

**PROVINCIA DI PIACENZA
COMUNE DI CAORSO**

**CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI PER IL PIANO
OPERATIVO COMUNALE P10**

RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA

24 luglio 2012

Committente:

San Antonino S.r.l.

Via Verdi 23 – Piacenza,
P.I. 01505690337

a cura di:

Dr. Emanuele Emani

INDICE

1.0	INTRODUZIONE	2
2.0	RAPPORTI CON LA PIANIFICAZIONE SOVRAORDINATA	4
3.0	OGGETTO DEL PIANO OPERATIVO COMUNALE.....	4
4.0	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CATASTALE	5
5.0	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	7
5.1	Pedologia e uso dei suoli	7
5.2	Geologia e geo-morfologia.....	8
5.3	Considerazioni idrogeologiche e idrografia superficiale	10
6.0	PROGRAMMA D'INDAGINE	12
7.0	ELABORAZIONE DATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE.....	13
7.1	Stratigrafia e parametri geotecnici.....	13
8.0	VALUTAZIONE SISMICA	15
9.0	VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO.....	18
9.1	Considerazioni generali	18
9.2	II° livello di approfondimento.....	19
9.2.1	Calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica	19
10.0	ANALISI DEL FATTORE DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI FONDAZIONE	21
11.0	VALUTAZIONI GENERALI	21
12.0	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	22

ALLEGATO 1: INDAGINI PENETROMETRICHE**ALLEGATO: RAPPORTO TECNICO INDAGINE MASW**

1.0 INTRODUZIONE

Per incarico del committente **San Antonino S.r.l.**, nel mese di luglio 2012 in comune di Caorso (PC), si è svolto uno studio geologico-sismico dell'area (vedi fig.2-3) inserita nel Piano Operativo Comunale denominato P10 (fig.1). Il presente studio è quindi ritenuto indispensabile a seguito dell'entrata in vigore delle normative in materia sismica. Di seguito si evidenziano i principali riferimenti normativi utili per la definizione delle caratteristiche geologiche-sismiche:

Decreto Ministeriale 14.01.2008: Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007

Eurocodice 8 (1998): Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture

Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

Eurocodice 7.1 (1997): Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali . - UNI

Eurocodice 7.2 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI

Eurocodice 7.3 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI

Leggi regionali in materia di pianificazione e di Vincolo Idrogeologico

Un ulteriore evoluzione normativa della regione Emilia Romagna è rappresentata dalla Delibera dell'Assemblea legislativa progr. n° 112 – oggetto n° 3121 del 2 maggio 2007 contiene gli "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". In particolare nell'allegato A viene sottolineato il concetto secondo il quale gli studi di microzonazione sismica devono essere condotti a diversi livelli di approfondimento a seconda delle finalità e delle applicazioni nonché degli scenari di pericolosità locale. Infine all'interno del PTCP di Piacenza, approvato con atto di Consiglio n. 69 del 2 luglio 2010, si approfondisce l'aspetto della compatibilità con il rischio sismico, in particolare nella Tav. A4, "Carta della suscettibilità agli effetti sismici locali".

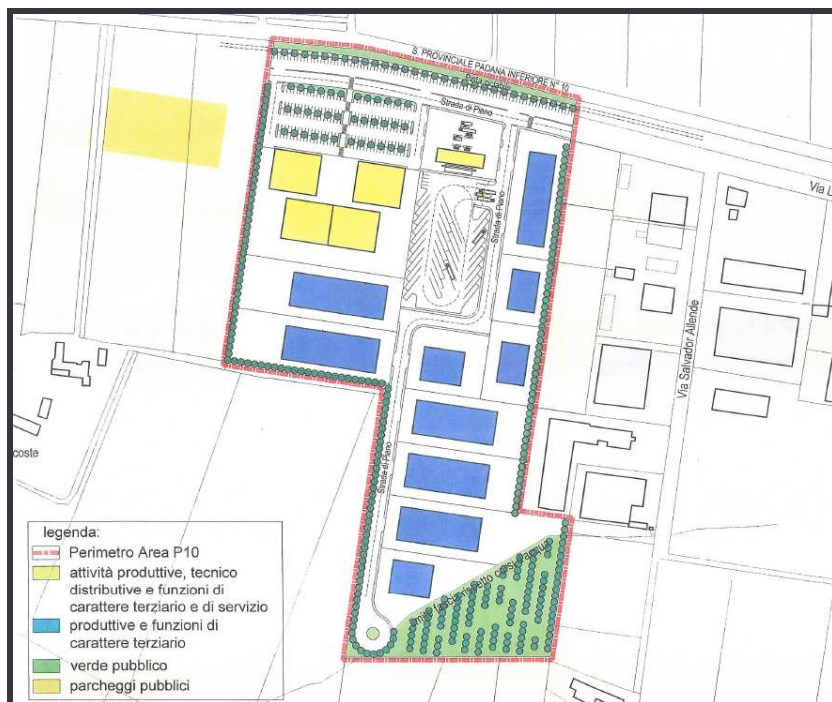
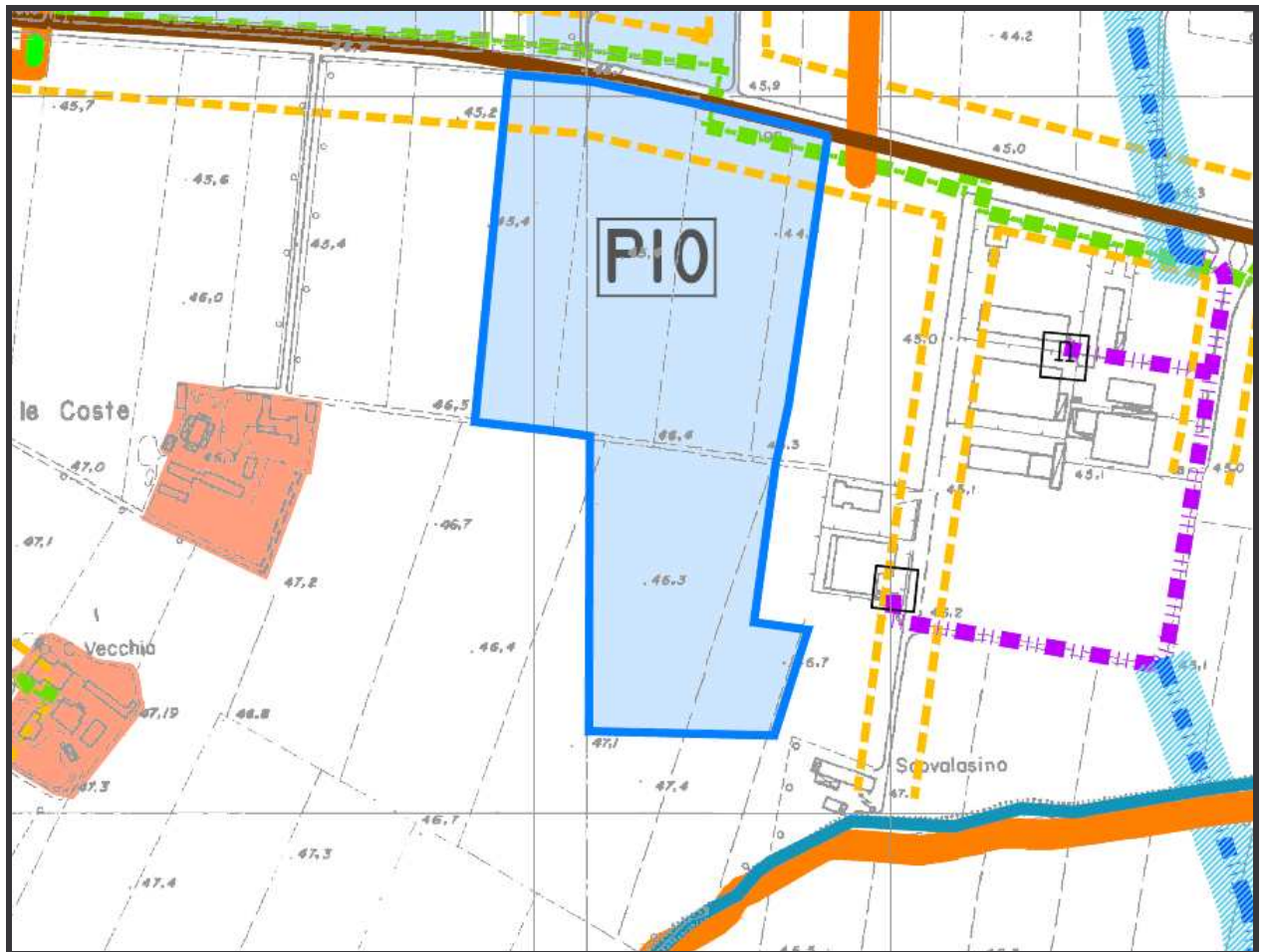


Fig. 1 – Planimetria Area P10

Per la seguente indagine, oltre ad effettuare un'analisi complessiva della Variante in oggetto, si è caratterizzato il terreno sulla base del risultato di prove sismiche MASW e di prove penetrometriche pre-esistenti e realizzate nel luglio 2012.



2.0 RAPPORTI CON LA PIANIFICAZIONE SOVRAORDINATA

L'area non presenta particolari limitazioni dal punto di vista della Pianificazione Sovraordinata, ma appare essenziale evidenziare le problematiche connesse al rischio idraulico presente nei due livelli di pianificazione:

Nel PAI l'area ricade nell'ambito della Fascia C

Nel PTCP di Piacenza l'area ricade nella FASCIA C, rispetto dell'ambito fluviale, in particolare C1, cioè extrarginale o protetta da infrastrutture lineari.

3.0 OGGETTO DEL PIANO OPERATIVO COMUNALE

Il Piano Operativo Comunale P10, presenta le seguenti caratteristiche generali:

1. DISPOSIZIONI URBANISTICHE		
Ambito:	APC 01	
Area di trasformazione:	P10	
Superficie territoriale (mq)	85.860	
Superficie territoriale in attuazione (mq)	80.217	
Slu (mq)	36.098	SLU da PSC (NR02)
ERP (%)	0	
Funzioni caratterizzanti	Produttivo	
Funzioni ammesse		Attività direzionale, commerciali, ricettive, logistiche, artigianali e di intermediazione connesse alla residenza.
Standard in loco minimi (mq)	12.033	Calcolato sull'uso prevalente
Quota residua di standard ex LR 20/00	come da usi insediati	Da individuare internamente al comparto ovvero in aree urbanisticamente idonee da stabilirsi in sede di PUA
Altezza massima ammissibile (m)	15	
Interventi di trasformazione / riqualificazione proposti dal PSC	Previsione di interventi atti al completamento delle aree produttive esistenti. La volontà è quella di creare un nuovo Polo Produttivo, con un buon livello di specializzazione aziendale, che sia di riferimento per tutto il territorio comunale e sovra comunale.	

Di seguito viene riportata la documentazione grafica in cui si evidenzia l'area interessata dal Piano Operativo Comunale P10:



Fig. 4 – Estratto del POC, con evidenziata la concentrazione volumetrica (in rosso)

4.0 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CATASTALE

L'area oggetto della seguente indagine è ubicata nel comune di Caorso (PC). Il Piano Operativo Comunale si presenta nella zona di Fossadello, lungo la strada che collega il Capoluogo a Piacenza. Non si sono presentati particolari problemi d'accessibilità all'area di cantiere da parte dei mezzi d'indagine, poiché il sito è facilmente raggiungibile dalla Strada Provinciale. La quota media della zona di studio è di circa 45,00-46,00 m s.l.m. Le varianti oggetto della seguente relazione interessano diversi mappali censiti nel Catasto Terreni del comune di Caorso e rispettivamente:

Foglio	Mappale
25	114 parte, 115 parte, 117 parte, 116 e 80 parte

Nella fig. 5 è rappresentato un estratto della mappa catastale (con riportata in maniera indicativa l'area oggetto di variante) del Comune di Caorso.

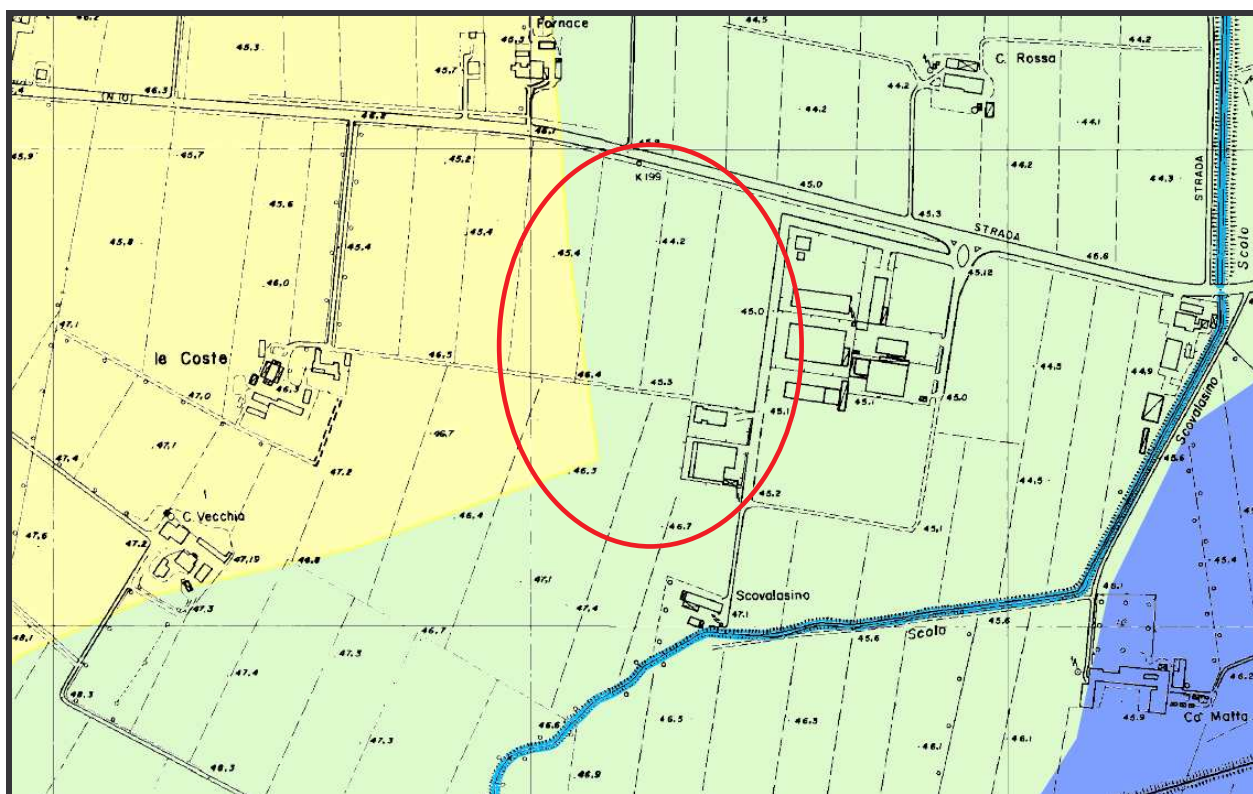


Fig. 5 – Estratto catastale

5.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

5.1 Pedologia e uso dei suoli

La Regione Emilia-Romagna ha dettagliato la suddivisione dei suoli a livello comunale: infatti nella “Carta dei Suoli” alla scala 1:50.000, nel territorio di pianura sono stati distinti ben 117 tipi di suolo le cui caratteristiche sono descritte in altrettante schede monografiche che sono state comprese in un “catalogo regionale”. La zona di nostro interesse ricade principalmente nella delineazione 477, mentre una piccola parte ricade in quella 478 (vedi fig. 6). Questi terreni sono in genere tessitura argillosa o argillosa-limosa, comunque prevalentemente coesiva.



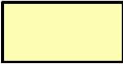
	Delineazione 477:	- suolo COLTARO argillosa limosa (COL 1)
		- suolo CATALDI franca argillosa limosa (CTL 3)
		- suolo FIENILI argillosa (FNL 1)
		- suolo I PILASTRI franca argillosa limosa (PIS 1)
	Delineazione 478:	- suolo MEDICINA franca argillosa limosa (MDC 2)
		- suolo I PILASTRI franca argillosa limosa (PIS 1)
		- suolo RONCOLE VERDI franca argillosa limosa (RNV 1)

Fig. 6 – Estratto “Carta Pedologica” allegata al PSC

5.2 Geologia e geo-morfologia

Il territorio in questione s'inserisce nelle ampie strutture regionali della pianura: nel raggio di alcuni chilometri affiorano infatti solo depositi continentali d'origine fluviale che, in questa zona, sono caratterizzati da condizioni di giacitura decisamente uniformi.

Tuttavia, al di sotto dei depositi sciolti che affiorano nell'ambito d'indagine (dello spessore di 3–4 Km circa), è presente un basamento roccioso di origine marina, di cui le prospezioni geofisiche, eseguite nei decenni scorsi a scopo di ricerca petrolifera, hanno permesso di rilevare una situazione strutturale complessa e non priva di significato neotettonico. Lo sviluppo della coltre alluvionale, sulla quale è impostata l'area d'indagine, è influenzato dalla vicinanza del margine appenninico e dalla presenza di particolari strutture sepolte, coinvolte nella tetto-genesi terziaria e quaternaria appenninica: la pianura rappresenta il risultato della fase di riempimento (dapprima marino e poi continentale) dei bacini ampiamente subsidenti delle avansosse padane.

Lo stesso percorso del fiume Po, caratterizzato da una significativa “rettificazione” rispetto ai tratti più a monte ed a valle, unitamente al brusco cambio di direzione (da W-E a NW-SE) potrebbero essere imputabili ad eventi neotettonici, tali da condizionare i fenomeni morfologici e sedimentari quaternari recenti (Olocene).

I dati sul sottosuolo profondo, infatti, evidenziano nel substrato pre-quaternario a N di Castelvetro P.no una struttura sinclinalica con asse a direzione e vergenza appenniniche (nota con il nome “Sinclinale di Cremona”), interessata sul fianco meridionale da una faglia inversa di significativo rigetto, anch'essa orientata WNW – ESE e vergenza verso quadranti settentrionali. La sinclinale è stata giudicata neotettonicamente attiva anche nel Pleistocene superiore, mentre l'attività neotettonica della seconda sembra essersi conclusa nel Pliocene (AQUATER, 1978).

Le indagini sismo-tettoniche finora condotte sulle strutture sepolte precedentemente descritte non ne hanno evidenziato condizioni di attività, anche se documenti storici attestano che il 3 gennaio 1117 la vicina città di Cremona venne colpita da un terremoto altamente distruttivo (Manini, 1819). Tuttavia, non si rilevano concrete situazioni di rischio derivanti da sismi o da fagliazione di superficie per il territorio comunale, classificato, secondo la più recente normativa di settore, come **ZONA 4**. Le unità, caratteristiche di ambienti deposizionali fluviali e di età compresa tra il Pleistocene medio-superiore e l'Olocene, sono evidenziate nella cartografia di seguito allegata:

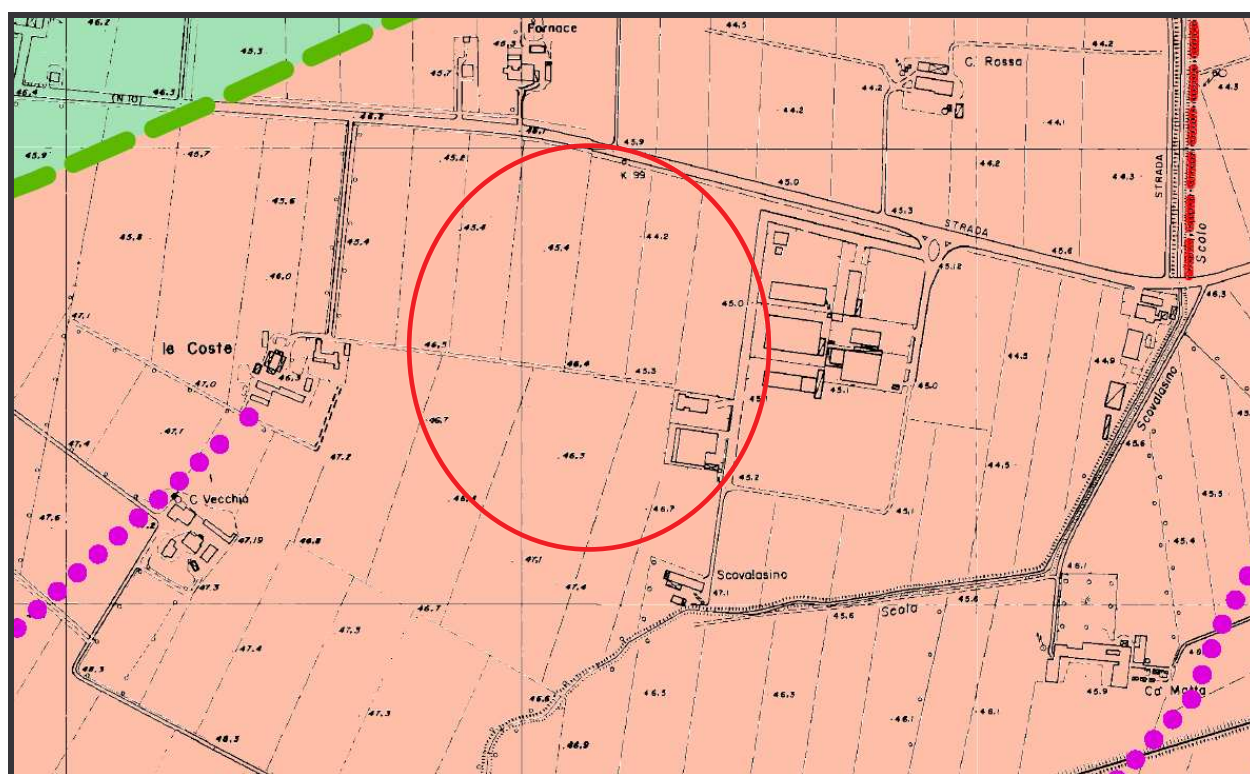


Fig. 7 – Estratto “Carta Geologica e geomorfologica” allegata al PSC

La nostra area ricade nella “Bassa pianura o superficie prevalentemente olocenica esterna alla fascia di meandreggiamento recente del F. Po” che corrisponde a quella porzione di pianura compresa tra l’unità precedente e le superfici pleistoceniche originatesi dai sedimenti wurmiani (che costituiscono il livello principale della pianura). Si tratta di un paesaggio monotamente pianeggiante talora caratterizzato, in superficie, da una potente coltre (oltre 10 m) di limi-argillosi, particolarmente sviluppati in corrispondenza di bassi topografici dove più frequenti erano gli impaludamenti dovuti alle esondazioni dei corsi d’acqua affluenti del Po.

Nella Carta geologica della Regione Emilia Romagna, l’area ricade nella formazione denominata “Unità di Modena”, le cui caratteristiche principali sono riportate nella fig. 7a.

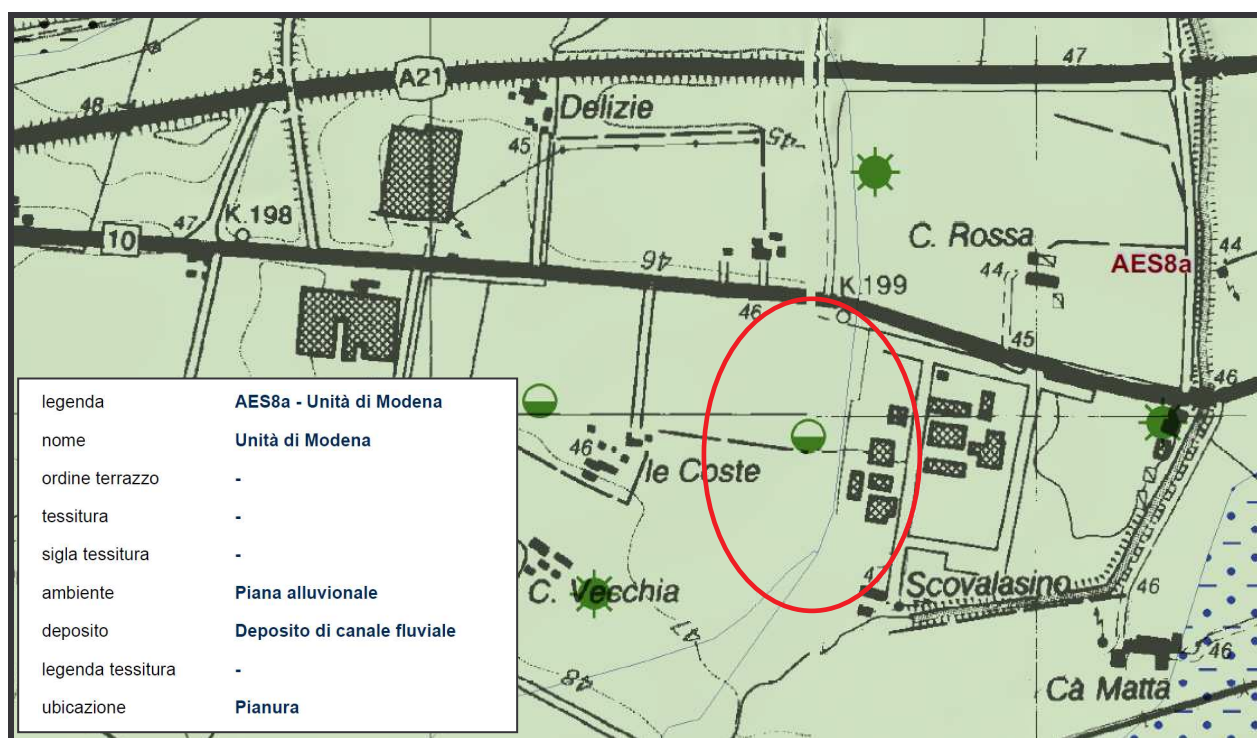


Fig. 7a – Estratto “Carta Geologica” della Regione Emilia Romagna

Il Comune di Caorso si sviluppa principalmente nella media pianura, con una morfologia caratteristica prettamente pianeggiante. L'area di studio è impostata ad un livello medio di circa 44,00-45,00 metri s.l.m. Per quanto riguarda le caratteristiche geomorfologiche del territorio, esse sono prevalentemente legate ai fenomeni deposizionali derivati dall'attività del F. Po.

L'alveo di piena straordinaria, invaso solo in determinati periodi o a seguito d'eventi eccezionali, è racchiuso entro gli argini maestri eretti in fasi successive, mentre all'esterno di tale fascia, il territorio si presenta subpianeggiante o debolmente ondulata, con depressioni in corrispondenza di antichi canali o paleo alvei o dossi. Nella zona in esame non sono presenti forme morfologiche particolari, tali da caratterizzare l'area.

5.3 Considerazioni idrogeologiche e idrografia superficiale

La rete idrografica è rappresentata da canali artificiali, spesso orientati ortogonalmente fra loro, creati con lo scopo di regolare e facilitare lo scorrimento superficiale dell'acqua, in quanto l'estrema piattezza e uniformità del piano campagna, rende particolarmente difficoltoso il deflusso naturale delle acque: di particolare rilevanza è il Canale Scovalasino che scorre a sud dell'area oggetto di POC. L'alveo del fiume Po è sempre occupato da portate idriche rilevanti, anche in periodi di magra; le maggiori piene invadono l'intera zona racchiusa entro gli argini maestri.

Il sottosuolo del Comune di Caorso, nella zona di interesse, è costituito da depositi alluvionali di granulometria eterogenea con media-alta permeabilità; essi ospitano un sistema di falde intercomunicanti, per la limitata continuità dei banchi impermeabili. Dall'esame delle stratigrafie disponibili si evince come l'assetto geometrico-strutturale del sottosuolo sia assimilabile ad un materasso alluvionale nel quale i corpi acquiferi, di natura prevalentemente sabbiosa, si alternano a livelli impermeabili. Si configura così un complesso acquifero di tipo “multifalda”, all'interno del quale sono riconoscibili due circuiti chiaramente separati:

Comune di Caorso (PC)

• il circuito più superficiale, che localmente assume caratteristiche da freatiche a confinate (vista la presenza di coperture limose o limo-argillose) e viene alimentato sia da monte (secondo la direzione di deflusso idrogeologico), sia per infiltrazione diretta (a seguito di precipitazioni meteoriche o durante la pratica irrigua);

• il circuito profondo (o confinato-artesiano), ospitato in orizzonti permeabili protetti al tetto da depositi argillosi di significativo spessore ed estensione laterale; contrariamente a quello di superficie, nel circuito profondo viene favorito un flusso in senso laterale con alimentazione da aree poste idrogeologicamente a monte.

L'escursione minore (meno di 1 m) si ha invece nei piezometri distribuiti nella pianura a nord del capoluogo prossima al corso del Po, ovvero nella fascia interessata dai fenomeni di meandreggiamento recente del Fiume. I livelli di soggiacenza minori sono prevalentemente concentrati nel mese di gennaio, mentre quelli più elevati sono per lo più sparsi nel periodo febbraio/marzo e settembre/ottobre. La direzione di flusso, approssimativamente orientata verso nord nella fascia più interna e sud-occidentale, devia verso est nella fascia settentrionale e nord-orientale del territorio comunale, forse perché alimentata dal subalveo del Po lungo il tratto ascendente dell'ansa di meandro di foce Nure ad ovest di Roncarolo (vedi fig 7). Il gradiente, grossolanamente stimato dalle quote citate, decresce da sud-ovest a nord-est passando dal 3% a circa l'1% fino all'altezza di Caorso, mentre nella fascia a nord del capoluogo, il gradiente non supera lo 0.5%.

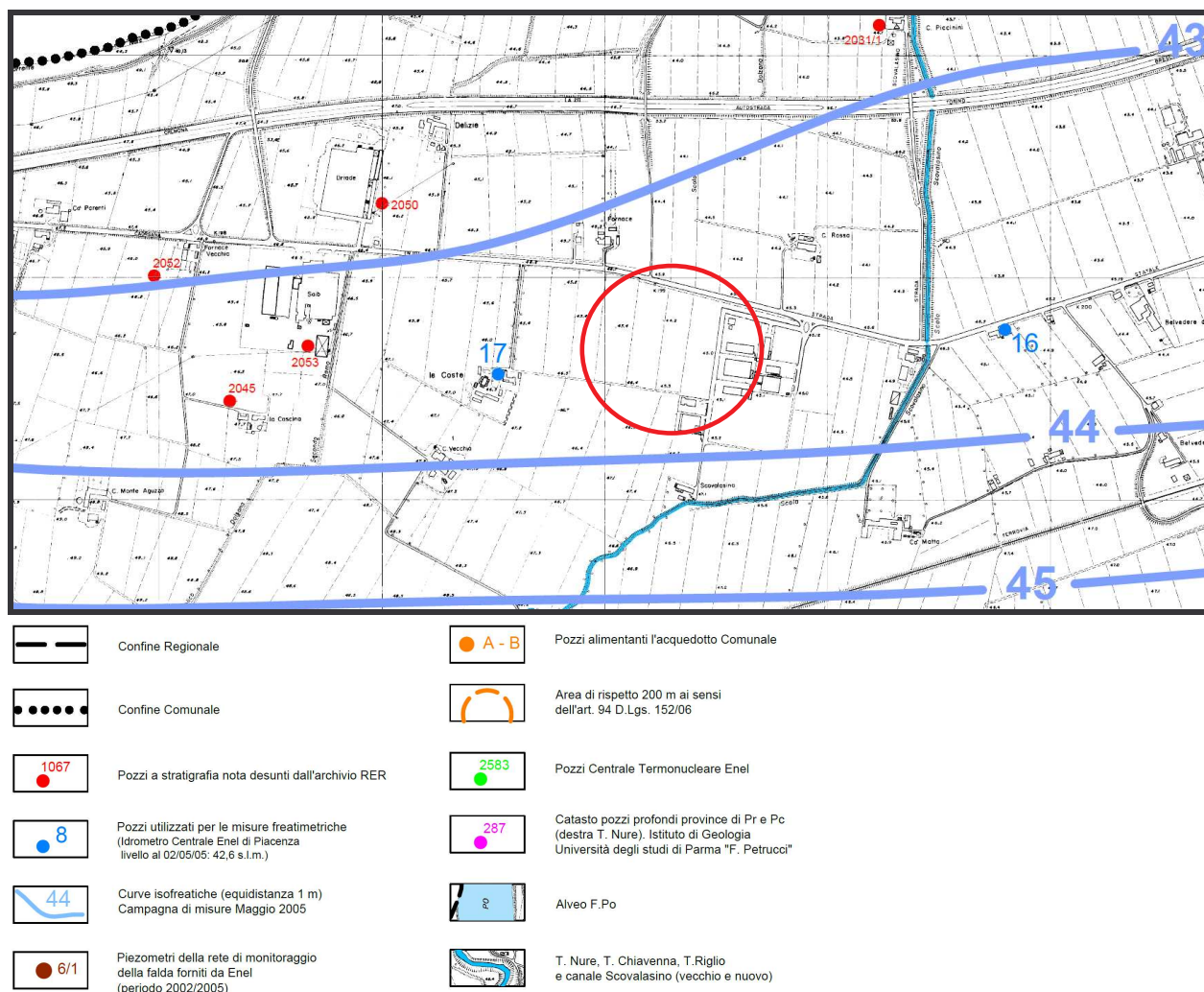


Fig. 7 – Estratto "Carta Idro-Geologica" allegata al PSC

Il livello della falda si è stabilizzato ad una profondità di -2,00/3,00 m dal p.c. nel P.S.C. comunale, mentre nell'indagine cpt si è rilevato un livello freatico di circa -4,50 m dal p.c.; eventuali interferenze della falda con gli scavi per fondazioni superficiali si ritengono dunque probabili, anche se si ritiene opportuno evitare che lo scavo rimanga per troppo tempo a cielo aperto, per prevenire eventuali riempimenti da parte d'acque meteoriche. La vulnerabilità dell'acquifero nella zona d'indagine è classificabile **media**.

Di seguito è riportata la carta del rischio idraulico allegata al PSC da cui si evince che la zona di interesse ricade nella calasse di rischio R2

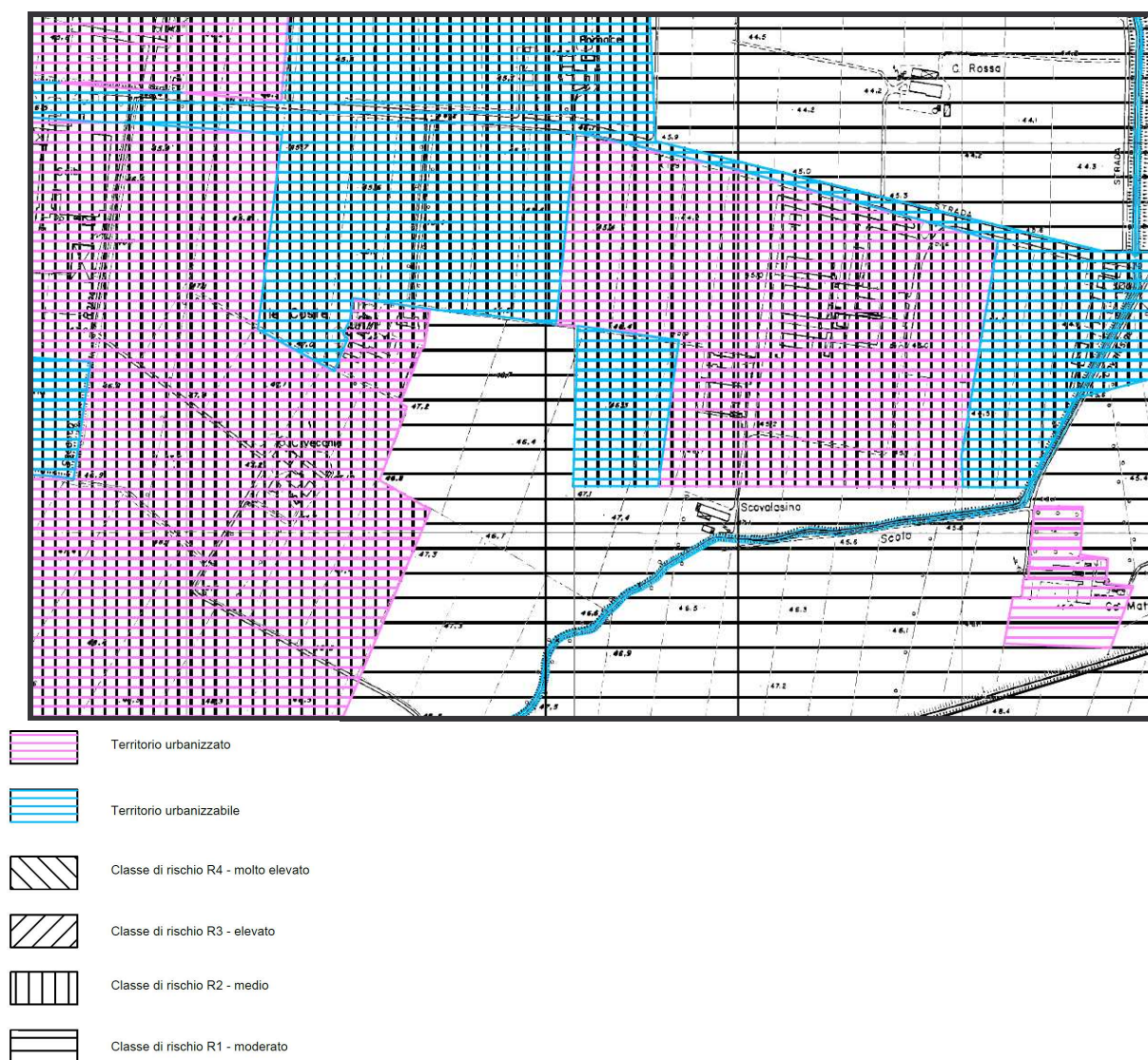


Fig. 8 – Estratto “Carta del Rischio Idraulico” allegata al PSC

6.0 PROGRAMMA D'INDAGINE

In funzione degli obiettivi di valutazione delle caratteristiche già evidenziate nel *Paragrafo 1.0*, si è seguita la seguente procedura:

- Acquisizione di tutta la cartografia utile alla definizione dell'area.
- Raccolta della bibliografia esistente, relativamente a studi generali sull'area ed eventuali lavori specifici realizzati dallo scrivente.

- c) Verifica delle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche di superficie, con particolare riferimento alla geomorfologia.
- d) Realizzazione di prove penetrometriche statiche utili alla determinazione delle litologie caratteristiche dell'area di studio.
- e) Indagine geofisica - MASW

Si precisa che con l'ausilio esclusivamente di prove penetrometriche statiche, non è stato possibile valutare direttamente e con maggiore precisione le caratteristiche geotecniche dei materiali intercettati (per tale scopo si sarebbe dovuto eseguire un'analisi di laboratorio su campioni indisturbati), per questo i valori indicati sono cautelativi.

7.0 ELABORAZIONE DATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE

La prova penetrometrica statica è stata realizzata mediante penetrometro tipo Pagani, con spinta nominale pari a 100 KN (10 ton). La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($v = 2$ cm/sec.).

La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta, previo ancoraggio al suolo, che agisce su una batteria doppia di aste, esterne cave e interne piene coassiali, alla cui estremità inferiore è collegata la punta. Lo sforzo necessario per l'infissione è determinato per mezzo di un opportuno sistema di misura, collegato al dispositivo di spinta (cella di carico). Le dimensioni della punta/manicotto tipo "Begeman" sono standardizzate, e più precisamente:

diametro punta	: 3,6 cm
angolo punta	: 60°
superficie punta	: 10 cm ²
sup. manicotto	: 150 cm ²

I valori misurati e i relativi diagrammi esplicativi sono contenuti nell'*Allegato 1*. L'ubicazione delle prove è rappresentata in *fig. 9*.

7.1 Stratigrafia e parametri geotecnici

Oltre all'elaborazione dei valori di resistenza del sottosuolo, è stato possibile realizzare una colonna stratigrafica verosimile sulla base del rapporto R_p/R_l fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale del penetrometro (Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977), ovvero in base ai valori di R_p e del rapporto $FR = (R_l/R_p) \%$ (esperienze di Shmertmann - 1978). I valori di resistenza penetrometrica sono stati elaborati tramite specifici programmi di calcolo, in grado di determinare i parametri geotecnici in base alle relazioni semiempiriche riconosciute.

I sondaggi si sono spinti fino ad una profondità massima di 7,80 m; la stratigrafia e le caratteristiche geotecniche delle prove realizzate, sono contenute integralmente nell'*Allegato 1*.



Fig. 9 – Ubicazione prova

Di seguito è riportata sinteticamente la stratigrafia tipo ricavata dall'analisi delle prove eseguite:

- Terreno agrario si sviluppa dal piano campagna fino a circa 1,00 m di profondità; tale livello dovrà essere oltrepassato in fase di posa delle fondazioni.
- Livello A si sviluppa fino a circa 4,00 m di profondità; esso risulta costituito da litologia prevalentemente argilloso-limosa, con un arricchimento nella frazione sabbiosa oltre i 2,80m dal p.c. Le caratteristiche geo-meccaniche variabili: in questo strato si osservano R_p medi maggiori di 20 Kg/cm^2 , corrispondenti ad una coesione di $0,907 \text{ Kg/cm}^2$. In linea di massima le caratteristiche geotecniche dei livelli intercettati sono mediocri.
- Livello B si sviluppa fino a circa 7,80 m di profondità; esso risulta costituito da litologia prevalentemente sabbiosa, con sottili intercalazioni di natura argilloso-limosa, ma dalle caratteristiche geomeccaniche variabili; dopo un primo livello di transizione limoso-sabbioso, si osserva il passaggio ad una litologia sabbiosa prevalente. In questo strato si osservano R_p medi maggiori di 100 Kg/cm^2 oltre i 5,40 m, con un angolo d'attrito variabile da 34° a 36° . In linea di massima le caratteristiche geotecniche dei livelli intercettati sono buone.

Come già ribadito si è riscontrata la presenza della falda ad una profondità di – 4,50 m dal p.c.

8.0 VALUTAZIONE SISMICA

In ottemperanza a quanto previsto da “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica” è stata effettuata una valutazione della risposta sismica locale (RSL).

Numerosi studi hanno infatti messo in evidenza che particolari caratteristiche geologiche e morfologiche di un sito possono modificare le caratteristiche del moto sismico in superficie e costituire aspetti predisponenti al verificarsi di effetti locali quali fenomeni di amplificazione o di instabilità dei terreni.

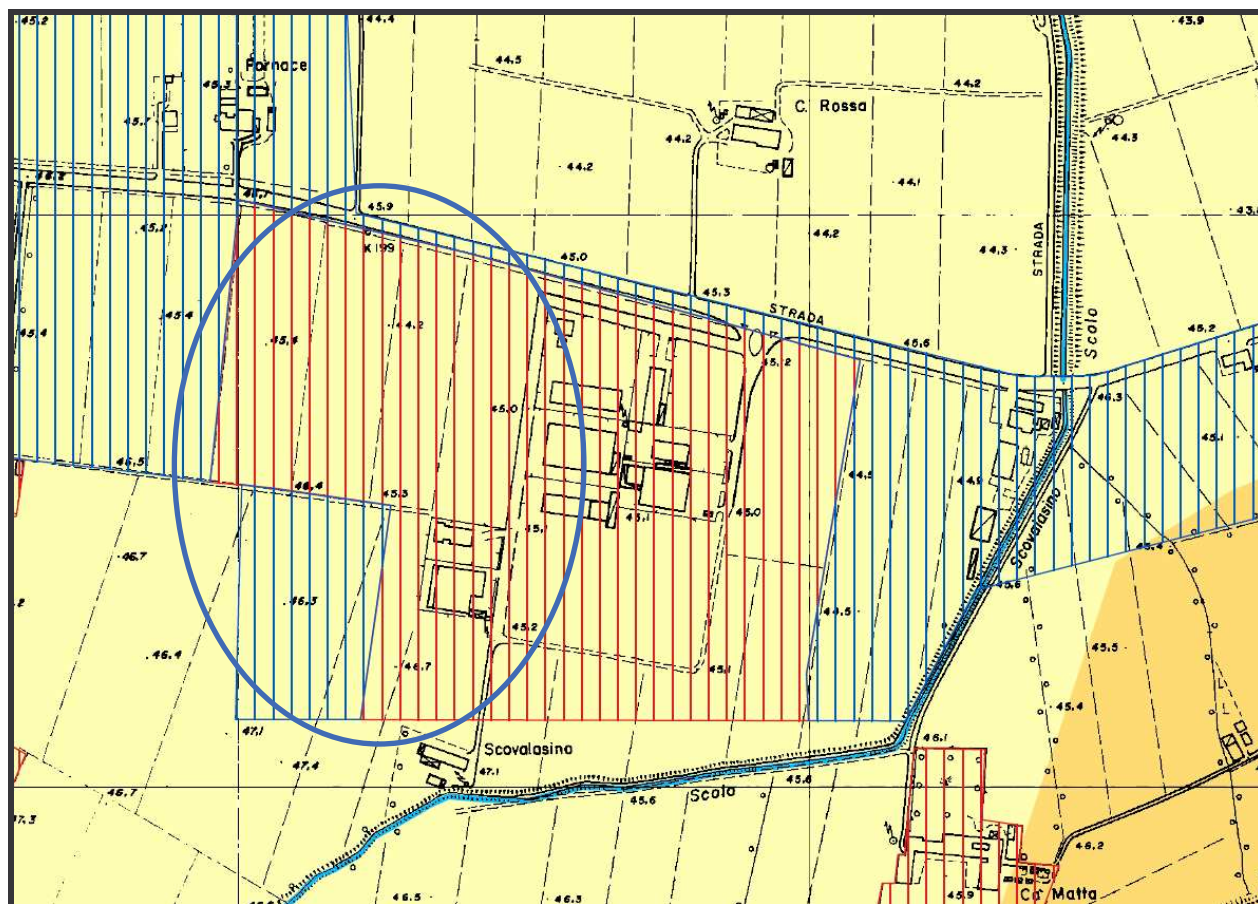
Le particolari condizioni geologico-geomorfologiche possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi che devono essere presi in considerazione nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area.

Per la valutazione della compatibilità della variante urbanistica in oggetto con il rischio sismico locale, è stato eseguita un'apposita indagine geofisica (profilo sismico tipo MASW), attraverso la quale si è ricostruito l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (onde S) fino alla profondità di circa 34 m dall'attuale piano di campagna (vedi tabella 1).

MASW 1			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	0.63	120.06	0.63
2	0.78	117.20	1.41
3	0.98	186.86	2.39
4	1.23	169.68	3.62
5	1.53	228.09	5.15
6	1.91	276.46	7.06
7	2.39	205.95	9.45
8	2.99	228.02	12.44
9	3.74	382.62	16.18
10	4.67	425.25	20.85
11	5.84	351.66	26.69
12	7.27	498.58	33.97

Tabella 1: modello sismico monodimensionale.

Di seguito si riporta l'estratto del PSC approvato con evidenziate le caratteristiche del terreno in esse riportate e di seguito la legenda degli effetti di sito possibili.

**LEGENDA:**

Confine Comunale



Alveo Fiume Po

T. Nure, T. Riglio, T. Chiavenna
e canale Scovolasino (vecchio e nuovo)

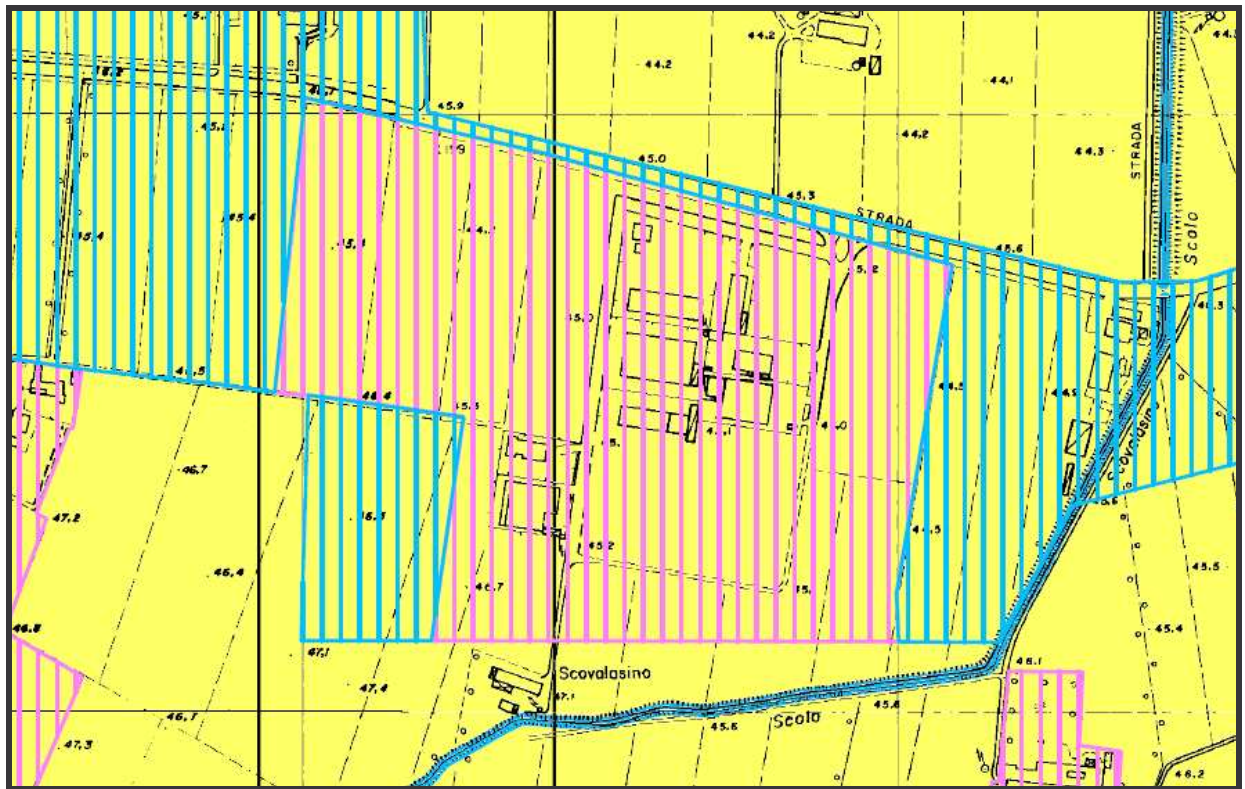
Territorio urbanizzato



Territorio urbanizzabile

**D_Depositi detritici, depositi alluvionali
ghiaiosi, limosi o indifferenziati, substrato
roccioso con Vs30 < 800 m/s e assimilati****S_Depositi alluvionali sabbiosi**

Fig. 10 – Estratto “Carta degli effetti locali” allegata al PSC



CLASSE	EFFETTI DI SITO					LIVELLO DI APPROFONDIMENTO (RIF. DELIB A.L. N.112/2007)
	amplificazione litologica	amplificazione topografica	instabilità di versante	cedimenti	liquefazione	
F1i	X	X	X			III
F1	X		X			III
F2i	X	X	X			III
F2	X		X			III
Di	X	X	X			III
Si	X	X	X		X	III (categoria Di se si esclude il rischio di liquefazione)
Ci	X	X	X	X		III (categoria Di se si esclude il rischio di cedimenti)
S	X				X	III (II, categoria D se si esclude il rischio di liquefazione)
C	X			X		III (II, categoria D se si esclude il rischio di cedimenti)
T	X					II (III, categoria Di in caso di inclinazione critica degli eventuali orizzonti di alterazione/fratturazione di spessore > 5m)
I		X				II (III, categoria Di in caso di orizzonti di alterazione/fratturazione di spessore > 5m)
D	X					II
R						I (II, categoria D in caso di orizzonti di alterazione/fratturazione di spessore > 5m)

Fig. 11 – Estratto “Carta degli effetti di sito” allegata al PSC

Le caratteristiche geologico-geomorfologiche proprie dell'area (evidenziate nel I° livello di approfondimento) sono tali da determinare l'insorgenza di effetti sismici locali, legati prevalentemente a fenomeni di amplificazione litologica, a causa dei fenomeni di riflessione multipla e di interferenza delle onde sismiche entro il deposito stesso (pericolosità sismica di base).

9.0 Valutazione degli effetti sismici di sito

La procedura di cui alle linee guida dell'Emilia-Romagna prevede che gli studi di risposta sismica locale e microzonazione vengano condotti a diversi livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente; nel complesso si identificano due fasi: la prima fase consiste nell'individuazione delle zone potenzialmente suscettibili di effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione) basandosi su rilievi ed osservazioni di carattere geologico-geomorfologico ed utilizzando i dati già disponibili (I° livello di approfondimento). La seconda fase ha come obiettivo la quantificazione degli effetti locali rispetto agli scenari individuati nel corso della prima fase secondo due diversi livelli di approfondimento:

- A. Nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale e sui versanti stabili con acclività $<15^\circ$, è sufficiente un'analisi semplificata (II° livello di approfondimento), ovvero l'analisi della pericolosità locale può essere basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati, su prove geofisiche in sito e su prove geotecniche standard;
- B. Nelle altre aree suscettibili di effetti locali (elenco tipologico di cui all'allegato A1 delle linee guida) è prevista un'analisi approfondita (III° livello di approfondimento) basata su un numero significativo di prove geofisiche e geotecniche sia in sito che in laboratorio, volte alla definizione del comportamento dei terreni sotto sollecitazione dinamica.

Infine l'applicazione della seconda fase non è richiesta nei comuni classificati in zona sismica 4, tranne per le aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso (O.P.C.M. 3274 e s.m.i.; D.M. 14.01.2008).

9.1 Considerazioni generali

L'area oggetto della presente relazione si posiziona in loc. Fossadello nel settore occidentale del territorio comunale di Caorso che, secondo quanto stabilito dalla D.G.R. n.1435 del 21 luglio 2003, in attuazione alla l'Ordinanza 3274 e s.m.i., appartiene alla zona **sismica 4** (si veda la figura 12).

Da un punto di vista geologico l'area è costituita da depositi quaternari della piana alluvionale (AES8a - Unità di Modena) costituiti prevalentemente da terreni sciolti incoerenti (sabbie e sabbie limose) ricoperti da materiali di natura coesiva (limi e argille). Da un punto geomorfologico, l'area si presenta come una superficie completamente pianeggiante.

Nel PSC viene evidenziato come le caratteristiche geologico-geomorfologiche proprie dell'area (I° livello di approfondimento) sono tali da determinare l'insorgenza di effetti sismici locali, legati prevalentemente a fenomeni di amplificazione litologica, a causa dei fenomeni di riflessione multipla e di interferenza delle onde sismiche entro il deposito stesso, con conseguente notevole amplificazione rispetto al moto di riferimento (pericolosità sismica di base).

Risulta quindi necessario, come riportato nel capitolo precedente, eseguire il secondo livello di approfondimento. Vista la natura degli interventi in progetto si è proceduto ad eseguire l'analisi sismica di II° livello semplificata che consiste in una stima semi-quantitativa della risposta sismica locale.

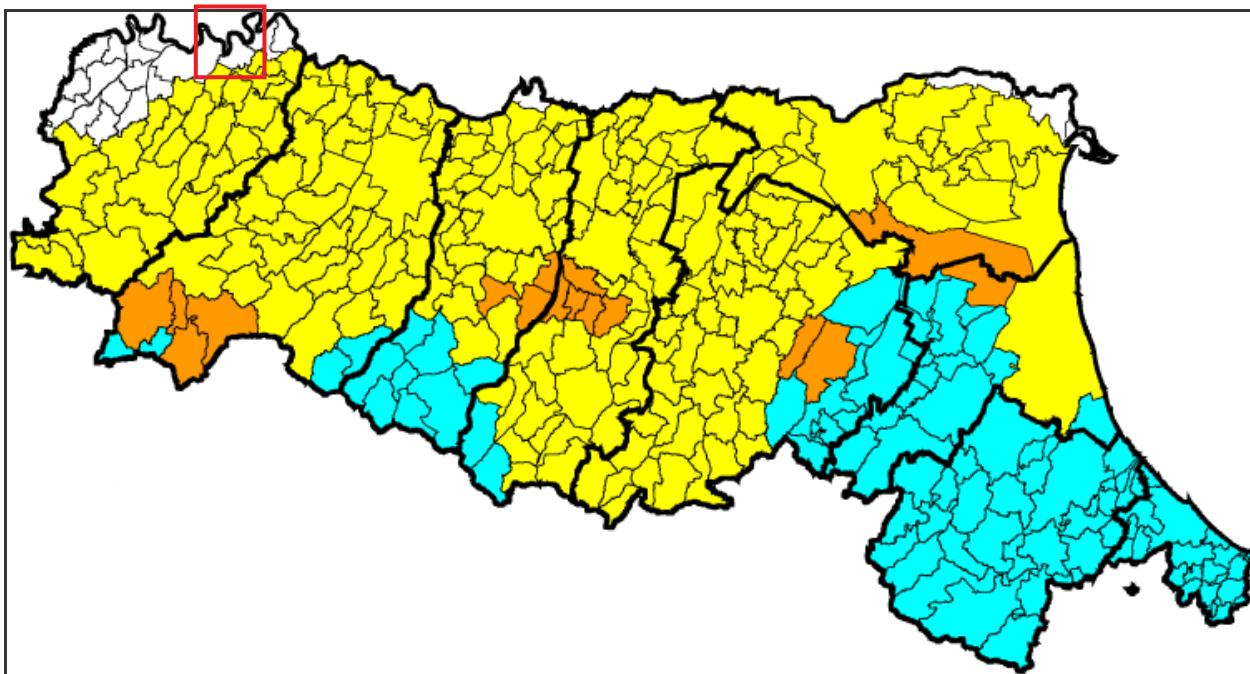


Figura 12: *Classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia Romagna. Legenda: in bianco = zona sismica 4; in giallo = zona sismica 3; in azzurro ed in arancio = zona sismica 2.*

9.2 II° livello di approfondimento

Le evidenze acquisite nel tempo di fenomeni di amplificazione del moto di base atteso dovuto a condizioni geomorfologiche e geotecniche proprie del sito ha portato a stabilire delle metodologie per la valutazione degli effetti locali e a definire il tipo di indagini e di analisi indispensabili per raggiungere risultati ingegneristicamente utili per una riduzione del rischio sismico. Il secondo livello di approfondimento consiste in una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi e si concretizza con una stima della risposta sismica dei terreni in termini di **Fattore di Amplificazione (FA)**.

La valutazione del fattore FA permette di “quantificare” l’effetto prodotto dalle condizioni litostratigrafiche locali in grado di modificare l’intensità delle onde sismiche generate da un terremoto (pericolosità di base).

Tali condizioni sono espresse sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia di rapporto di intensità di Housner o spettrale $(SI/SI_0)^*$ per prefissati intervalli di periodi rispetto ad un suolo di riferimento definito per ogni comune.

9.2.1 Calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica

Per determinare i Fattori di Amplificazione (FA) secondo l’analisi semplificata risulta necessario calcolare il valore delle V_{s30} , secondo la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n h_i / V_{Si}}$$

dove h_i e V_{Si} indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo fino alla profondità di 30 m.

[n.b. * L'intensità spettrale è definita da $SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV dT$ dove PSV è lo spettro di risposta in velocità]

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato in tabella 1 ed utilizzando la relazione sopra riportata si ottiene il seguente valore (i 30 m sono stati calcolati sia a partire dalla quota del p.c. attuale):

- quota = p.c. - $V_{s30} = 281.1$ m/s

a cui corrisponde, per entrambe le quote, la categoria di suolo di fondazione di tipo C (vedi tabella 2). Successivamente con questo parametro si entra nelle tabelle di cui all'Allegato A2 delle Linee Guida, applicando nello specifico la tabella "Pianura 2", ottenendo i seguenti Fattori di Amplificazione :

F.A. PGA = 1.5

F.A. $SI_{0.1-0.5} = 1.7$

F.A. $SI_{0.5-1.0} = 2.3$

Tali valori evidenziano come la caratteristiche geologiche dei depositi presenti nell'area sono in grado di modificare, amplificando, il moto sismico atteso per un suolo di riferimento (suolo A). Essendo la morfologia delle due aree totalmente pianeggiante si è assunto un coefficiente di amplificazione topografico pari a $St=1.0$, ovvero assenza di effetti di amplificazione per la topografia.

Categoria	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametri		
		V_{s30} (m/s)	N_{SPT}	C_u (kPa)
A	<u>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</u> , caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m	> 800	-	-
B	<u>Rocce tenere e da grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</u> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
C	<u>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</u> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	15-50	70-250
D	<u>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</u> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180	<15	<70
E	<u>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</u> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).			

Tabella 2: categorie di suolo di fondazione (D.M. 14.01.2008)

10.0 Analisi del fattore di liquefazione dei terreni di fondazione

La liquefazione è un fenomeno associato alla perdita di resistenza al taglio o ad un accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni dinamiche (terremoti) che agiscono in condizioni non drenate.

L'analisi della suscettibilità alla liquefazione di un dato sito dipende da:

- caratteristiche dell'azione sismica (intensità e durata);
- proprietà geotecniche dei terreni;
- caratteristiche litologiche dei terreni e profondità della falda.

La liquefazione di un deposito è dunque il risultato dell'effetto combinato di due principali categorie di fattori: le condizioni del terreno (fattore predisponente) e la sismicità (fattore scatenante).

Sebbene un terreno sia potenzialmente liquefacibile sulla base delle sue condizioni geologiche-geotecniche, la liquefazione non avviene se l'azione sismica non raggiunge valori di accelerazione massima a_{max} superiori a $0.10g$ (NTC08). Si evidenzia comunque come manca l'effetto scatenante. All'interno del PSC, nelle "Schede ambiti territoriali" l'area è indicata con un rischio di liquefazione "assente".

11.0 VALUTAZIONI GENERALI

Nel PSC l'area è classificata come fattibilità nella zona 1.

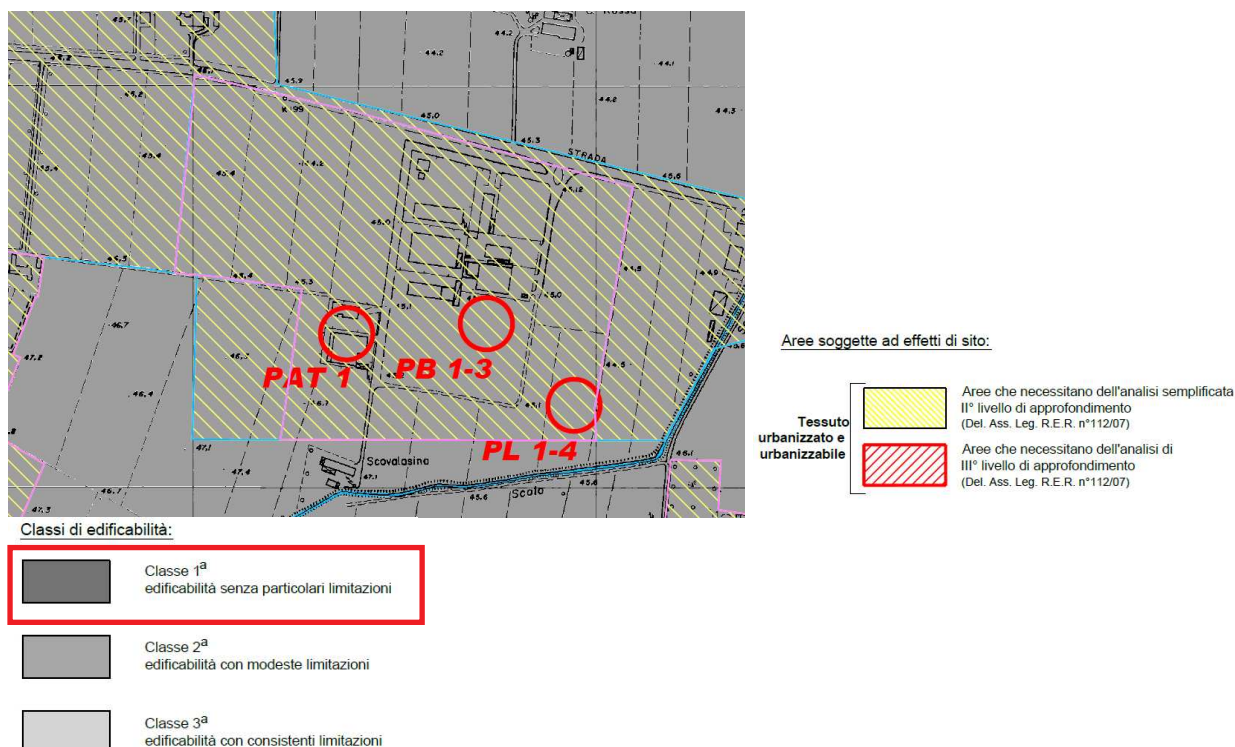


Figura 12: Carta di sintesi estratta da PSC

Le analisi sopra eseguite l'area presenta una fattibilità "senza particolari limitazioni", legate prevalentemente alla litologia presente, che permette di ipotizzare problematiche connesse ai possibili cedimenti del substrato di appoggio. La zona ascrivita alla classe 1a coincide con la

“pianura antica” Olocenica esterna alla fascia di meandreggiamento recente del Fiume Po, ove il piano campagna giace a quote relativamente elevate e la superficie di falda resta a profondità prossime ai 2-3 metri.

Come altre indicazioni si riassume quanto rilevato di seguito:

Geologia e geomorfologia: la variante interessa l'area di pianura alluvionale ad andamento subpianeggiante, caratterizzato dal un livello limoso-argilloso sovrapposto ad un livello sabbioso (Unità di Modena).

Idrogeologia: il livello della falda presenta soggiacenza generalmente superiore a 2,00/3,00 m dal p.c. (-4,50 m nella misura eseguita in sito)

Caratteristiche geotecniche: le caratteristiche litologiche, sulla base delle conoscenze locali, permettono un'edificazione normale con valori di portanza massimi che andranno definiti in fase di analisi di dettaglio. Dovrà essere valutata con attenzione l'entità del cedimento sulla base della tipologia di struttura in progetto.

Tale studio, necessario sulla base della normativa vigente, si rende necessario anche al fine di definire in dettaglio le soluzioni progettuali ideali per le eventuali costruzioni in progetto.

12.0 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

A seguito delle osservazioni compiute, in conformità alle norme vigenti, sulla base delle caratteristiche geologiche e sismiche del terreno, si è potuto evidenziare come le caratteristiche dell'area siano compatibili con il Piano Urbanistico; per quanto riguarda le considerazioni costruttive geotecniche si dovranno comunque eseguire le indagini di dettaglio da eseguirsi sui lotti; riassumendo si può comunque evidenziare come:

- ✓ il livello maggiormente sensibile è in genere il “Terreno agrario”; esso dovrà essere preferibilmente oltrepassato in fase di posa delle fondazioni, in quanto risulta essere quello che maggiormente risente, almeno superficialmente, delle variazioni di umidità del terreno (sulla base delle condizioni climatiche stagionali).
- ✓ fino a circa 4,00 m di profondità si intercetta un livello coesivo costituito da una litologia argillosa-limosa, cui segue un livello prevalentemente sabbioso in matrice sabbiosa-limosa;
- ✓ la falda freatica è stata identificata a -4,50 m con possibili risalite a quote più prossime verso il p.c. (nel PSC si indica un livello di circa 2-3,00 m dal p.c.)

Per tale P.O.C. si ritiene di escludere la presenza di condizioni ostative alla modifica, prevedendo preliminarmente nelle aree oggetto delle costruzioni in progetto la realizzazione dei necessari approfondimenti finalizzati alla definizione in dettaglio del modello geologico (e di conseguenza delle caratteristiche geotecniche) delle aree di intervento ai sensi della normativa vigente. **Si ritiene dunque la proposta di Variante compatibile con il rischio sismico locale.**

Villanova sull'Arda, lì 24.07.12

il geologo

Dr. Emanuele Emani

.....

ALLEGATO 1

Risultati prove penetrometriche statiche
Stratigrafia e parametri geotecnici