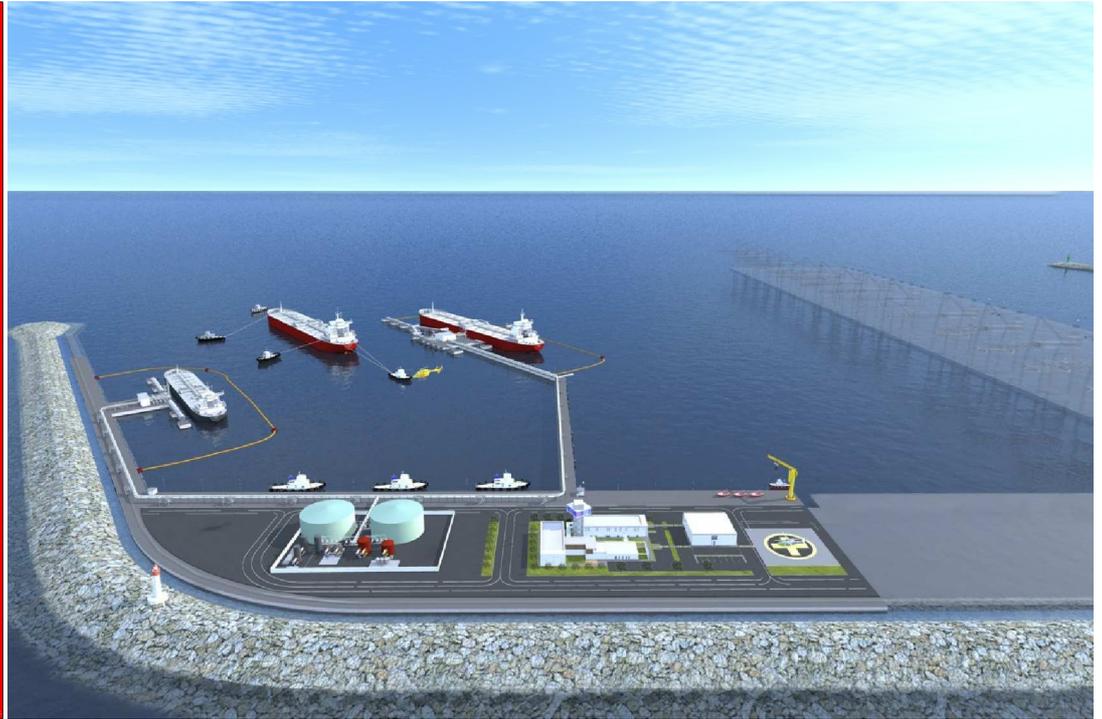
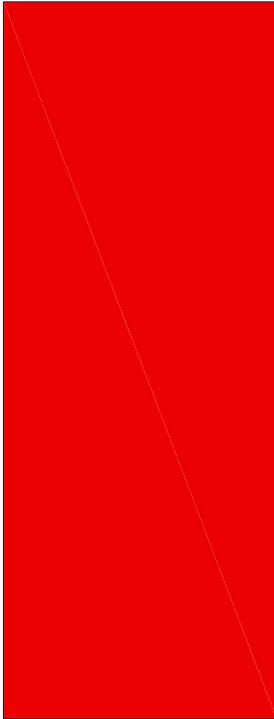




Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
MAGISTRATO ALLE ACQUE di VENEZIA



**PROGETTAZIONE
 GENERALE**

Ing. P. Rossetto
 Thetis S.p.a.

Ing. G. Zoletto
 Ing. E. Mantovani
 S.p.a.

Nuovi Interventi per la Salvaguardia di Venezia

Legge 798 del 29-11-1984
 Convenzione rep. n.7191 del 4-10-1991
 Atto Attuativo rep. n. 8513 del 27-07-2011 (Progettazione Preliminare)

**TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE
 AL LARGO DELLA COSTA DI VENEZIA**

DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO

PROGETTO PRELIMINARE

CUP: D73B11000150001

Progettazione
 Ambientale e
 Impiantistica



Progettazione
 Infrastrutture



Progetto - Studi ed indagini Preliminari

Cod.Elabor.

**RELAZIONE
 GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
 IDROGEOLOGICA**

C4-REL-005

elaborato

controllato

approvato

Coordinamento alla
 Progettazione



Consorzio
 Venezia
 Nuova

Ing. M. Brotto

Settembre 2011

revisione	descrizione	elab.	contr.	appr.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

TERMINAL PLURIMODALE OFF – SHORE
al largo della COSTA VENETA

DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
 IDROGEOLOGICA**

Gruppo di progettazione



TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

INDICE

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
3	GEOLOGIA DELL'AREA D'INTERVENTO	5
4	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	8
	4.1 AREA CONTINENTALE.....	8
	4.2 IL CARANTO	9
	4.3 AREA MARINA	10
5	GEOMORFOLOGIA DELL'AREA D'INTERVENTO.....	17
6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	18
7	IDROGEOLOGIA DELL'AREA D'INTERVENTO	21
8	CONCLUSIONI	23

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

1 PREMESSA

La presente relazione è mirata a fornire un quadro conoscitivo, dal punto di vista geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area compresa fra Marghera (Venezia) e la fascia di mare antistante la bocca di porto di Malamocco.

Tale documento è stato redatto con riferimento ai dati bibliografici ricavati da documenti pubblici e relazioni tecniche specifiche, inerenti la Laguna di Venezia.

Il Progetto Preliminare, oggetto della presente relazione, sviluppa le seguenti opere civili/impiantistiche.

- La **diga foranea** prevista a protezione delle funzioni petrolifere, containers e rinfuse. Essa, realizzata in massi naturali su di un fondale avente una profondità media di circa 22m s.l.m.m, presenta una lunghezza complessiva di circa 4050 m ed una quota di coronamento posta a +7.00 m s.l.m.m.
- Il **terminal petrolifero** costituito da n° 3 accosti per navi petroliere e dagli impianti e edifici necessari al suo funzionamento
- Le **pipelines** per il convogliamento dei fluidi petroliferi, attraverso il mare Adriatico prima e la laguna di Venezia poi, verso il punto di distribuzione in terraferma ubicato presso l'Isola dei Serbatoi a Porto Marghera in Provincia di Venezia. Tali pipelines prevedono la posa di n°3 tubazioni dedicate rispettivamente a greggio (diam 42") benzina (diam 24") e gasolio (diam 24") oltre a n° 2 tubazioni per i servizi, quali acqua potabile, energia elettrica e trasmissione dati, di collegamento fra il terminal petrolifero ed il Lido di Venezia. Le tubazioni saranno posate in parte in mare (15.7 Km) e in parte in laguna (11.2Km). Le prime saranno posate previo scavo in trincea e successivamente reinterrate garantendo al minimo un ricoprimento di spessore pari a 2.50m. Le tubazioni posate in laguna, invece, verranno installate mediante l'impiego della tecnologia nota come trivellazione orizzontale controllata (TOC) la cui esecuzione prevede la realizzazione di n° 6 apposite isole provvisorie da rimuovere al termine delle lavorazioni. I profili di posa prevedono un interrimento ad una profondità massima pari a 35m dal livello del mare.
- Le **infrastrutture di distribuzione in terraferma**, a partire dalla suddetta Isola dei Serbatoi, verso ciascuna delle destinazioni finali dei fluidi petroliferi realizzata mediante la posa in trincea o mediante microtunneling delle tubazioni di distribuzione.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La pianura veneta è localizzata nella parte settentrionale della costa adriatica, nel settore di avampaese tra il Sistema Apenninico con vergenza in direzione NE ed il sistema Sudalpino frontale a vergenza SSE.

Durante il Pliocene, (1.8 – 5.3 M.a.) il livello del mare Adriatico era molto più elevato dell'attuale e la Pianura Padana era interamente coperta dalle acque.

Successivamente, durante il Pleistocene (epoca più antica del periodo Quaternario) le fasi di glaciazione provocarono regressioni e ingressioni marine, fra le quali, durante la glaciazione Wurmiana (18000 a.) il livello del mare scese a – 100 m rispetto l'attuale, facendo emergere l'intera pianura.

Durante il successivo Olocene (11400 a.) il mare s'innalzò fino a raggiungere un livello leggermente maggiore dell'attuale tra il 5000 ed il 3000 a.c.

Le datazioni al Carbonio 14 sui sedimenti lagunari testimoniano la formazione della laguna meridionale attorno a 10000 anni fa e 5000 anni fa per quanto riguarda la laguna nord.

I depositi quaternari della laguna di Venezia si possono classificare, dal punto di vista sedimentologico, con il seguente schema:

- Fino a 5-10 m sotto il medio mare: sedimenti lagunari dell'attuale periodo olocenico;
- Da 5-10 m a 50-60m: interstratificazioni di sedimenti prevalentemente continentali legati alla glaciazione Wurmiana;
- Da 50-60m a 300m: alternanza di sedimenti lagunari, continentali e marini del Pleistocene superiore.

I terreni più superficiali, fino a circa 60m sono caratterizzati da una fitta alternanza di formazioni nelle quali la componente principale è il limo, variamente combinato con sabbie e/o argille poco attive, con eterogeneità anche a livello centimetrico.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

3 GEOLOGIA DELL'AREA D'INTERVENTO

L'area oggetto di studio, dal punto di vista della classificazione delle unità geologiche, come evidenziato nell'allegato C5-DIS-030, ricade interamente in due unità: Unità del litorale indifferenziata e Unità di Marghera, entrambe oloceniche (LE UNITÀ GEOLOGICHE DELLA PROVINCIA DI VENEZIA, 2008 - a cura di ALDINO BONDESAN, SANDRA PRIMON, VALENTINA BASSAN, ANDREA VITTURI)

Unità del Litorale Indifferenziata OLOCENE medio-sup. (VI millennio a.C. - Attuale)

L'unità Litorale Indifferenziata è costituita da depositi costieri corrispondenti a spiagge, cordoni litoranei e sistemi di dune, formati da sabbie fini e medie e sabbie limose, con abbondanti bioclasti. I resti di molluschi marini possono essere particolarmente abbondanti e fra essi sono dominanti Venus, Glycimeris, Cardium, Solen, Lentidium, Gibbula. Nelle depressioni interdunali, o lame, si rinvengono alternanze di limi argillosi e sabbie limoso-argillose, con percentuali variabili di sostanza organica e talvolta torbe; sono spesso presenti resti di molluschi sia di acqua salmastra che dolce; fra questi ultimi in genere vi sono Planorbis, Elicidi e Limnea.

In questa unità ricadono i depositi costieri che non fanno parte di sistemi deltizi ben definiti come ad esempio l'ala destra del delta del Tagliamento (unità di Bibione) e i vari corpi di delta del Piave, del Brenta e del sistema Adige-Po.

Il limite inferiore corrisponde ad una superficie erosiva di natura marina, spesso impostata su depositi lagunari (unità di Caorle e di Montiron) o alluvionali generalmente della pianura LGM (unità di Lison, Meolo, Mestre e depositi coevi del sistema Adige-Po). Il limite superiore corrisponde alla superficie topografica, in genere fortemente rimodellata dalla recente attività antropica. Verso mare l'unità si chiude in downlap sulla pianura pleistocenica o su depositi marini precedenti.

Il limite tra i depositi pleistocenici e i sovrastanti depositi olocenici, marcato dalla presenza di orizzonti tipo caranto, si individua a profondità variabili lungo tutto il litorale.

Partendo da sud, il tetto dei depositi pleistocenici si trova a circa -20 m slm di profondità a Sottomarina e risale fino a una profondità di -16 m slm all'altezza di Pellestrina. Il tratto di litorale corrispondente al Lido è caratterizzato nel sottosuolo dalla presenza di un alto morfologico presso l'attuale bocca di Porto di Lido (Tosi, 1994), dove il caranto si intercetta a una profondità di circa -7 m slm, mentre ritorna ad abbassarsi fino a una profondità di -16 m slm lungo il litorale del

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

Cavallino. Proseguendo verso nord, si passa gradualmente dai circa -13 m s.l.m.m. di profondità presso Lido di Jesolo, fino ai -12 m di Caorle e della foce del Tagliamento.

Lo spessore dei sovrastanti depositi lagunari olocenici è variabile e aumenta andando da sud verso nordest.

Lungo il litorale di Sottomarina, infatti, i depositi lagunari si riscontrano solo nelle aree più interne del territorio provinciale, e i depositi costieri poggiano direttamente sui sedimenti depositatisi durante il ciclo trasgressivo-regressivo che ha preceduto l'ingressione marina

L'unità Litorale Indifferenziata si estende dalla foce del fiume Adige fino a quella del Tagliamento e può essere suddivisa nei seguenti tratti andando da sud verso nord-est: il litorale di Isola Verde, di Sottomarina, di Pellestrina, del Lido, del Cavallino, di Jesolo, di Valle Altanea e Eraclea, di Caorle e di Valle Vecchia.

In particolare, il litorale di Pellestrina è compreso tra la bocca di porto di Chioggia a sud e quella di Malamocco a nord. Nel passato la formazione del lido di Pellestrina sembra essere stata legata ai depositi del fiume Brenta, mentre attualmente questo tratto di litorale può essere considerato un sistema praticamente privo di apporti sedimentari esterni.

Il litorale del Lido si estende tra la bocca di porto di Malamocco a sud e quella di Lido a nord e, anche in questo caso, il rifornimento di sedimenti da parte dei fiumi è praticamente nullo.

Unità di Marghera OLOCENE sup. (Età moderna - Attuale)

L'unità di Marghera è caratterizzata da depositi di origine antropica costituiti da materiale di riporto eterogeneo, in prevalenza di origine naturale (ghiaie e sabbie alluvionali, depositi lagunari o di spiaggia), con abbondanti resti provenienti dal disfacimento di materiali di costruzione (laterizi, malte, ceramiche) e residui di lavorazioni industriali (discariche non controllate). L'unità di Marghera comprende, inoltre, le casse di colmata e i terrapieni (vedi Aeroporto Marco Polo).

I depositi di origine naturale rimaneggiati sono, nella maggior parte dei casi, il prodotto dell'opera di imbonimento di barene e velme lagunari, attuata nel secolo scorso per la costruzione della zona industriale di Porto Marghera, e il materiale di risulta dello scavo dei canali industriali. Oppure, i sedimenti rimaneggiati possono essere di origine alluvionale o provenire da depositi di spiaggia. In questo caso, la granulometria dei sedimenti varia da ghiaie, sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e argillosi, ad argille fino a trovare, talora, interi livelli di torba riportati.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

Tra il materiale di origine antropica rinvenuto all'interno del riporto si possono elencare: frammenti di calcestruzzo, cotto, laterizi, trachite, pietrisco di cava; inoltre scarti di lavorazione industriale varia, scorie vetrose, rifiuti solidi urbani (RSU) e altri rifiuti industriali. In alcuni punti si riscontrano considerevoli livelli di ceneri nerastre (pirite), fanghi bauxitici rossi e fosfogessi.

Lo spessore del materiale di riporto è mediamente compreso tra 1 e 2 m ma può arrivare fino a 5 m, soprattutto in alcune aree di Porto Marghera (Vecchio e Nuovo Petrolchimico, Area Moranzani). In rari casi sono stati riscontrati riporti con spessori superiori (9-10 m): si tratta dei riempimenti di canali industriali o di banchine dei moli portuali (fig. 1).

All'interno dell'unità di Marghera sono state cartografate le casse di colmata realizzate a partire dagli anni Venti in corrispondenza della frangia lagunare e che oggi sono interamente occupate da edifici e strutture industriali e portuali. Sono inoltre compresi gli ulteriori interramenti predisposti negli anni Sessanta per l'espansione, mai resa operativa, della terza zona industriale di Porto Marghera, costruiti con il materiale di risulta dello scavo del Canale Malamocco-Marghera. Le colmate della terza zona industriale sono isole artificiali di estensione rilevante (circa 1200 ettari), localizzate a sud dello sbocco in laguna del Naviglio Brenta.

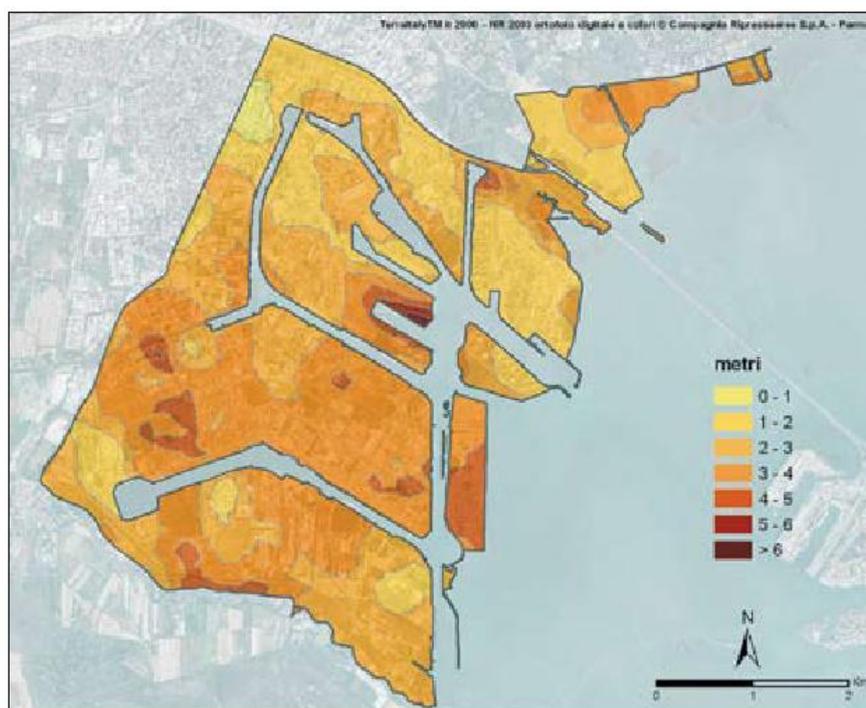


Fig. 1- Distribuzione dello spessore del riporto all'interno dell'area di Porto Marghera; mappa ricavata dall'interpolazione dei valori puntuali presenti nella banca dati stratigrafica della Provincia di Venezia.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

4 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

4.1 AREA CONTINENTALE

La morfologia della Laguna di Venezia è il risultato di processi continentali e marini occorsi in modo diacronico e con diversa intensità durante la sua breve storia geologica. Le condizioni di sedimentazione sono state regolate dall'avanzamento e dall'arretramento della linea di costa. Durante la fusione dei ghiacci post-Wurmiana, l'innalzamento del livello marino provocò l'invasione della terra emersa in maniera intermittente e con diverse dinamiche ed energie. In questo ambiente, i sedimenti che si trovano vanno, senza soluzione di continuità, dalle terre fini granulari come le sabbie fino ai terreni coesivi quali limi ed argille. La mancanza di un'adeguata circolazione idrica rese l'ambiente anossico come testimoniano le presenze di frustoli carboniosi e livelli torbosi molto evidenti.

Dal punto di vista dinamico la laguna è una forma soggetta a rapida evoluzione verso l'ambiente continentale, per sedimentazione dei corsi d'acqua, o verso l'ambiente marino, per erosione dei lidi e subsidenza. Gli interventi antropici volti alla salvaguardia soprattutto della città di Venezia ha avuto come finalità la conservazione dell'ambiente lagunare attraverso le deviazioni dei fiumi che sfociavano in laguna.

Le principali forme che caratterizzano la laguna sono le seguenti:

- ***Lidi e frecce litoranee:*** sottili strisce di sedimenti emersi che limitano lo specchio lagunare verso il mare. Si tratta di cordoni litoranei, elevati e complessi, con presenza di dune conservate in alcune località (Alberoni, Cà Roman, Cavallino, ...) interrotti dalle bocche di porto o foci lagunari (bocca di Lido Treporti e bocca di Lido San Nicolò, bocca di Malamocco, bocca di Chioggia) attraverso le quali avviene lo scambio dell'acqua tra il mare e la laguna.
- ***Canali lagunari:*** canali lagunari sommersi caratterizzanti una complessa rete a sviluppo dentritico facente capo ad ogni bocca di porto. Le tre bocche di porto (Treporti e San Nicolò rappresentano una suddivisione antropica di un'unica bocca per permettere l'insediamento delle opere civili del sistema Mo.SE) portano all'individuazione di tre bacini distinti e separati da spartiacque sommersi. La dimensione e profondità dei canali decresce sistematicamente dalla bocca di porto verso le zone più periferiche, mentre la sezione trasversale dei canali evidenzia bordi rialzati che vanno digradando dolcemente verso l'esterno. Attualmente molti canali subiscono periodiche escavazioni ai fini della

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

navigazione endolagunare, mentre altri sono scavati artificialmente arrivando a modificare l'idrografia lagunare (Canale dei Petroli e Canale di Malamocco).

- **Piane tidali:** sono distinte in barene e rappresentano aree di varia forma soggette alla sommersione durante le alte maree di sigizie e alte maree eccezionali e velme che vengono sommerse ad ogni marea ordinaria.
- **Valli da pesca:** sono specchi d'acqua dedicati all'itticoltura, che occupano circa il 20% della superficie lagunare e sono arginati artificialmente dall'uomo che ne governa il flusso dell'acqua.
- **Isole:** sono derivate fondamentalmente dall'azione di innalzamento artificiale di aree parzialmente emerse e quindi favorevoli all'insediamento. In origine erano cordoni litoranei o forme fluviali (dossi in laguna o delta endolagunari). Nel tempo molte isole minori sono andate soggette all'erosione.
- **Delta endolagunari:** sono corpi sedimentari creati dai fiumi che sfociavano all'interno della laguna.

4.2 IL CARANTO

Con questo termine nell'area veneziana si identifica un livello ubicato alla sommità del complesso corrispondente alla fase di Ultimo Massimo Glaciale (LGM) - (vedi Allegato grafico C5-DIS-050) ubicato alla base dei depositi lagunari e frapposto alla sottostante serie alluvionale.

Questo intervallo, mediamente spesso 1-2 m, è costituito da limi argillosi e argille notevolmente compatti, con colorazioni screziate dall'ocra al grigio e comuni noduli carbonatici duri con diametro da pochi mm a 1-2 cm; il caranto, facilmente individuabile anche per le ottime caratteristiche fisiche e meccaniche, tende ad affiorare in terraferma e si affossa gradualmente, con una pendenza media superiore a quella della bassa pianura veneta, verso i litorali sotto una coltre olocenica di oltre 13 m di spessore (Bassan & Vitturi, 2003).

Il caranto è stato dunque interpretato come un suolo sepolto, che si è sviluppato al tetto della serie alluvionale pleistocenica sulla superficie del tratto distale del megafan di Bassano. L'arco temporale per la sua formazione è compreso tra la cessazione dei processi fluviali, avvenuta successivamente a 14.500 anni (datazione ¹⁴C BP ovvero before present, cioè 14500 anni prima del 1950 definito come

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

anno 0).

4.3 AREA MARINA

Per questo paragrafo ci si riferisce alle note della “CARTA GEOLOGICA DEI MARI ITALIANI ALLA SCALA 1:250.000” (FABBRI A*, ARGNANI A*, BORTOLUZZI G.*, CORREGGIARI A.*, GAMBERI F.*, LIGI M.*, MARANI M.*, PENITENTI D.*, ROVERI M.*, TRINCARDI F.* a cura di D’ANGELO S.**, VENTURA G. ** - * Istituto di Geologia marina – Consiglio Nazionale delle Ricerche di Bologna, ** Servizio Geologico d’Italia). Per suddividere e rappresentare in carta i depositi sedimentari marini sui margini continentali italiani si sceglie un approccio simile a quello adottato dalla cartografia terrestre basato sul riconoscimento di unità litostratigrafiche inquadrature cronostatigraficamente. La situazione delle aree marine italiane è però diversa rispetto alle aree terrestri; le aree marine sono infatti in larga misura caratterizzate dalla presenza di depositi tardo quaternari, raramente deformati e ben inquadrabili mediante opportune metodologie (sismica ad alta risoluzione e datazioni assolute) in quadri temporali definiti; questi depositi notoriamente registrano i vari eventi eustatici e climatici tardo-quaternari. La principale unità cartografabile su cui si basa la stratigrafia sequenziale è la sequenza deposizionale, definibile come l'insieme dei depositi sedimentari che si formano durante un ciclo completo di variazione relativa del livello del mare; i limiti sono costituiti da superfici di discontinuità e da superfici di continuità ad esse correlabili, che si formano durante le fasi di abbassamento relativo del livello del mare. All' interno di una sequenza le varie fasi del ciclo sono definite dalla risposta dei sistemi deposizionali o meglio dei tratti di sistemi contemporanei (systems tracts); si possono così definire in modo relativamente oggettivo delle sottounità che hanno una precisa connotazione genetica e temporale; queste sottounità stratigrafico –sequenziali costituiscono i corpi sedimentari più utili e significativi per la rappresentazione cartografica. Si tratta infatti di unità rigidamente inquadrabili dal punto di vista temporale e all’interno delle quali sono facilmente definibili i vari sistemi deposizionali; questi ultimi corrispondono in ultima analisi ad unità litostratigrafiche (Formazioni), che possono essere quindi definite e rappresentate cartograficamente, realizzando un legame concettuale e pratico con l’approccio cartografico terrestre.

Seguendo questo approccio, i depositi di stazionamento alto (HTS) tardo-olocenici vengono suddivisi in tre unità formazionali con limiti eteropici: argille e sabbie continentali, sabbie costiere o di foce, argille di prodelta.

La fig. 2 schematizza i rapporti tra systems tracts e i vari tipi di unità stratigrafiche più usati nella cartografia terrestre. In questo quadro ed in base alle esperienze acquisite sui margini continentali

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

che circondano il territorio nazionale, si propone di utilizzare la stratigrafia sequenziale come metodo per caratterizzare e confrontare tra loro le successioni stratigrafiche tardo-quadernarie sui margini continentali italiani.

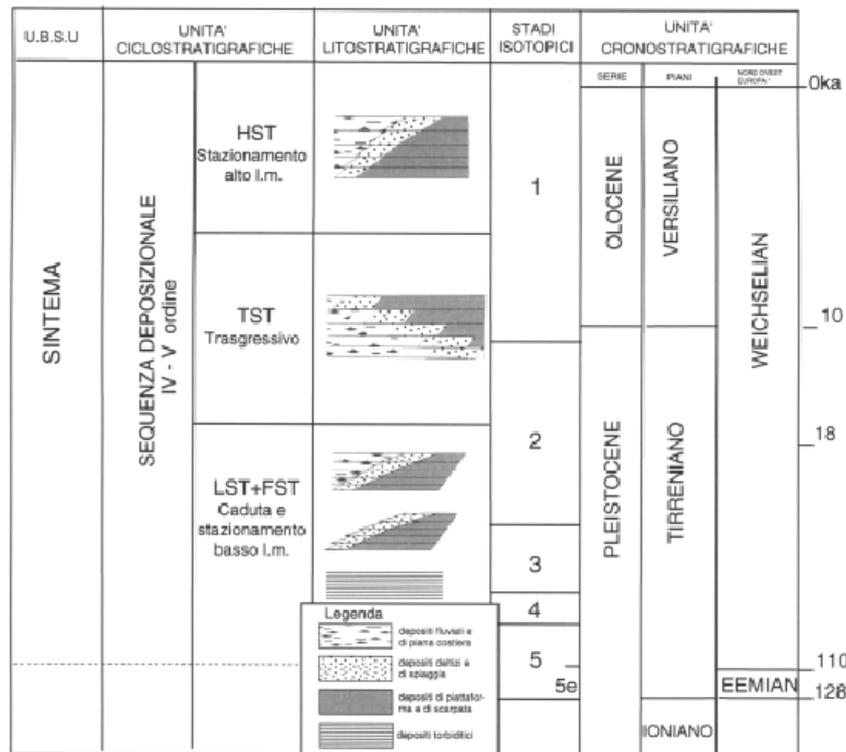


Fig. 2 - Schematizzazione dei rapporti nei vari tipi di unità stratigrafiche più usati nella cartografia terrestre e i system tracts (Zagwijn W. H., 1979; 1985; 1989)

Tre superfici guida costituiscono i limiti fisici che permettono di definire e suddividere al proprio interno un ciclo deposizionale:

- superficie di trasgressione (che marca l'inizio della risalita relativa di livello del mare su un margine);
- superficie di massima inondazione (che registra il massimo spostamento verso terra della linea di riva);
- superficie di esposizione subaerea formatasi durante condizioni di caduta di livello del mare.

Altre superfici significative sono quella di ravinement (SWIFT, 1975; DEMAREST & KRAFT,

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

1987; NUMMEDAL & SWIFT, 1987) e quella regressiva di erosione sottomarina (PLINT, 1988). Entrambe queste superfici (fig.3) sono formate da erosione da parte della spiaggia sommersa (shoreface) in condizioni rispettivamente trasgressive e regressive; queste superfici, spesso di più facile identificazione rispetto ad altre, possono essere presenti all'interno dei systems tracts e non hanno significato cronostratigrafico poichè sono diacrone. Altre superfici possono formarsi per erosione sottomarina ad opera di correnti di fondo; tali superfici anche se di grande estensione regionale non trovano una ovvia posizione in nessuno degli schemi stratigrafici che si sono sviluppati a partire dalla stratigrafia sismica (CHRISTIE-BLICK, 1991).

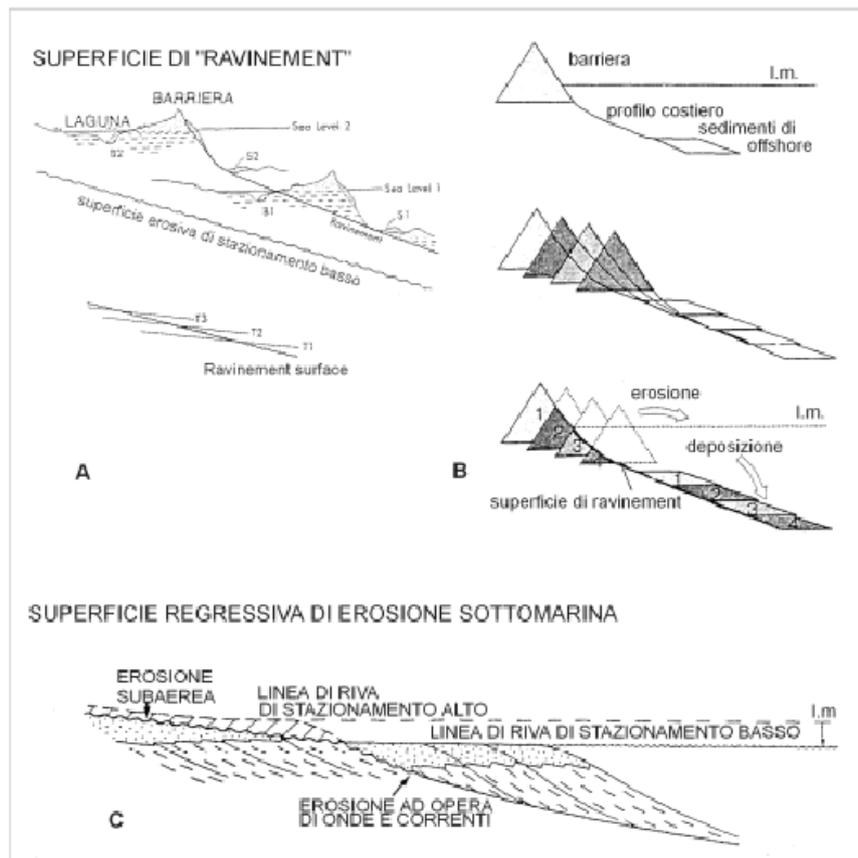


Fig. 3 – Origine della superficie di “ravinement”

- A) *Durante la risalita del livello del mare dalla posizione 1 alla posizione 2 la spiaggia si muove verso terra e il processo erosivo e di rimaneggiamento dei depositi costieri di barriera durante il passaggio della linea di riva porta allo smantellamento di parte della barriera lasciando preservate le facies di retro barriera **B1**. I nuovi depositi di piattaforma interna **S2** sono più giovani dei sottostanti depositi di retro barriera **B1**; a loro volta i depositi **B1** sono coevi ai depositi di piattaforma **S1** posti sopra la superficie di “ravinement” verso mare (NUMMEDAL & SWIFT, 1987 modificato).*

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

- B) *Questa superficie non ha significato cronostratigrafico bensì litostratigrafico e separa litosomi di spiaggia e marini in s.l. da litosomi parali o continentali trasgressivi. Questa superficie può quindi essere considerata un limite formazionale (THORNE & SWIFT, 1991 modificato).*
- C) *Superficie di erosione di spiaggia formatasi in condizioni di caduta del livello relativo del mare. Superfici di questa natura si trovano alla base e all'interno del System tract di caduta del livello del mare (FST).*

Di seguito vengono riassunte le caratteristiche essenziali dei systems tracts associati alle fasi principali dell'ultimo ciclo di fluttuazione eustatica del livello del mare. Di ogni systems tract vengono brevemente discussi il significato stratigrafico e la rappresentabilità in carta. Maggiore enfasi e dettaglio verranno posti nella rappresentazione dei systems tracts di stazionamento alto e trasgressivo; informazioni essenziali riguarderanno quelli di stazionamento basso e caduta del livello marino.

Depositi di stazionamento alto (HST)

I depositi di stazionamento alto (HST), sono successivi alla fase di massima ingressione marina avvenuta al termine della risalita di livello del mare (circa 4-5000 anni fa), e presentano i massimi spessori in piattaforma interna presso i principali apparati deltizi (ad es.: Po, Tevere, Arno) lungo la costa italiana e si riducono a pochi metri di spessore in piattaforma esterna. Eccezioni a questo andamento si trovano su alcuni tratti del margine Adriatico Centrale, Ionico e Tirrenico orientale, dove gli apporti fluviali in condizioni di stazionamento alto del livello del mare sono tali da consentire la deposizione di un drappaggio distale di fanghi in piattaforma esterna e scarpata (ad es. piattaforma circostante le Isole Tremiti, CORREGGIARI et alii, 1992; piattaforma antistante il delta del fiume Sele, TRINCARDI & FIELD, 1991, piattaforma a Nord-Ovest del delta del Tevere, TRINCARDI & NORMARK, 1988; BELLOTTI et alii, 1994). Nel caso di apporti estremamente abbondanti si osserva deposizione torbidity e costruzione di apparati di argine/canale in scarpata e bacino (ad es. Conoide del Crati, RICCI LUCCHI et alii, 1984).

La carta geomorfologica riporta in forma sintetica informazioni riguardanti la distribuzione areale e lo spessore dei depositi di HST attraverso la redazione di una carta delle isocronopache di questi depositi in millisecondi. La curva corrispondente allo spessore di 2 m di sedimenti di HST (circa 2,5 msec), costituisce il limite di risoluzione pratico dello strumento sismico adoperato. Si ritiene che dove gli spessori di HST sono maggiori sia sufficiente riportare curve di ugual spessore ogni 5 msec.

Nel bacino Adriatico, la distribuzione degli spessori dei depositi di stazionamento alto è influenzata

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

dagli apporti (Po e fiumi minori) e dalla circolazione geostrofica che ridistribuisce i sedimenti parallelamente alla costa italiana, da NO verso SE, prevenendone la dispersione verso il centro del bacino. Una interazione tra la distribuzione degli apporti fluviali ed il regime oceanografico è stata osservata anche su altri margini della penisola italiana, quale ad es. il margine tirrenico orientale (delta del Tevere, TRINCARDI & NORMARK, 1988; delta del Sele, TRINCARDI & FIELD, 1991).

Depositi trasgressivi (TST)

I depositi trasgressivi (TST) originatisi in ambiente continentale, costiero-paralico o marino durante le fasi successive della risalita di livello del mare tardo-quadernaria appaiono generalmente ridotti di spessore e studiabili con metodi sismici ad altissima risoluzione e campionature tramite carotaggio. In aree di piattaforma caratterizzate da basso gradiente (ad es. piattaforma adriatica), al procedere della risalita del livello del mare la traslazione verso terra dei sistemi deposizionali associati all'ambiente costiero e paralico è massima (tipicamente da 10 a 20 km per ca. 10 m di innalzamento del livello del mare). I margini continentali della penisola Italiana documentano la variabilità delle facies e delle geometrie interne al TST tardo-quadernario e della espressione sedimentologica delle superfici guida che lo delimitano al tetto ed alla base (TRINCARDI et alii, 1994).

Rappresentazione in carta: dove possibile per condizioni morfologiche e assenza di copertura successiva, è necessario campionare in modo selettivo le principali parasequenze trasgressive (di età decrescente verso terra), per caratterizzarne le facies, documentarne i cambiamenti nell'organizzazione interna e nel potenziale di preservazione al procedere della trasgressione e datarne eventuali orizzonti guida o faune in situ allo scopo di ricostruire in dettaglio i tempi della risalita di livello del mare.

Depositi di stazionamento basso (LST)

I depositi originatisi durante lo stazionamento basso del livello del mare durante l'ultimo episodio glaciale quadernario possono essere schematicamente suddivisi dal basso verso l'alto stratigrafico in: depositi da trasporto in massa, sistemi torbidity di base di scarpata e cunei progradazionali di margine di piattaforma. Tipicamente, ogni settore di margine non comprende tutti e tre i tipi di depositi ma solo uno o due.

Lo sviluppo di ognuno dei tre tipi di depositi di stazionamento basso è funzione dell'assetto morfologico e del regime degli apporti clastici. I depositi da trasporto in massa tendono ad avere grande estensione areale ed appaiono caratterizzati da riflessioni caotiche o trasparenza acustica,

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

base erosiva e spessori da alcuni metri a molte decine di metri.

Tipici esempi di questi depositi provengono dalla parte più profonda della Depressione Meso-Adriatica (TRINCARDI et alii, 1994) e da alcuni bacini peritirrenici (TRINCARDI & NORMARK, 1988; MONGARDI et alii, 1994). Sistemi torbiditici di base di scarpata sono caratterizzati da rilievi deposizionali di limitata estensione areale e canalizzati nella porzione prossimale; argini costituiti prevalentemente da sedimenti fangosi possono essere associati ad alcuni canali più stabili nel tempo o caratterizzati da un maggiore apporto di sedimenti fini. Esempi di questo tipo di depositi di stazionamento basso provengono soprattutto da margini fisiograficamente immaturi in aree caratterizzate da ingenti apporti sedimentari durante il Quaternario (ad es.: Bacino di Paola, Tirreno Orientale).

Cunei progradazionali di geometria varia caratterizzano ampi settori di margine di piattaforma continentale; cunei progradazionali di questo genere possono comprendere anche le prime fasi di risalita relativa di livello del mare, in zone sottoposte a grandi apporti clastici. In questo caso sarà evidente una componente di aggradazione verticale nella regione dei topsets ed una tendenza al progressivo spostamento verso terra dell'onlap costiero.

Il bacino Adriatico presenta un esempio di cuneo progradazionale caratterizzato da dimensioni ingenti (circa 200 km di progradazione da Nord verso Sud per uno spessore di 250 m, TRINCARDI et alii, 1994).

Cunei progradazionali di minore entità ma analoga collocazione temporale provengono da settori del margine Tirrenico Orientale (MARANI et alii, 1986).

Rappresentazione in carta: i depositi di stazionamento basso vengono rappresentati soltanto in forma schematica allo scopo di identificare la possibile linea di riva al termine del periodo glaciale e perciò all'inizio della risalita relativa del livello del mare. Poiché il riconoscimento e la correlazione fisica della base di questi depositi sono in molti casi controversi (così come la datazione precisa dei depositi immediatamente soprastanti ad essa), non si ritiene possibile ottenere l'elaborazione di carte delle isocronopache per questi depositi in modo sistematico. Il tipo di deposito di LST potrà essere messo in luce attraverso la scelta di simboli grafici diversi.

Depositi di caduta di livello del mare (FST)

E' noto che i cicli di variazione relativa di livello del mare durante il Quaternario sono caratterizzati da cadute relativamente lente e discontinue e da risalite molto più rapide. Circa il 90% del tempo durante cicli di questo genere è assorbito da fasi di caduta e stazionamento basso del livello del

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

mare. I margini continentali Mediterranei presentano numerosi esempi di depositi di caduta che possono essere caratterizzati da geometrie, spessore, estensione areale e litologie estremamente diverse (TESSON et alii, 1990; TRINCARDI & FIELD, 1991; HERNANDEZ-MOLINA et alii, 1994). Si tratta di depositi progradazionali messi in posto attraverso un meccanismo di regressione erosiva (CURRAY, 1964) o forzata (POSAMENTIER et alii, 1992) riconoscibile per il progressivo spostamento verso mare e verso il basso dell'onlap costiero. Questi depositi possono essere tra loro contigui o separati da una zona di non deposizione e trasporto più o meno estesa. Nel primo caso i depositi di regressione forzata rappresentano un continuum che inizia con la progradazione di stazionamento alto e termina con lo stazionamento basso.

Rappresentazione in carta: nel caso di depositi di regressione forzata è virtualmente impossibile definire un limite fisico più importante degli altri alla base di unità progradazionali che rappresentano fasi successive di caduta; in questo contesto è perciò preferibile mappare l'estensione del deposito di caduta più recente allo scopo di meglio approssimare la posizione raggiunta dalla linea di riva al termine della caduta di livello del mare.

Limiti di sequenza

Si definiscono due tipi di limiti di sequenza in funzione del rapporto tra tasso di caduta di livello del mare e tasso di subsidenza al ciglio della piattaforma (VAIL et alii, 1984; POSAMENTIER & ALLEN, 1993): limiti di tipo 1 si formano dove e quando il tasso di caduta eustatica supera il tasso di subsidenza e si ha esposizione subaerea dell'intera piattaforma continentale; limiti di tipo 2 caratterizzano margini in cui la subsidenza in piattaforma esterna è superiore al tasso di caduta di livello del mare e parti più o meno estese della piattaforma rimangono sommerse e soggette a deposizione. I limiti di tipo 1 sono caratterizzati da più estesi fenomeni di incisione fluviale.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

5 GEOMORFOLOGIA DELL'AREA D'INTERVENTO

Il terminal petrolifero e diga foranea, geomorfologicamente sono situati su sistemi di stazionamento basso (LST) e di caduta (FST) (allegato grafico C5-DIS-040,041,042) ovvero depositi continentali costituiti prevalentemente da argille sovraconsolidate di colore grigio-giallognolo contenenti tipiche faune continentali. Sono presenti anche orizzonti di torba e corpi sabbiosi di granulometria prevalentemente fine con grado di cernita variabile.

Il fascio tubiero che collega il terminal con l'isola dei serbatoi petroliferi, nella parte a mare attraversa, oltre a sistemi di stazionamento basso, sistemi trasgressivi (tp2) e sistemi di stazionamento alto (hs1 ed hs2). L'unità tp2 è costituita da sabbie, a granulometria da fine a media, ben cernite e distribuite in corpi lentiformi, allungati in corrispondenza di sottostanti gradini morfologici; l'unità rappresenta depositi di spiaggia parzialmente rimaneggiati in campi di dune in condizioni subacquee. I sistemi di stazionamento alto rappresentano un'unità a geometria progradazionale costituita in prevalenza da un complesso pelitico (hs1) di prodelta-piattaforma interna ed argille e silt argillosi con grado di bioturbazione variabile. Nella fascia costiera, la progressiva intercalazione di sottili strati sabbiosi e bioclastici segna il passaggio graduale al complesso sabbioso di spiaggia (hs2), costituito da sabbie fini, ben cernite.

Il fascio tubiero, dopo aver attraversato il Lido, caratterizzato da depositi prevalentemente sabbiosi e da dossi fluviali in laguna, entra nella laguna di Venezia, passando per depositi a classificazione variabile da sabbie a limi argillosi in un quadro morfologico costituito da barene, aree depresse del fondo lagunare, canali e tracce di corsi fluviali estinti. Infine arriva all'isola dei serbatoi, identificabile dal punto di vista geomorfologico, come terrapieno.

6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La pianura veneta che include l'entroterra della laguna di Venezia, è costituita da grandi conoidi alluvionali (megafan) compositi, policronologici e polifasici (depositi Plio-Quaternari), il loro spessore aumenta verso SSE (Bondesan & Meneghel, 2004; Fontana et alii, 2008). La parte distale dei megafan del fiume Brenta e del fiume Piave fornirono un sostanziale contributo alla formazione della laguna di Venezia (fig. 4).

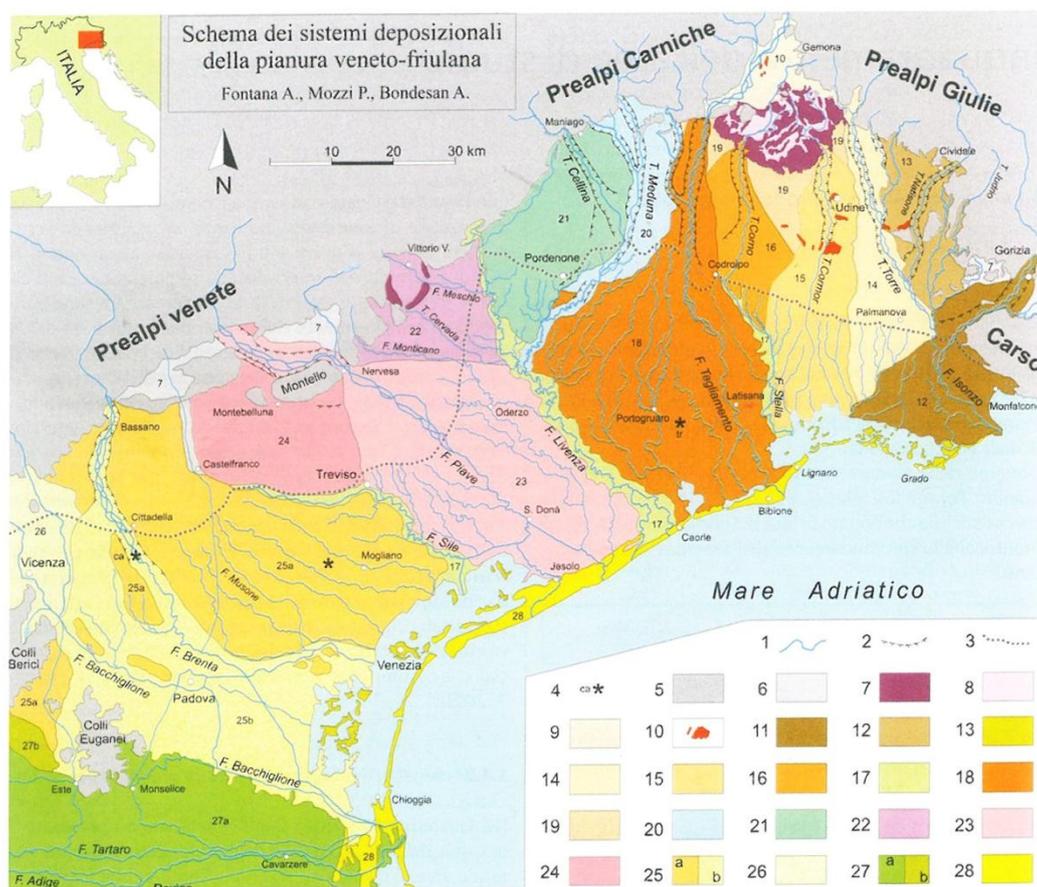


Fig. 4 – Schema dei sistemi deposizionali della pianura veneto-friulana (da Fontana A. et al., 2004 in Bondesan e Meneghel (a cura di), 2004).

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

Dal punto di vista tessiturale la pianura Veneta è contraddistinta dalla presenza di terreni incoerenti (sabbie e ghiaie) e pseudocoerenti (limi e argille). Le ghiaie sono presenti nel sottosuolo a profondità sempre più elevate procedendo verso il mare.

La porzione distale dei vari megafan, durante l'Olocene, è stata interessata direttamente anche dall'ambiente marino soprattutto nei settori attualmente prossimi al mare o alle lagune. E' riconosciuto infatti un ciclo trasgressivo-regressivo, in cui ad una iniziale espansione marina sulla pianura preesistente è seguito l'instaurarsi di un ambiente lagunare o deltizio.

Il sottosuolo della pianura Veneta si può suddividere in tre fasce (Fig. 5):

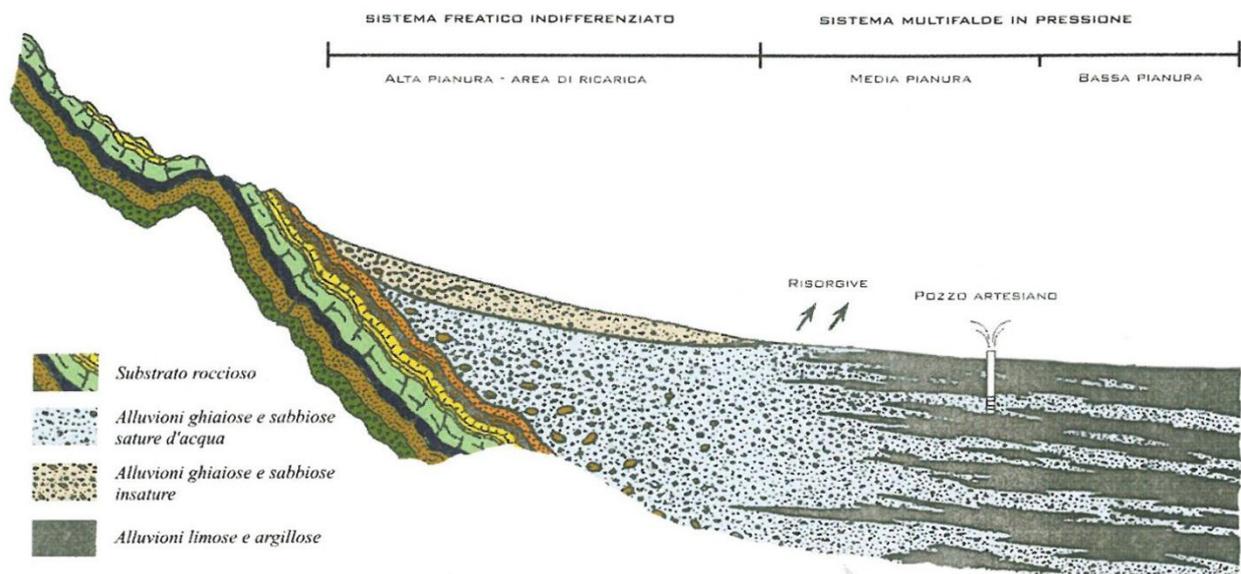


Fig. 5 – Modello idrogeologico della Pianura Veneta. La figura rappresenta una sezione-tipo della pianura con direzione N-S. Si distingue la zona dell'Alta Pianura dove avviene la ricarica dell'acquifero, la zona di Media Pianura dove inizia a svilupparsi il sistema multifalde in pressione ed in cui le acque freatiche vengono a giorno (fascia delle risorgive) ed infine la zona della Bassa Pianura.

- **Alta pianura (acquifero indifferenziato – area di ricarica):** è una fascia a ridosso dei rilievi montuosi, di larghezza variabile e pari a circa 10 km. E' una zona composta principalmente da materiali ghiaiosi, molto permeabili, per tutto lo spessore. E' frequente rinvenire a diverse profondità livelli ghiaiosi più o meno cementati, che costituiscono i cosiddetti conglomerati. In questa zona i diversi conoidi alluvionali si sono tra loro compenetrati formando un ammasso ghiaioso relativamente omogeneo.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

- **Media pianura:** di circa una decina di chilometri di larghezza, rappresenta il passaggio tra l'Alta e la Bassa Pianura. In questa zonale ghiaie diminuiscono di spessore suddividendosi in livelli sub-orizzontali separati tra loro da letti di materiale limoso-argilloso impermeabile. Questo passaggio è abbastanza rapido e si manifesta con una struttura a digitazione delle ghiaie che si distaccano dall'ammasso alluvionale omogeneo, dapprima con grandi spessori, e si esauriscono verso valle a differenti distanze, chiudendosi entro i depositi fini impermeabili o semipermeabili. Solo i livelli ghiaiosi più profondi tendono a persistere anche più a Sud, nella Bassa Pianura.

- **Bassa Pianura:** è la fascia che si spinge fino alla costa adriatica e a Sud fino al fiume Po. Ha una larghezza di circa 20 km nella parte orientale e presenta un sottosuolo costituito da potenti letti di limi ed argille entro cui si intercalano livelli sabbiosi. Verso valle le conoidi ghiaiose, non più direttamente sovrapposte, si trovano innestate entro materiali fini limoso-argillosi; ne risulta un sottosuolo a struttura differenziata costituito dall'alternanza di livelli ghiaiosi alluvionali e livelli limoso-argillosi di origine prevalentemente marina o lacustre. (Risorse idriche e bilancio idrogeologico – Tullio Cambuzzi, Enrico Conchetto, Paolo Fabbri, Pietro Zangheri, Enrico Marcolongo, Alessia Rosignoli).

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

7 IDROGEOLOGIA DELL'AREA D'INTERVENTO

L'area veneziana, appartenente alla terza fascia ovvero alla bassa pianura, poggia su un materasso alluvionale quaternario, i cui litotipi costituiscono due differenti complessi sedimentari:

- il complesso quaternario inferiore, pleistocenico, caratterizzato principalmente da facies continentali;
- il complesso quaternario superiore, olocenico, costituito in prevalenza da facies lagunari.

Il complesso più antico è costituito da una sequenza di livelli sabbiosi alternati a livelli limoso-argillosi, con frequenti intercalazioni torbose. La sommità del complesso è caratterizzata dalla presenza di uno strato di argilla fortemente sovraconsolidata denominata "caranto" (sopra descritto), che testimonia un prolungato periodo di esposizione in epoca pre-olocenica.

L'area di Porto Marghera, e più in generale quella della Laguna di Venezia, presenta una falda superficiale di tipo freatico, la cui superficie è posta appena al di sotto del piano campagna. Molto spesso più che di singola falda freatica, si tratta di un intervallo di acquiferi a geometria lenticolare, scarsamente continui su scala regionale ed estesi fino alla profondità di circa 60m. Questi acquiferi possono avere, su scala locale, un particolare significato per la comprensione delle direttrici preferenziali di deflusso. Inferiormente, fino alla profondità di circa 350 m da p.c., si distingue un secondo intervallo costituito da una serie di acquiferi confinati. Inoltre, l'area al limite tra il mare e la terraferma, si presenta particolarmente complessa dal punto di vista idrogeologico, con presenza di cunei di ingressione marina e zone di mescolamento/equilibrio tra le acque dolci continentali e le acque salmastre marine, con marcati componenti verticali di moto.

Analizzando la fig. 6 e l'allegato grafico C5-DIS-060 si osserva, nel settore compreso tra Mirano e Porto Marghera, la presenza di un asse di drenaggio con gradiente ESE, compreso tra due assi di alimentazione con gradienti verso SSE e verso SE. Tale asse di drenaggio è riferibile ad una serie di paleoalvei sabbiosi, con permeabilità maggiore rispetto ai terreni circostanti e costituisce una direzione preferenziale per il movimento delle acque sotterranee.

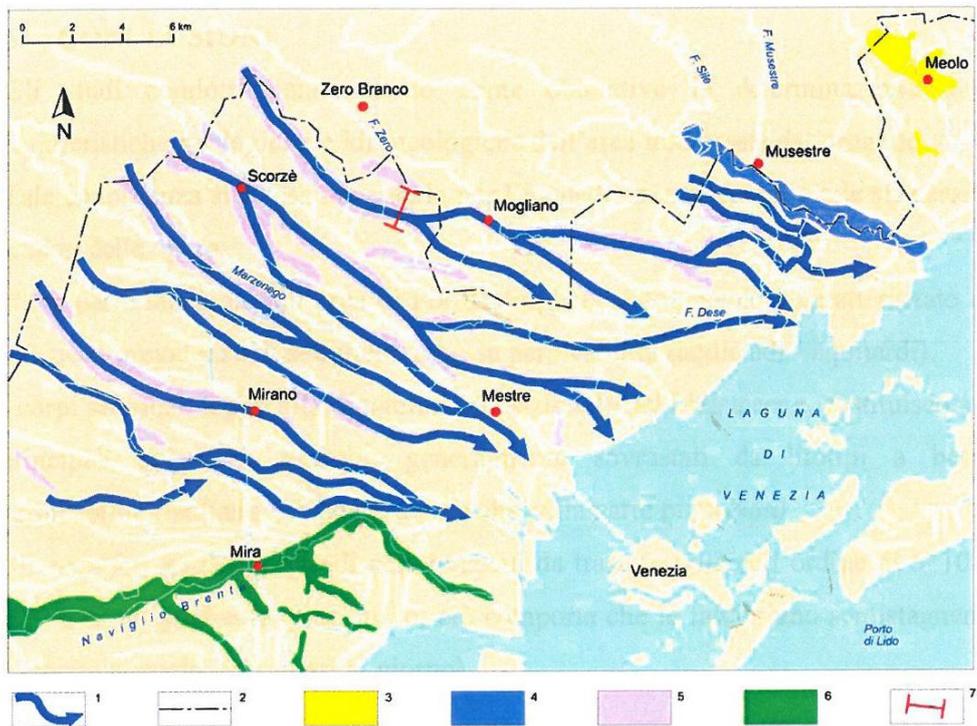
TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta
 DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO
 PROGETTO PRELIMINARE

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica

Settembre 2011

C4-REL-005

Rev.0



Legenda: 1) direttrici di deflusso; 2) confine della provincia di Venezia; 3) dossi del Piave; 4) dosso del Sile; 5) dossi del Brenta (Pleistocene); 6) dossi del Brenta (Olocene); 7) ubicazione della sezione stratigrafica di fig. 3.6a.

Fig. 6 – Principali direttrici di deflusso tardo-pleistoceniche del Brenta, nell’area compresa tra Sile e Naviglio Brenta.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica		
Settembre 2011	C4-REL-005	Rev.0

8 CONCLUSIONI

Esaminati i quadri generali di inserimento geologico, geomorfologico ed idrogeologico inerenti il progetto del Terminal Offshore, diga foranea e del fascio tubiero che lo collega, dal mare, con la terraferma presso l'isola dei serbatoi petroliferi, non emergono criticità da segnalare.

La litologia interessata, più nel dettaglio, dalla diga e dalle opere civili a mare, allo stato conoscitivo attuale, non presenta problematiche dal punto di vista geologico e nemmeno i depositi marini sede di posa/scavo per la posa del fascio tubiero. Per quanto riguarda la parte in laguna, l'unità del litorale indifferenziato presente al lido di Venezia, caratterizzata da depositi costieri sabbiosi, offre garanzie per la realizzazione delle opere previste. Un'attenzione maggiore andrà rivolta ai variegati depositi della laguna e all'Unità di Marghera, costituita da materiali di riporto ad opera antropica anche se prevalentemente naturali.

Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici, le profondità massime raggiunte dai profili delle teleguidate, ovvero -35 m s.l.m.m. ricadono all'interno dell'intervallo di acquiferi superficiali (esteso da 0 a circa 60 m di profondità) scarsamente continui su scala regionale, per cui non sono ravvisabili problematiche connesse con l'intercomunicazione di falde geologicamente distinte.

Si rimanda comunque lo studio più approfondito, dei temi sopra esposti, nelle fasi più avanzate del progetto, laddove verranno investigati i terreni con indagini di maggior dettaglio.