

# PROVINCIA DI FERRARA

## COMUNE DI FERRARA

### REALIZZAZIONE DELLA NUOVA SEDE DEL CENTRO UNIFICATO PER L'EMERGENZA DELLA PROTEZIONE CIVILE A FERRARA

EMERGENZA SISMA REGIONE EMILIA-ROMAGNA

AI SENSI DELL'ART.1 COMMA 2 DEL D.L. N. 74/2012

# ALLEGATO C RELAZIONE GEOTECNICA PROGETTO DEFINITIVO

Redatto secondo l'Art. 28 del DPR 207/2010



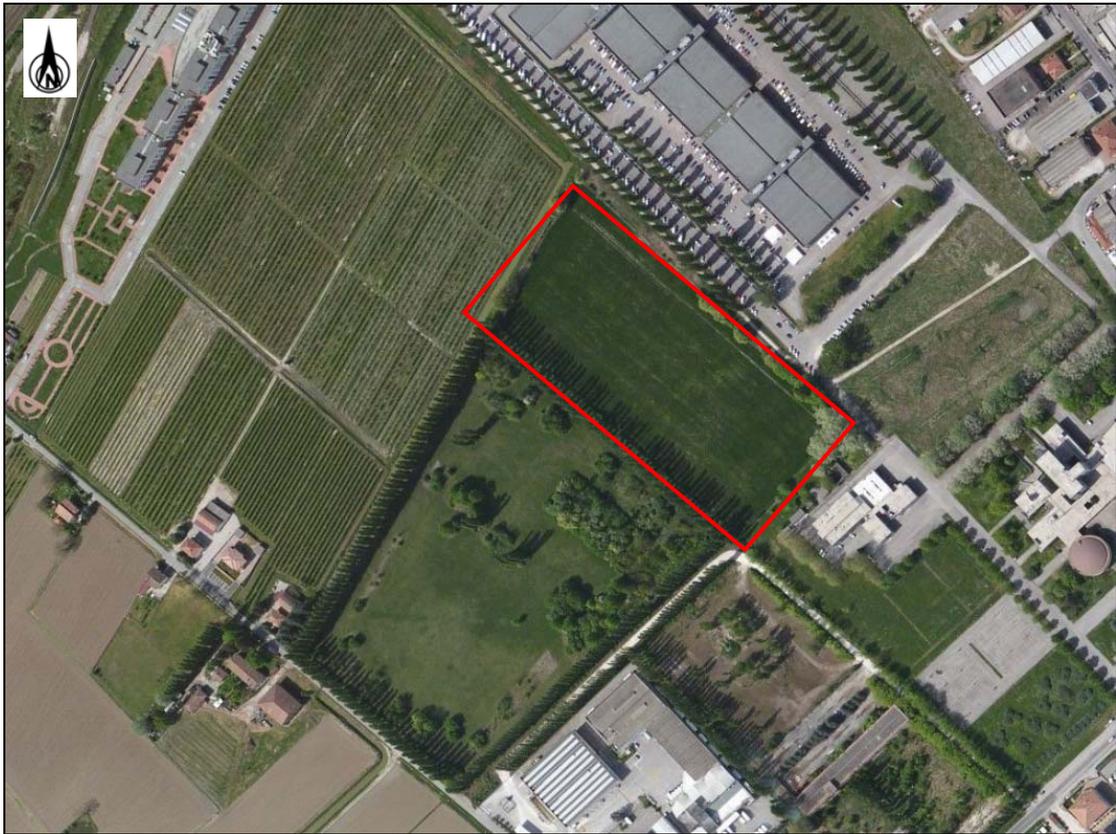
## 1. PREMESSE e FINALITÀ

Il sottoscritto Dott. Geol. Pier Luigi Dallari, Amministratore della Società di consulenze geologiche, geotecniche e ambientali Geo Group s.r.l., regolarmente iscritto all' albo dei geologi della Regione Emilia Romagna con il n. 420, in quanto interessato a partecipare al bando di gara per l'affidamento della "progettazione e realizzazione della nuova sede del Centro Unificato regionale per le Emergenze di Ferrara", illustra nel presente elaborato la metodologia di studio proposta.

## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area oggetto di indagine, in cui è in progetto la realizzazione di un Centro Unificato dell'Emergenza sul territorio presso la sede di proprietà della Regione Emilia Romagna, è sita in Via Bologna n. 534 in località Chiesuol del Fosso nel Comune di Ferrara (FE). Il lotto è individuato catastalmente al foglio 226 mappale 369; confina a Nord-Est con i capannoni della fiera e a Sud-Est con il lotto su cui insiste la sede dei laboratori di ARPA, ed occupa una superficie pari a 25.458 m<sup>2</sup>.





**Fig. 2.1** - Ubicazione area oggetto di indagine (riquadro di colore rosso).

L'area in oggetto è definita all'articolo 13 delle Norme Tecniche Attuative del PSC vigente, entrato in vigore il 03/06/2009, come "sistema insediativo DELLA PRODUZIONE", sub-sistema "città dell'automobile", caratterizzato da destinazioni d'uso strettamente collegate all'utilizzo dell'automobile e da grandi servizi collettivi.

### 3. RACCOLTA DATI ESISTENTI - PROGETTAZIONE PRELIMINARE

Nel Progetto Preliminare inerente la *"Realizzazione della nuova sede del Centro Unificato per l'Emergenza della Protezione Civile a Ferrara"* è presente una relazione geologico-geotecnica preliminare redatta dalla ditta Synthesis s.r.l. a nome della Dott.ssa Geol. Roberta Luetti in cui sono state considerate le seguenti indagini preliminari eseguite nell'intorno del preciso lotto oggetto di indagine:

- n. 1 prova penetrometrica con piezocono sismico SCPTU spinta a D = -30.30 m da p.c.;
- n. 1 prova penetrometrica con piezocono CPTU spinta a D = - 20.00 m da p.c.;
- n. 1 CPT spinta a D = - 25.00 m da p.c. (da bibliografia);
- n. 2 sondaggi geognostici approfonditi a D = - 3.80 m da p.c. (da bibliografia);

- n. 2 indagini sismiche mediante misura a stazione singola con tecnica HVSR.

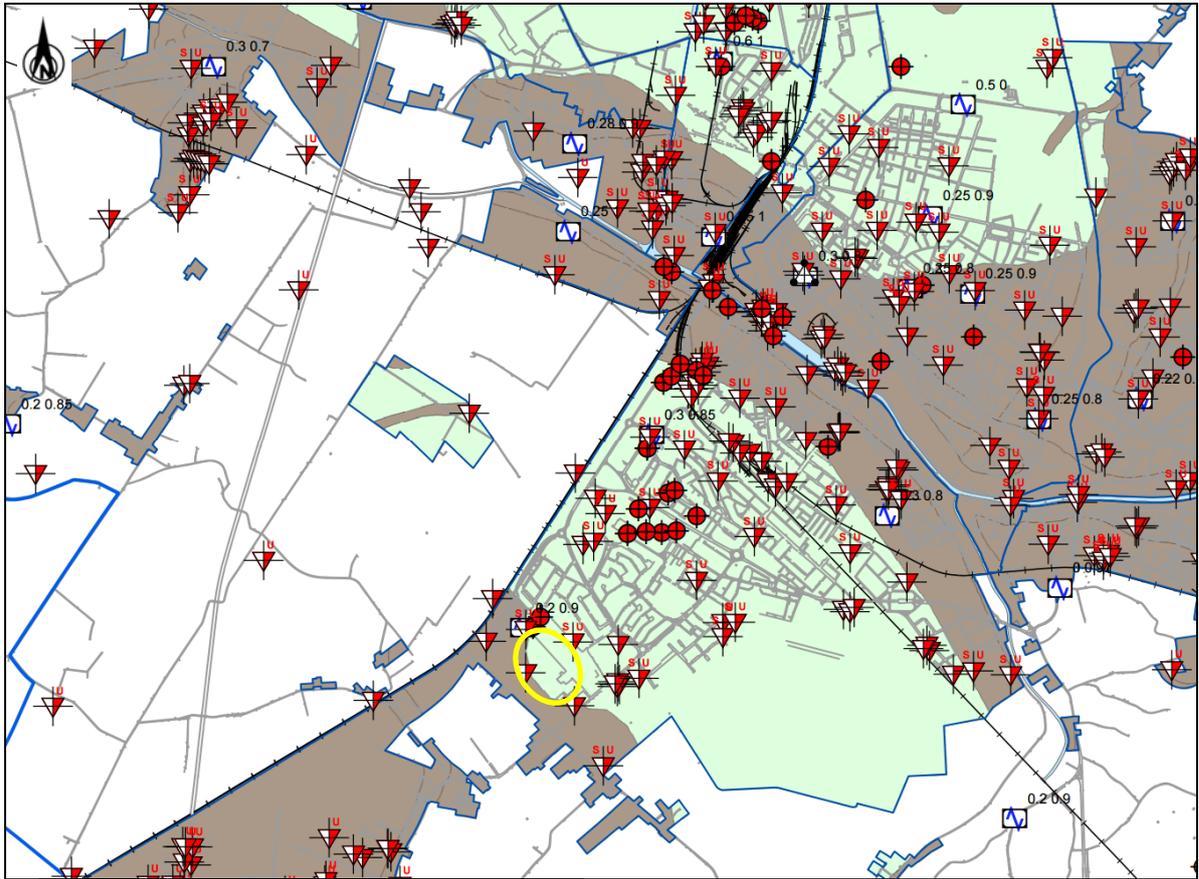
Le indagini considerate sono ubicate nelle aree limitrofe al lotto oggetto della futura realizzazione, come riportato di seguito.



**Fig. 3.1** - Ubicazione dell'indagini geognostiche considerate nella relazione preliminare.

Sulla base delle n. 2 prove penetrometriche eseguite sono state individuate le litologie riportate di seguito. Anche sulla base della prova penetrometrica statica CPT e dei sondaggi geognostici presi da bibliografia si evince un profilo stratigrafico costituito da un'alternanza ciclica di corpi sedimentari di granulometria fine e più grossolana.

Sulla base di quanto riportato nella "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" in attuazione dell'articolo 11 della legge 24 Giugno 2009, n. 77 redatta da Regione Emilia Romagna e Comune di Ferrara, tavola 10\_10 del 17.06.2013, sotto riportata, l'area oggetto di indagine è classificata come Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: Zona 1 "Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille sabbiose, argille magre).



## Legenda

### Indagini

-  Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
-  Prova penetrometrica statica con punta elettrica
-  Prova penetrometrica statica con piezocono
-  Prova penetrometrica con cono sismico
-  Array sismico, ESAC
-  Pozzo per idrocarburi
-  Sondaggio a carotaggio continuo

### Punti di misura di rumore ambientale

-  Punto di misura di rumore ambientale con indicazione dei valori di f0 f0,1 (bassissima) f0,2 (bassa)

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

-  Zona 1 (Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille sabbiose, argille magre)
-  Zona 2 (Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità)

### Zone suscettibili di instabilità

-  Liquefazioni
-  Confine Comunale
-  Perimetri territorio urbanizzato e urbanizzabile

Fig. 3.2 - "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" - RER e Comune di Ferrara.

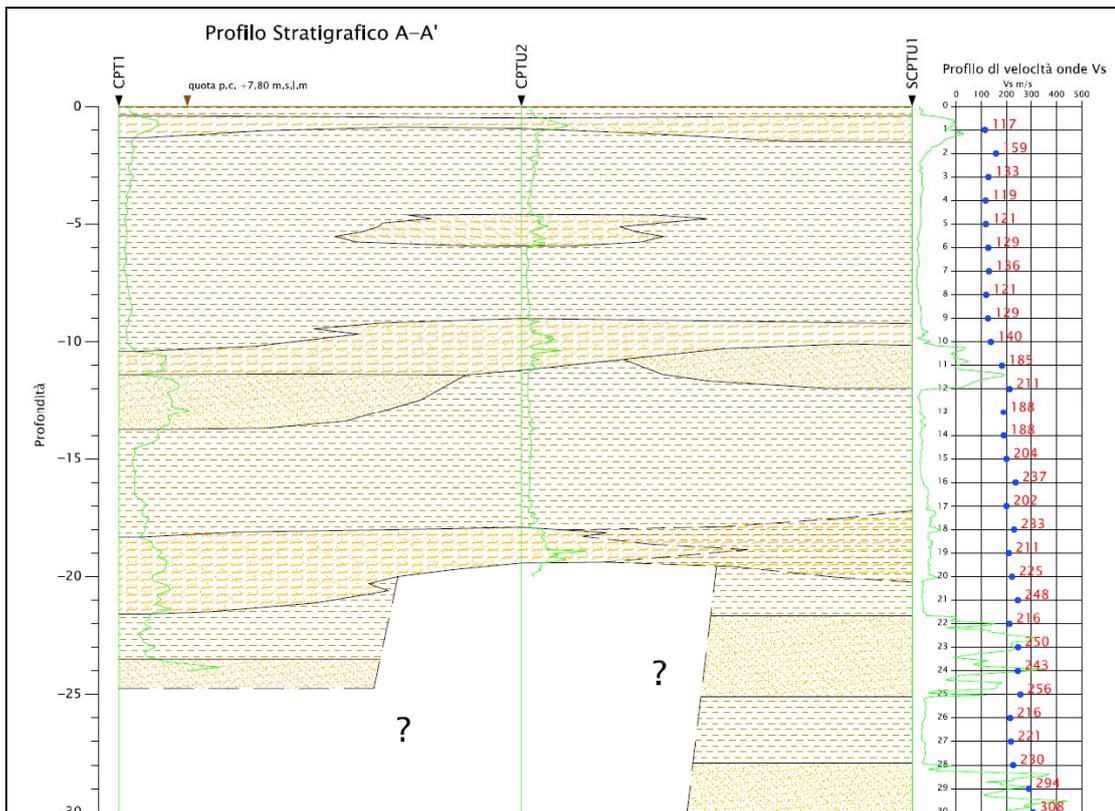
SCPTU1 – DESCRIZIONI LITOLOGICHE

N. strati	Profondità		Descrizione
	tetto (mt)	letto (mt)	
1	0.00	0.40	Prevalenza di argille su argille limose – argille, limi argillosi e argille limose e terreni fini molto sensitivi
2	0.40	1.52	Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi con sabbie limose – limi argillosi; puntuale presenza di sabbie – sabbie limose e di limi argillosi e argille limose
3	1.52	9.22	Prevalenza di argille su argille limose – argille; locale presenza nei primi mt di limi argillosi e argille limose
4	9.22	10.14	Alternanza di limi argillosi e argille limose con limi sabbiosi e limi argillosi; puntuale presenza di argille limose e argille
5	10.14	11.98	Prevalenza di sabbie – sabbie limose su sabbie; locali livelli di sabbie limose – limi argillosi
6	11.98	21.66	Prevalenza di argille su argille limose – argille e su limi argillosi e argille limose; locale presenza di terreni fini molto sensitivi da mt 12.18 a mt 12.34 e di limi sabbiosi e limi argillosi da circa mt 17.00 per circa 40 cm e a circa mt 18.00 per circa 20 cm.
7	21.66	25.08	Alternanza prevalente di sabbie – sabbie limose con sabbie; secondaria presenza di sabbie limose – limi argillosi e puntuali livelli di limi sabbiosi e limi argillosi, di limi argillosi e argille limose, di argille limose – argille e di argille
8	25.08	27.92	Prevalenza di limi argillosi e argille limose su limi sabbiosi e limi argillosi e su argille limose – argille; locale presenza di argille
9	27.92	30.30	Prevalenza di sabbie su sabbie – sabbie limose; al tetto dello strato alternanza di sabbie limose – limi argillosi con limi sabbiosi e limi argillosi

CPTU2 – DESCRIZIONI LITOLOGICHE

N. strati	Profondità		Descrizione
	tetto (mt)	letto (mt)	
1	0.00	0.50	Prevalenza di argille su argille limose – argille
2	0.50	0.94	Limi sabbiosi e limi argillosi poggianti su limi argillosi e argille limose
3	0.94	4.58	Alternanza prevalente di argille con argille limose – argille; locale presenza di limi argillosi e argille limose e da mt 2.32 a mt 2.42 limi sabbiosi e limi argillosi
4	4.58	5.92	Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi prevalenti con limi argillosi e argille limose; puntuali livelli di argille limose – argille, argille e sabbie limose – limi argillosi
5	5.92	9.00	Prevalenza di argille su argille limose – argille; locale presenza di limi argillosi e argille limose da mt 8.30 a mt 8.38
6	9.00	11.20	Alternanza di limi argillosi e argille limose con limi sabbiosi e limi argillosi; puntuali livelli di argille limose – argille; nel mezzo dello strato locali livelli di sabbie limose – limi argillosi e di argille
7	11.20	17.90	Prevalenza di argille su argille limose – argille e su limi argillosi e argille limose; locale presenza di limi sabbiosi e limi argillosi da mt 17.30 a mt 17.38
8	17.90	20.00	Alternanza di limi argillosi e argille limose con argille limose – argille e localmente con limi sabbiosi e limi argillosi; secondaria presenza di argille e di sabbie limose – limi argillosi

Fig. 3.3 - Descrizioni litologiche derivanti dalle due prove penetrometriche eseguite in sito.



**Fig. 3.3** - Sezione stratigrafica desunta dai risultati delle prove penetrometriche considerate.

Sulla base dell'analisi delle curve HVSR associate alla prova SCPTU eseguita in sito è stato ricostruito il profilo verticale di velocità delle onde S nel sito in esame di seguito riportato, il quale ha permesso di classificare il terreno come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine di media consistenza con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u30} < 250$  KPa nei terreni a grana fine)*, secondo la classificazione del suolo della nuova normativa sismica per gli edifici (**D.M. 14 Gennaio 2008**).

Sulla base dei risultati ottenuti dall'indagine sismica HVSR eseguita in corrispondenza dell'area di studio, si è ottenuto il seguente valore:

HVSR	<b>Vs30 = 180 m/s</b>	categoria C
------	-----------------------	-------------

In base al metodo di Idriss & Boulanger (2008), suggerito dalla determinazione n. 1105 del 03/02/2014 della Regione Emilia Romagna, l'Indice del Potenziale di Liquefazione (LPI) assume i seguenti valori esatti:

$$\text{SCPTU1} = 2.449$$

$$\text{CPTU2} = 3.143$$

In base all'indice PLI individuato il sito è stato definito a "**rischio basso**" in corrispondenza dei punti in cui sono state eseguite le prove.

Per quanto riguarda i **cedimenti verticali post-sismici**, le valutazioni effettuate hanno permesso di determinare la variabilità dei cedimenti post sismici a seconda dell'autore. Tali cedimenti variano da circa cm 6.5 a circa cm 9.5, in corrispondenza della prova SCPTU1 e da circa cm 4.5 a circa cm 8.5, in corrispondenza della prova CPTU2. Nello specifico, secondo Idriss & Boulanger, il valore del cedimento post sismico è pari a cm 7.095 in corrispondenza della prova SCPTU1 e a cm 7.113 in corrispondenza della prova CPTU2.

#### 4. PROPOSTA INDAGINI INTEGRATIVE

Le indagini integrative proposte dovranno prevedere uno studio finalizzato, in primo luogo, alla definizione dell'assetto geologico-strutturale, delle principali unità litostratigrafiche e delle eventuali peculiarità geomorfologiche ed idrogeologiche dello specifico sito in oggetto, e, in secondo luogo, alla messa in evidenza delle principali criticità geologiche, geotecniche e sismiche.

Nell'adempimento di questa fase il sottoscritto propone di procedere con una raccolta meticolosa di dati geologici, geomorfologici, geotecnici e sismici relativi all'area in oggetto, reperibili in banche dati online e cartacee, quali: cartografia geologica interattiva redatta dalla Regione Emilia Romagna, progetto CARG, corredata del database di indagini geognostiche; programma di studi di microzonazione sismica "Sisma 2012 - Studi sismici, Ordinanza n. 70 del 13/11/2012" etc. che saranno integrati con dati precedentemente acquisiti dal sottoscritto nelle aree limitrofe a quella di interesse. La consultazione del set di dati così composto sarà utile al fine della realizzazione di una relazione e di una cartografia di inquadramento relative all'area in oggetto. In particolare, la cartografia di inquadramento sarà così composta: carta geologica, carta geomorfologica, carta della microzonazione sismica, carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione.

Lo studio così condotto, corredato della cartografia di inquadramento, sarà propedeutico alla definizione di una proposta di campagna geognostica di dettaglio da eseguire nel sito di interesse.

#### 4.1. CAMPAGNA GEOGNOSTICA PROPOSTA

Sulla base delle caratteristiche emerse dallo studio di cui sopra, in fase di esecuzione della campagna di indagini, il sottoscritto intende proporre una campagna geognostica finalizzata all'individuazione dei parametri necessari per definire i modelli geologico, geotecnico e sismico definitivi che faranno da supporto alla progettazione definitiva dell'intervento. Inoltre, le indagini geognostiche dovranno essere finalizzate alla definizione dettagliata delle principali criticità geologiche relative al sito in oggetto, quali la pericolosità sismica e la presenza di terreni liquefacibili. Pertanto, a titolo di valutazione preliminare il sottoscritto ritiene necessaria l'esecuzione delle seguenti indagini geognostiche:

INDAGINI IN SITO		
N° MINIMO DI PROVE	TIPOLOGIA DI PROVA	PROFONDITÀ D'INDAGINE (z)
1	SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO	-30.00 m p.c.*
15	PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DI TIPO SPT	ogni 2.00 m di avanzamento del sondaggio a carotaggio
1	INDAGINE SISMICA DIRETTA IN FORO DI SONDAGGIO SECONDO METODOLOGIA <b>DOWN-HOLE</b>	-30.00 m p.c.
2	PRELIEVO DI CAMPIONI DI TERRENO TIPO SHELBY	da definire in corso di perforazione
5	PROVA PENETROMETRICA CON PUNTA ELETTRICA/PIEZOCONO ( <b>CPTU</b> )	-20.00/ -30.00 m p.c. spinte a rifiuto strumentale
2	INDAGINI SISMICHE SECONDO VALUTAZIONE DELLA DISPERSIONE ATTIVA DELLE ONDE DI RAYLEIGH( <b>METODOLOGIA MASW - Multichannel analysis of surface waves</b> )	\
2	INDAGINE SISMICA SECONDO ACQUISIZIONE IN ARRAY LINEARE 2D DEL RUMORE SISMICO NATURALE E VALUTAZIONE DELLA DISPERSIONE DELLE ONDE DI RAYLIEGH ( <b>METODOLOGIA ESAC</b> )	\
4	REGISTRAZIONI SINGOLE DI RUMORE SISMICO NATURALE ESEGUITE CON TERNA GEOFONICA TRIASSIALE ( <b>HVSR - Horizontal to vertical spectral ratio</b> )	\
4	INDAGINE DI TOMOGRAFIA ELETTRICA ERT MEDIANTE GEORESISTIVIMETRO MODELLO SYSCAL PRO SWITCH A 48 ELETTRODI CON MODULO DI ESPANSIONE ESTERNO SWITCH PRO 24 CHE PERMETTE DI UTILIZZARE 24 ELETTRODI IN PIÙ, OTTENENDO COSÌ L'ESTENSIONE A 72 ELETTRODI	

PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO	
N° MINIMO DI PROVE	TIPOLOGIA DI PROVA
5	ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E SEDIMENTAZIONE
2	PROVA DI COLONNA RISONANTE RC DI MISURAZIONE DELLA FREQUENZA DI RISONANZA E DELLA ROTAZIONE DEL PROVINO
2	PROVA TRIASSIALE DINAMICA CICLICA CON MISURA DELLA LIQUEFAZIONE TXC PER CARATTERIZZARE IN CAMPO DINAMICO IL COMPORTAMENTO TENSIODEFORMATIVO DEL TERRENO AD ALTI LIVELLI DI DEFORMAZIONE

Si reputa necessaria la direzione lavori da parte del sottoscritto durante l'esecuzione delle indagini geognostiche e si raccomanda altresì l'affidamento delle indagini geognostiche ad una ditta dotata di Concessione del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (Prove sulle terre, categoria A; prove in sito, settore C).

Si riporta di seguito una mappa indicativa dell'ubicazione delle indagini geognostiche proposte.

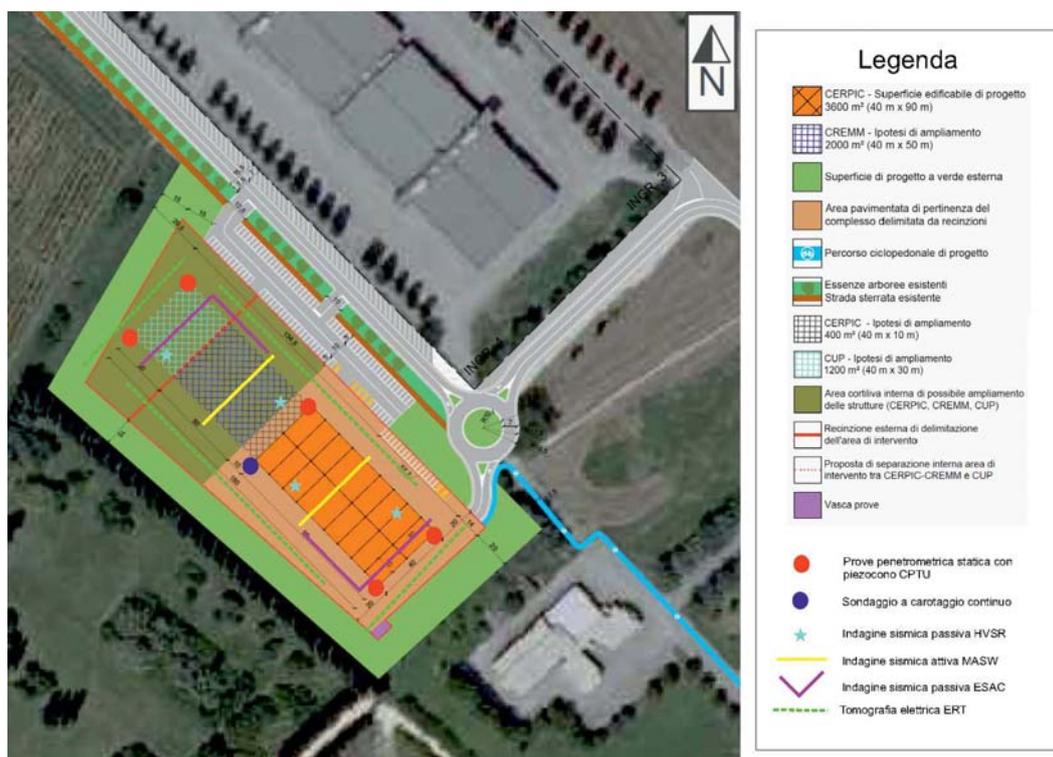


Fig. 4.1 - Ubicazione delle indagini integrative proposte.

I dati ottenuti durante la campagna geognostica e quelli derivanti dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni di terreno, saranno elaborati ed interpretati al fine di ricavare i parametri necessari alla definizione dei modelli geologico, geotecnico e sismico del sito in oggetto. Sulla base di ciò saranno quindi redatte la relazione geologica-geotecnica e sismica a supporto della progettazione definitiva, la quale individuerà: un modello geologico-strutturale dell'area in oggetto con l'identificazione delle principali unità litostratigrafiche e dell'assetto idrogeologico e geomorfologico; un modello geotecnico che identifichi le principali unità litotecniche ed i relativi parametri caratteristici (quali coesione efficace  $c'$  e coesione non drenata  $C_u$  caratteristica per quanto riguarda i terreni coesivi, grado di addensamento  $D_r\%$  per quanto riguarda i terreni granulari, e angolo di attrito interno  $\phi$ ), i quali a loro volta permetteranno la stima degli stati limite ultimi SLU inerenti la capacità portante del terreno di fondazione (NNTC DM 14/01/2008); un modello sismico finalizzato alla definizione della risposta sismica locale del sito in oggetto (RSL), con particolare attenzione all'individuazione e caratterizzazione delle eventuali unità liquefacibili (NNTC DM 14/01/2008, D.A.L. RER 112/2007 e successiva D.G.R. 2193/2015 della Regione Emilia Romagna).

**Modena, 29 Febbraio 2016**

**Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**