

Studio di Geologia
DOTT. GIAN FRANCO RUFFINI
DOTT. LEONARDO RUFFINI
57023 Cecina (Livorno)
Viale G. Falcone, 11 - Tel. (0586) 66.12.47

***Relazione geologica di supporto allo
studio di fattibilità per la realizzazione della Bioraffineria
posta all'interno della Raffineria ENI di Livorno***

COMUNE DI LIVORNO e COLLESALVETTI

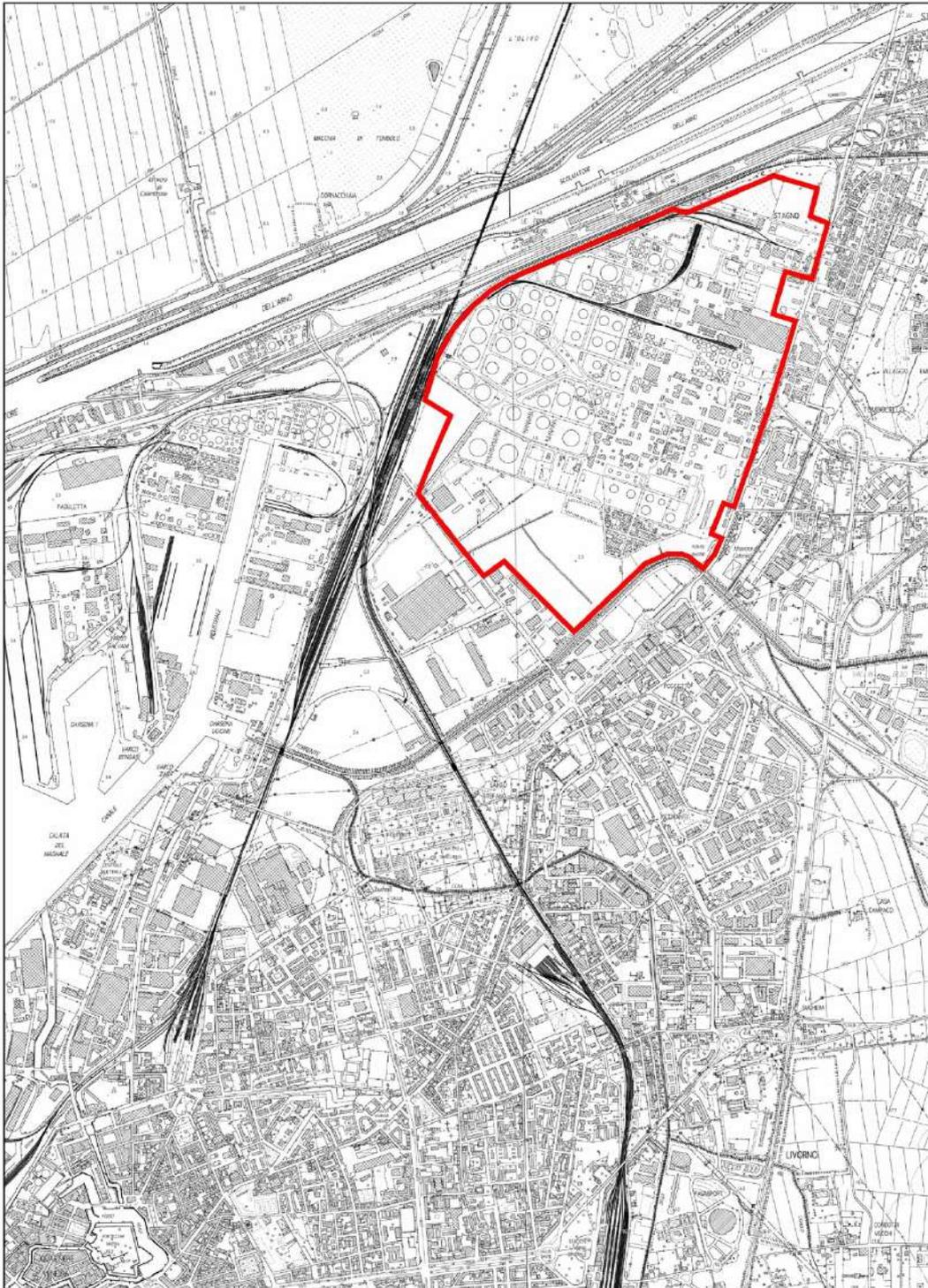
INDICE

Premessa	pag. 2
Inquadramento geologico	pag. 5
Inquadramento morfologico	pag. 5
Idrogeologia della zona	pag. 7
Metodologia d'indagine	pag. 7
Modello litologico del substrato da sondaggi	pag. 7
Caratterizzazione geotecnica	pag. 10
Resistenza alla liquefazione	pag. 10

1 - Premessa

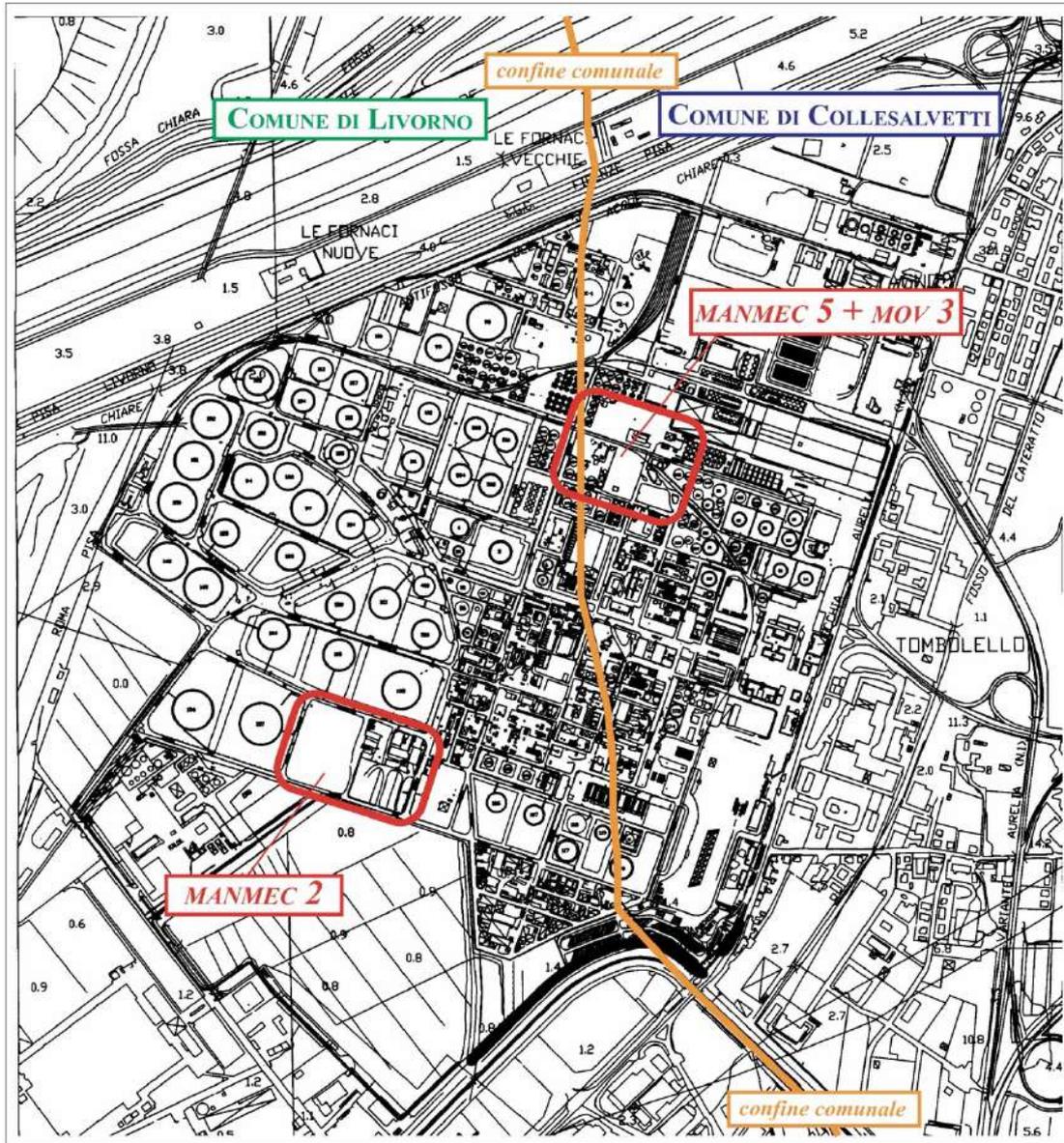
La presente relazione è stata predisposta su incarico della Società ENI S.p.A. al fine di caratterizzare dal punto di vista geologico l'area su cui sorge la Raffineria di Livorno (**fig. 1**). La Raffineria si estende in parte sul territorio comunale di Livorno ed in parte su quello di Collesalveti, ad ovest della Statale Aurelia, nel tratto compreso tra le località Ponte Ugione a sud e Stagno a nord.

La Società ENI S.p.A. ha intenzione di sviluppare un progetto che prevede la realizzazione e l'integrazione nel sito industriale di una sezione impiantistica di bioraffinazione in grado di processare differenti tipologie di alimentazione, caratterizzata da un'ampia flessibilità al fine di ottenere prodotti energetici bio-derivanti da scarti e ricicli produttivi per un mercato in evoluzione, sfruttando l'integrazione con la logistica e le utilities già esistenti. In funzione di questo, all'interno della Raffineria sono state individuate 2 macro-zone per la realizzazione degli impianti di bio-raffinazione. La prima area, definita "**MANMEC 2**", è posta all'estremità sud-ovest della Raffineria (**fig. 2**), mentre l'altra, definita "**MANMEC 5 + MOV 3**", è posta nella porzione centro-settentrionale dell'impianto industriale, (**fig. 2**), sul confine comunale tra Livorno e Collesalveti.



UBICAZIONE DELL'AREA IN OGGETTO

fig. 1 scala 1:20.000



UBICAZIONE DELL'INTERVENTO IN OGGETTO

fig. 2 scala 1:10.000

2 - Inquadramento geologico

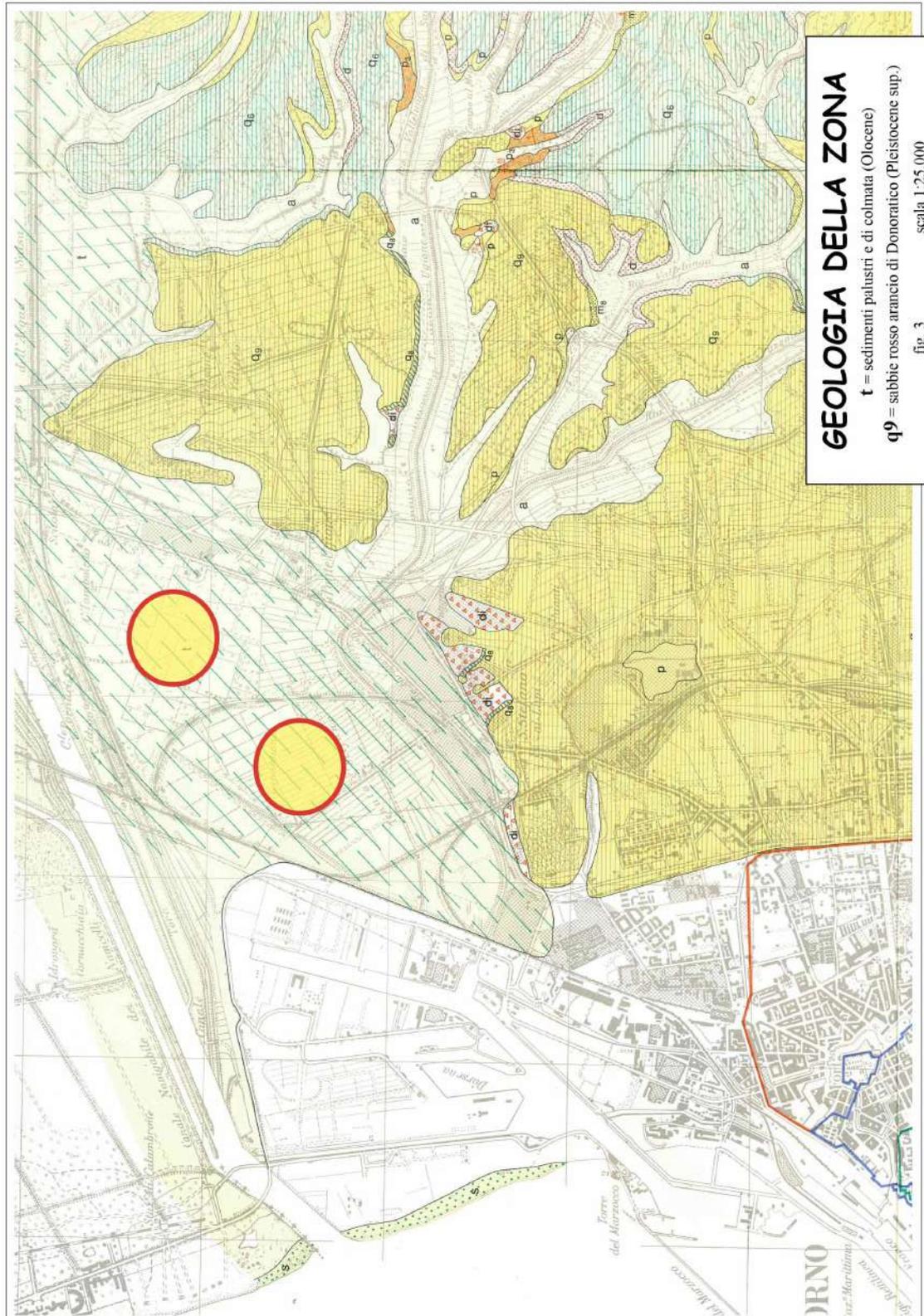
Il substrato è di natura limo argillosa e limo sabbiosa. La litologia è riconducibile alla formazione olocenica dei **sedimenti palustri e di colmata (fig. 3)**. Si tratta di sedimenti legati all'attività di esondazione dei vari botri e fossi presenti, prima in tempi antichi e dopo durante le opere di bonifica idraulica. Il settore ha infatti fatto parte, fino al XVII secolo, della grande zona umida di Stagno, definita Padule dell'Altura, presso Casa Tomboletto. In superficie si rinvencono sedimenti a granulometria fine, sabbie limose e limo sabbiosi. Inferiormente seguono limi argillosi e argille limose grigie, ad indicare un ambiente privo d'ossigeno, tipico di una facies paludosa.

Nelle sue linee generali all'interno della Raffineria si possono distinguere i seguenti corpi litologici:

- Terreno di riporto per uno spessore medio di 1 m;
- Depositi prevalentemente granulari (sabbie e sabbie limose) per uno spessore medio di 10-15 m, al cui interno possono essere localmente investigate lenti argillose di una certa estensione;
- Livello argilloso alla base dei depositi sabbiosi, caratterizzato da uno spessore variabile, sviluppato fino ad una profondità mutevole da 15 a 25 metri;
- Alternanza di depositi limoso-sabbiosi separati da lenti argillose e livelli sabbioso ghiaiosi, rinvenuti fino alla profondità di circa 40 metri;
- Substrato roccioso composto da conglomerati dell'Arno e del Serchio.

3 - Inquadramento morfologico

Il settore su cui si sviluppa la Raffineria coincide mediamente con le quote di 0.90/1.50 metri s.l.m., a testimonianza di una zona morfologicamente depressa, strappata all'ambiente palustre tramite opere di bonifica e di colmata. Gli elementi più significativi di drenaggio superficiale del contesto territoriale sono rappresentati dallo *Scolmatore dell'Arno*, il cui argine sinistro si trova ad una distanza di circa 400 metri in direzione nord, dal *Fosso delle Acque Chiare* e dal *Fosso Toretta* anch'essi presenti a nord, e dal *Torrente Ugione*, che invece scorre a sud. Essendo l'area urbanizzata la rete di drenaggio minore è stata sostituita da quella fognaria.



4 - Idrogeologia della zona

I sedimenti presenti sono limitatamente permeabili per porosità. Essi sono sede di una falda freatica superficiale, posta attualmente alla profondità di 1.50/2.00 metri dal piano campagna. Il livello non mostra importanti variazioni tra periodi asciutti o piovosi. Le oscillazioni sono quantificate in 20/30 cm. L'acquifero è localizzato all'interno dei depositi granulari superficiali, comprendenti sabbie e limi, e presenta una direzione di deflusso sotterraneo complessivamente da est a sud-ovest. Tale corpo presenta una conducibilità media pari a $6.4 \cdot 10^{-05}$ m/s, con uno spessore di circa 10 m. L'acquifero citato è poi separato, tramite il descritto orizzonte argilloso, da un secondo acquifero multistrato in parziale semi-confinamento con uno spessore di circa 20 m, intervallato a lenti di argilla.

5 - Metodologia d'indagine

Nel 1983 il Dott. Geologo Roberto Chetoni ha eseguito un'indagine geognostica estesa a tutto il territorio della Raffineria, come supporto alla progettazione della stessa. L'indagine si è composta di 50 sondaggi a carotaggio continuo e nel prelevamento di campioni indisturbati su cui furono eseguite prove di laboratorio. Altre indagini sono state eseguite in tempi diversi da vari Colleghi e dagli Scriventi a supporto di singoli interventi.

6 – Modello litologico del substrato da sondaggi

Dalle informazioni litologiche generali si può rilevare la presenza di una buona continuità dei singoli orizzonti litologici, seppur si rilevino modeste variazioni nella quota di rinvenimento dei vari complessi, situazione per altro tipica di una facies retrodunare e lagunare. Relativamente alla rappresentazione stratigrafica della zona si rimanda alla sezione schematica di **fig. 4**, ripresa dalla *tavola 5 dello studio Rafanelli (2004)*. Nello specifico s'identificano tre distinti complessi sottostanti un orizzonte corticale spesso 1.00/1.50 metri, costituito da materiale di riempimento di chiara origine antropica.

Complesso A = sabbia fine limosa e limo sabbiosa di colore grigio o grigio-verde, a variabile componente organica, da poco a mediamente addensata, satura. Il complesso si sviluppa fino a circa 12.0 – 15.00 metri dal p.c.

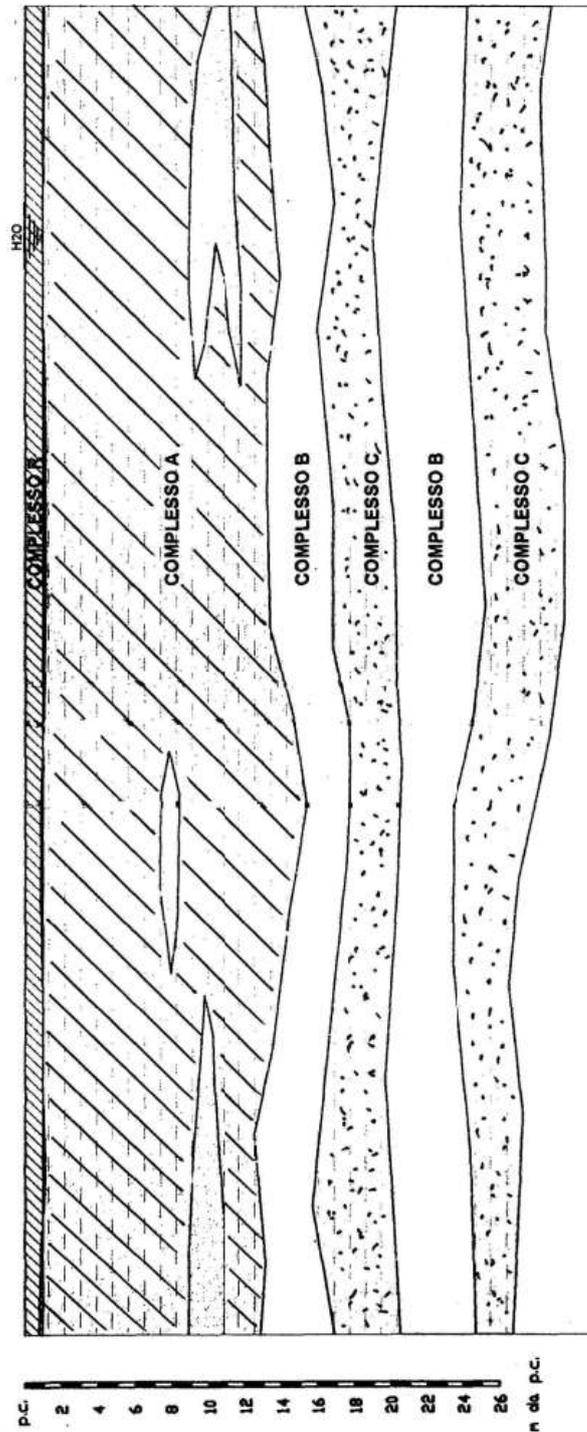
Complesso B = si tratta di limi argillosi e argille con passaggi a limi sabbiosi di colore grigio, con alternanze di sabbia limosa. Le frequenti intercalazioni di limo e argilla si riflettono in un comportamento spiccatamente coesivo. Si rileva fino a 20/25 metri di profondità.

Complesso C = limo sabbioso talvolta prettamente sabbioso, di colore grigio ocra e/o avana, saturo. E' presente sotto il complesso B con il quale spesso si alterna e dal quale si distingue per la spiccata componente granulare.

I precedenti numerosi sondaggi eseguiti nella porzione settentrionale della Raffineria avevano confermato il modello litologico descritto, evidenziando la presenza di un livello di sabbie grigie, sciolte, riconducibili al complesso A, fino alla profondità di 12.00/13.0 metri, con una frazione limosa variabile, spesso nulla, e una granulometria fine o media. Al di sotto si sono rinvenute argille grigie plastiche per uno spessore di circa 5.0 metri (Complesso B), per poi passare nuovamente a sabbie ocra e/o grigie franche, alternate a livelli di limi sabbiosi (complesso C). Dalla profondità di 25.0 metri è stata infine indagata la presenza di sabbie compatte con subordinata ghiaia, passanti talvolta di nuovo ad un livello di argille grigie.

Modello litologico schematico

da Tavola 5 del lavoro di Rafanelli (2004)



Legenda

- Riporto: terreno di riporto, terreno vegetale
- Complesso A: Sabbia fine limosa e limo sabbioso grigio-verdi a variabile componente organica
- Complesso B: Limo argilloso con passaggi a limo sabbioso, color grigio
- Complesso C: Limo sabbioso con passaggi di sabbie medio fini, color marrone-ocra

7 - Caratterizzazione geotecnica

Sulla base dei risultati ottenuti dalle varie campagne geognostiche effettuate nel corso degli anni dai vari Tecnici si può estrapolare una **modellazione geotecnica** del substrato dell'area di interesse.

Strato 1 = si identifica con il complesso A precedentemente descritto. Si sviluppa fino alla profondità 12.0/15.0 metri dal p.c. Coincide con un sedimento palustre con medie proprietà geomeccaniche, identificato da sabbie e sabbie limose da bassa a media densità, con lenti di potenza decimetrica di sedimento coesivo normal-consolidato.

Strato 2 = si compone delle alternanze litologiche dei complessi B e C. Si sviluppa dalla profondità di 12.00/15.00 metri. Presenta caratteristiche geomeccaniche superiori a quelle dello strato 1. Si identifica con un litotipo coesivo normal-consolidato.

Trattandosi di una fase preliminare del progetto, si ritiene non adeguato indicare i valori caratteristici dei vari livelli litotecnici, rimandando la loro valutazione alle successive fasi progettuali relative ai singoli interventi previsti all'interno delle due macrozone costituenti la futura bio-raffineria.

8 – Resistenza alla liquefazione

Il substrato si identifica con sabbie e sabbie limose sciolte con presenza di una falda freatica superficiale depressa di 1.30/2.00 metri dal p.c. In base a quanto indicato all'art. 7.11.3.4.2 del D.M. 17.01.2018 la verifica alla *liquefazione* non può essere omessa ed occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili. La verifica può essere eseguita con metodologie di tipo storico/empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto.

La resistenza che un deposito sabbioso saturo oppone alla liquefazione viene definita attraverso il coefficiente di sicurezza F_s , normativamente quantificato in 1.3. Tale coefficiente è definito dal rapporto tra la capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) e la domanda di resistenza alla liquefazione (CSR) = **$F_s = CRR/CSR$** (≥ 1.3).

Ne consegue che se in un deposito granulare la tensione tangenziale ciclica (CSR = Cyclic Stress Ratio) prodotta da un sisma è maggiore della resistenza tangenziale del terreno (CRR = Cyclic Resistance Ratio), il fattore F_s definisce la propensione o meno del terreno sabbioso saturo a liquefare. Il termine CRR si ricava dai risultati delle prove in sito mentre il parametro CSR è stimato sulla base delle considerazioni litologiche e morfologiche del settore e delle caratteristiche del terremoto atteso.

Facendo riferimento a quanto già espresso in precedenti studi geologici e geotecnici di supporto a vari interventi esecutivi interni la Raffineria, si può affermare già in questa fase di studio preliminare che l'intero settore è soggetto a liquefazione per potenziali sismi di intensità superiore a 5.0 di magnitudo.

Sulla base delle indicazioni di *"Imput sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione – C. Lai, S. Foti, M. Rota – 2009"*, nella zona costiera in parola il valore di magnitudo-distanza, dedotto dal web-GIS dell'INGV di Milano, risulta inferiore a 5. In funzione dei risultati di tale studio consegue come il fenomeno della liquefazione non risulterebbe atteso. Sulla base dei risultati dello studio sulla *"Zonazione sismogenetica ZS9, App. 2 al Rapporto Conclusivo a cura di Meletti e Valensise (2004)"* si rileva invece come il valore della magnitudo massima in funzione della sorgente prevista nelle nostre zone coincida con 6.14. In questo caso il fenomeno della liquefazione potrebbe essere ipotizzabile.

Cecina, 04.12.2023