

**Linea: BOLOGNA - MILANO**  
**ESECUZIONE APPALTO INTEGRATO DI P.E. E COSTRUZIONE**  
**DELLE INFRASTRUTTURE FERROVIARIE E CIVILI DEL**  
**NUOVO SCALO MERCI INTERMODALE DI MODENA**  
**MARZAGLIA - Rotatoria Anas su SS9 via Emilia Ovest**

Committente:  
CEPRINI COSTRUZIONI S.r.l.



**GEOSYSTEM**

Studio Associato di Geologia e Progettazione  
P.zza del Commercio 4 05018 Orvieto Scalo (TR)  
Tel/Fax 0763.393017- 338.86.82.777 - 347.63.09.532  
Part. I.V.A. 01390630554

## Relazione Geologica

Data  
Ottobre/2014



## **1. PREMESSA**

Nell'ambito del progetto per la **ESECUZIONE APPALTO INTEGRATO DI P.E. E COSTRUZIONE DELLE INFRASTRUTTURE FERROVIARIE E CIVILI DEL NUOVO SCALO MERCI INTERMODALE DI MODENA ,MARZAGLIA – Rotatoria Anas su SS9 via Emilia Ovest**, viene eseguito dallo Studio Associato Geosystem lo studio geologico ai sensi del D.M. 14/01/2008 e delle Normative sismiche vigenti, al fine di illustrare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geomorfologiche e geotecniche dell'area interessata.

Nello specifico lo scrivente ha effettuato rilievi nell'area di intervento, nel corso dei quali ha preso visione degli aspetti morfologici, geolitologici ed idrogeologici, attraverso cui è stato possibile individuare la natura dei terreni in presenza e valutare le scelte progettuali.

Nello specifico le opere consistono nella realizzazione di una rotatoria lungo la strada statale Via Emilia che permetterà l'accesso allo scalo merci.

Inoltre per la caratterizzazione del sottosuolo si fa riferimento a precedenti indagini effettuate in area limitrofa posta a circa 500m; nel dettaglio sono state effettuate n°3 prove penetrometriche statiche attraverso cui è stato possibile determinare le caratteristiche di resistenza meccanica dei terreni in situ e valutarne, i parametri fisico-meccanici da utilizzare per effettuare un adeguato dimensionamento delle strutture fondali delle opere in progetto.

Inoltre si è fatto riferimento a pregresse indagini svolte da altro professionista per la realizzazione della galleria sottoattraversamento A1.

Sulla base dei dati acquisiti, si possono ritenere significativi i valori dei parametri geotecnici assunti che dovranno, comunque, essere verificati nel dettaglio in corso d'opera, prevedendo le opportune ed eventualmente necessarie, varianti al progetto, qualora le rilevazioni fatte dovessero far nutrire dubbi sulla validità locale del modello assunto.

Si allegano, alla presente relazione:

- ◇ Corografia, a scala 1:10.000, stralcio CTR;

## **2. QUADRO GEOMORFOLOGICO, GEOLITOLOGICO ED IDROGEOLOGICO**

### **2.1 Ubicazione**

L'area oggetto di intervento ricade nel Comune di Modena nella parte nord di questo ed in prossimità del tratto autostradale A1.



La rotonda da realizzare dista ca. 4 Km dal Comune di Modena e ricade interamente nella Pianura Padana, a circa una decina di chilometri dalla base della Catena Appenninica. Come rappresentato in Figura, in superficie affiorano esclusivamente depositi alluvionali, sedimentati alla fine del Pleistocene e nell'Olocene.

## **2.2 Assetto geomorfologico e geologico.**

L'evoluzione del territorio, esaminata tenendo conto dei dati superficiali e di quelli profondi, appare assai complessa e strettamente legata alla evoluzione della catena appenninica; in particolare la fascia posta tra la pianura e le prime colline dell'Appennino è stata ed è sede di intensi e complessi movimenti tettonici per la sua particolare posizione quasi "a cerniera" tra la catena in surrezione e la pianura soggetta a sprofondamento (Bally et al., 1985; Boccaletti et al., 1985).

Al di sotto dei depositi alluvionali affioranti a cui si è accennato, compaiono a profondità variabili tra i 100 m. e i 400 m. sedimenti marini più antichi, pliocenici e pleistocenici che rappresentano il riempimento dell'avanfossa appenninica durante gli ultimi 5 milioni di anni circa (figura 2). Il riempimento è avvenuto con sedimenti in massima parte terrigeni, di notevole spessore che denotano una subsidenza molto accentuata e un apporto detritico imponente (Bosellini, 1981; Cavallin e Giorgetti, 1982).

La maggior parte di questi depositi è sepolta al di sotto delle alluvioni fluviali del Pleistocene medio-superiore - Olocene, depositato dai fiumi Secchia e Panaro e dai suoi affluenti.

Al bordo dell'Appennino affiorano direttamente i sedimenti dell'originario fianco interno dell'avanfossa pliocenica, soggetti attualmente all'erosione, dopo esser stati più o meno intensamente tettonizzati e sollevati in varie fasi protrattesi a partire dal Pleistocene inferiore (Gasperi et al., 1986; Bosellini, 1981).

L'Appennino, nel suo complesso, è costituito da falde e sovrascorrimenti (thrusts) vergenti a Nord Est, sovrascorsi sull'avampaese adriatico. La tetto-genesi appenninica si è prodotta a partire dall'Oligocene, cioè quando, secondo l'opinione della maggior parte degli Autori, l'originaria litosfera oceanica era già stata interamente subdotta sotto il cratone europeo. Pertanto la catena appenninica può essere considerata un "sistema post-collisionale" caratterizzato in profondità da una subduzione di tipo "ensialico" o di tipo "A" (Boccaletti e altri, 1980; Bally e altri, 1985), nella quale si dovrebbe produrre distacco ("delaminazione") e subduzione del mantello litosferico e, forse, della parte inferiore della crosta, mentre la parte superiore di questa e la relativa copertura sedimentaria si accorciano e si ispessiscono fortemente, deformandosi mediante strutture embricate e piani di scorrimento ("flats" e "ramps", modello dei "thrust systems").

Le indagini gravimetriche, sismiche e di perforazione, compiute negli ultimi decenni dalle compagnie di ricerca di idrocarburi, hanno dato un quadro abbastanza completo dell'assetto stratigrafico e strutturale del sottosuolo padano (Pieri e Groppi, 1981; Dondi,

1985; Cassano, Anelli, Fichera e Cappelli, 1986). Per quel che riguarda il margine appenninico padano si nota la presenza di un minimo gravimetrico (anomalie di Bouguer) di -150 mGal che rappresenta il valore più basso di tutto il territorio italiano. A questa anomalia sembra corrispondere uno spessore crostale di circa 50 Km (Cavallin e Giorgetti, 1982), dei quali oltre 10 km sono costituiti dal prisma di accrezione tettonico e dal sedimento dell'antistante avanfossa (Cassano e altri, 1986). Nell'ambito dei sedimenti pliocenici e quaternari si osservano netti prismi sedimentari in corrispondenza dei "thrusts" frontali che documentano l'attività compressivo-traslattiva pliocenica e localmente quaternaria di questi ultimi. Detti sedimenti tendono ad assottigliarsi

gradualmente andando verso Nord, in sintonia con la struttura sedimentaria sepolta costituita dalla regolare monoclinale alpino-padana che immerge verso Sud.

Le parti frontali dei sovrascorrimenti sono spesso caratterizzate da pieghe anticlinali fortemente asimmetriche. Nella zona appenninico-padana gli elementi strutturali sovrascorsi vengono a formare un vero e proprio prisma di accrezione tettonica che, per entità e per i rapporti tra tettonica e deposizione, assume il carattere di fossa tettonica.

Essa, secondo Castellarin e altri (1985), è assimilabile, malgrado le minori dimensioni ed il pronunciato carattere ensialico, a quelle esistenti sui bordi dei margini continentali attivi, e la posizione strutturale di questa pronunciata zona di inghiottimento crostale equivale a un fronte di subduzione. L'inghiottimento crostale è in rapporto al sottoscorrimento relativo dell'avampaese padano al di sotto degli embrici padani sepolti e dell'Appennino (Boccaletti e altri, 1985). Questa situazione strutturale nell'ottica più ampia della tettonica dell'intera penisola italiana appare la conseguenza, come già accennato, della collisione avvenuta nel Cretacico superiore-Eocene fra le due zolle continentali Adriatica ed Eurasiatica.

La continuazione degli sforzi comprensivi, anche dopo la completa subduzione di litosfera oceanica, ha provocato, come detto precedentemente, l'innescò di deformazioni di tipo ensialico, a vergenza orientale, entro la crosta della zolla Adriatica, con formazione, in superficie, di un'avanfossa che nel tempo ha progressivamente migrato verso Est.

A questo classico modello collisionale alcuni autori ritengono di dover associare movimenti trascorrenti lungo importanti discontinuità strutturali, come la cosiddetta "Faglia Emiliana" di cui A. Bosellini (1981) documenta l'esistenza. Essa, formatasi durante il Giurassico-Cretacico in concomitanza dell'apertura dell'Oceano Atlantico centrale e dell'Oceano Ligure, ubicabile lungo l'attuale margine settentrionale dell'Appennino, avrebbe partecipato alle principali fasi tettonogenetiche alpine (Creta sup.-Paleogene) con un comportamento trascorrente sinistro.

La geometria dei "thrusts" pedeappenninici descritti in precedenza potrebbe essere influenzata dalla "Faglia Emiliana" dimostrando una sua attività anche durante il Neogene. Nell'area in esame le più note strutture positive, a partire dal margine appenninico andando verso Nord, sono le strutture di Maranello e di Spilamberto - Modena - Casalgrande appartenenti alle cosiddette "Pieghe Emiliane"; a queste succede poco a Nord della via Emilia un'altra thrust simile ai precedenti, quello di Albareto, estremità occidentale delle "Pieghe

Romagnole", che ribassa il tetto del pre-Pliocene dai circa 2.000 m delle strutture precedenti a oltre 8.000 m di profondità.

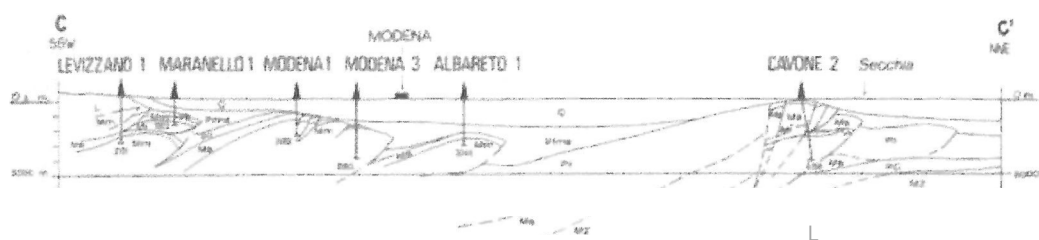


Fig. 5. Sezione geologica profonda nel settore della pianura modenese (da Dini & Cecchi, 1981)

Figura 3. Sezione geologica profonda della pianura modenese (ISPRA, 2009).

Alla sedimentazione marina pliocenica-pleistocenica si è costituita a partire dal Pleistocene inferiore la sedimentazione continentale connessa con una fase regressiva e subsidente.

La transizione tra sedimentazione marina e continentale affiorante nel margine appenninico (Annovi e altri, 1979; Gasperi, 1987) è contrassegnata da depositi di transizione quali sabbie e sabbie e ghiaie, talora cementate, di ambiente litorale e peliti sabbiose e ghiaie di delta la cui età, nelle aree ricordate è collocabile alla fine del Pleistocene inferiore (circa 1x10<sup>4</sup>-anni fa) (Ratti e Rio, 1980; Cremaschi e Sala, 1982).

Il ritiro delle acque del Golfo padano è avvenuto da Ovest verso Est e dai margini delle catene verso l'asse della pianura (Gasperi e Pellegrini, 1984) e non è stato nè progressivo nè univoco, ma è senz'altro avvenuto con movimenti alterni per cui nel sottosuolo si ha l'alternarsi di depositi marini e/o di transizione e di episodi di deposizione continentale (Colombetti e altri, 1975).

L'alternarsi di facies è legato, oltre che alle glaciazioni, che si sono succedute nel Quaternario a causa di cambiamenti climatici avvenuti a partire dalla fine del Pliocene e a variazioni globali del livello del mare, a movimenti tettonici che determinano una subsidenza differenziata e portano ad accentuare le strutture delineate precedentemente. Sempre a partire dal Pleistocene inferiore, l'Appennino subisce un sollevamento generalizzato accompagnato nel margine padano da compressioni verso Nord Nord-Ovest: il sollevamento interessa aree più ampie delle precedenti con limiti che vengono a coincidere grosso modo con l'attuale margine della pianura.

Le facies continentali che succedono a quelle marine e di transizione consistono prevalentemente in conoidi pedemontane deposte da corsi d'acqua a canali anastomosati al cui fronte si sviluppa una piana alluvionale a prevalente accrescimento verticale. Le conoidi pedemontane risultano incastrate le une nelle

altre: le più antiche sono ridotte a lembi profondamente erosi e tettonizzati, le più recenti conservano la loro originaria morfologia; le più antiche, o meglio i loro lembi residui, affiorano al margine della pianura, ai piedi delle prime colline, mentre a maggiore distanza dall'Appennino si rinvengono in posizione sepolta al di sotto delle più recenti. Lo sviluppo della sedimentazione pedemontana continentale avviene secondo gli schemi classici (Ricci Lucchi, 1978): al piede della catena montuosa si passa bruscamente da inclinazioni d'alveo maggiori a inclinazioni più modeste e il fiume, non più costretto entro la valle, può espandersi liberamente.

Questo sistema deposizionale è attivo a partire grosso modo dalla fine del Pleistocene inferiore, cioè dall'inizio della regressione marina e del sollevamento della catena.

Il diverso comportamento dei due settori, padano e appenninico, si articolano prevalentemente secondo due oscillazioni, una posta tra Sassuolo e Maranello e l'altra parallela alla precedente passa più a Nord per Cà di Sola: i depositi alluvionali subito a valle di tale linea sono potenti circa un centinaio di metri mentre a monte non raggiungono la decina di metri. Le due faglie descritte non sono le sole presenti e attive nel tratto di pianura in oggetto; altre subparallele alle precedenti sono riportate in profondità (Gasperi, 1987) e la loro attività in epoche vicine a noi ha indubbiamente regolato la distribuzione dei depositi alluvionali quali il progredire delle conoidi e il vario divagare dei fiumi.

### **2.3 Idrogeologia**

La struttura geologica locale dove sono ubicati gli interventi è caratterizzata dalla presenza di depositi attribuiti alla conoide alluvionale del F. Secchia (vedi Figura 1a e b) che complessivamente presentano spessori variabili tra circa 70-100 m nel settore pedemontano meridionale e di 300 m verso le aree settentrionali nei pressi di Modena.

I settori settentrionali della medio-bassa pianura modenese, sono caratterizzati invece da discontinui depositi argillosi originatisi anche in tempi recenti a seguito del ristagno delle acque di rotta e di tracimazione.

Nell'ambito di una schematizzazione della struttura idrogeologica del settore in esame, si è individuato un sistema costituito da un monostrato che tende a compartimentarsi in più livelli acquiferi procedendo verso Nord (Pellegrini e Zavatti, 1986; Pellegrini e Rossi, 1967).

Questi orizzonti ghiaioso-sabbiosi, che sono anche quelli maggiormente sfruttati soprattutto a scopo acquedottistico, sono posti generalmente a profondità comprese tra 70 e 100m, ma talora possono essere rinvenuti anche a maggiori profondità (oltre 300m dal piano campagna), come risulta dall'analisi delle stratigrafie delle captazioni perforate nel campo pozzi di Marzaglia. Escludendo situazioni locali, si nota inoltre un progressivo inspessimento degli acquiferi procedendo verso Nord (Colombetti et al., 1975).

Le modalità di alimentazione delle falde sono rappresentate dalle precipitazioni nel settore pedecollinare e da fenomeni di dispersione lungo il subalveo dei corsi d'acqua nelle rimanenti aree.

Nel settore centrale e settentrionale dell'area della conoide in esame le falde sono confinate o semi-confinate e caratterizzate da fenomeni di drenanza; in prossimità dei corsi d'acqua e nel settore collinare esse sono invece libere e intercomunicanti tra loro.

Nel settore apicale del F. Secchia l'acquifero monostrato è caratterizzato dalla presenza di due falde principali sovrapposte, delle quali una prima libera e una seconda semiconfinata, contraddistinte da un forte dislivello in termini di quota piezometrica (anche 15-20 m a Sassuolo) dovuto principalmente alla forte alimentazione operata dal F. Secchia. Il dislivello piezometrico tra le due falde sovrapposte tende a ridursi in modo marcato verso Nord (1-2 m all'altezza di Formigine), fino a raggiungere valori trascurabili in prossimità del Comune di Modena (Gasperi e Pellegrini, 1984).

Nel settore occidentale della pianura Modenese la circolazione idrica sotterranea i depositi di conoide del F. Secchia; in particolare fino ad una profondità media di circa 200 m (a Marzaglia) si trovano una serie di acquiferi di notevole spessore (20+30 m) e di straordinaria produttività; quest'ultimo aspetto è evidenziato anche dalla buona intercomunicazione tra le differenti falde sovrapposte che solo localmente risultano separate da orizzonti argillosi dello spessore variabile di 5-15 m.

Nel settore centrale (Modena Sud e Cognento) i sedimenti laterali della conoide del F. Secchia presentano spessori alquanto inferiori in ragione del fatto che il sottostante substrato argilloso si rinviene a profondità non superiore a 120 m dal piano campagna. Tuttavia gli acquiferi presenti nella parte superficiale denotano elevate caratteristiche di produttività (Pellegrini e Zavatti, 1986).



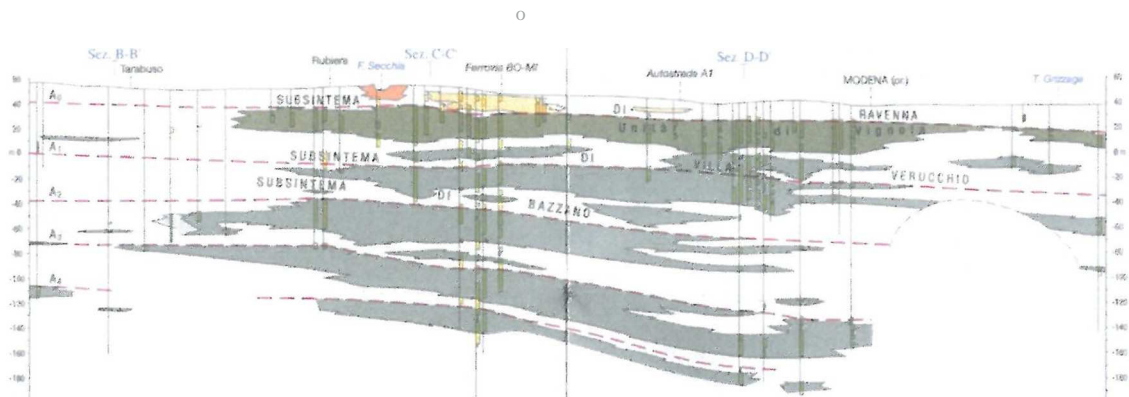
Nell'area ristretta alla GA21 ed in particolare degli imbocchi Nord e Sud, la piezometria generale della zona è caratterizzata dalla ricarica dovuta al F. Secchia, e da una depressione piezometrica dovuta alla presenza del campo pozzi di Marzaglia, Cognento e Modena Sud; le isopieze variano tra 37,5 m s.l.m. e 32, con un gradiente medio pari a circa 1‰ (Pellegrini e Zavatti, 1986).

Nel dettaglio delle aree di intervento, sia nell'area Nord che in quella sud la falda si pone da 0.5 a 1.5 m dal p.c.

#### **2.4 Assetto geologico e stratigrafico locale.**

L'assetto stratigrafico locale è stato ricostruito sulla base dei dati bibliografici (ISPRA, 2009) e delle campagne di indagini geognostiche eseguite precedentemente per la progettazione della GA21 sulla tratta AV/AC Milano-Bologna (Italferr, 2006). L'area di studio ricade in un'area caratterizzata a Est e ad Ovest dai depositi delle conoidi dei due fiumi maggiori, Secchia e Panaro, che si protendono verso la pianura sino circa all'altezza della Via Emilia. Dal punto di vista litologico queste conoidi hanno composizione prevalentemente ghiaiosa nelle aree apicali che si estendono qualche chilometro a valle rispettivamente di Sassuolo e Vignola, e di corpi ghiaiosi alternati a peliti via via potenti e frequenti allontanandosi dall'apice; la transizione ai sedimenti fini dell'antistante piana alluvionale, avviene quindi in modo graduale.

Le peliti intercalate alle ghiaie fanno parte sia della sedimentazione di conoide (overbank) sia del sistema deposizionale della piana alluvionale che si sviluppa contemporaneamente alla fronte e ai lati delle conoidi stesse. La conoide del Fiume Secchia, vista nel suo intero sviluppo temporale, si è depositata spostandosi dal Pleistocene medio all'Attuale, entro un settore relativamente stretto i cui raggi passano per Sassuolo, Formigine, Modena, Sassuolo e Rubiera (Gasperi e Pellegrini, 1984; Colombetti et al., 1975).



Sezione geologica tipo della pianura modenese adiacente al tracciato della linea AC/AV Milano-Bologna (ISPRA 2009)

La conoide del Fiume Panaro si è pur essa depositata in un settore più ampio di quello del Secchia con raggi che passano per Vignola, SVito, S.Damaso e Vignola, Bazzano, Calcara, Ponte Samoggia. Tra i due apparati maggiori e occupanti un'area meno profonda, abbiamo le conoidi dei fiumi minori: Fossa di Spezzano, Tiepido, Guerra e degli altri torrenti più piccoli.

Questi apparati si congiungono tra loro formando conoidi composite o fasce pedemontane (bajadas). La loro litologia è prevalentemente fine, sabbioso-limosa con piccoli corpi ghiaiosi che, sottoforma di strette fasce potenti qualche metro, si dipartono dalle zone apicali dei singoli apparati. Le aree apicali delle conoidi sono qui limitate a una zona ampia meno di un chilometro dallo sbocco dei torrenti maggiori in pianura (Colombetti et al., 1975).

Questi depositi presentano spessori variabili tra 70 - 100 m nel settore meridionale e di 300 m verso le aree settentrionali nei pressi di Modena.

Dal punto di vista geologico, in corrispondenza delle parti apicali della conoide del f. Secchia, ma con un limite approssimativamente coincidente con la via Emilia, sono presenti forti spessori di ghiaie in matricie sabbiosa con ciottoli di dimensioni rilevanti (13 - 18 cm) ricoperte da terreni a composizione limo - argillosa per spessori massimi pari a circa 5 m. Secondo una distinzione morfologica per settori generalmente accettata, questi depositi sono ascrivibili all'alta pianura (Panizza, 1985).

Muovendo verso Nord i terreni sfumano gradualmente verso termini granulometrici più fini ed eterogenei. Si tratta cioè di sabbie e sabbie limose in matrice limo-argillosa, all'interno dei quali si incontrano, con spessori decisamente più modesti rispetto ai precedenti (pari a qualche metro), ghiaie con sabbie. I depositi più fini ricadono, secondo la distinzione utilizzata in precedenza, nella parte iniziale della fascia di transizione tra la media e la bassa pianura.

All' imbocco sud, la sequenza stratigrafica consiste di alternanze di limo e argilla fino alla profondità di 19,20 m, oltre la quale si incontra una lente di sabbie addensate prima di passare alle ghiaie. La prova penetrometrica statica CPT (FVP020-Italferr, 2006) indica una resistenza alla punta massima fino al rifiuto coincidente con la base della sequenza limo-argillosa. La falda è a ca. 0,50 m da p.c. Analogamente presso l'imbocco nord la sequenza è rappresentata da alternanze di limi e argille. A circa 22,0 m da p.c. si incontra il tetto delle ghiaie ed il passaggio è segnata da una lente di sabbie addensate spessa ca 1,50 m. La falda è a ca. 1,80 m da p.c.



#### LEGENDA

	Ghiaie e terreni prevalentemente sabbiosi
	Sabbie e terreni prevalentemente sabbiosi
	Terreni sabbioso-limosi
	Limi e terreni prevalentemente limosi
	Terreni limoso-argillosi
	Argille e terreni prevalentemente argillosi
	Terreni di riporto
	Zone d'acqua

*Piano Regolatore Generale quadro conoscitivo a1.2.2 Litologia di Superficie*

### 3. COSTITUZIONE DEL SOTTOSUOLO

Sulla base sia dei dati elaborati da altri professionisti, che dai risultati dell'indagine eseguite in sito dallo scrivente, vista una sostanziale omogeneità dei materiali analizzati è stato possibile individuare un unico modello geotecnico, da utilizzare per la progettazione delle opere previste a corredo per la realizzazione della rotatoria, si possono attribuire i seguenti valori dei parametri fisico-meccanici :

Per il calcolo dei parametri geotecnici di progetto si dovrà eventualmente tenere conto, in funzione dell'Approccio utilizzato, del coefficiente parziale  $\gamma_M$  secondo quanto riportato nella tab. 6.2 II.

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	$C'_k$	$\gamma_c$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	$C'_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1.0	1.0

Da cui

APPROCCIO1 Combinazione 1 (A1+M1+R1) e APPROCCIO 2 Combinazione (A1+M1+R3)

Si hanno i seguenti parametri:

**C.1 Argilloso - limoso da p.c. a -5.0m.**

parametri	Valori caratteristici	Valori di progetto
peso di volume $\gamma$	= 19.0 KN/m <sup>3</sup>	= 19.0 KN/m <sup>3</sup>
angolo di attrito $\phi$	= 25°	= 25°
Coesione $c$	= 15 KN/ m <sup>2</sup>	= 15 KN/ m <sup>2</sup>
Coesione non drenata $cu$	= 80 KN/ m <sup>2</sup>	= 80 KN/ m <sup>2</sup>

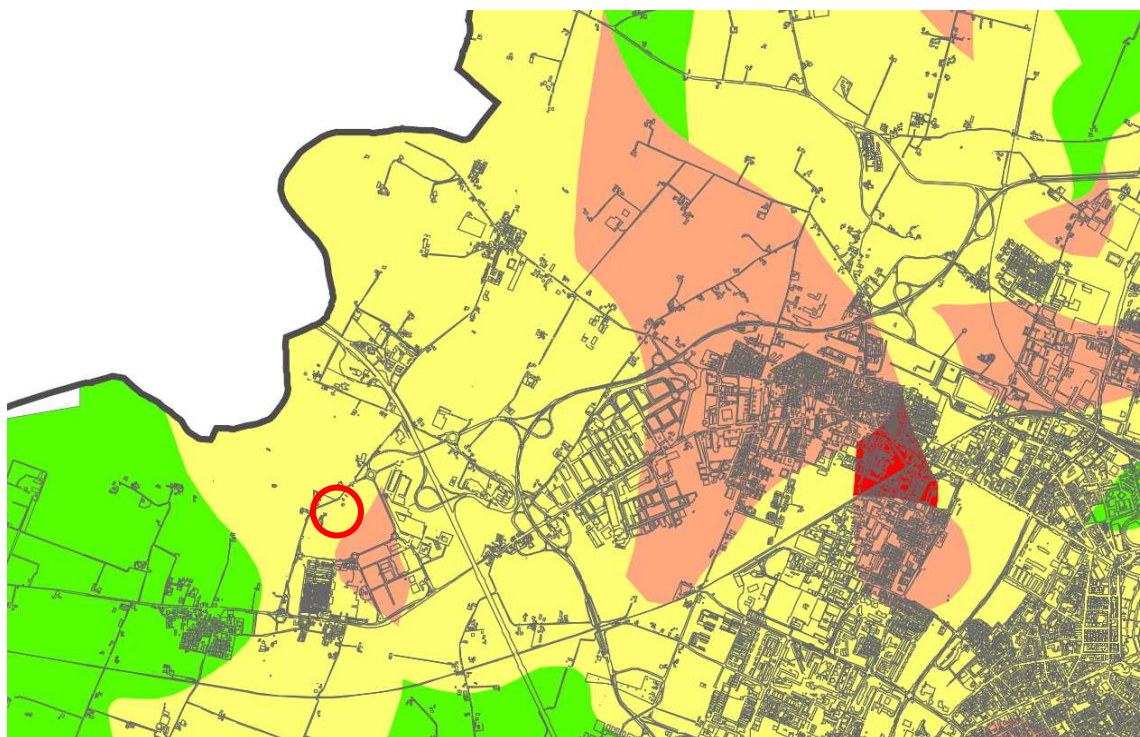
APPROCCIO1 Combinazione 2(A1+M2+R2)

Si hanno i seguenti parametri:

**C.1 Argilloso - limoso da p.c. a -5.0m.**

parametri	Valori caratteristici	Valori di progetto
peso di volume $\gamma$	= 19.0 KN/m <sup>3</sup>	= 19.0 KN/m <sup>3</sup>
angolo di attrito $\phi$	= 25°	= 20.45°
Coesione $c$	= 15 KN/ m <sup>2</sup>	= 12 KN/ m <sup>2</sup>

Coesione non drenata	cu	= 80 KN/ m <sup>2</sup>	= 57.14 KN/ m <sup>2</sup>
----------------------	----	-------------------------	----------------------------



### Legenda

- Zona con  $R_p < 6 \text{ kg/cm}^2$  a portanza PESSIMA
- Zona con  $6 < R_p < 10 \text{ (kg/cm}^2)$  a portanza SCADENTE
- Zona con  $10 < R_p < 14 \text{ (kg/cm}^2)$  a portanza DISCRETA
- Zona con  $R_p > 14 \text{ (kg/cm}^2)$  a portanza BUONA

**Carta della capacità portante Comune di Modena Settore Ambiente e Protezione Civile**

## 4. Caratterizzazione Sismica del Sito

Negli ultimi anni il punto di riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica è stato rappresentato dalla zonazione sismogenetica ZS9 (Scandone et al. 2000) che rappresenta la traduzione operativa del modello sismotettonico riassunto in Meletti et al. (2000). In seguito all'emanazione dell'O.P.C.M. 20.3.2003, n. 3274 è stato redatto a cura di un gruppo di lavoro dell'INGV (GOL, 2007) un documento denominato "Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall' O.P.C.M. 20-3-2003, n. 3274. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp.+ 5 appendici".

Premesso che: La normativa vigente in Italia (OPCM 3274; DM 14/09/2005, DM 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni) deriva dalla normativa europea (Eurocodice 8).

Essa prevede, a partire dal terremoto di riferimento fornito dagli enti preposti per ogni comune, i seguenti passi:

- 1) Classificazione del terreno da un punto di vista sismico (tramite VS30, NSPT, coesione non drenata Cu o simili);
- 2) Stima degli effetti di sito (amplificazione sismica e spettri di risposta del terreno);
- 3) Valutazione dell'influenza del terremoto sul comportamento meccanico del terreno;
- 4) Un'eventuale valutazione soggettiva dell'effetto topografico.

Scopo della normativa è lo sviluppo di una classificazione dei suoli al fine di stimare lo spettro di risposta elastico per la componente orizzontale del moto. Quest'ultimo, ed in particolare la frequenza principale di risonanza del sottosuolo, costituisce il parametro fondamentale per gli ingegneri, i quali devono assolutamente evitare la doppia risonanza, vera causa delle distruzioni da terremoto.

La scelta del Vs30 come parametro di riferimento deriva innanzitutto dall'evidenza 'ovvia' che quanto più un terreno è rigido, tanto più esso offre una base solida per l'edificazione.

Infatti, poiché la rigidità  $\mu$  è legata alla velocità delle onde S e alla densità  $\rho$  come

$$\mu = \rho * V_s^2$$

si evince che una velocità Vs bassa vicino alla superficie indica terreno poco rigido. Il secondo motivo è che, particolari combinazioni di valori di Vs e relativi spessori dei sedimenti possono portare all'insorgere della doppia risonanza.

Quanto poi al motivo della scelta del valore particolare della media sui primi 30 metri, il Vs30, esso deriva semplicemente dal fatto che in California i dati sino a 100 piedi di profondità (e cioè circa 30 metri) erano già largamente disponibili e potevano essere utilizzati immediatamente e a costo zero come base per definire le categorie di terreno. In altri termini, è stata la disponibilità di dati e non la loro reale significatività a determinare la scelta del Vs30 come parametro di riferimento.

Vs30 è la velocità **media** di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

hi = spessore (in m);

Vi = velocità delle onde di taglio dello strato iesimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori;

N = numero di strati.

La normativa, al capitolo 3.2.2, cita:

*"Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare*

*l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3. **In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).***

La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (Standard Penetration Test) SPT,N 30 [...] nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente cu,30 [...] nei terreni prevalentemente a grana fina.

L'azione sismica ai sensi del nuovo DM del 2008 viene valutata in funzione del tipo di costruzione da realizzare e del tipo di terreno dello specifico sito,

Ubicazione del sito: **LAT.: 44.6620 N e LONG.:10.8322 E**

### Parametri sismici

determinati con GeoStru PS <http://www.geostru.com/geoapp>

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

#### Sito in esame.

latitudine: 44,652023 [°]

longitudine: 10,832274 [°]

Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

#### Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	16057	44,654940	10,820600	978,8
Sito 2	16058	44,656490	10,890830	4658,3
Sito 3	16280	44,606510	10,892990	6978,3
Sito 4	16279	44,604960	10,822830	5286,2

#### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

	Prob. superament o [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,049	2,473	0,253



Danno (SLD)	63	50	0,061	2,503	0,268
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,163	2,397	0,291
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,212	2,389	0,304

#### Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,500	1,650	1,000	0,015	0,007	0,719	0,200
SLD	1,500	1,620	1,000	0,018	0,009	0,892	0,200
SLV	1,470	1,580	1,000	0,057	0,029	2,347	0,240
SLC	1,400	1,560	1,000	0,083	0,042	2,909	0,280

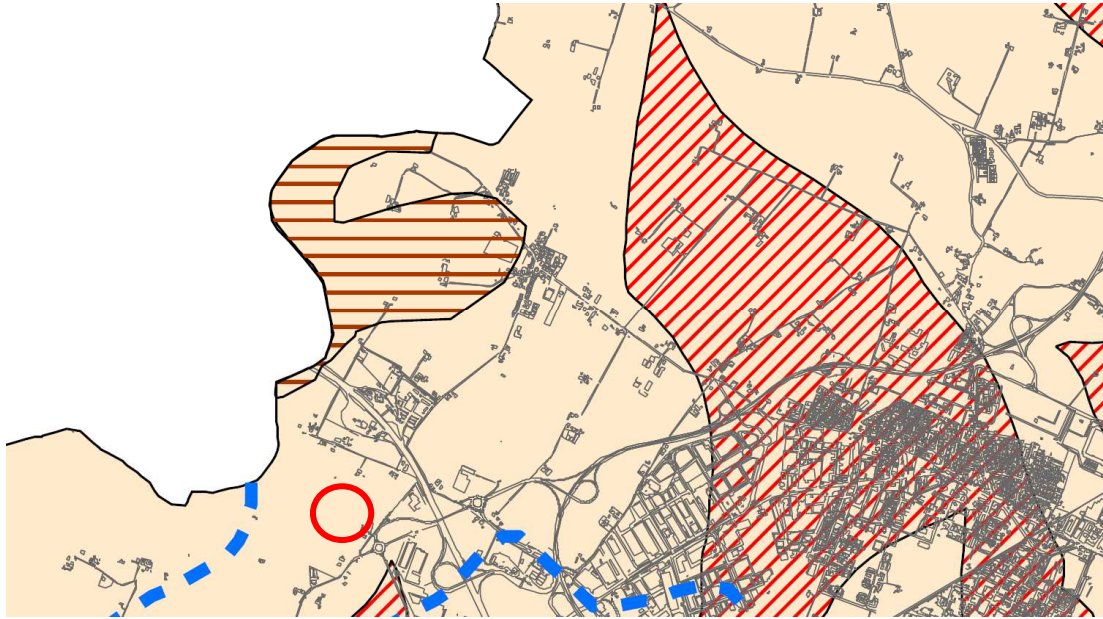
Premesso, ciò poiché la normativa lo consente si ritiene sufficiente ai fini della definizione sismica di progetto classificare il terreno in base ai dati a disposizione.

Per quanto riguarda la caratterizzazione del sottosuolo si fa riferimento alla caratterizzazione di tipo speditivo basata sui valori di  $N_{spt}$  caratterizzanti il sottosuolo che sulla base dei dati disponibili entrambe le aree possono essere classificate come Categoria **C** - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT30 < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu30 < 250$  kPa nei terreni a grana fine).*

In riferimento alla categoria topografica risulta ricompresa nella T1 in quanto la zona si presenta pianeggiante con pendenze medie  $\leq 15^\circ$  per cui il coefficiente di **amplificazione topografica** da adottare è **ST=1**.

E' stata definita la pericolosità sismica di base del sito in condizioni di campo libero, su suolo rigido e con superficie topografica orizzontale; si riportano di seguito i grafici e la tabella dei valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c$  per i periodi di ritorno di riferimento ( $T_R$ ):

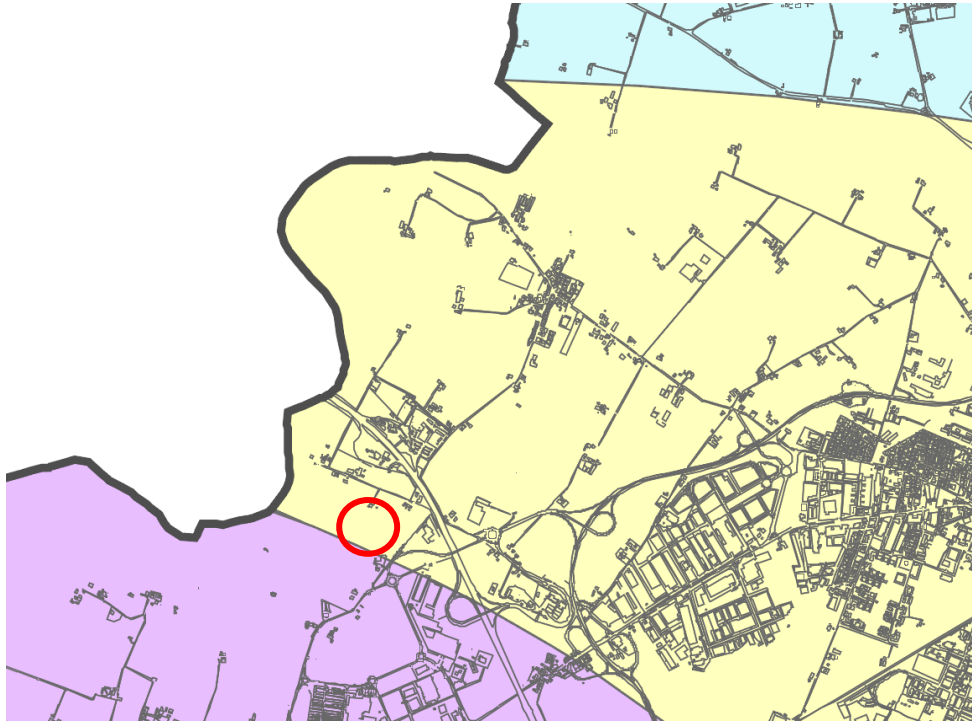
*Carta della capacità portante Comune di Modena Settore Ambiente e Protezione Civile*



### Legenda

- Area soggetta ad effetti sismici locali di amplificazione stratigrafica
  
- Aree con amplificazione stratigrafica  $FA_{PGA} = 1,6$   
 1a. Stratigrafia argilloso-limosa  
 1b. Stratigrafia ghiaioso-sabbioso-limosa
  
- Area con amplificazione stratigrafica  $FA_{PGA} = 1,7$
  
- Aree con presenza di sabbie a profondità inferiore a 20m dal p.c. con spessori  $5m < S < 10m$
  
- Aree con proprietà meccaniche scadenti

**Carta della capacità portante Comune di Modena Settore Ambiente e Protezione Civile**



### Legenda

	Zona A
	Zona B
	Zona C

Accelerazione massima al suolo ( $a_g$ ) comprensiva degli effetti locali di sito, corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni espressa come frazione dell'accelerazione di gravità:

- zona A  $a_g \leq 0,260$
- zona B  $0,260 < a_g \leq 0,270$
- zona C  $a_g > 0,270$

## 5. CONSIDERAZIONI FINALI

Dall'analisi comparativa degli elementi sopra evidenziati di carattere geologico, geomorfologico e sismico, l'area risulta idonea alla esecuzione delle opere in progetto per la realizzazione della rotatoria che consentirà l'accesso allo scalo merci.

Lo studio effettuato, ha evidenziato, dal punto di vista litotecnico, una sostanziale omogeneità dei materiali analizzati, per cui è stato elaborato un modello geotecnico, con la definizione dei parametri geomeccanici a vantaggio della sicurezza, da utilizzare per la progettazione delle opere previste.

L'analisi dei risultati delle indagini geognostiche realizzate in situ e dei dati pregressi a disposizione, ha permesso di evidenziare che il sottosuolo dell'area è costituito da un primo strato di terreno argilloso-limoso di spessore superiore ai 10

m dal p.c., poco addensato (complesso C.1) , che si sovrappone su depositi più marcatamente Sabbioso-limosi con livelli ghiaiosi.

Da evidenziare la presenza di una falda che presenta oscillazioni cicliche stagionali, fino al raggiungimento di circa -0.5 m dal p.c.. evidenziando che il complesso C.1 è totalmente interessato dalle fluttuazioni del livello piezometrico. Perciò in fase di progettazione si dovrà tenere conto della presenza di pressioni neutre, identificabili in una variabilità della resistenza al taglio e della coesione interna dello stesso materiale.

Il modello geotecnico desunto in base alle indagini effettuate si ritiene significativo per la progettazione anche se in corso d'opera dovrà essere verificato prevedendo le opportune varianti qualora si riscontrassero delle differenze locali rispetto al modello assunto.