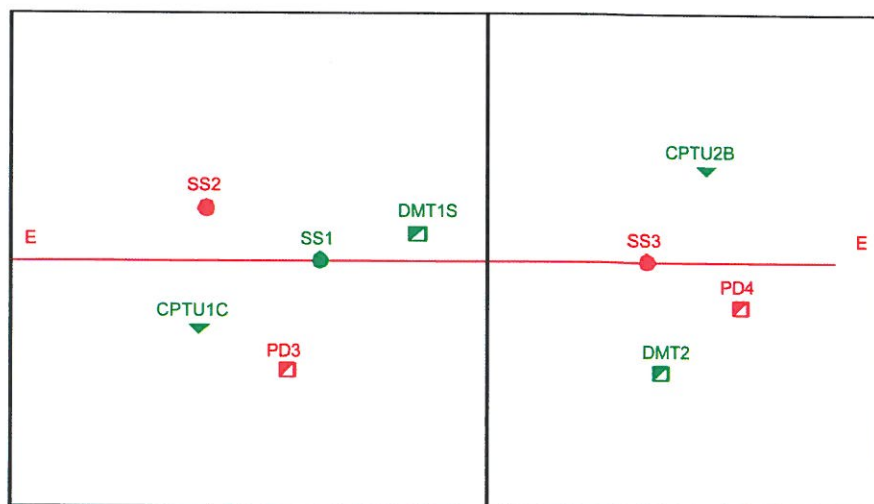


DEEP MIXING



AREA DRENI

AREA SENZA DRENI

— TRACCIA DELLA SEZIONE

PROVA ESEGUITA NEL 1992 PRIMA DEL PRECARICO

-  SONDAGGIO STRATIGRAFICO
-  PROVA PENETROMETRICA STATICA
-  PROVA DILATOMETRICA

PROVA ESEGUITA NEL 1993 CON IL PRECARICO

-  SONDAGGIO STRATIGRAFICO
-  PROVA PENETROMETRICA STATICA
-  PROVA DILATOMETRICA

DESCRIZIONE/Description

INDAGINI 1992 E 1993
FINALIZZATA AI CAMPI PROVA

			Fig. 3.2
0	07-03-02	J.A.M.	
REV.	DATA/Date	PREP.	
			FILE: 1136/26-3.2



4. STRATIGRAFIA

Nel presente capitolo sarà fornita la descrizione dettagliata delle caratteristiche stratigrafiche che si sono dedotte sulla base delle indagini geognostiche eseguite nel contesto della realizzazione dell'Interporto Toscano A. Vespucci.

In particolare verranno sintetizzati i risultati delle tre campagne geognostiche effettuate in quest'area in tempi successivi, nel corso delle quali sono state eseguite, in totale, le seguenti indagini (*):

- n° 13 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- n° 28 prove dilatometriche con dilatometro piatto;
- n° 28 prove penetrometriche statiche con piezocono.

Sono state svolte, inoltre, prove di laboratorio per la caratterizzazione geotecnica dei campioni di terreno recuperati nel corso dei sondaggi geognostici.

Prima di sintetizzare la stratigrafia presente nell'area dell'Interporto è utile chiarire il contesto nel quale si è verificata la deposizione di questi terreni con un breve richiamo al capitolo 2.

L'area della piana di Guasticce è posta in un'ampia zona caratterizzata da sedimentazione recente, attribuibile, per spessori considerevoli, all'Olocene ed al Pleistocene. I depositi sono di origine continentale nella porzione più superficiale, mentre l'ambiente di sedimentazione diventa marino per i sedimenti più profondi. Si ha quindi un ambiente di deposizione di tipo transizionale e marino nel Pleistocene che passa ad un ambiente in transizionale e continentale nell'Olocene. In particolare l'ambiente continentale è di tipo palustre. L'area, fino alle bonifiche operate negli ultimi secoli, è stata occupata da paludi formatesi per il ristagno delle acque, di provenienza sia appenninica sia marina. Il ristagno dell'acqua in questa zona è stato favorito dalle pendenze praticamente nulle della superficie topografica, dalla mancanza di drenaggio superficiale e soprattutto dalla natura impermeabile del substrato, intendendo con il termine substrato i depositi pleistocenici di origine marina e transizionale.

(*) le indagini esperite dalle F.S. non sono state considerate qui, ma sono riportate sulle stratigrafie



In quest'area il terreno più rappresentato, nella porzione superficiale, è sicuramente l'argilla limosa passante a limo argilloso, che domina sia nella facies di tipo transizionale sia in quella di tipo continentale.

Anche la sabbia è in parte presente nei livelli più superficiali, ma si tratta, in ogni caso di orizzonti spesso discontinui, che si chiudono a lente e si trovano sparsi in modo non uniforme. I livelli sabbiosi denotano periodi di sedimentazione in cui la laguna trovava parziali sbocchi verso il mare, probabilmente per innalzamento del livello marino o per locale depressione della laguna. In questi periodi, il parziale collegamento con il mare aperto ha permesso la colonizzazione da parte di organismi marini che hanno lasciato tracce evidenti della loro presenza sotto forma di fossili, soprattutto bivalvi. Gli orizzonti sabbiosi, tranne in locali canali contraddistinti da energia di sedimentazione particolarmente elevata, sono comunque sempre accompagnati da sedimento fine argilloso o limoso che, anche nei periodi di relativa apertura dell'area, non ha mai cessato di costituire una frazione importante del sedimento che veniva deposto.

Il primo livello sabbioso di spessore considerevole si trova almeno 40 metri al disotto dell'attuale piano campagna.

Premesso quanto sopra riguardo alle condizioni geologiche entro le quali si sono formati i livelli di terreno che interessano l'area dell'Interporto, si può riportare una descrizione dettagliata della stratigrafia, così come ottenuta dalle elaborazioni dei dati relativi alle successive campagne di indagine. Si delineano sei livelli principali, contraddistinti con le sigle dalla "A" alla "F". Sebbene in linea di massima si possa dire che passando dal livello "A" al livello "F" si passi da una posizione più superficiale ad una via via più profonda, è altresì fondamentale notare, come chiaramente apprezzabile dall'analisi delle sezioni stratigrafiche riportate, che sovente i livelli si interdigitano mutuamente dando origine a sequenze in cui si possono notare ripetizioni ed inversioni nell'ordine di sedimentazione dei vari strati.

LIVELLO A:

Questo livello, di colore variabile da nocciola chiaro a grigiastro, è costituito da limo argilloso passante localmente, in parte minore, a limo argilloso da debolmente sabbioso a sabbioso. Questo terreno è caratterizzato da un'elevata plasticità.

Questo deposito, dal punto di vista stratigrafico, non costituisce ovunque un orizzonte caratterizzato da spessore omogeneo e, sotto l'aspetto macrostrutturale, non presenta evidenti strutture di sedimentazione primarie o secondarie. Il deposito è, infatti, presente sotto forma di banco privo sia di stratificazione netta sia di laminazioni.

La caratteristica che testimonia l'ambiente deposizionale di tipo transizionale in cui si è formato il livello A è la presenza, all'interno di questo deposito, sia di resti di organismi di origine marina, sia di resti di origine vegetale. Infatti, nelle porzioni in cui lo strato presenta una relativa abbondanza di frazione sabbiosa, sono stati rinvenuti resti di lamellibranchi, mentre in altri casi sono stati riscontrati resti di vegetali di indubbia origine continentale.

Riguardo la distribuzione areale di questo orizzonte, l'analisi delle sezioni stratigrafiche allegate permette di dedurre che questo livello è presente, con spessori variabili, in tutta l'area di indagine. Ad ovest dell'area investigata, in corrispondenza della sezione stratigrafica "A-A" questo strato presenta uno spessore variabile tra 2 metri e 5 metri. Spostandosi al centro dell'area, in corrispondenza della sezione "4-4" lo spessore di questo livello diventa più omogeneo, essendo in media pari a circa 3,5 metri. Lo spessore resta abbastanza uniforme anche nella porzione orientale dell'area ed in particolare in corrispondenza della sezione "5-5" si riscontra uno spessore medio pari a circa 3 metri. In linea di massima gli spessori minimi del livello A si trovano nella fascia settentrionale dell'area indagata, dove si hanno spessori medi dell'ordine di 2 metri.

LIVELLO B:

Questo è uno dei depositi che rivestono grande importanza nello studio dell'area dell'Interporto di Livorno. Infatti questo strato è presente, con uno spessore considerevole, in tutta l'area investigata.

Il livello B è costituito da un'argilla debolmente limosa, passante a tratti ad argilla limosa. La componente limosa è, in linea di massima, nettamente subordinata alla frazione argillosa e solamente in rari casi il deposito passa localmente a limo sabbioso argilloso. Queste porzioni con granulometria relativamente più gossolana testimoniano sporadici apporti caratterizzati da energia di sedimentazione relativamente elevata in canali contraddistinti da estensione geometrica molto limitata.

Il colore di questa argilla varia da grigio chiaro a grigio plumbeo e, più raramente assume una tonalità grigio-marrone.

Come nel livello precedente anche in questo strato si nota la presenza di resti di conchiglie, presenti in concentrazione massima nell'intervallo compreso tra 6 metri e 12 metri di profondità. Caratteristica di questo deposito è la presenza di resti di origine organica che, quando sono presenti in forma gassosa, conferiscono all'argilla un caratteristico odore. La presenza di una minima quantità di gas in questo deposito si evidenzia, a livello della struttura del



sedimento, sotto forma di minuscoli vacuoli, di forma sferica e dimensioni millimetriche, in cui il gas si accumula. I resti organici sono inoltre presenti come frustoli e frammenti carboniosi di dimensioni millimetriche.

L'argilla di questo livello è sempre satura ed è caratterizzata da un'elevata plasticità.

Il livello, come già evidenziato, è presente ovunque nell'area dell'interporto. In corrispondenza della sezione stratigrafica "A-A" lo strato assume una potenza pari a circa 22 metri, essendo presente, in media, tra le quote -2 m s.l.m. e -24 m s.l.m. Qui all'interno del livello B sono presenti frequenti lenti di limo argilloso e sabbia limosa argillosa appartenenti agli strati tipo C e tipo D, che verranno descritti in seguito. Spostandosi verso est lo spessore dello strato in questione diminuisce gradualmente, ed è minimo nella porzione orientale della sezione B-B, in corrispondenza del sondaggio S68, dove diventa circa pari a 14 metri. Spostandosi ulteriormente verso est, ed in particolare considerando la sezione "5-5", lo spessore di questo strato diventa abbastanza uniforme ed è pari a circa 16 metri. In quest'area diminuisce in modo netto la presenza di lenti limose. Un'unica lente di questo tipo si riscontra in corrispondenza del sondaggio SG2/4 nell'intorno della quota -20 m s.l.m.. L'andamento di questo strato nella porzione a nord dell'area di studio è rappresentato in modo significativo dalla sezione "3-3". Qui il tetto dello strato si trova in media a circa -2 m s.l.m. mentre la base dello strato medesimo assume una forma concava e raggiunge la profondità massima in vicinanza della prova penetrometrica PD94, dove si trova a circa -26 m s.l.m.. Anche nella porzione settentrionale dell'area investigata la presenza e lo spessore delle lenti limose all'interno di questo strato sono decisamente limitati. Considerando infine la distribuzione di questo livello nella porzione meridionale dell'area dell'interporto, si può affermare che qui lo spessore è pressoché uniforme e lo strato si rinviene, in media, tra -3,5 m s.l.m. e -15 m s.l.m. ad esclusione del tratto inferiore della sezione "A-A", dove questo deposito si trova fino a circa -23 m s.l.m..

LIVELLO C:

La caratteristica fondamentale di questo deposito è la sua peculiare tipologia deposizionale, per cui è presente solamente sotto forma di lenti e di sottili strati non continui. Dal punto di vista compositivo il livello C è costituito da sabbia fine limosa, talora con scarsa presenza di sabbia media e più raramente con una componente sabbiosa grossolana. Il colore di questo sedimento è grigio, con sfumature verdastre e marroni chiare ove si rinvencono concrezioni



calcaree nodulari. Anche in questo livello si trovano, localmente, resti di conchiglie che testimoniano l'apporto di sedimentazione in zone collegate al mare aperto. D'altronde la componente di sedimentazione di origine continentale è ancora presente, essendo testimoniata dalla presenza di frustoli vegetali e da scarsi resti torbosi. Come già accennato lo strato C è caratterizzato, ovunque, da una distribuzione lentiforme. Ciononostante la sua presenza è abbondante in tutta l'area. Nella zona occidentale le lenti che appartengono al livello C si riscontrano tra - 8 m s.l.m. e - 30 m s.l.m. e sono immerse soprattutto nello strato B. Come si può constatare analizzando la sezione "B-B", spostandosi verso est, le lenti sabbiose del livello C si trovano a profondità crescenti e, in corrispondenza della prova penetrometrica CPTU84 sono presenti tra -18 m s.l.m. e -36 m s.l.m. e sono quasi esclusivamente immerse nel livello D.

Anche nella zona settentrionale, dove ricadono le sezioni stratigrafiche "1-1" e "3-3", le lenti dello strato C sono soprattutto contenute all'interno del deposito D. Qui lo spessore massimo di una singola lente si riscontra in corrispondenza della prova penetrometrica CPTU2/10, dove si rinviene una singola lente tra - 29 m s.l.m. e -38 m s.l.m.. La profondità massima a cui è stato rinvenuto lo strato C si trova in corrispondenza del sondaggio SG2/4, dove è presente fino a circa -53 m s.l.m..

Considerando la sezione "E-E" si nota chiaramente che, nella porzione meridionale dell'area indagata, lo strato C è presente a profondità minori rispetto alla porzione settentrionale, infatti qui lo si incontra, in media, tra -16 m s.l.m. e -29 m s.l.m.. E' però utile evidenziare che, in corrispondenza della sezione "E-E", lo strato ha una continuità laterale relativamente elevata e la potenza di una singola lente, in prossimità della prova penetrometrica CPTU1C, arriva fino a circa 7 metri. Qui le lenti di sabbia sono sempre inglobate all'interno dello strato D.

LIVELLO D:

Questo strato è costituito da limo argilloso passante, localmente, ad argilla limosa debolmente sabbiosa con presenza di noduli calcarei. In parte minore si rinvengono livelli centimetrici di limo sabbioso con tracce di torba e noduli calcarei, passanti a sabbia limosa. Il colore di questo terreno è grigio azzurro, con sfumature marroni chiare in corrispondenza dei noduli calcarei. L'importanza di questo livello coesivo è legata al notevole spessore che lo caratterizza in gran parte dell'area investigata. Nella zona orientale, in corrispondenza delle sezioni "5-5" e "D-D" lo si trova, spesso interrotto dalle

lenti appartenenti allo strato C, tra circa -20 m s.l.m. e -50 m s.l.m.. Gli spessori massimi si riscontrano verso il centro e verso sud dell'area di studio dove, in corrispondenza dei sondaggi S24 ed S45, rappresentati nella sezione "B-B", questo deposito è presente tra circa -18 m s.l.m. e almeno -60 m s.l.m. Anche qui al suo interno sono presenti numerose lenti sabbiose appartenenti allo strato C e, nella parte bassa, attorno a -55 m s.l.m., lo strato D è interrotto da un sottile livello di materiale tipo F, che verrà descritto in seguito.

Considerando sempre la sezione "B-B" si nota chiaramente l'eteropia che denota il passaggio dallo strato D, ad est, allo strato E, ad ovest. Nella porzione più occidentale di questa sezione, infatti, lo strato D lascia il posto, in gran parte, allo strato E, riducendo il proprio spessore a circa 2,5 metri in corrispondenza del sondaggio S8. Questa, inoltre, è l'unica zona in cui il livello D si trova sotto forma di lenti immerse all'interno dello strato E. La situazione sopra descritta, ed in particolar modo i rapporti geometrici esistenti tra lo strato D e lo strato E, sono evidenziati in modo chiaro nel diagramma a blocchi della tavola T4.

LIVELLO E:

Questo livello, di colore grigio scuro, è costituito da sabbia da fine a grossolana da limosa a debolmente limosa in cui, localmente, si trovano livelli di spessore centimetrico di limo sabbioso. Sono presenti, soprattutto nei livelli limoso sabbiosi, rari noduli calcarei di colore marrone chiaro e tracce di torba. Come già accennato in precedenza lo strato E presenta un rapporto eteropico con lo strato D. Questo contatto si nota nella parte orientale dell'area di studio, come evidenziato dalla sezione "B-B". Qui, in prossimità del sondaggio S8, lo strato E è presente tra circa -32 m s.l.m. e -58 m s.l.m., ed è interrotto, solo saltuariamente, da sottili lenti appartenenti al livello D. Nella porzione centrale dell'area studiata questo strato non è presente, e si ritrova nella porzione orientale, al disotto di -50 m s.l.m. con spessore pari a circa 2.5 metri. Qui la base dello strato è marcata dalla presenza di un sottile strato appartenente al livello F. Al disotto del livello F lo strato E è stato individuato solo con il sondaggio SG2/2, in corrispondenza del quale è presente almeno fino a -60 m s.l.m.

Nella porzione settentrionale dell'area di studio il tetto di questo strato si trova tra i -50 m s.l.m. ed i -55 m s.l.m. Anche qui, dopo uno spessore variabile tra i 5 metri e gli 8 metri, si trova un sottile strato appartenente al livello F. Al



disotto dei 60 m s.l.m. si ritrova ancora lo strato E, di cui non è stata individuata la base.

Nella porzione meridionale dell'area, infine, sebbene nessun sondaggio sia stato spinto a profondità tali da incontrare questo livello, si ritiene che sia presente, con uno spessore non superiore a circa 3 metri, al disotto della quota -50 m s.l.m..

LIVELLO F:

E' uno strato costituito da ghiaia, passante localmente a ghiaia sabbiosa, a tratti debolmente limosa. Il colore di questo deposito è grigio. La natura della ghiaia è poligenica, i clasti sono subarrotondati ed hanno dimensione massima pari a circa 4 centimetri. Data l'elevata profondità, questo strato, presente al disotto dei -55 m s.l.m., è stato incontrato soltanto dai sondaggi più profondi. Localmente, si trovano livelli di spessore centimetrico di limo sabbioso. Sono presenti, soprattutto nei livelli limoso sabbiosi, rari noduli calcarei di colore marrone chiaro e tracce di torba. Lo strato è presente pressoché in tutta l'area indagata con uno spessore modesto, compreso tra circa 2 metri e 5 metri. Riguardo ai rapporti geometrici con lo strato E, nella porzione occidentale dell'area lo strato F si trova immediatamente al disotto del livello E, così come nelle porzioni centrale e meridionale dell'area, invece, nella parte posta a nord, vale a dire in corrispondenza del profilo stratigrafico "3-3", lo strato F confina sia a tetto sia a letto con lo strato E.



4.1 Falda

La falda è presente in prossimità del p.c. e mediamente oscilla attorno alla quota di $+0.10 \div +0.20$. Nei periodi particolarmente piovosi ampie zone dell'area venivano allagate.

D'altro canto nei periodi di siccità prolungata, in mancanza di apporto da monte il livello scende sensibilmente per effetto dell'evaporazione dovuta all'esposizione solare.

In conclusione quindi l'assumere la presenza della falda coincidente con il piano campagna originale risulta ragionevole e corretto.



4.2 Stratigrafia del campo prove

Una particolare attenzione è stata rivolta alla stratigrafia del campo prova al fine di poterne meglio interpretare i risultati e di poter poi paragonare i risultati delle indagini a posteriori con dati che si riferiscono all'identica area.

Di seguito vengono descritte le principali caratteristiche litologiche dei livelli individuati, rimandando al paragrafo precedente per le caratteristiche specifiche di ogni singolo orizzonte.

LIVELLO A: limo argilloso localmente limo sabbioso di colore nocciola chiaro.
Sono presenti, talvolta, abbondanti resti conchigliari e resti vegetali. Presenta uno spessore caratteristico di circa 4.0 m.

LIVELLO B: argilla debolmente limosa passante talora ad argilla limosa. Sono presenti intercalazioni centimetriche limo sabbiose. Presenta in tutta l'area uno spessore uniforme prossimo ai 14.0 m.

LIVELLO C: sabbia fine da limosa a debolmente limosa passante localmente a sabbiosa grossolana di colore verde-azzurrognolo.
Sono presenti intercalazioni di limo sabbioso e limo argilloso inglobanti resti conchigliari e tracce torbose millimetriche. Individuato da tutte le verticali di indagine eseguite, presenta uno spessore di circa 8.0 m.

LIVELLO D: limo argilloso di colore grigio azzurro, inglobante concrezioni calcaree, passante talvolta ad argilla limosa di colore grigio scuro.
In base ai dati a disposizione non è possibile attribuire a questo livello uno spessore ben definito, che comunque non dovrebbe essere inferiore ai 25.0 m.



5. INTERPRETAZIONE DELLE PROVE IN SITU ED IN LABORATORIO

La grande massa di dati numerici e sperimentali delle prove in situ ed in laboratorio, includendo impropriamente tra le prove in situ il rilevato sperimentale ed il campo prova deep mixing, ha richiesto un lungo lavoro di analisi ed interpretazione che è stato affrontato in maniera estremamente critica ed ha richiesto alcune scelte interpretative che potrebbero risultare soggettive.

Nel seguito si cerca di offrire un'interpretazione di insieme pur proponendo a monte i risultati sperimentali raccolti in situ nell'interpretazione delle sezioni stratigrafiche riportate nelle tavole T1 ÷ T12 allegate, in modo che ciascun lettore possa ripercorrere in maniera autonoma, se del caso, il cammino che viene affrontato nei paragrafi successivi del presente capitolo.

In linea di massima si tenderà a mantenere separati i risultati delle indagini 1992 da quelli delle indagini successive richiamando tuttavia di volta in volta i risultati e le osservazioni della prima campagna per i confronti e le sovrapposizioni.

Per chi voglia approfondire gli aspetti interpretativi della campagna 1992 si rimanda quindi alla relazione R.GAR-NES-MOR-MAS/mg 770/85 redatta dallo scrivente Studio nel 1993.

Per completezza dei dati si riportano nelle sezioni stratigrafiche anche alcune prove eseguite da Bonifica sull'area dei magazzini gomma-gomma Nord e quelle effettuate da Italferr sull'area del Terminal Ferroviario. Tali prove non saranno però oggetto della presente trattazione.

La pianta completa delle indagini con indicata la traccia delle sezioni stratigrafiche è riportata nella figura 5.1.