



AUTORITA' PORTUALE DI ANCONA



Progetto di fattibilità tecnica ed economica banchinamento fronte esterno molo Clementino nel porto di Ancona

Progetto:



Studio
Zoppi
INGEGNERIA
& Associati

Dott. Ing. Paolo Zoppi
Dott. Ing. Caterina Zoppi
Dott. Ing. Giuseppe Di Cosmo

Il Responsabile del Procedimento:

Dott. Ing. Gianluca Pellegrini

RELAZIONE GEOTECNICA - GEOLOGICA

base:

scala

data: giugno 2016

N.	AGGIORNAMENTI E MODIFICHE	DATA
1		
2		
3		

Premessa	2
1. Inquadramento geologico dell'area	2
2. Litologia	2
3. Terreni di fondale e coperture	5
4. Caratterizzazione stratigrafica.....	6
4.1. Indagini pregresse nell'area Fincantieri.....	7
4.2. Campagna di indagine del 2000 sul molo nord	7
4.3. Campagna di indagine del 2005 e 2006 lungo la banchina di allestimento Fincantieri	9
4.4. Campagna banchina 6 -7 Porto di Ancona	13
5. Profilo geotecnico di progetto.....	16
6. Caratterizzazione geomeccanica	17
6.1. Limi sabbiosi di scarsa consistenza.....	17
6.2. Sabbie fini	18
6.3. Argilla marnosa e Schlier	21
ALLEGATI.....	22

Premessa

La presente relazione intende fornire una caratterizzazione preliminare sotto il profilo geologico-geotecnico dell'area di intervento ricavata dall'esame delle indagini redatte in aree prossime:

1. *Nuova diga foranea di sottoflutto;*
2. *Nuova sede servizi tecnico-nautici molo nord;*
3. *Banchina allestimento Fincantieri ;*
4. *Banchina 7.*

Ovviamente in sede di progettazione definitiva dovrà essere condotta una campagna di indagine specifica sull'area oggetto di intervento.

1. Inquadramento geologico dell'area

Le caratteristiche generali dell'area portuale ed il suo inquadramento nell'ambito geologico più generale della città di Ancona sono descritte in una serie di documenti tecnici redatti in diversi periodi e relativi a lavori realizzati o ad opere esistenti in aree contermini.

Nella presente relazione si fa riferimento alla relazione geotecnica predisposta dal Genio Civile Opere Marittime di Ancona per il Piano Regolatore Portuale nel 1988, alla Relazione Geologica Definitiva del 1997 della GeoTrivell di Teramo (con la consulenza del Prof. Vincenzo Cotecchia) per la progettazione esecutiva del nuovo molo foraneo di sottoflutto del porto di Ancona, alla relazione geologica del Dott. Geol. Gloria Anna Sordoni del 2000 per il progetto della "Nuova sede servizi tecnico-nautici località molo nord porto di Ancona", alle indagini geologico-geotecniche ed alle prove di laboratorio eseguite nel 2006 per la banchina di allestimento Fincantieri ed al Rapporto geologico del dott. Geol. Fabio Vita (2013) relativo al progetto di interventi strutturali sulle banchine 6 e 7 .

Di seguito si richiamano le principali risultanze di queste indagini.

2. Litologia

L'attuale assetto morfologico strutturale è caratterizzato da un rilievo che costituisce il fianco occidentale di una macroanticlinale con asse orientato NO-SE (Anticlinale del Monte Conero), interessata da una faglia inversa orientata NO-SE e da una sinclinale con la medesima direzione (Tavernelle-Torrette), con probabili presenze di faglie minori. Gli strati hanno giaciture immergenti verso SO e SSO di 40°-55°; questo assetto è stato determinato da fenomeni di sollevamento e piegamento a seguito dei processi tettonici che hanno interessato la zona. L'area è formata da una serie di depositi marini che si sono formati dal Miocene medio superiore al Pliocene inferiore (Figura 1).

La tipica sequenza litologica dell'area anconetana vede, al di sotto delle coperture di origine eluvio-colluviale di età plio-pleistocenica, la presenza della formazione di età Messiniana dello Schlier, ovvero della formazione di argille marnose di età Pliocenica.

Lo Schlier risulta costituito essenzialmente da marne e calcari marnosi; la formazione Pliocenica da argille marnose o marne argillose con intercalazioni di livelli o lenti sabbiose di modesto spessore.

Nell'area portuale entrambe le formazioni sono presenti, risultando individuata una superficie di discontinuità stratigrafica con traccia in direzione NW-SE che si colloca, più o meno, in corrispondenza dell'attuale porto pescherecci, presso la Mole Vanvitelliana.

Sono presenti anche depositi continentali risalenti al Quaternario, costituiti da coperture detritiche di origine colluviale derivanti dal disfacimento della roccia madre; inoltre, nell'area portuale, sono presenti depositi recenti e attuali (dal 1800 in poi) caratterizzati da materiale di riporto di origine antropica.

La formazione dello Schlier è caratterizzata da una struttura marnoso calcarea basale in strati di 20-100 cm e in banchi di 200-500 cm di spessore (Langhiano basale) e da una struttura soprastante costituita da marne siltose e argille siltose grigiastre in strati di 10-40 cm con dimensioni anche di 100-200 cm.

In essa si rinvengono intercalazioni calcarenitiche e lo spessore della formazione varia per ogni zona.

Al di sopra dello Schlier vi sono i depositi del Messiniano, rappresentato da:

- 1. Formazione Gessoso-solfifera: gessi, arenarie gessose, gessareniti, calcari solfiferi, argille bituminose e diatomiti (Messiniano p.p.);*
- 2. Argille a colombacci: marne argillose, argille marnose e marne con intercalazioni di arenarie e di calcari micritici (Messiniano superiore), che costituiscono la parte inferiore delle Marne dei Corvi, in cui oltre alle peliti sono presenti intercalazioni arenacee in strati medi e sottili, arenacei in strati di 3-4 metri di spessore e un orizzonte dello spessore di 15 metri di calcarenite arenacea a granulometria medio fine.*

L'ambiente di sedimentazione è di lago-mare; l'orizzonte del Trave segna il passaggio tra Miocene e Pliocene.

Il Pliocene dell'area di Ancona è caratterizzato dalle peliti grigio-azzurre; esse sono costituite da una sequenza di argille siltose, argille marnose, marne argillose che passano superiormente a depositi costituiti da corpi sabbiosi (Pliocene inferiore - medio p.p.).

La zona oggetto di studio (molo Clementino) si trova in un'area del porto oggetto di interrimenti recenti a morfologia pianeggiante.

I terreni di riporto utilizzati per l'interrimento a tergo della struttura sono ciottoli di pezzatura media e grossolana e il paramento lato mare è costituito da massi artificiali in cls. Al di sotto di questi spessori di materiale è presente la formazione in posto costituito da Schlier.

Sotto il profilo geo-strutturale è, inoltre, importante evidenziare che i numerosi studi di natura sismotettonica condotti in seguito al noto evento franoso che ha interessato la vasta area di Posatora, a ridosso del porto nel 1982, non hanno mai evidenziato segni di attività tettonica recente lungo le superfici di discontinuità stratigrafiche riconosciute con le indagini.

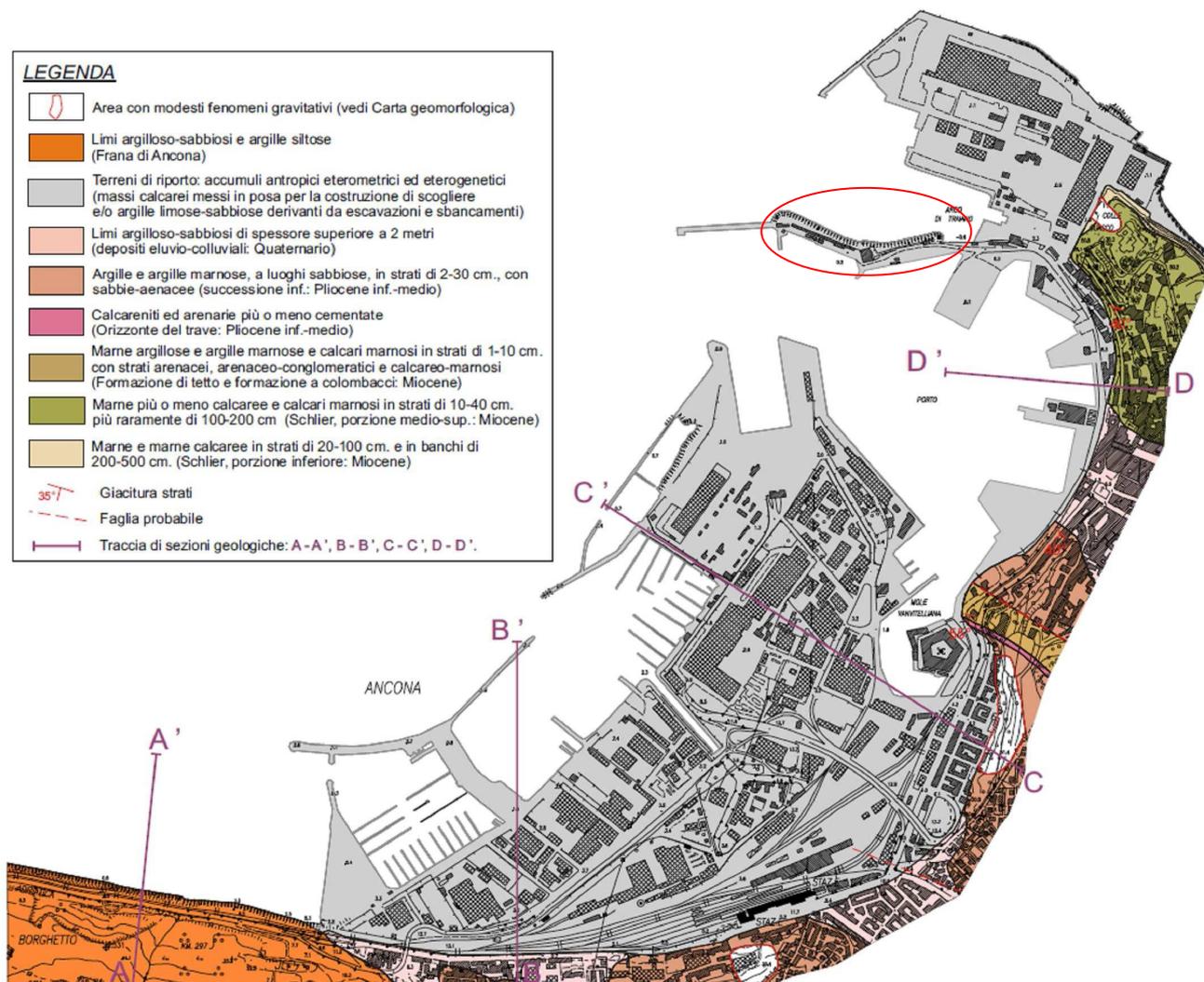


Figura 1. Carta Geologica (PPE del porto).

In conclusione l'area portuale di Ancona si presenta complessa sotto il profilo geologico, a causa della intensa attività tettonica che l'ha interessata. Dalle indagini effettuate si riscontra la presenza, dal basso verso l'alto, delle seguenti formazioni:

1. *formazione Schlier (Miocene medio-inferiore), tipica dell'area anconetana, costituita da un'alternanza di marne, marne argillose e calcari marnosi biancastri, notevolmente consistenti. Questa formazione si estende a partire da una profondità di circa 25-27 m fino a 40-50 m corrispondente alla massima profondità a cui si sono spinte le indagini geognostiche, ma è presumibile che si estenda fino a profondità anche maggiori.*
2. *Sulla formazione della Schlier sono stati rinvenuti i terreni del Miocene Superiore, che si presentano assai vari per composizione litologica e spessore. Tra le formazioni del Miocene superior, si riconosce la cosiddetta formazione Gessoso-Solfifera, costituita da argille e marne bituminose, marne tripolacee e diatomiti, seguite da calcari marnosi, calcari dolomitici e solfiferi. Questi calcari a loro volta sono seguiti da argille bituminose con rare e sottili intercalazioni di siltiti arenarie fini.*

La formazione Gessoso-Solfifera è seguita, verso l'alto, dalla Formazione a Colombacci (sempre del Miocene superiore), costituita da argille marnose con sottili intercalazioni arenacee. La parte superiore del ciclo miocenico è costituita dalla formazione geologica denominata Orizzonte del Trave, che tuttavia sembra scomparire nei dintorni della città di Ancona.

- 3. La successione pliocenica (Pliocene medio-inferiore) è costituita essenzialmente da argille marnose e/o marne argillose. Senza alcun ordine apparente sono presenti nelle argille interstrati millimetrici lenti e/o livelli sabbiosi e sabbioso limosi.*
- 4. Al di sopra della successione pliocenica si rinvencono i depositi colluviali argilloso-sabbiosi del Pleistocene.*
- 5. Questi ultimi sono sovrastati da uno strato di terreni sciolti rappresentati da sabbie fini, con livelli sabbioso-limosi, limoso-sabbiosi e limoso-argillosi. In particolare, lo strato più superficiale è costituito da materiale di riporto, ottenuto tramite riempimento idraulico dell'area con sabbie di dragaggio. Si tratta pertanto di terreni sciolti costituiti da sabbie fini, con livelli sabbioso-limosi, limoso-sabbiosi e limoso-argillosi¹.*

3. Terreni di fondale e coperture

Tutti i sondaggi condotti nelle aree contermini, principalmente nello stabilimento Fincantieri, indicano che i terreni di fondale sono costituiti principalmente dalla successione di due distinti litotipi: procedendo dal fondale, al crescere della profondità, si ritrovano limi argilloso-sabbiosi di bassa consistenza, seguiti da un deposito di sabbie fini mediamente addensate.

La potenza complessiva dei depositi di copertura, sulla base dei risultati delle diverse campagne di indagine, è variabile fra 2-3 m e 15 metri da quota fondale, procedendo da terra verso mare in direzione SE-NW.

Al di sotto di questo spessore si ritrova la formazione di base compatta, individuata come formazione dello Schlier.

La sequenza dei terreni sopra descritta è evidenziata anche dal rilievo geofisico eseguito dalla Geomarine s.r.l. (Rilievo batimetrico single beam e geofisico sub bottom profiler, area destinata alla realizzazione della nuova banchina Fincantieri porto di Ancona, Settembre 2006), di cui si riporta, in Fig.2, la disposizione planimetrica degli allineamenti indagati.

¹ Tale strato di riporto presenta un addensamento maggiore nei livelli più superficiali, per una profondità limitata a 2-3 metri dal piano campagna, ciò anche a causa dell'effetto di compattazione esercitato dai massi in calcestruzzo che sono stati posti nell'area prospiciente l'area di intervento.

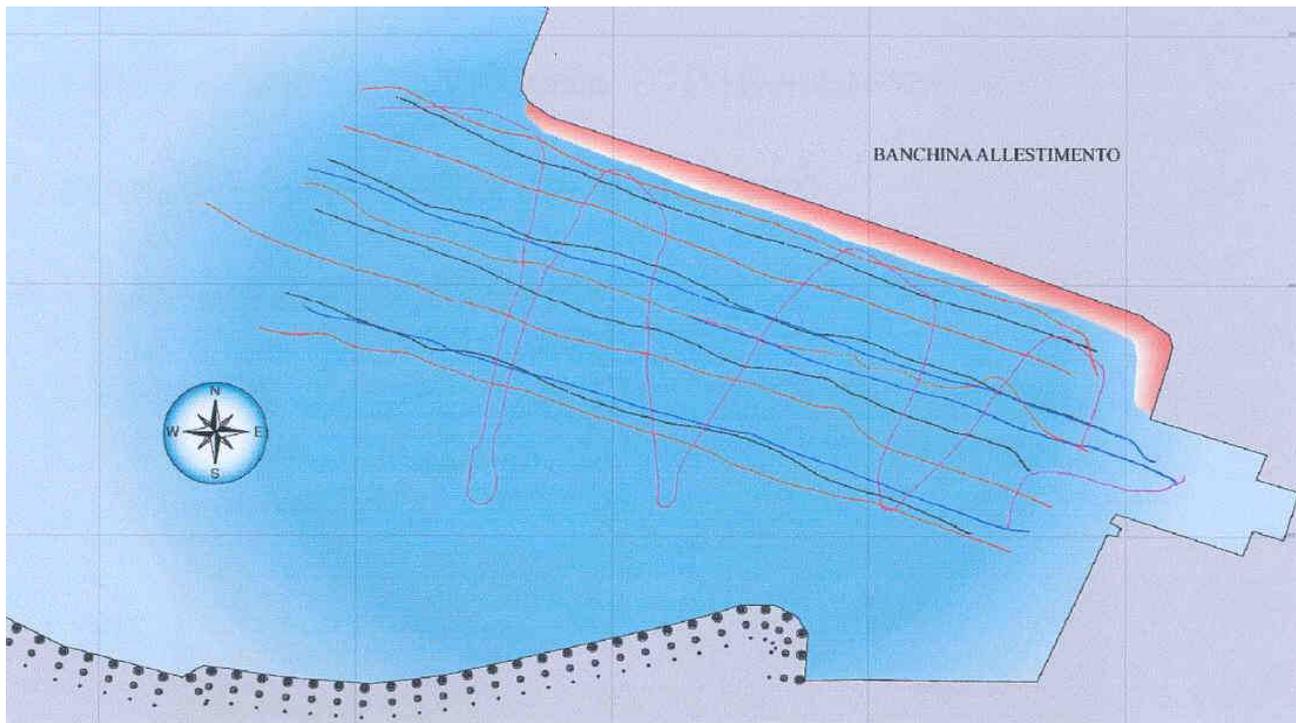


Figura 2. Carta della navigazione.

Dall'esame delle sezioni eseguite si individua la successione stratigrafica che caratterizza l'area dove si colloca la banchina di allestimento navi.

Al di sotto di un battente d'acqua variabile fra 5 e 8.5 m, si ritrova:

- **unità A** con spessore minimo di circa 1m e tendenza all'accrescimento da Est verso Ovest,
- **unità B** con spessore minimo di 0.5m e massimo di circa 3 m che raggiunge una profondità di -13.5m sul l.m.m.,
- **unità C** che nella parte orientale dell'area indagata è delimitata verso il basso dal substrato acustico, mentre il limite non è più distinguibile nella parte occidentale a causa del notevole incremento di potenza,
- **unità SA**, osservabile esclusivamente nella parte orientale dell'area (per un tratto di circa 70m); la sua profondità minima è a circa -10m sul l.m.m. con direzione di immersione da Est verso Ovest.

Nel confronto con la descrizione della litologia dei sedimenti le unità A, B e C rappresentano i terreni di copertura, con spessore massimo di 15 metri, mentre l'unità SA indica l'inizio della formazione argilloso-marnosa di base.

4. Caratterizzazione stratigrafica

Per la caratterizzazione stratigrafica è possibile far riferimento ad indagini pregresse relative alla realizzazione del terrapieno per costruire il cantiere navale Fincantieri (anni '70) e a campagne recenti (2000, 2005 e 2006) appositamente eseguite per la redazione del progetto "Nuova sede servizi tecnico-nautici località "rotonda molo nord" porto di Ancona" e del progetto definitivo della nuova banchina di allestimento navi della Fincantieri .

4.1. Indagini pregresse nell'area Fincantieri

Da un esame dei documenti a disposizione è emerso che a partire dal 1974 nell'area Fincantieri, sono stati eseguiti 52 sondaggi geognostici necessari a definire le condizioni stratigrafiche del sottosuolo per la realizzazione del riempimento a mare e di tutte le opere accessorie del cantiere navale.

Le precedenti campagne di indagine si sono articolate come segue:

- *12 sondaggi e prove penetrometriche in situ (10 lungo il perimetro del sito e 2 entro il bacino) eseguiti nel 1974 prima dell'inizio del riempimento (S.T.I.P.E. 1978);*
- *8 sondaggi nella parte a Nord del sito, prevista per l'officina navale e le aree di stoccaggio associate, effettuati nel 1977 durante l'esecuzione del riempimento (Fondedile, 1979);*
- *10 sondaggi nell'area del bacino, 4 situati all'interno del bacino e i rimanenti 6 eseguiti dalla superficie del riempimento (Radaelli e Castellotti, 1977);*
- *17 sondaggi con prove penetrometriche dinamiche e prove di permeabilità, eseguiti dalla superficie del riempimento nel 1978 (Fondedile, 1978);*
- *5 sondaggi effettuati all'interno dell'officina navale e nelle adiacenti aree di stoccaggio e di prefabbricazione (Dappolonia 1982).*

Dalle precedenti possono essere ricavate delle indicazioni generali sulla composizione del sottosuolo che risulta così costituito:

- *sotto il piano campagna, per uno spessore variabile tra 5 e 17 m, è presente del materiale di riempimento costituito da ghiaia eterometrica da angolare a subarrotondata in matrice sabbioso limosa;*
- *il terreno naturale sottostante il riempimento è tipico dei depositi costieri anconetani, consiste principalmente di sabbie limose o limi sabbiosi con spessore che aumenta da 0 a circa 15-20 m da SE verso NW;*
- *al di sotto del deposito sabbioso emerge la formazione marnoso calcarea dello Schlier che si riscontra ad una profondità variabile tra i 5 e i 30m*

4.2. Campagna di indagine del 2000 sul molo nord

È stata eseguita nel mese di febbraio 2000 una indagine geologica sui terreni di fondazione interessati alla realizzazione della nuova Sede dei Servizi Tecnico-Nautici, da redigere al molo Nord del Porto di Ancona, della quale è stata incaricata la Dott. Geol. Gloria Anna Sordani. La campagna è consistita in un esame della situazione geologica e geomorfologica tramite un rilevamento di superficie, prendendo nel contempo visione della cartografia geologica esistente.

Per la verifica della situazione stratigrafica locale si è eseguito n.1 sondaggio meccanico utilizzando una sonda a rotazione a carotaggio continuo.

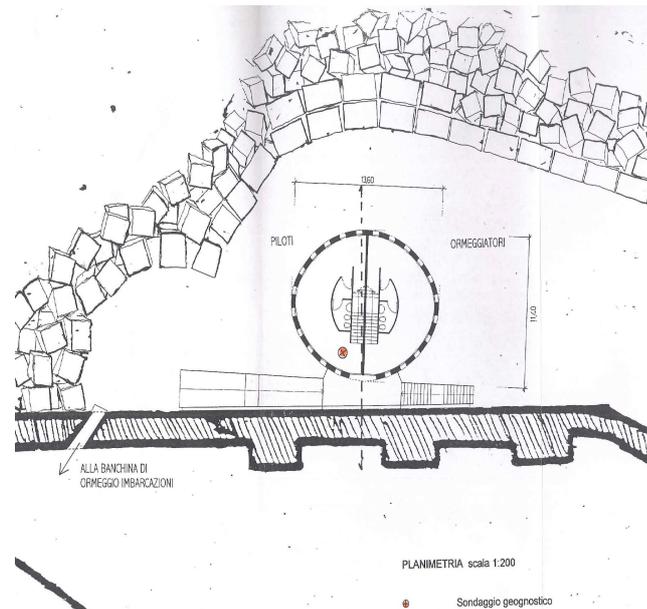


Figura 3. Ubicazione fabbricato servizi tecnico-nautici sul molo Nord.

La stratigrafia rilevata mostra la presenza di materiali di riempimento costituiti da ghiaia a pezzatura grossolana, sabbie, argille e materiale litoide prevalentemente calcareo dal piano campagna ad una profondità di 16,5 m.

Al di sotto del riempimento era presente uno strato composto da sabbie, sabbie argillose e argille siltose con una potenza di 6,5m.

Da una profondità di -23,0 m al fondo del foro si è rilevata la presenza di marne e argille marnose (Schilier)

STUDIO GEOLOGICO TECNICO		Committente : Corpo Piloti - Corpo Ormezzatori	
Dr. Geol. Gloria Anna Sordani via Milano 16 Tel 071/744160 60037 Monte San Vito (AN)		Cantiere Rotonda Molo Nord - Porto di Ancona	
		Località Ancona	Sondaggio n° 1
Prof. (m)	Falda idrica (m)	descrizione delle caratteristiche del terreno	Resis. punta Kg/cmq
0.00		massicciata (spesa, 15 cm)	
1.00		materiale litide con matrice sabbiosa gialla	
2.00			
3.00			
4.00			
5.00		materiale litide di piccola pezzatura con matrice argilosa rossastra	
6.00			
7.00		materiale litide grossolano	
8.00			
9.00		materiale litide grossolano in matrice sabbiosa	
10.00			
11.00			
12.00			
13.00		materiale litide di piccola pezzatura con matrice argilosa	
14.00			
15.00		sabbie, sabbie limose grigio - azzurre	
16.00			
17.00			
18.00			
19.00			
20.00			
21.00			
22.00			
23.00		marne, marne argilose	

Figura 4. Sondaggio per fabbricato servizi tecnico-nautici sul molo Nord.

4.3. Campagna di indagine del 2005 e 2006 lungo la banchina di allestimento Fincantieri

E' stata eseguita nel mese di luglio 2005 una campagna di indagine geognostica della quale è stata incaricata la Società Methodo S.r.l. con la consulenza del Prof. Giuseppe Scarpelli dell'Università Politecnica delle Marche.

La campagna è consistita in quattro sondaggi a carotaggio continuo, sul filo dell'attuale banchina, disposti planimetricamente come in Figura 5, tre prove penetrometriche dinamiche con punta aperta e nel prelievo di un campione indisturbato di tipo Shelby all'interno dell'argilla pliocenica alterata sovrastante la formazione dello Schlier.

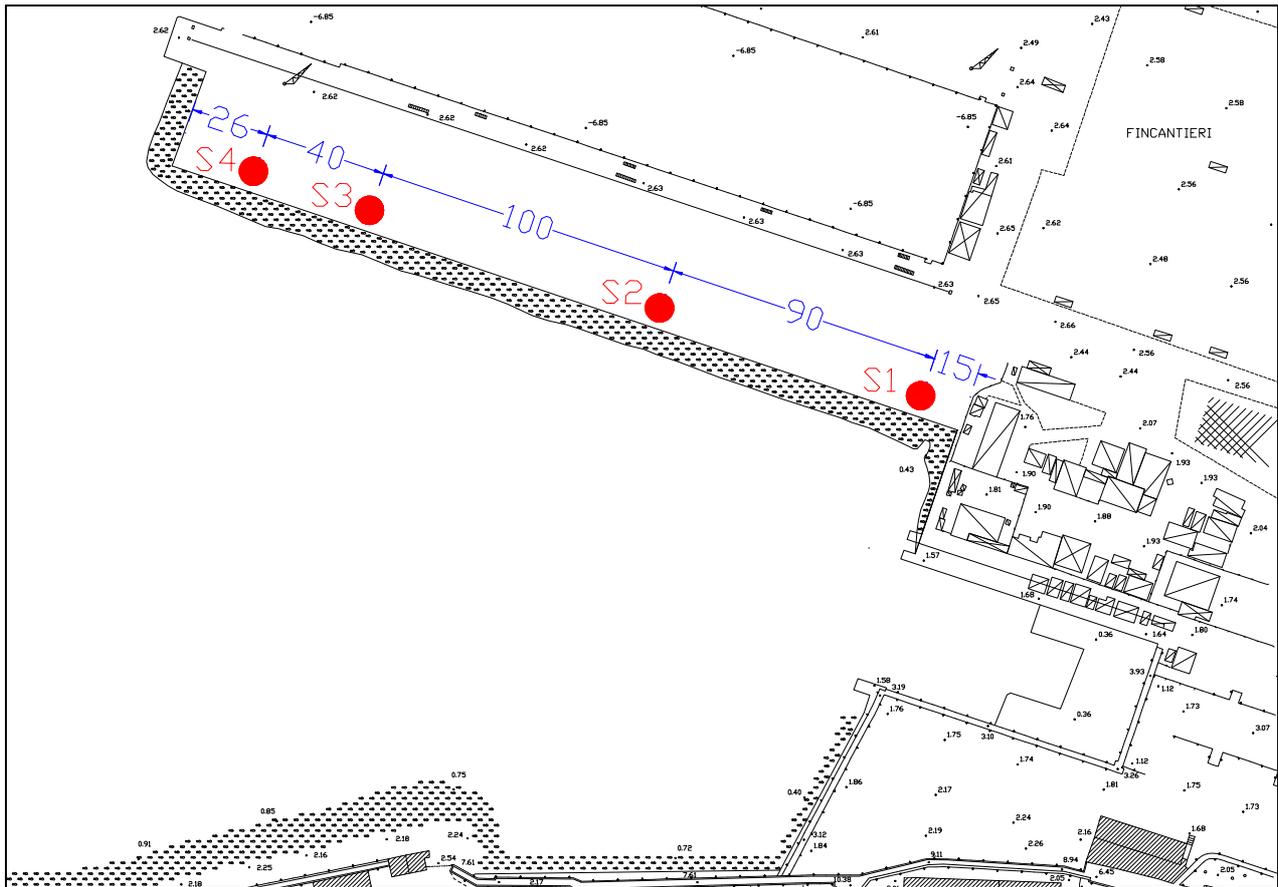


Figura 5. Ubicazione dei sondaggi (campagna di indagine Luglio 2005).

Le perforazioni, denominate S1, S2, S3 e S4, sono praticate a partire dalla quota +2.5m sul l.m.m. ed estese ad una profondità compresa tra i 16 e i 33m.

La stratigrafia rilevata mostra la presenza di materiali di riempimento costituiti da ghiaia e ciottoli con trovanti in conglomerato cementizio e frammenti grossolani di natura calcarea per una profondità minima di -6.5 m sul l.m.m. nel sondaggio S1 e massima di -16.0 m sul l.m.m. nel sondaggio S3. In generale lo spessore del riempimento si incrementa in maniera praticamente lineare procedendo da terra verso mare in direzione SE-NW.

Il riempimento risulta sovrapposto ad uno strato di limo sabbioso di spessore variabile tra 3m in S1, S2 e 13m in S3, S4; in quest'ultimo caso sono presenti intercalazioni di materiale argilloso con potenza massima di 2.5m alla profondità compresa tra -24 e -26.5m sul l.m.m.

Il deposito limo sabbioso ricopre la formazione di età Messiniana dello Schlier tipicamente affiorante lungo la falesia a NW dello scoglio del Trave; si tratta di marne calcaree e calcari marnosi compatti di colore grigio a cui si intercalano rari strati di arenarie giallo-verdi a grana fine (S2, da -18 a -19m sul l.m.m.).

Procedendo da terra verso mare, in direzione SE-NW, si individua una discontinuità stratigrafica in corrispondenza della quale il tetto della formazione, inizialmente posto ad una profondità di -13m sul l.m.m. con un andamento di tipo suborizzontale, immerge rapidamente fino ad una profondità di -28m sul l.m.m. per ritornare poi con andamento suborizzontale. Tale discontinuità si colloca ad una distanza di circa 90m dal filo di costa attuale, in prossimità del sondaggio S2.

Per completare il quadro delle conoscenze sull'assetto stratigrafico del sottosuolo, l'Autorità Portuale ha ritenuto necessario integrare le indagini disponibili con una ulteriore campagna di indagine condotta *in mare* dalla Methodo srl, con lo scopo di caratterizzare direttamente i terreni su cui si sarebbe realizzata la nuova banchina di allestimento. In particolare sono stati eseguiti 4 sondaggi geognostici mediante l'impiego di sonda a rotazione posizionata su pontone mobile ancorato al fondale, 4 prove penetrometriche statiche con punta meccanica, 14 prove penetrometriche dinamiche e prelevati 3 campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio. Le indagini sono disposte in pianta secondo lo schema di figura 8:

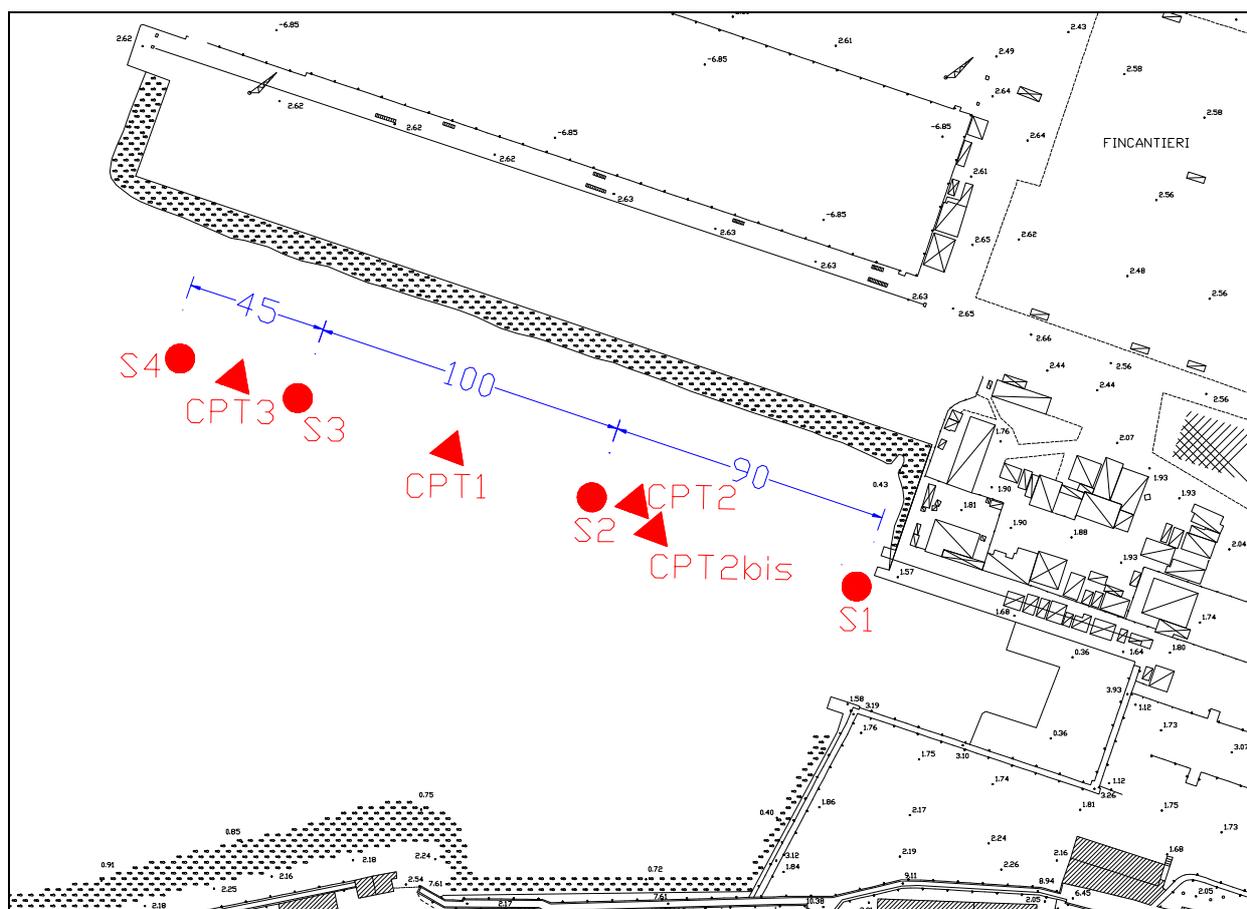
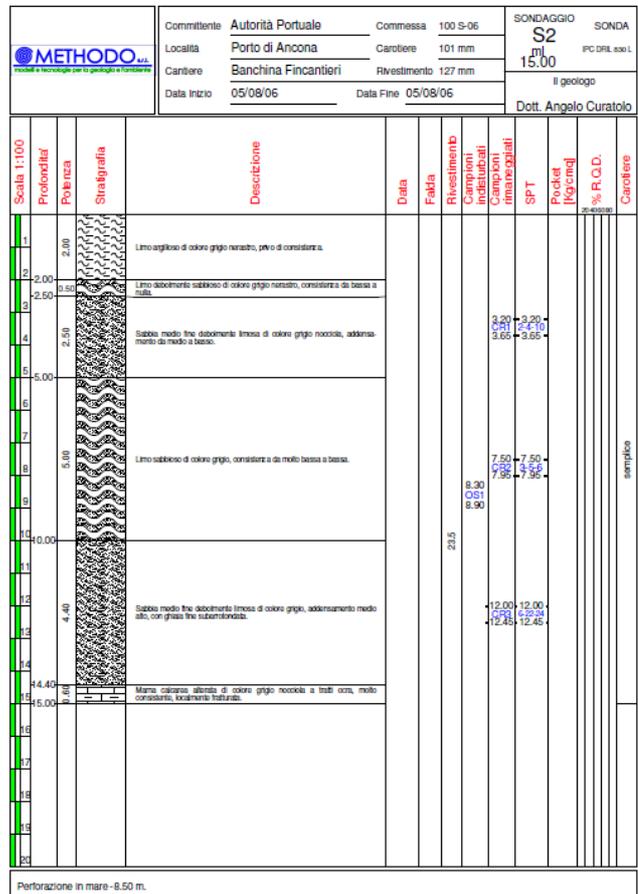
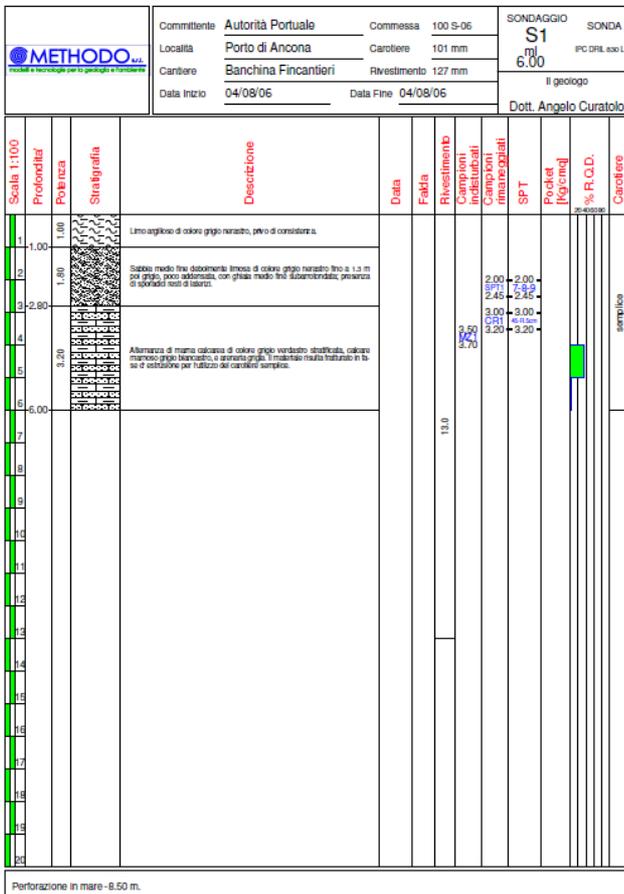


Figura 6. Ubicazione dei sondaggi (campagna di indagine Agosto 2006).

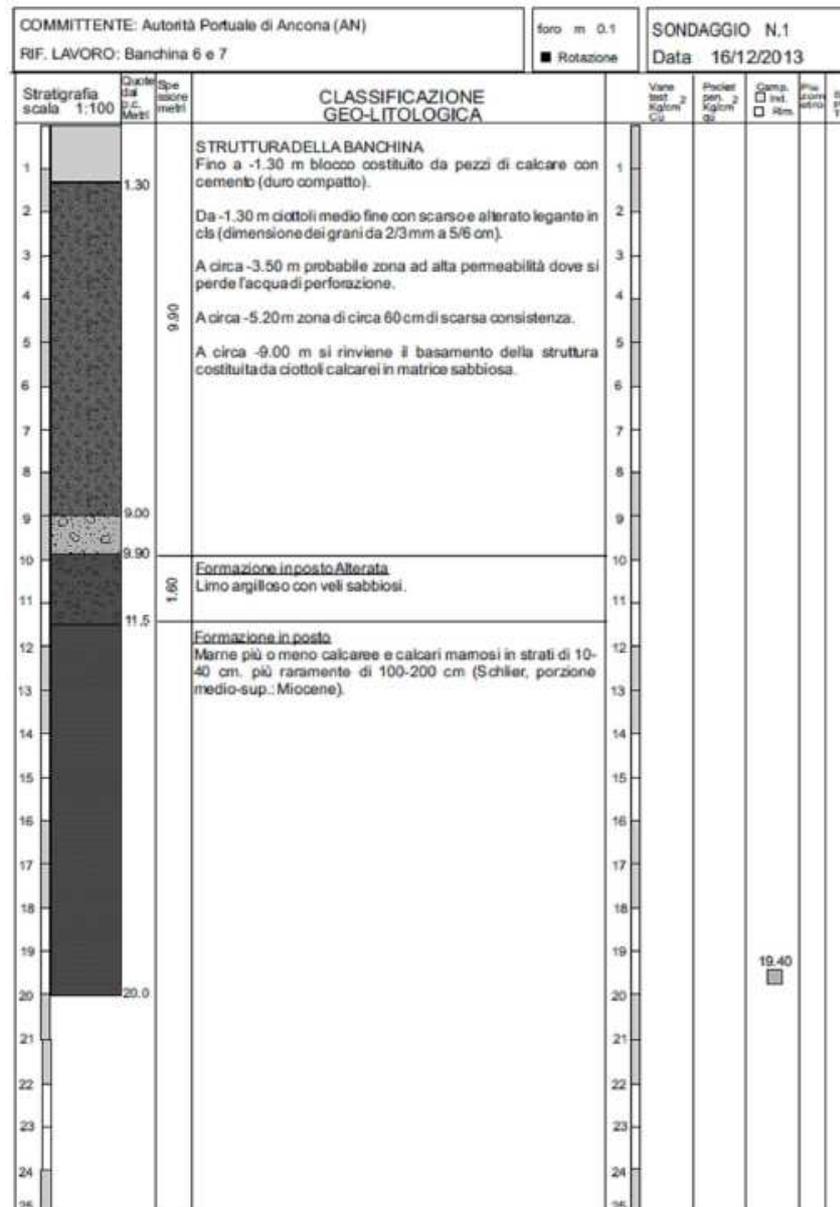
I sondaggi S2, S3, S4 spinti fino alla profondità di -15m dal fondale hanno evidenziato, al di sotto di un deposito di sabbie medio-fini di spessore compreso tra 0.5m e 3.5m, la presenza di materiali limosi di scarsissima consistenza con potenza variabile tra i 5m nei sondaggi S2, S3 e gli 11m nel sondaggio S4.

La scarsa consistenza del deposito è confermata sia dalle prove CPT da cui si ottengono valori di resistenza alla punta di 200-400kPa sia dalle prove penetrometriche dinamiche che forniscono valori di N_{spt} compresi tra 4 e 11.

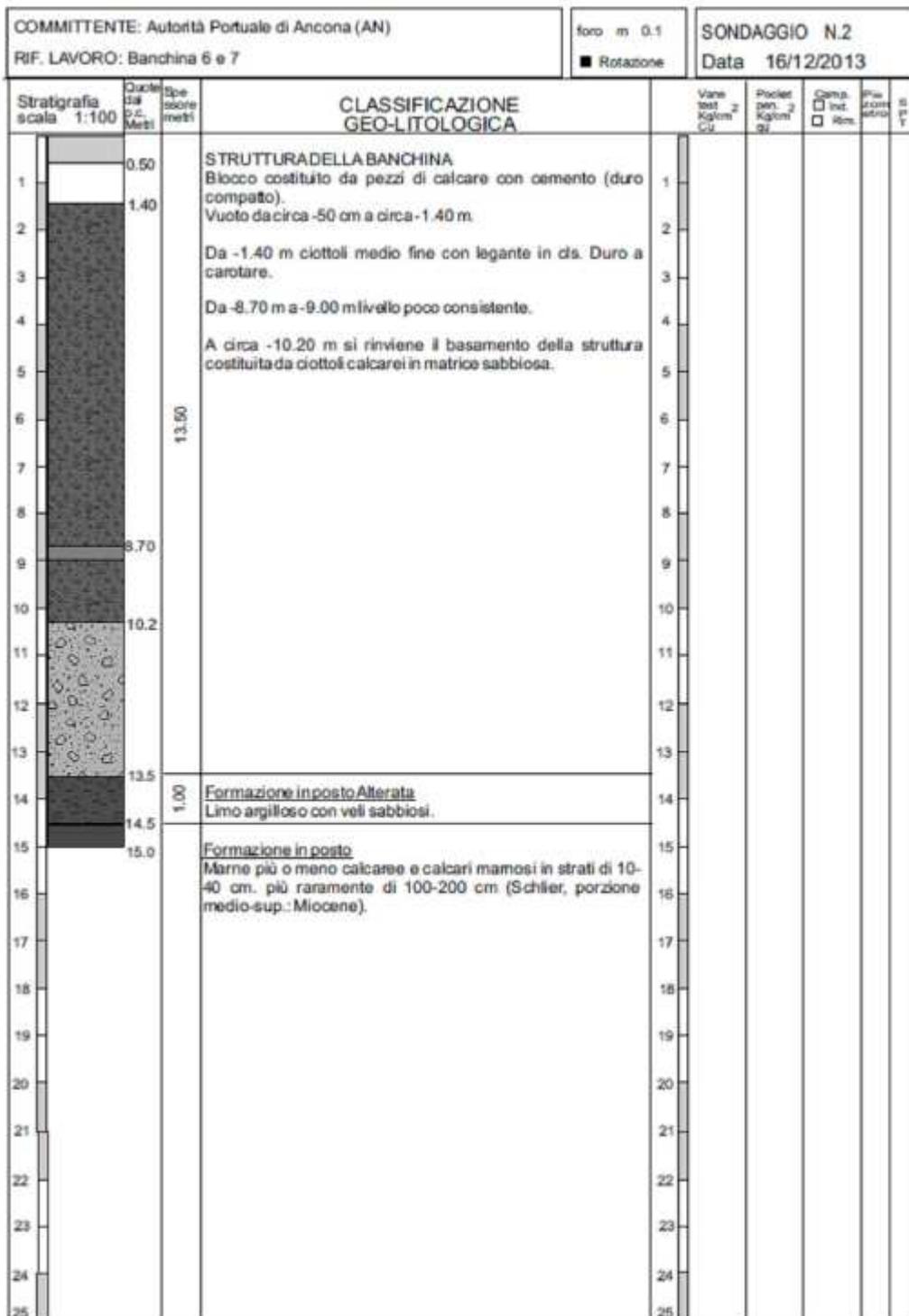
Procedendo verso il basso si riscontra uno strato di sabbie mediamente addensate che risulta sovrapposto alla formazione di base costituita da marne calcaree e calcari marnosi compatti di colore grigio.



- il sondaggio S1 presenta la struttura della banchina fino ad una profondità di 10 m circa, seguita da uno strato di formazione in posto alterata di uno spessore di 1,60 m ed infine la formazione in posto ad una quota di 11,50 m;



- il sondaggio S2 , invece, presenta la struttura della banchina fino ad una quota di 10,20 m seguita da ciottolame, succeduta da uno strato di formazione in posto alterata dello spessore di 1,00 m e dalla formazione in posto ad una profondità di 14,50 m.



Come è desumibile dai sondaggi appena descritti la formazione marnosa in posto (Schlier) si trova presumibilmente ad una quota variabile tra gli 11,50 m e i 14,50 m circa.

5. Profilo geotecnico di progetto

Ai fini della progettazione geotecnica della nuova banchina l'analisi dei risultati di tutte le indagini citate consente di definire un quadro dell'assetto stratigrafico dell'area sufficientemente preciso.

Dal complesso delle indagini descritte risulta in particolare possibile estrapolare il profilo stratigrafico dei terreni lungo l'asse della futura banchina riportato in Fig. 9.

Il profilo mette in evidenza che gli strati di terreno, superficiali o profondi, presentano un andamento sub orizzontale per i primi 65-80m a partire dal filo di costa attuale per poi immergere rapidamente procedendo verso Ovest e tornare con andamento sub orizzontale.

Principalmente si ritrovano:

- *depositi limosi e sabbiosi a scarsissima consistenza, di epoca attuale o recente, per una profondità massima di circa 12 m dal fondale;*
- *formazione argilloso-marnosa di base ovvero marne dello Schlier.*

Talvolta tra i limi sabbiosi e la formazione vi sono depositi di passaggio, di natura sabbiosa di media consistenza mescolati a ghiaie.

La campagna di indagine dell'agosto 2006 ha inoltre permesso di definire con maggior dettaglio la morfologia locale con particolare riferimento all'andamento del tetto della formazione dello Schlier per quanto riguarda la banchina di allestimento Fincantieri.

Facendo ricorso ai risultati delle prove penetrometriche CPT2 e CPT2bis e alle risultanze del sondaggio S2 è possibile collocare a circa 70m dal filo di costa attuale la zona di approfondimento della formazione marnosa².

Nel sondaggio effettuato a terra per la costruzione del fabbricato per servizi nautici sul vecchio molo nord, prossima all'area di intervento e più ad ovest della banchina di allestimento Fincantieri, si è rilevato uno strato di circa 16,5 m di materiale grossolano di colmata, da 16,5 m a m 23 di profondità uno strato di sabbie e sabbie argillose poste sopra la formazione costituita da marne e argille marnose (schlier).

Volendo estrapolare i dati del sondaggio effettuato a terra ad una quota di + 2,5 m sul l.m.m., considerando che il fondale attuale è di circa 9-10, la copertura costituita da sabbie e sabbie argillose e argille siltose posta al di sopra della formazione di base è variabile da circa m 6,5 a m 10,5, non essendo individuabile con esattezza la potenza dello spessore della parte detritica.

Pertanto dal sondaggio eseguito per il fabbricato servizi tecnico-nautici emerge la individuazione della formazione a circa m 20 dal l.m.m.

² A distanze dalla costa inferiori, al di sotto di uno spessore di circa 2.5m-3m di sabbie fini, la formazione rocciosa dello Schlier si trova più in superficie.

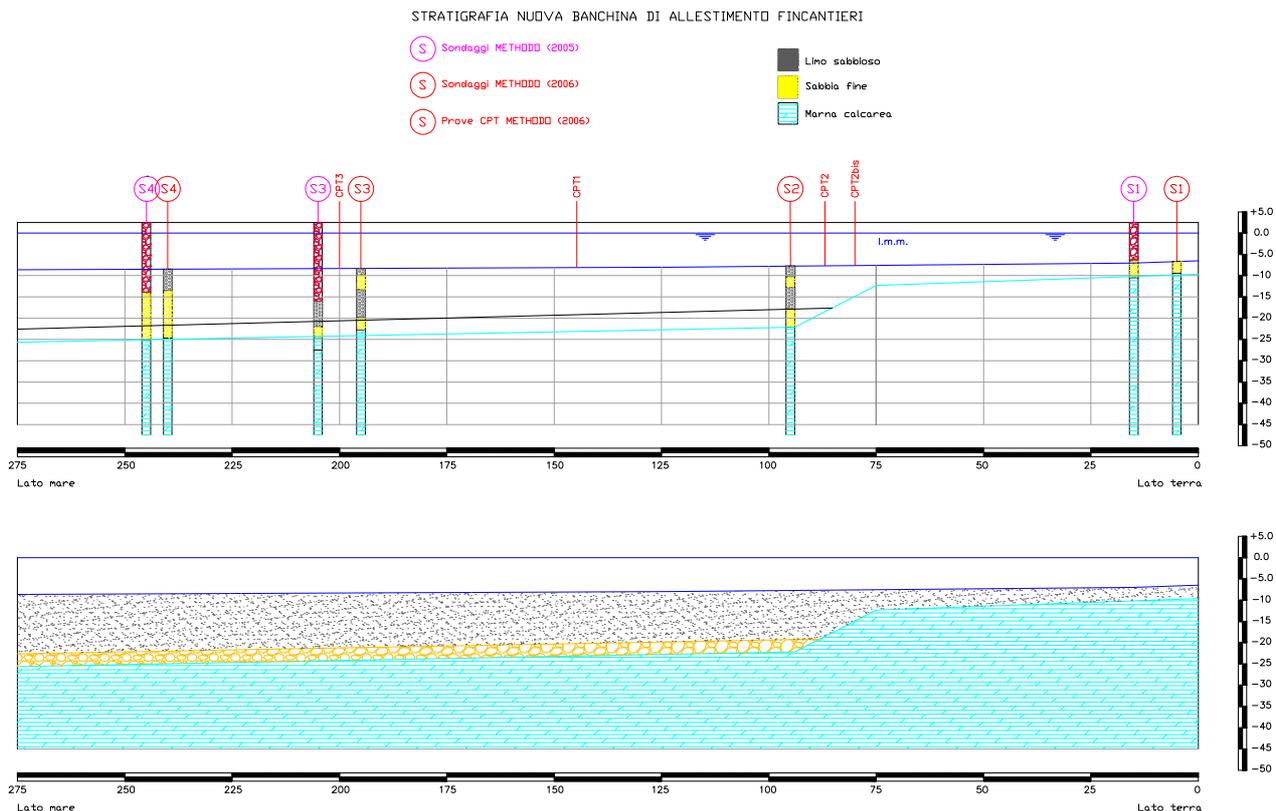


Figura 8. Stratigrafia di progetto.

6. Caratterizzazione geomeccanica

La definizione delle proprietà geotecniche dei terreni di interesse per la progettazione della banchina è stata affrontata raggruppando i risultati delle diverse indagini per ciascuna delle unità litologiche individuate in precedenza, desunti dalle relazioni già citate.

Nell'ottica di una progettazione basata sul metodo degli stati limite, i valori dei parametri geotecnici devono essere interpretati nel senso di valori caratteristici, ovvero di valori ottenuti con una stima cautelativa di un dato parametro in relazione agli stati limite considerati per il progetto.

6.1. Limi sabbiosi di scarsa consistenza

Per ricavare le caratteristiche di resistenza del materiale inconsistente si è fatto riferimento alle prove di taglio diretto eseguite sul campione OS1 del sondaggio S1 e OS1 del sondaggio S2. I risultati mostrano valori di coesione efficace praticamente nulli e angoli di attrito interno di circa 30°.

Data la natura scarsamente consistente del deposito esiste la possibilità che i campioni prelevati abbiano subito un disturbo (un addensamento) durante il campionamento pertanto è stato effettuato un confronto per via empirica, basandosi sui risultati delle prove in situ penetrometriche statiche. Facendo riferimento a valori di resistenza alla punta q_c ottenuti dalle

prove, circa 0.5MPa, dalla correlazione di Robertson e Campanella (Fig.10) si ottengono angoli di attrito intorno a 30°, che risultano in linea con i valori ricavati dalle prove di laboratorio.

Per le caratteristiche di deformabilità è stato fatto sempre riferimento alle prove CPT sfruttando la correlazione di Lunne e Christophersen secondo la quale, nei terreni incoerenti, il modulo elastico può essere determinato come: $E' = 4 q_c$

Dalla precedente si ricavano moduli di elasticità variabili tra 2 e 4MPa.

In definitiva per il limo-sabbioso inconsistente si possono adottare, in via cautelativa i seguenti parametri geotecnici:

$$\gamma = 17,0 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$c' = 0$$

$$\varphi' = 28 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$E' = 3000 \text{ (kPa)}$$

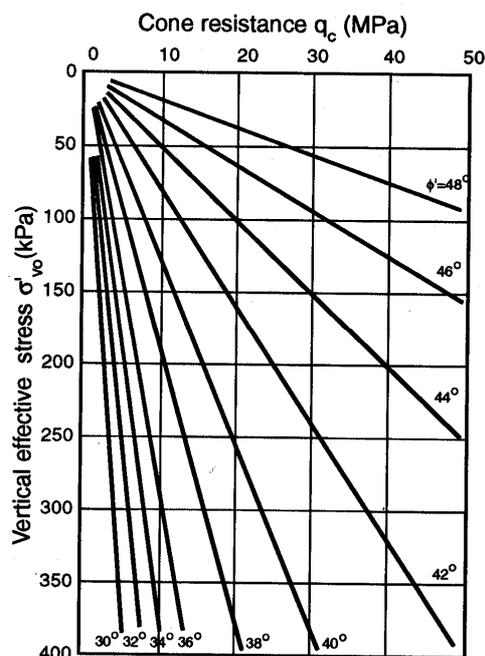


Figura 9. Correlazione di Robertson e Campanella (1983).

6.2. Sabbie fini

Il comportamento geomeccanico del deposito di sabbia fine che ricopre la formazione in posto è stato desunto dai risultati delle prove penetrometriche dinamiche sfruttando note correlazioni empiriche proposte in letteratura che mettono in relazione l'indice N_{SPT} con l'angolo di attrito, in maniera diretta, ovvero attraverso il parametro densità relativa (Figg. 11-12-13).

Il valore dell'indice N_{SPT} deve essere precedentemente corretto per tener conto dello stato tensionale efficace agente alla profondità di prova e del fatto che i terreni sono sommersi.

Peck e Bazaraa, sfruttando i risultati di un elevato numero di prove penetrometriche, propongono le seguenti espressioni per correggere il valore N_{SPT} misurato ed ottenere N'_{SPT} al variare dello sforzo efficace $\sigma'v$.

$$N'_{SPT} = 4 NS_{CPT} / (1 + 4,097 \sigma'v) \quad \text{per } \sigma'v < 0,732 \text{ Kg/cm}^2$$

$$N'_{SPT} = 4 NS_{CPT} / (3,25 + 1,024 \sigma'v) \quad \text{per } \sigma'v > 0,732 \text{ Kg/cm}^2$$

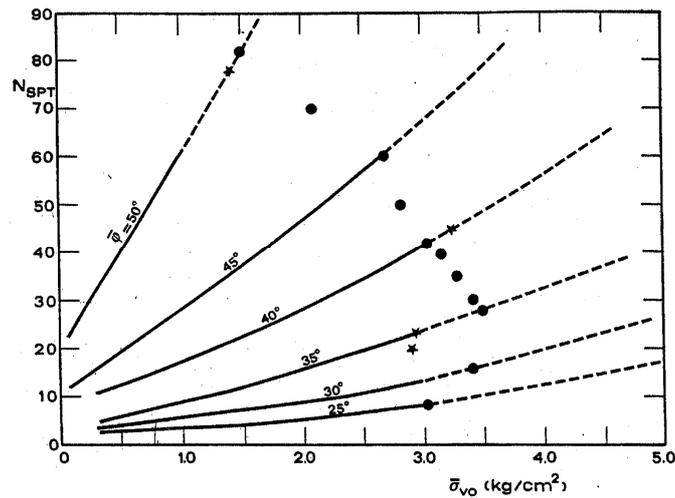


Figura 10. Correlazione De Mello tra angolo di attrito e resistenza penetrometrica.

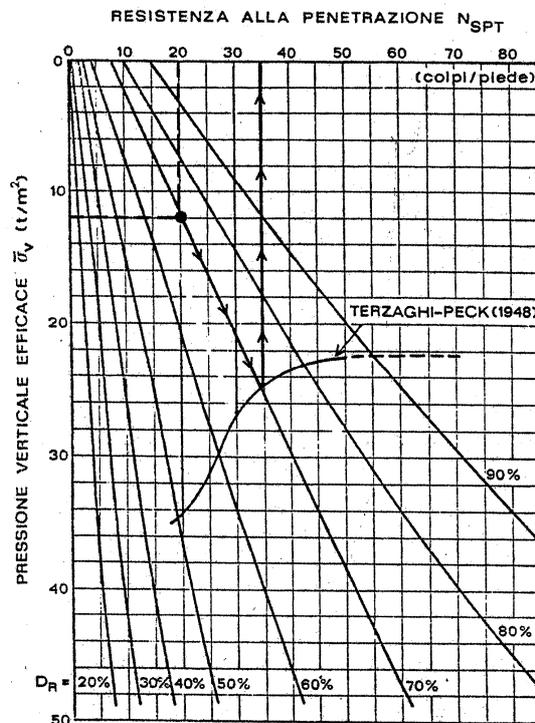


Figura 11. Correlazione tra densità relativa e numero di colpi (Gibbs e Holtz 1957).

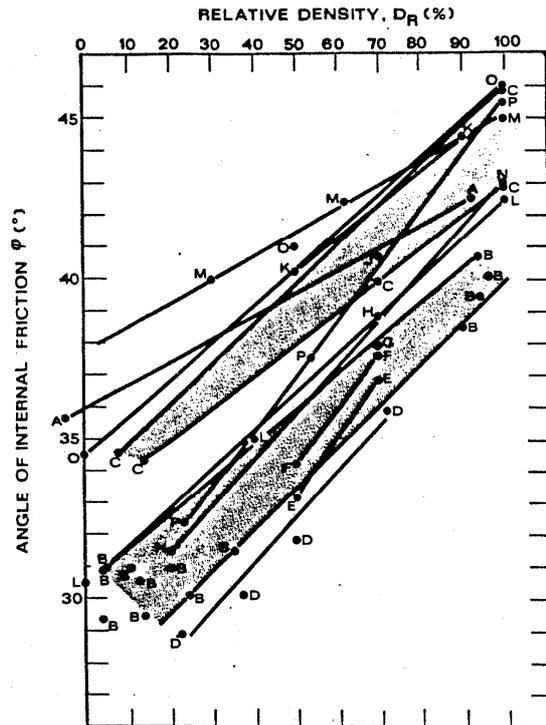


Figura 12. Correlazione tra densità relativa e angolo di attrito efficace (Winterkorn e Fang, Foundation Engineering Handbook, 1975).

In definitiva, con i valori misurati dell'indice N_{SPT} , variabili fra 25 e 46, i diagrammi precedenti mostrano che si può attribuire ai terreni indagati un angolo di attrito efficace pari a 34° .

I risultati delle prove penetrometriche hanno permesso inoltre di stimare il modulo elastico del deposito, ricorrendo alla correlazione di Denver (1982) si ottiene una rigidità variabile tra 20MPa e 30MPa (Fig. 14).

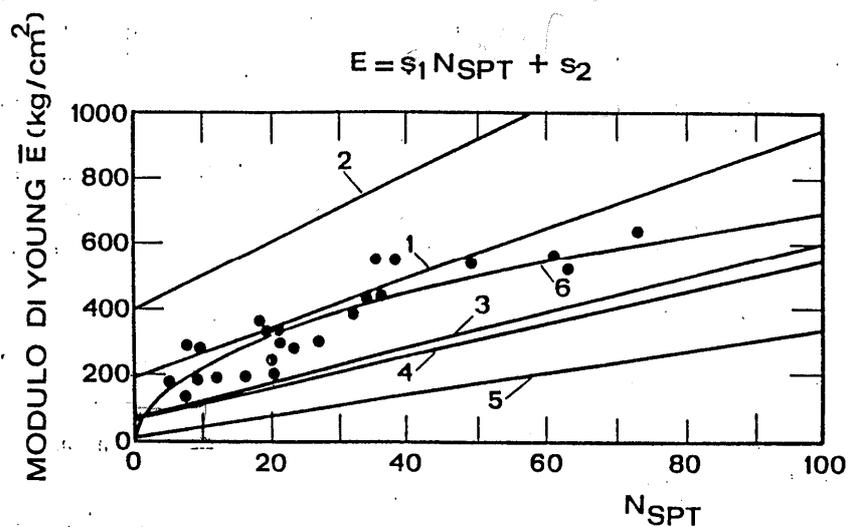


Figura 13. Correlazione tra modulo elastico e numero di colpi (Denver, 1982).

In sintesi, per le sabbie fini sovrastante la formazione in posto, si potranno assumere le seguenti proprietà geomeccaniche

$$\gamma = 18,0 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$c' = 0$$

$$\varphi' = 34 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$E' = 20000 \text{ (kPa)}$$

6.3. Argilla marnosa e Schlier

Nell'ambito dell'area indagata, i sondaggi sono stati spinti fino al raggiungimento della formazione marnosa-calcareo in posto, senza peraltro prelevare campioni indisturbati.

Per ricavare i parametri meccanici del materiale si è quindi proceduto basandosi sulle esperienze acquisite nel passato facendo riferimento a prove geotecniche di laboratorio effettuate su campioni prelevati in mare nella zona del porto turistico e della frana del Montagnolo nonché al lavoro di G.A. Garzonio che riporta i dati statistici di oltre 100 campioni delle argille grigio-azzurre plioceniche di Ancona.

In ogni caso si tratta di materiali di altissima consistenza e compattezza per i quali si possono assumere, in via del tutto cautelativa, i seguenti parametri meccanici:

$$\gamma = 20,0 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$c' = 100 \text{ (kPa)}$$

$$\varphi' = 26 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$C_u = 310 \text{ (kPa)}$$

$$E' = 150000 \text{ (kPa)}$$

Per la caratterizzazione geomeccanica dello Schlier si è fatto invece riferimento alla relazione geotecnica degli Ingg. A. Passaro, C. Montuori, A. Rinauro (Progetto STIPE spa) riportante i risultati di prove meccaniche di laboratorio condotte su carote ricavate a diversa profondità nella formazione dello Schlier.

Si tratta di prove di rottura per compressione uniassiale (a espansione laterale libera) su provini cilindrici che hanno fornito valori di resistenza variabili da 3MPa, quando il campione è interessato da fratture o intercalazioni argillose, a oltre 10MPa nel caso di materiale intatto. Considerando il comportamento del materiale in situ si è ritenuto di assumere un valore medio della resistenza a compressione uniassiale pari a $\sigma_p = 5\text{MPa}$. La rigidità E_m del materiale può essere dedotta dalla relazione empirica di Zhang e Einstein (2004):

$E_m = E_i \cdot 100.0186 \cdot RQD - 1.91$ dove E_i è la rigidezza della roccia intatte e RQD è un indice di fratturazione dell'ammasso, per $E_i = 5000 \text{ MPa}$ e $RQD = 50\%$ si ricava $E_m \approx 525 \text{ MPa}$.

Si precisa che quanto esposto nella presente relazione fa riferimento a documentazione esistente relativa ad indagini svolte nelle aree limitrofe a quella in oggetto e va considerato come un contributo all'inquadramento generale che dovrà essere indagato in sede di progettazione definitiva ed esecutiva con indagini settoriali specifiche.

ALLEGATI

Prove di laboratorio su materiali provenienti da sondaggi sulla banchina di allestimento Fincantieri