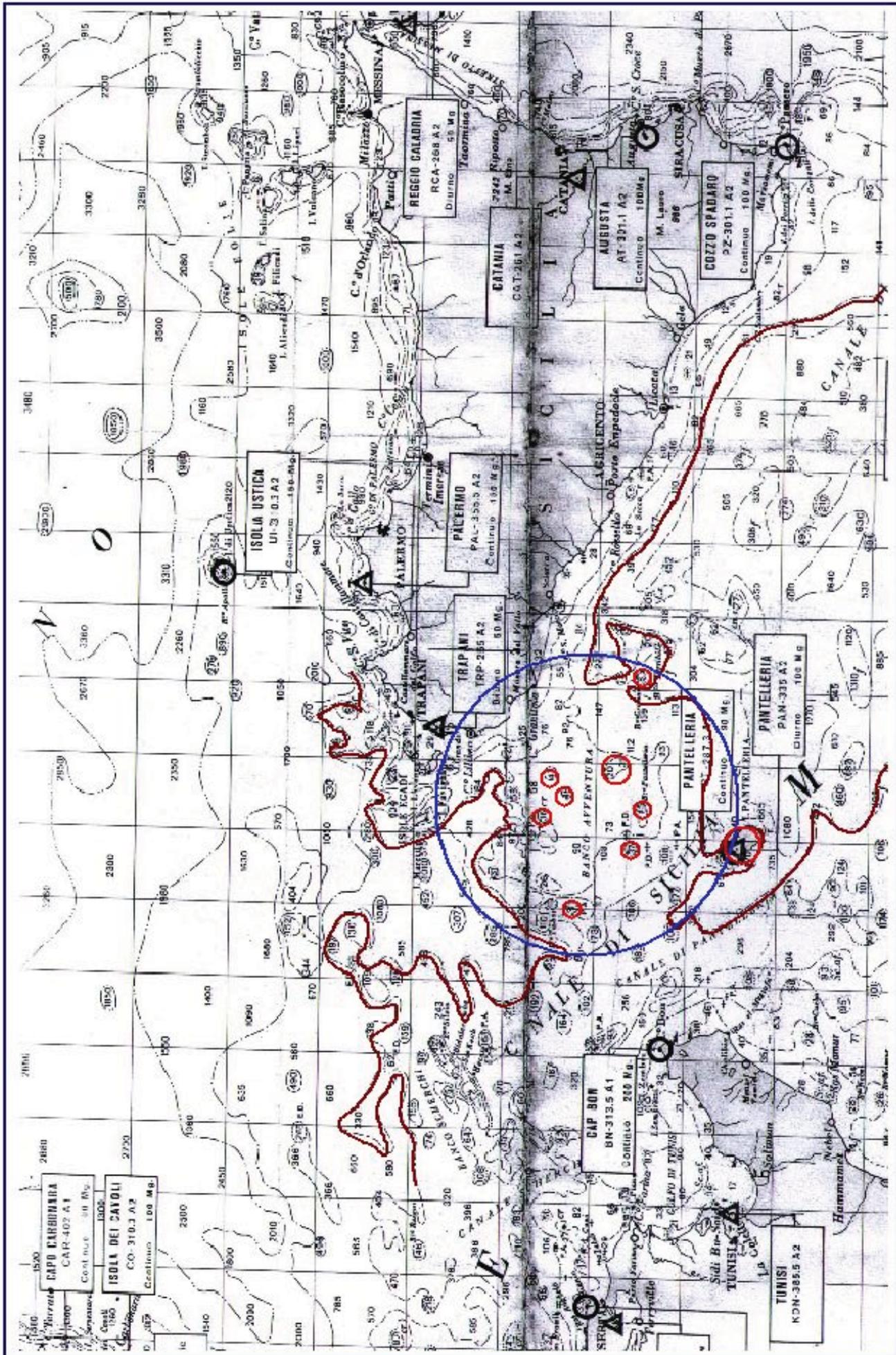
LA FONDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA NAUTICA ITALIANA È STATA AUTORIZZATA DAL GOVERNO ITALIANO
NEL 1918 PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA DI CARTOGRAFIA NAUTICA ITALIANA
LA FONDAZIONE HA PER SEDE IN ROMA, VIA MAREMMALE, 151
E È DIRETTA DAL COMANDANTE IN CAPO DELLA FREGATA "ALBA" (P. 1000) CAPITANO DI NAVIGAZIONE
GIULIO BIANCHI
IL DIRETTORE GENERALE È IL COMANDANTE IN CAPO DELLA FREGATA "ALBA" (P. 1000) CAPITANO DI NAVIGAZIONE
GIULIO BIANCHI
IL DIRETTORE GENERALE È IL COMANDANTE IN CAPO DELLA FREGATA "ALBA" (P. 1000) CAPITANO DI NAVIGAZIONE
GIULIO BIANCHI



TAV. 1 – Dragaggi 2003



Rilievo DGps 18 Giugno 2003
scala 1:2.000
Ore 11,00 - 15,30



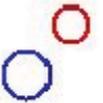
La soglia siculo tunisina
Scala 1:1.700.000

17 km
1 cm

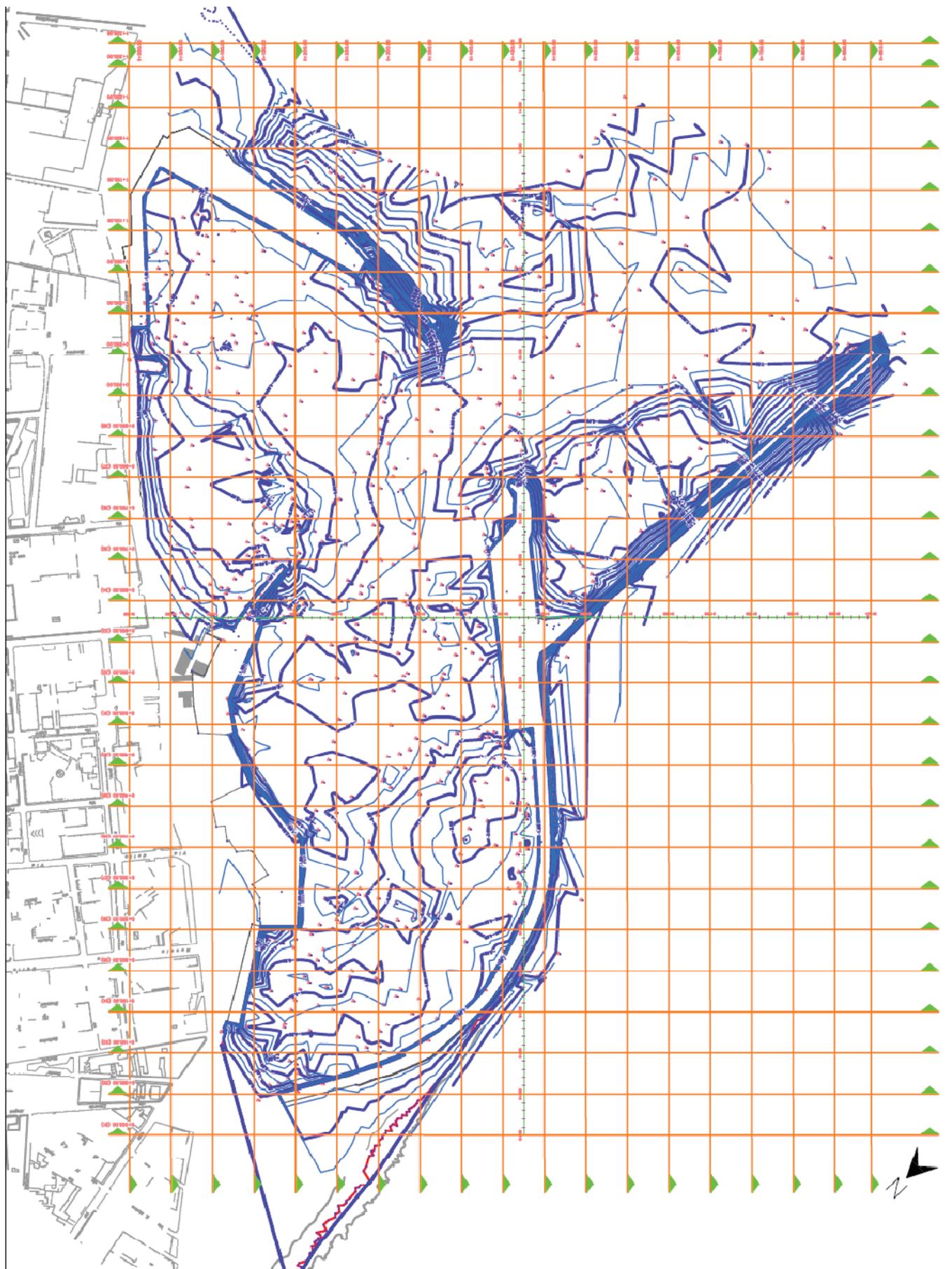
Zoccolo continentale

Edificio vulcanico Empedocle

Aree con attività vulcanica sottomarina

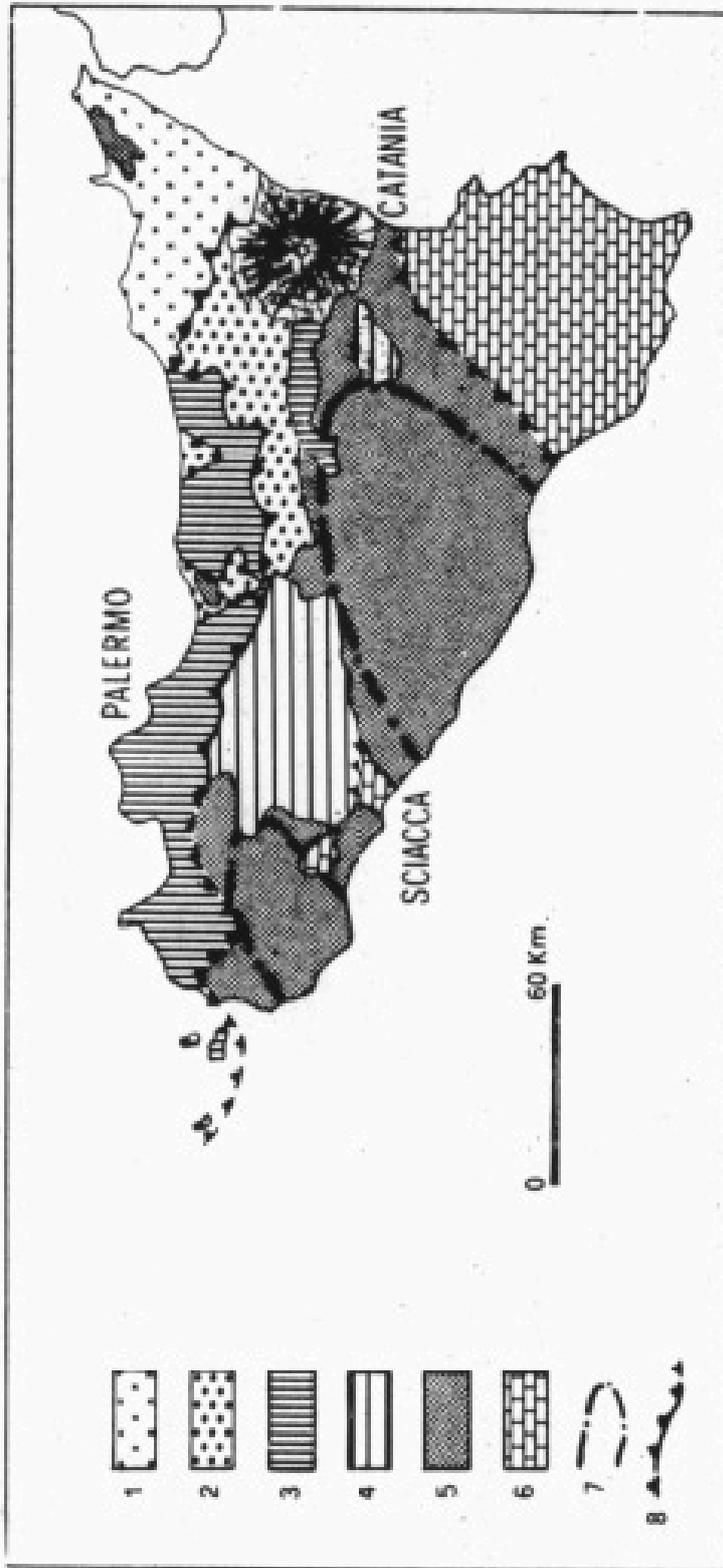


TAV. 4 – Carta batimetrica



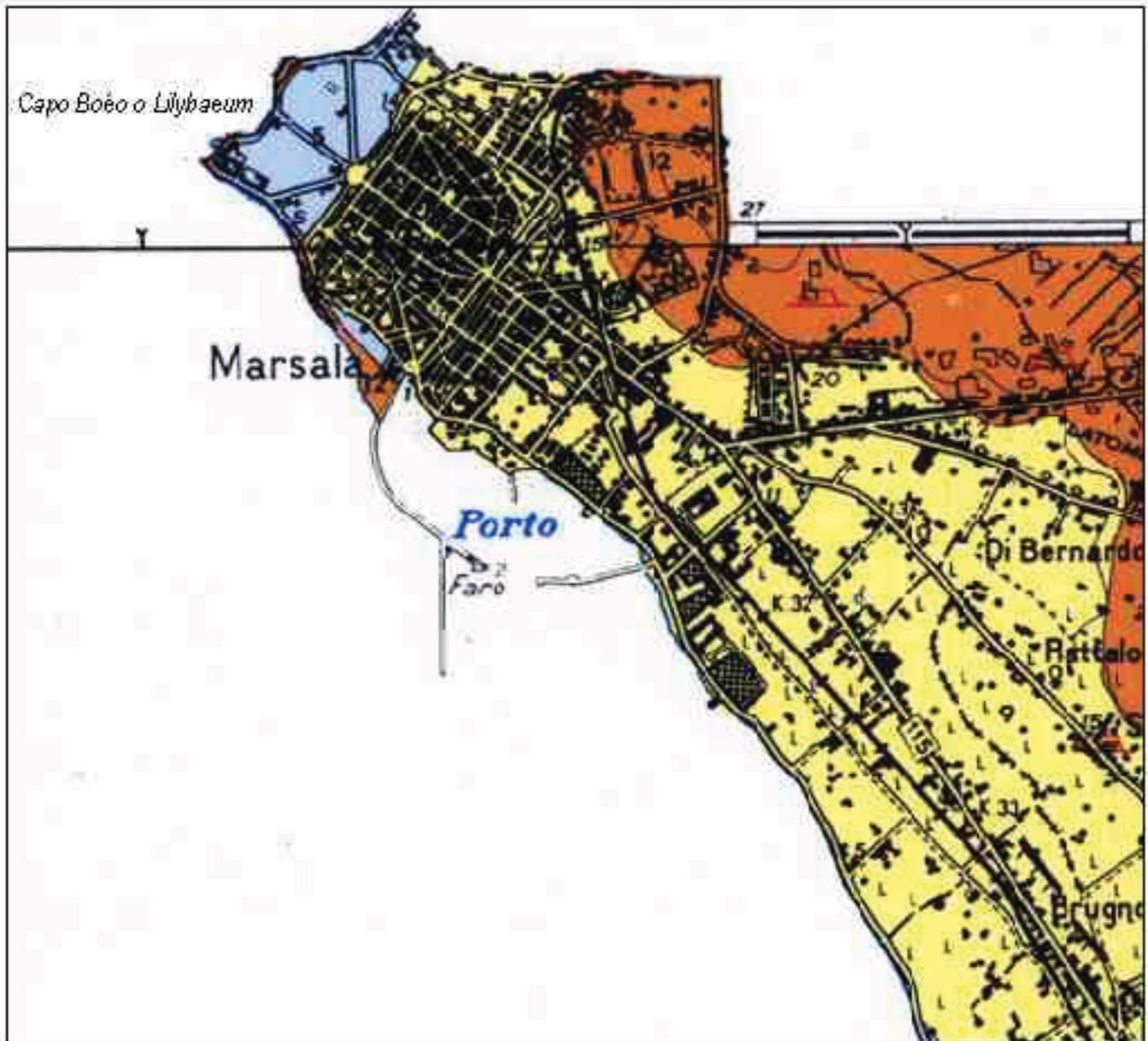


Tav. 5 - correntometria della Sicilia occidentale e arcipelago delle isole Egadi
Scala 1:100.000



Tav. 4 - Schema tettonico della Sicilia

- 1 - Unità dell'arco calabro - peloritano
- 2 - Unità sicili
- 3 - Unità panormidi e trapanese
- 4 - Unità trapanesi e soccessi
- 5 - Sedimenti di tipo molassico di avanfossa
- 6 - A vamp sese ibleo
- 7 - Strutture profonde di avanfossa
- 8 - Fronti di accavallamento



Tav. 5- Stralcio della Carta geologica del F° 617 "Marsala"

Univ. di Palermo - Ist. Geologia e Geodesia
Scala 1:25.000



5

Depositi di fondovalle e terrazzi alluvionali in evoluzione a carattere argilloso - Recente



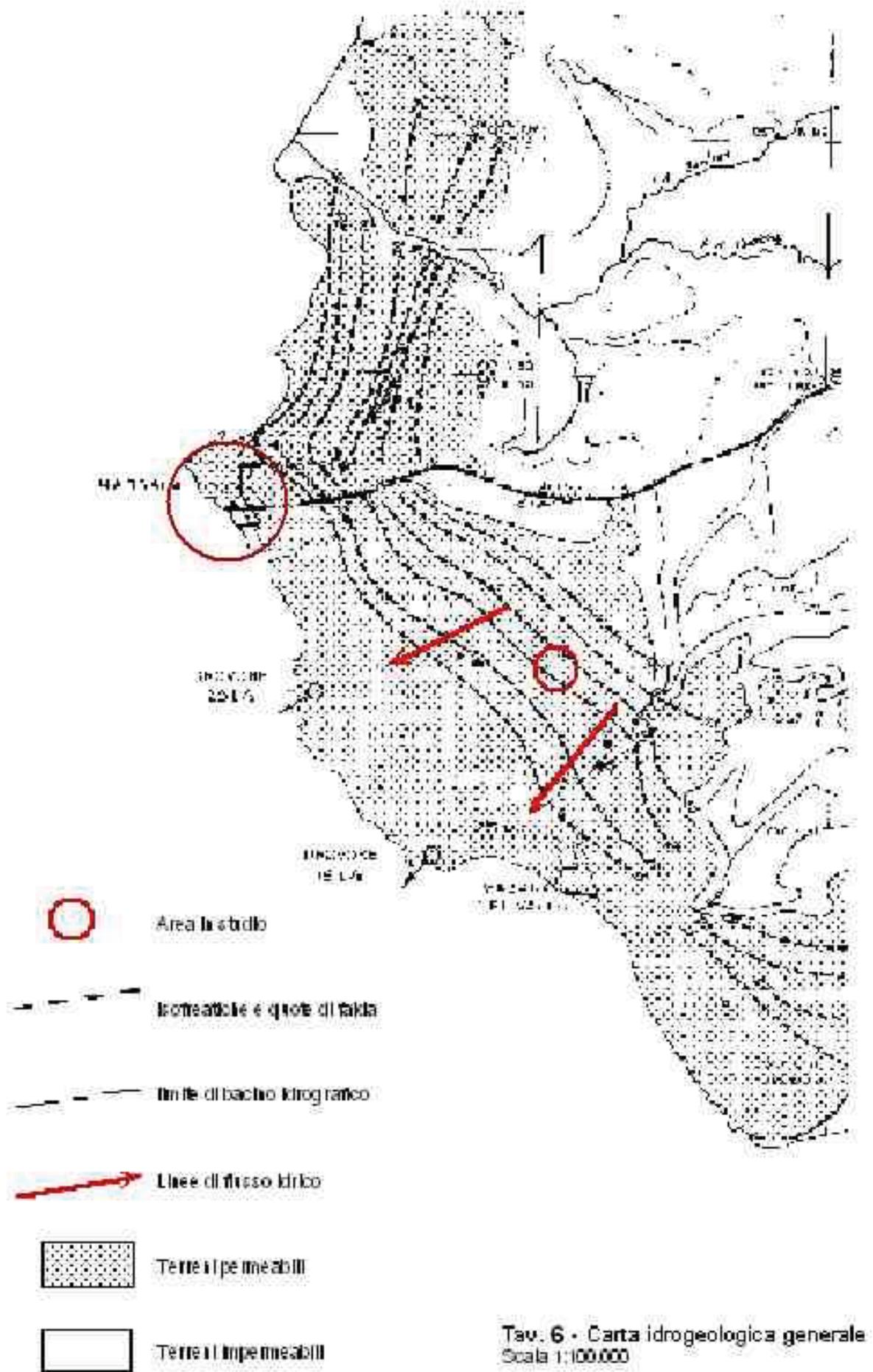
9

Depositi arenacei terrazzati siti a quote topograficamente comprese fra 0 e 35 m slm con orizzonti riconducibili a due ordini principali di terrazzi manni costituiti da calcareniti di colore variabile dal giallo al marrone chiaro con spessori decimetrici ricchi di fossili di età tirreniana.



12

Calcarenite di Marsala trasgressiva giallastra a consistenza variabile con lenti sabbie argillose. La compattezza è maggiore al top e si presenta scarsamente fossilifera; sono presenti livelli argillo sabbiosi di spessore decimetrico; Età emiliano II - Siciliano.



TAV. 10 – Piano d'indagine

