

CENTRALE DI OSTIGLIA A CICLO COMBINATO – Ostiglia (Mn)



**INSTALLAZIONE DI UNA NUOVA UNITA' A CICLO COMBINATO
E INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO AMBIENTALE SUI GRUPPI ESISTENTI**

RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA 2021 – REV.19MR21


(Dott. Valerio Ricciardi)


(Dott. Fabio Melchiorri)


(Ing. Riccardo Meloni)

INDICE

INTRODUZIONE	3
1 UBICAZIONE GEOGRAFICA	5
2 INDAGINI IN SITO RECENTI	6
3 ASSETTO GEOLOGICO STRATIGRAFICO	12
3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO	12
3.2 UNITÀ GEOLOGICHE AFFIORANTI NELL'AREA VASTA.....	13
3.3 GEOLOGIA DELL'AREA DI CENTRALE	16
4 ASSETTO STRUTTURALE.....	18
4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE.....	18
4.2 FAGLIE ATTIVE E CAPACI	19
5 ASSETTO GEOMORFOLOGICO	22
5.1 CONDIZIONI MORFOLOGICHE DI AREA VASTA.....	22
5.2 EVOLUZIONE MORFOLOGICA DELLA RETE IDRICA	23
5.3 CONDIZIONI GEOMORFOLOGICHE DELL'AREA DI CENTRALE.....	25
5.4 ANALISI INTERFEROMETRICHE REGIONE LOMBARDIA	27
6 ASSETTO IDROGEOLOGICO	28
6.1 IDROGRAFIA SUPERFICIALE E CARATTERI EVOLUTIVI DEGLI ALVEI	28
6.2 ASSETTO IDROGEOLOGICO	32
6.2.1 Caratteri idrogeologici regionali.....	32
6.2.2 Struttura degli acquiferi	33
6.2.3 Idrogeologia dell'area di Centrale	37
6.3 ANALISI DEL PAI - PGRA - LINEE GENERALI DI ASSETTO IDRAULICO E IDROGEOLOGICO SULL'ASTA DEL PO (TRATTO CONFLUENZA TANARO - DELTA) E RISCHIO ALLUVIONI.....	40
7 SISMICITÀ STORICA	43
7.1 ZONIZZAZIONE E ACCELERAZIONE SISMICA	43
7.2 SISMICITÀ DELL'AREA E MAGNITUDO DI RIFERIMENTO	44

7.3 ANALISI DEL RISCHIO SISMICO	48
7.3.1 Risposta sismica locale – Generalità	48
7.3.2 Analisi della pericolosità sismica: applicazione al territorio comunale di Ostiglia	50
7.3.3 Azione sismica di progetto ai sensi delle NTC2018	54
7.3.4 Magnitudo massima attesa per le verifiche di liquefazione	55
8 SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE	57
8.1 INTRODUZIONE	57
8.2 ESCLUSIONE DELLA VERIFICA A LIQUEFAZIONE	58
8.3 METODOLOGIA DI CALCOLO	60
8.3.1 Generale	60
8.3.2 Rapporto di Sollecitazione Ciclica	61
8.3.3 Metodologia basata su prove SPT per il calcolo di CRR	62
8.3.4 Metodologia basata sulla velocità delle onde sismiche Vs per il calcolo di CRR.....	65
8.3.5 Fattore di scala per il terremoto MSF	66
8.3.6 Fattore di correzione K_{σ} per sovrappressione litostatica.....	67
8.4 VERIFICA A LIQUEFAZIONE IN CONDIZIONI SISMICHE	68
9 FATTIBILITA' GEOLOGICA	72
10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	75
10.1 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	75
10.2 ASPETTI GEOMORFOLOGICI ED IDROLOGICI	75
10.3 ASPETTI IDROGEOLOGICI	75
10.4 ASPETTI SISMICI	76
10.5 EVIDENZE EMERSE DALL'ANALISI ESEGUITA	77

- BIBLIOGRAFIA

INTRODUZIONE

Su incarico della EP Produzione e con la finalità di esaminare sotto il profilo geologico e geotecnico il sito oggetto di intervento per la realizzazione di un nuovo gruppo di produzione a ciclo combinato nella Centrale di Ostiglia, e' stata redatta la presente relazione geologico-tecnica.

Il progetto in esame prevede la costruzione di un gruppo denominato Nuova Unità 5 (potenza elettrica lorda di circa 925 MW), in un'area della Centrale Termoelettrica EP Produzione di Ostiglia, area attualmente occupata da un parco serbatoi di olio combustibile non piu' utilizzato.

L'area della Centrale esistente, oggetto di interventi di miglioramento ambientale previsti in progetto, e' sita sulla sponda sinistra del fiume PO, nel territorio comunale di Ostiglia, in provincia di Mantova.

Nell'immagine riportata a seguire sono indicate le varie aree di pertinenza della Centrale di Ostiglia; in particolare, l'Area n.4 e' quella destinata alla realizzazione del nuovo gruppo a ciclo combinato, previa demolizione delle strutture esistenti, non piu' in esercizio.



Centrale di Ostiglia (MN)

Relazione geologica per l'installazione di una nuova unità a Ciclo Combinato e interventi di miglioramento ambientale sui gruppi esistenti

Rev. Marzo 2021

Nei capitoli seguenti sono esaminate le caratteristiche dell'area in termini di assetto geologico-stratigrafico, strutturale, geomorfologico ed idrogeologico, con particolare riferimento a quanto relativo alle analisi dei rischi alluvionali del fiume Po.

Una particolare rilevanza e' assegnata all'analisi della sismicita' dell'area, alla base dello studio (Capitolo 8) relativo al rischio di liquefazione dei terreni su cui e' prevista la realizzazione del nuovo gruppo produttivo.

La redazione della presente relazione tiene ovviamente in conto ed utilizza quanto indicato nello Studio Geologico a supporto della Pianificazione Comunale, eseguito ai sensi della Legge Regionale per il Governo del Territorio del 11/03/2005 n. 12 (PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO), ai sensi della D.G.R. n. 1566 del 22/12/2005 e della D.G.R. n. 7374 del 28/05/2008, curata dai Dott. Geol. Francesco Gabrielli Dott. Geol. Leonardo Calzolari Dott. Geol. Alberto Baracca.

1 UBICAZIONE GEOGRAFICA

La Centrale EP Produzione di Ostiglia, posta nelle vicinanze del centro abitato, e' sita in sinistra idrografica del fiume Po, al Km 239 della strada statale n.12 Abetone-Brennero, a circa 30 km dalla citta' di Modena e circa 45 km da Ferrara.



Nella immagine seguente e' individuata in giallo la posizione della centrale esistente, mentre il triangolo verde indica l'area di realizzazione del nuovo gruppo a ciclo combinato (Unita' 5).



Figura 1 – Ripresa satellitare della Centrale di Ostiglia (da Google Earth)

2 INDAGINI IN SITO RECENTI

Nel mese di Gennaio 2021 sono stati realizzati, a cura della società AECOM S.p.A., n.3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di 30metri, localizzati nella zona centrale dell'intervento che sarà sede dell'edificio macchine, nello specifico quello più rilevante in termini di carico e sollecitazione del terreno.

L'attività di indagine comprendeva una serie di prove SPT distribuite lungo la perforazione (n.7 per ciascun sondaggio) ed il prelievo di alcuni campioni indisturbati da sottoporre a test di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni. Nel corso delle perforazioni sono state inoltre eseguite prove di permeabilità Lefranc.

Si riportano a seguire una immagine per la localizzazione dei tre sondaggi eseguiti ed i moduli relativi, comprendenti ciascuno la sequenza stratigrafica incontrata, la localizzazione delle prove SPT ed i punti di campionamento, nonché le informazioni generali del sondaggio.



GEOlavori		SCHEDA DI SONDAGGIO		COMM. 138/20	
SECONDO RACCOMANDAZIONI A.G.I. (1977) <td colspan="2">PAG. 1 DI 2 <td colspan="2">Rev. 0 Data 31/12/2008 CERTIFICATO onar001cm13820</td> </td>		PAG. 1 DI 2 <td colspan="2">Rev. 0 Data 31/12/2008 CERTIFICATO onar001cm13820</td>		Rev. 0 Data 31/12/2008 CERTIFICATO onar001cm13820	
COMMITTENTE Aecom URS Italia S.p.a. CANTIERE Ex deposito di minerali di San Giovanni - centrale di Ostiglia (MN) PERFORAZIONE N. SP91 DATA INIZIO 14/01/2021 ULTIMAZIONE 18/01/2021 COORDINATE Nord Est Quota s.l.m. m. QUOTA P.C. m. ATTREZZATURA A.C. Mustang AS87					
RESPONSABILE DOTT. BERTOLLO	OPERATORE SIG. MARI	PAG. 1 DI 2			
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA		PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	S.P.T.
Asfalto (pxl. 10 cm)		0.50			
Sabbia medio grossa debolmente limosa ghiaiosa (ghiaia poligenica eterometrica, sub-arotondata, Dmax=4 cm)		0.50			
Sabbia medio fine limosa rocciolata, a tratti oca, ghiaiosa, da 1.00 m passante a grigio rocciolata (ghiaia Dmax=2 cm)		1.50			
Sabbia medio fine limosa debolmente ghiaiosa (ghiaia Dmax=2 cm)		2.20			
Argilla limosa grigia con fiamme oca e punti neri carboniosi.		2.70			
Sabbia medio grossa ghiaiosa debolmente limosa grigio scuro (ghiaia Dmax=1 cm)		3.70			
Argilla limosa grigia con fiamme oca e punti neri carboniosi.		4.00			
Campione indisturbato Cl 1. Alto: argilla limosa grigia con fiamme oca. Basso: argilla limosa grigia		4.00			
Argilla limosa grigia con punti carboniosi.		4.60			
Argilla argillosa grigio scuro.		5.40			
Argilla limosa grigia con punti carboniosi. A 5.90 m con fiamme oca e concrezioni carbonchiose. Alto: argilla limosa grigia con punti carboniosi. Campione indisturbato Cl 2. Basso: sabbia fine limosa grigia		5.90			
Sabbia fine limosa grigio chiaro.		7.55			
Sabbia medio grossolana grigia debolmente limosa. Tra 7.60 e 7.80 m con alternati livelli di limo debolmente sabbioso		7.60			
Limo sabbioso grigio (8.00-8.15 m)		8.00			
Argilla limosa grigia (8.15-9.00 m)		8.60			
Sabbia medio fine con limolimoso.		-0.30			
Sabbia medio grossa debolmente limosa grigia.		-1.13			
Limo con argilla grigia, grigio scuro da 11.00 m.		12.00			
Campione indisturbato Cl 3. Alto: limo con argilla grigio scuro		12.60			
Limo argilloso grigio.		-3.45			
Limo debolmente argilloso grigio.		-4.35			
Limo debolmente sabbioso grigio, talora sabbioso.		-6.30			
Sabbia fine limosa con limo grigio.		-6.80			
Limo debolmente sabbioso, a tratti debolmente argilloso grigio.		-7.35			
Argilla limosa con limo grigio, argillosa tra 18.10 e 18.20 m. Da 18.00 m passante a limo argilloso con sottili livelli di limo debolmente sabbioso grigio.		-3.55			
Sabbia media limosa grigia.		20.00			

GEOlavori		SCHEDA DI SONDAGGIO		COMM. 138/20	
SECONDO RACCOMANDAZIONI A.G.I. (1977) <td colspan="2">PAG. 2 DI 2 <td colspan="2">Rev. 0 Data 31/12/2008 CERTIFICATO onar001cm13820</td> </td>		PAG. 2 DI 2 <td colspan="2">Rev. 0 Data 31/12/2008 CERTIFICATO onar001cm13820</td>		Rev. 0 Data 31/12/2008 CERTIFICATO onar001cm13820	
COMMITTENTE Aecom URS Italia S.p.a. CANTIERE Ex deposito di minerali di San Giovanni - centrale di Ostiglia (MN) PERFORAZIONE N. SP91 DATA INIZIO 14/01/2021 ULTIMAZIONE 18/01/2021 COORDINATE Nord Est Quota s.l.m. m. QUOTA P.C. m. ATTREZZATURA A.C. Mustang AS87					
RESPONSABILE DOTT. BERTOLLO	OPERATORE SIG. MARI	PAG. 2 DI 2			
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA		PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	S.P.T.
Limo debolmente argilloso grigio.		20.50			
Sabbia media limosa grigia.		21.40			
Argilla limosa grigio scuro (21.40-21.85 m)		21.80			
Limo argilloso passante a limo debolmente argilloso sabbioso grigio.		22.30			
Sabbia medio fine limosa grigia, talora sabbia media limosa grigia.		24.20			
Limo argilloso grigio, localmente argilla limosa grigia, con sottili livelli di sabbia limosa grigia.		25.10			
Sabbia media limosa grigia. Da 25.10 a 25.40 m sabbia fine con limo.		26.20			
Sabbia fine limosa grigia.		27.35			
Sabbia media limosa grigia passante a sabbia medio fine limosa a 29.00 m. Resti vegetali tra 25.80 e 29.00 m.		30.00			

GEOlavori		SCHEDA DI SONDAGGIO		COMM. 138/20	
SECONDO RACCOMANDAZIONI A.G.I. (1977) <td colspan="2">PAG. 2 DI 2 <td colspan="2">Rev. 0 Data 31/12/2008 CERTIFICATO onar001cm13820</td> </td>		PAG. 2 DI 2 <td colspan="2">Rev. 0 Data 31/12/2008 CERTIFICATO onar001cm13820</td>		Rev. 0 Data 31/12/2008 CERTIFICATO onar001cm13820	
COMMITTENTE Aecom URS Italia S.p.a. CANTIERE Ex deposito di minerali di San Giovanni - centrale di Ostiglia (MN) PERFORAZIONE N. SP91 DATA INIZIO 14/01/2021 ULTIMAZIONE 18/01/2021 COORDINATE Nord Est Quota s.l.m. m. QUOTA P.C. m. ATTREZZATURA A.C. Mustang AS87					
RESPONSABILE DOTT. BERTOLLO	OPERATORE SIG. MARI	PAG. 2 DI 2			
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA		PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	S.P.T.
Limo debolmente argilloso grigio.		20.50			
Sabbia media limosa grigia.		21.40			
Argilla limosa grigio scuro (21.40-21.85 m)		21.80			
Limo argilloso passante a limo debolmente argilloso sabbioso grigio.		22.30			
Sabbia medio fine limosa grigia, talora sabbia media limosa grigia.		24.20			
Limo argilloso grigio, localmente argilla limosa grigia, con sottili livelli di sabbia limosa grigia.		25.10			
Sabbia media limosa grigia. Da 25.10 a 25.40 m sabbia fine con limo.		26.20			
Sabbia fine limosa grigia.		27.35			
Sabbia media limosa grigia passante a sabbia medio fine limosa a 29.00 m. Resti vegetali tra 25.80 e 29.00 m.		30.00			

GEOlavori		SCHEDA DI SONDAGGIO		COMM. 138/20	
SECONDO RACCOMANDAZIONI A.G.I. (1977) <td colspan="2">PAG. 2 DI 2 <td colspan="2">Rev. 0 Data 31/12/2008 CERTIFICATO onar001cm13820</td> </td>		PAG. 2 DI 2 <td colspan="2">Rev. 0 Data 31/12/2008 CERTIFICATO onar001cm13820</td>		Rev. 0 Data 31/12/2008 CERTIFICATO onar001cm13820	
COMMITTENTE Aecom URS Italia S.p.a. CANTIERE Ex deposito di minerali di San Giovanni - centrale di Ostiglia (MN) PERFORAZIONE N. SP91 DATA INIZIO 14/01/2021 ULTIMAZIONE 18/01/2021 COORDINATE Nord Est Quota s.l.m. m. QUOTA P.C. m. ATTREZZATURA A.C. Mustang AS87					
RESPONSABILE DOTT. BERTOLLO	OPERATORE SIG. MARI	PAG. 2 DI 2			
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA		PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	S.P.T.
Limo debolmente argilloso grigio.		20.50			
Sabbia media limosa grigia.		21.40			
Argilla limosa grigio scuro (21.40-21.85 m)		21.80			
Limo argilloso passante a limo debolmente argilloso sabbioso grigio.		22.30			
Sabbia medio fine limosa grigia, talora sabbia media limosa grigia.		24.20			
Limo argilloso grigio, localmente argilla limosa grigia, con sottili livelli di sabbia limosa grigia.		25.10			
Sabbia media limosa grigia. Da 25.10 a 25.40 m sabbia fine con limo.		26.20			
Sabbia fine limosa grigia.		27.35			
Sabbia media limosa grigia passante a sabbia medio fine limosa a 29.00 m. Resti vegetali tra 25.80 e 29.00 m.		30.00			

Centrale di Ostiglia (MN)

Relazione geologica per l'installazione di una nuova unità a Ciclo Combinato e interventi di miglioramento ambientale sui gruppi esistenti

Rev. Marzo 2021

GEOlavori		SCHEDA DI SONDAGGIO		COMM. 138/20	
SECONDO RACCOMANDAZIONI A.G.I. (1977)					
Rev 0	Data: 31/12/2008	CERTIFICATO	cear002cm13820	PAG. 1	DI 2
OPERATORE: Dott. Ing. Davide Spalenza					
COMMITTENTE Aecom URS Italia S.p.a.					
CANTIERE Ex deposito di minerali di San Giovanni - centrale di Ostiglia (MN)					
PERFORAZIONE N. SP12 DATA INIZIO 18/01/2021 ULTIMAZIONE 20/01/2021					
COORDINATE: Nord QUOTA P.C. A.C. MURAGLIA 6667					
RESPONSABILI F. Data: 01/01/2009	Prof. Paolo	OPERATORE	Sig. MVR	ATTREZZATURA	A.C. Mustang 6667
Da m. 0,30	A m. 20,00	Profondità Piana in	39,30	PAG. 1	DI 4
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA		PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	S.P.T.
Asfalto (col. 10 cm). Ghiaia poligenica, eterometrica, sub-arrotolata, sabbiosa limosa, nocciola (diametri $0,6-2,0\text{ mm}$).		0,30			
Sabbia medio grossolana debolmente limosa ghiaiosa nocciola. Ciottoli ($0,8-2\text{ cm}$).		1,30			
Limo argilloso debolmente sabbioso grigio nocciola con fiamme ocra.					
Campione indisturbato CI 1 Alto: limo deb. argilloso sabbioso		3,00	1,0	0,40	
Basso: argilla limosa grigia con fiamme ocra		3,60	1,6	0,70	
Argilla limosa grigia con fiamme ocra.		4,20	1,6	0,75	
Argilla limosa grigia scura con punte carbonatiche.			1,7	0,70	
			1,7	0,70	
			1,8	0,70	
			1,2	0,50	
			1,4	0,55	
			1,2	0,50	
			1,2	0,50	
			2,5	0,85	
			2,5	0,85	
			2,9	1,0	
			4,4	1,0	
Argilla limosa grigio chiaro con locali fiamme olivastre, litora limo argilloso grigio chiaro. Concrezioni carbonatiche.		7,60			
Campione indisturbato CI 2 Alto: limo argilloso grigio chiaro		7,60			
Basso: sabbia media limosa grigia					
Da 8,50 m passante a sabbia fine limosa grigia.		8,50			
Argilla limosa grigia con livelli di limo sabbioso tra 8,85 e 8,95 m e tra 9,05 e 9,30 m. Localmente concrezioni carbonatiche.		9,80	1,1	0,40	5
Sabbia da media a medio fine limosa grigia.			0,9	0,35	8,50
			0,6	0,35	8,80
			1,2	0,55	9,05
			1,2	0,55	9,30
			1,2	0,55	9,55
			1,2	0,55	9,80
			1,1	0,40	10,20
			1,1	0,40	10,45
Limo argilloso grigio, venature carbonose e 11,75 m.		12,40			
Limo debolmente sabbioso argilloso grigio.		13,10			
Limo argilloso grigio, da 14,00 m passante a debolmente argilloso/argilloso grigio.		14,80	1,0	0,35	
			1,0	0,45	
			0,9	0,40	
			1,0	0,45	
Sabbia fine limosa grigia alternata a limo sabbioso grigio debolmente argilloso, localmente sabbia media limosa.		15,00			15,00
			15,45		15,15
			15,45		15,30
			16,00		15,45
			16,00		15,60
			16,60		15,75
			16,60		15,90
			16,60		16,05
			16,60		16,20
			16,60		16,35
			16,60		16,50
			16,60		16,65
			16,60		16,80
			16,60		16,95
A 17,00 limo argilloso debolmente sabbioso		17,00			
Campione indisturbato CI 3 Alto: limo argilloso grigio		18,00			
Basso: limo argilloso grigio		18,60			
Limo con argilla grigio.		19,50			
Sabbia media limosa grigia.		20,00			

GEOlavori		SCHEDA DI SONDAGGIO		COMM. 138/20	
SECONDO RACCOMANDAZIONI A.G.I. (1977)					
Rev 0	Data: 31/12/2008	CERTIFICATO	cear002cm13820	PAG. 2	DI 2
OPERATORE: Dott. Ing. Davide Spalenza					
COMMITTENTE Aecom URS Italia S.p.a.					
CANTIERE Ex deposito di minerali di San Giovanni - centrale di Ostiglia (MN)					
PERFORAZIONE N. SP12 DATA INIZIO 18/01/2021 ULTIMAZIONE 20/01/2021					
COORDINATE: Nord QUOTA P.C. A.C. MURAGLIA 6667					
RESPONSABILI F. Data: 01/01/2009	Prof. Paolo	OPERATORE	Sig. MVR	ATTREZZATURA	A.C. Mustang 6667
Da m. 0,30	A m. 20,00	Profondità Piana in	39,30	PAG. 1	DI 4
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA		PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	S.P.T.
Sabbia media limosa grigia		20,30			
Limo argilloso deb. argilloso grigio, organico tra 20,40 e 20,50 m.		20,45	1,0	0,40	
Limo grigio alternato a limo sabbioso deb. sabbioso grigio.		22,10			
Sabbia fine limosa con limo grigio.		22,60			
Sabbia media limosa debolmente limosa grigia.		24,10			
Argilla organica e torba (24,10-24,30 m).					
Limo argilloso grigio scuro con guasi di livelli passante a limo deb. argilloso grigio.		25,05	1,4	0,40	
Sabbia fine con limofinosa grigia, da 25,80 m passante a sabbia limosa media.		26,10			
Limo debolmente argilloso grigio (26,10-26,20 m).					
Sabbia fine limosa con limo, litora limo sabbioso. Livello di limo grigio tra 26,80 e 27,00 m.					
Raschi vegetali tra 26,80 e 28,60 m.		30,00			
FINE SONDAGGIO					

GEOlavori		SCHEDA DI SONDAGGIO		COMM. 138/20	
SECONDO RACCOMANDAZIONI A.G.I. (1977)					
Rev 0	Data: 31/12/2008	CERTIFICATO	cear002cm13820	PAG. 2	DI 2
OPERATORE: Dott. Ing. Davide Spalenza					
COMMITTENTE Aecom URS Italia S.p.a.					
CANTIERE Ex deposito di minerali di San Giovanni - centrale di Ostiglia (MN)					
PERFORAZIONE N. SP12 DATA INIZIO 18/01/2021 ULTIMAZIONE 20/01/2021					
COORDINATE: Nord QUOTA P.C. A.C. MURAGLIA 6667					
RESPONSABILI F. Data: 01/01/2009	Prof. Paolo	OPERATORE	Sig. MVR	ATTREZZATURA	A.C. Mustang 6667
Da m. 0,30	A m. 20,00	Profondità Piana in	39,30	PAG. 1	DI 4
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA		PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	S.P.T.
Sabbia media limosa grigia		20,30			
Limo argilloso deb. argilloso grigio, organico tra 20,40 e 20,50 m.		20,45	1,0	0,40	
Limo grigio alternato a limo sabbioso deb. sabbioso grigio.		22,10			
Sabbia fine limosa con limo grigio.		22,60			
Sabbia media limosa debolmente limosa grigia.		24,10			
Argilla organica e torba (24,10-24,30 m).					
Limo argilloso grigio scuro con guasi di livelli passante a limo deb. argilloso grigio.		25,05	1,4	0,40	
Sabbia fine con limofinosa grigia, da 25,80 m passante a sabbia limosa media.		26,10			
Limo debolmente argilloso grigio (26,10-26,20 m).					
Sabbia fine limosa con limo, litora limo sabbioso. Livello di limo grigio tra 26,80 e 27,00 m.					
Raschi vegetali tra 26,80 e 28,60 m.		30,00			
FINE SONDAGGIO					

GEOlavori		SCHEDA DI SONDAGGIO		COMM. 138/20	
SECONDO RACCOMANDAZIONI A.G.I. (1977)					
Rev 0	Data: 31/12/2008	CERTIFICATO	cear002cm13820	PAG. 2	DI 2
OPERATORE: Dott. Ing. Davide Spalenza					
COMMITTENTE Aecom URS Italia S.p.a.					
CANTIERE Ex deposito di minerali di San Giovanni - centrale di Ostiglia (MN)					
PERFORAZIONE N. SP12 DATA INIZIO 18/01/2021 ULTIMAZIONE 20/01/2021					
COORDINATE: Nord QUOTA P.C. A.C. MURAGLIA 6667					
RESPONSABILI F. Data: 01/01/2009	Prof. Paolo	OPERATORE	Sig. MVR	ATTREZZATURA	A.C. Mustang 6667
Da m. 0,30	A m. 20,00	Profondità Piana in	39,30	PAG. 1	DI 4
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA		PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	S.P.T.
Sabbia media limosa grigia		20,30			
Limo argilloso deb. argilloso grigio, organico tra 20,40 e 20,50 m.		20,45	1,0	0,40	
Limo grigio alternato a limo sabbioso deb. sabbioso grigio.		22,10			
Sabbia fine limosa con limo grigio.		22,60			
Sabbia media limosa debolmente limosa grigia.		24,10			
Argilla organica e torba (24,10-24,30 m).					
Limo argilloso grigio scuro con guasi di livelli passante a limo deb. argilloso grigio.		25,05	1,4	0,40	
Sabbia fine con limofinosa grigia, da 25,80 m passante a sabbia limosa media.		26,10			
Limo debolmente argilloso grigio (26,10-26,20 m).					
Sabbia fine limosa con limo, litora limo sabbioso. Livello di limo grigio tra 26,80 e 27,00 m.					
Raschi vegetali tra 26,80 e 28,60 m.		30,00			
FINE SONDAGGIO					

GEOlavori		SCHEDA DI SONDAGGIO		COMM. 138/20	
SECONDO RACCOMANDAZIONI A.G.I. (1977)		PAG. 1		DI 2	
Rev 0	Data 31/12/2008	CERTIFICATO	certa003cm13820	PROGETTA	Dot. Ing. Davide Splendori
COMMITTENTE ... Aecom URS Italia S.p.a. CANTIERE Ex deposito di minerali di San Giovanni - centrale di Ostiglia (MN) PERFORAZIONE N. ... SP09 ... DATA INIZIO 20/01/2021 ... ULTIMAZIONE 22/01/2021 COORDINATE: Nord ... QUOTA P.C. ... ATTREZZATURA A.C. Mustang A66R					
Da m. 2,30	A m. 20,08	Intervallo Fines m. 30,30	PAG. 1	DI 4	
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA		PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	S.P.T.
Intervallo vegetale: sabbia fine limosa marofila.		0,40			
Sabbia fine limosa con limo, localmente limo debolmente sabbioso nocciola. Rara ghiaia. Livelli di sabbia media debolmente limosa tra 1,45 e 1,60 m.		1,60			
Limo debolmente argilloso sabbioso nocciola (1,60-1,75 m).					
Limo da debolmente sabbioso a sabbioso nocciola con fiamme ocra.		3,20			
Argilla limosa grigia con puntili neri carboniosi.		2,73	1,5	0,60	
Campione indisturbato C1		3,20	1,0	0,65	
Argilla limosa grigia con puntili neri carboniosi (0,00-0,20 m).		4,40	1,6	0,65	
Argilla organica grigia scura (0,20-0,40 m)		5,00	1,4	0,85	
Argilla limosa grigia con puntili neri carboniosi.		5,80	1,8	0,55	
Argilla limosa grigia chiara, talora limo argilloso. Rare fiamme ocrae. Presenti concrezioni carbonatiche.		7,10	1,3	0,60	
Argilla limosa grigia chiara, talora limo argilloso. Abbondanti fiamme ocrae. Presenti concrezioni carbonatiche.		7,90	2,4	>1,0	
Argilla limosa grigia con fiamme olivastre e concrezioni carbonatiche.		7,90	2,4	>1,0	
Sabbia medio fine limosa.		8,70	2,4	>1,0	
Limo sabbioso, debolmente argilloso tra 8,70 e 8,90 m, grigio.		9,05	2,4	>1,0	
Sabbia media grossolana debolmente limosa grigia.		9,45	1,2	0,40	8,00
Limo argilloso con argilla grigia.		10,95	1,5	0,35	9,15
Limo argilloso con argilla grigia.		11,20	1,2	0,40	9,30
Campione indisturbato C2		12,00	1,1	0,35	9,45
Limo debolmente sabbioso. Talora debolmente argilloso grigio.		12,00	1,1	0,35	10,50
Limo debolmente argilloso grigio.		14,45	1,1	0,40	10,65
Sabbia medio fine limosa con limo, talora limo sabbioso. Colora grigio.		15,00	4	0,40	10,80
Sabbia media, da limosa a debolmente limosa grigia.		15,45	6	0,45	10,95
Limo debolmente argilloso grigio, deb. sabbioso tra 17,50-17,80 m.		16,10	19	0,30	15,00
Campione indisturbato C3		16,60	10	0,35	15,15
Limo argilloso/debolmente argilloso grigio.		16,95	19	0,35	15,30
Sabbia fine limosa grigia.		20,00	34	0,35	15,45

GEOlavori		SCHEDA DI SONDAGGIO		COMM. 138/20	
SECONDO RACCOMANDAZIONI A.G.I. (1977)		PAG. 2		DI 2	
Rev 0	Data 31/12/2008	CERTIFICATO	certa003cm13820	PROGETTA	Dot. Ing. Davide Splendori
COMMITTENTE ... Aecom URS Italia S.p.a. CANTIERE Ex deposito di minerali di San Giovanni - centrale di Ostiglia (MN) PERFORAZIONE N. ... SP09 ... DATA INIZIO 20/01/2021 ... ULTIMAZIONE 22/01/2021 COORDINATE: Nord ... QUOTA P.C. ... ATTREZZATURA A.C. Mustang A66R					
Da m. 2,30	A m. 20,08	Intervallo Fines m. 30,30	PAG. 1	DI 4	
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA		PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	S.P.T.
Sabbia fine limosa grigia.		20,30	1,5	0,45	22,50
Argilla limosa grigia (20,30-20,45 m).		20,45	1,7	0,55	22,65
Limo argilloso grigio con resti di bivalvi.		21,10	1,7	0,55	22,80
Limo debolmente argilloso sabbioso grigio.		21,40			22,90
Limo debolmente sabbioso sabbioso grigio.		22,10			23,00
Limo debolmente argilloso tra 21,90 e 21,90 m.		22,10			24,00
Sabbia fine limosa grigia.		22,45			24,15
Sabbia medio grossolana debolmente limosa grigia.		22,85			24,30
Limo argilloso grigio, organico tra 28,80 e 28,85 m.		28,75	1,0	0,35	24,45
Limo debolmente sabbioso argilloso grigio.		29,85			
Limo sabbioso grigio.		30,00			

GEOlavori		SCHEDA DI SONDAGGIO		COMM. 138/20	
SECONDO RACCOMANDAZIONI A.G.I. (1977)		PAG. 2		DI 2	
Rev 0	Data 31/12/2008	CERTIFICATO	certa003cm13820	PROGETTA	Dot. Ing. Davide Splendori
COMMITTENTE ... Aecom URS Italia S.p.a. CANTIERE Ex deposito di minerali di San Giovanni - centrale di Ostiglia (MN) PERFORAZIONE N. ... SP09 ... DATA INIZIO 20/01/2021 ... ULTIMAZIONE 22/01/2021 COORDINATE: Nord ... QUOTA P.C. ... ATTREZZATURA A.C. Mustang A66R					
Da m. 2,30	A m. 20,08	Intervallo Fines m. 30,30	PAG. 1	DI 4	
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA		PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	S.P.T.
Sabbia fine limosa grigia.		20,30	1,5	0,45	22,50
Argilla limosa grigia (20,30-20,45 m).		20,45	1,7	0,55	22,65
Limo argilloso grigio con resti di bivalvi.		21,10	1,7	0,55	22,80
Limo debolmente argilloso sabbioso grigio.		21,40			22,90
Limo debolmente sabbioso sabbioso grigio.		22,10			23,00
Limo debolmente argilloso tra 21,90 e 21,90 m.		22,10			24,00
Sabbia fine limosa grigia.		22,45			24,15
Sabbia medio grossolana debolmente limosa grigia.		22,85			24,30
Limo argilloso grigio, organico tra 28,80 e 28,85 m.		28,75	1,0	0,35	24,45
Limo debolmente sabbioso argilloso grigio.		29,85			
Limo sabbioso grigio.		30,00			

GEOlavori		SCHEDA DI SONDAGGIO		COMM. 138/20	
SECONDO RACCOMANDAZIONI A.G.I. (1977)		PAG. 2		DI 2	
Rev 0	Data 31/12/2008	CERTIFICATO	certa003cm13820	PROGETTA	Dot. Ing. Davide Splendori
COMMITTENTE ... Aecom URS Italia S.p.a. CANTIERE Ex deposito di minerali di San Giovanni - centrale di Ostiglia (MN) PERFORAZIONE N. ... SP09 ... DATA INIZIO 20/01/2021 ... ULTIMAZIONE 22/01/2021 COORDINATE: Nord ... QUOTA P.C. ... ATTREZZATURA A.C. Mustang A66R					
Da m. 2,30	A m. 20,08	Intervallo Fines m. 30,30	PAG. 1	DI 4	
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA		PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	PROFONDITA' (m)	S.P.T.
Sabbia fine limosa grigia.		20,30	1,5	0,45	22,50
Argilla limosa grigia (20,30-20,45 m).		20,45	1,7	0,55	22,65
Limo argilloso grigio con resti di bivalvi.		21,10	1,7	0,55	22,80
Limo debolmente argilloso sabbioso grigio.		21,40			22,90
Limo debolmente sabbioso sabbioso grigio.		22,10			23,00
Limo debolmente argilloso tra 21,90 e 21,90 m.		22,10			24,00
Sabbia fine limosa grigia.		22,45			24,15
Sabbia medio grossolana debolmente limosa grigia.		22,85			24,30
Limo argilloso grigio, organico tra 28,80 e 28,85 m.		28,75	1,0	0,35	24,45
Limo debolmente sabbioso argilloso grigio.		29,85			
Limo sabbioso grigio.		30,00			

Centrale di Ostiglia (MN)

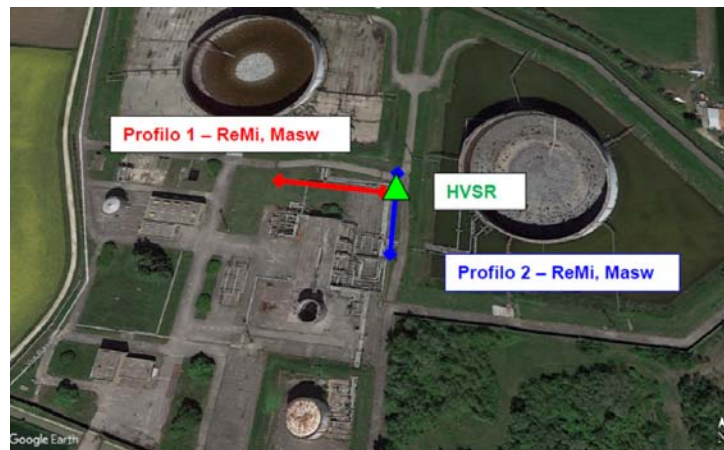
Relazione geologica per l'installazione di una nuova unità a Ciclo Combinato e interventi di miglioramento ambientale sui gruppi esistenti

Rev. Marzo 2021

Nel mese di Gennaio dell'anno in corso e' stata inoltre realizzata una breve campagna geofisica sul sito in oggetto, con l'obiettivo di acquisire, mediante due stendimenti MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) ortogonali tra loro, i valori caratteristici delle onde di taglio orizzontali e relativa determinazione delle Vs₃₀ equivalenti.

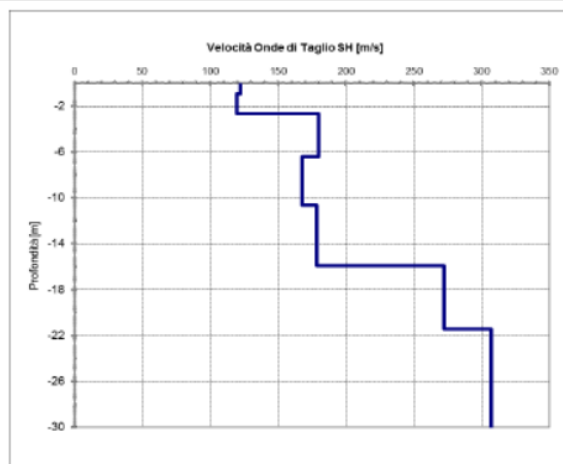
L'intervento comprendeva inoltre misure HVSR (Horizontal / Vertical Spectral Ratio) per la determinazione della frequenza di risonanza di sito ed alcune scansioni GPR (Ground Penetrating Radar) per l'individuazione di eventuali sottoservizi e/o presenza di ordigni bellici nel sottosuolo in corrispondenza dei punti di indagine.

Si riporta a seguire la localizzazione delle indagini ed i rispettivi diagrammi di visualizzazione delle Vs con l'aumento delle profondita', per quanto attiene ai profili sismici.



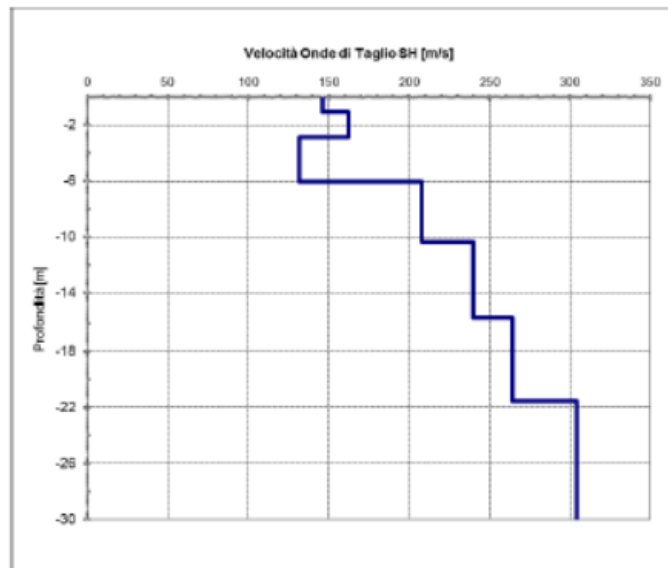
Profilo 1 - [Vs30 M]		
Onde di taglio orizzontali Vs [m/s]	Profondità [m]	Spessore strati [m]
122.30	-0.92	0.92
119.62	-2.68	1.76
179.88	-6.42	3.74
167.81	-10.64	4.22
178.52	-15.91	5.27
272.24	-21.45	5.54
307.05	-30.00	8.55

Vs_{30 m Eq.} = 205,63 m/s



Profilo 2 - [Vs30 M]		
Onde di taglio orizzontali Vs [m/s]	Profondità [m]	Spessore strati [m]
146.39	-1.07	1.07
162.46	-2.85	1.78
131.61	-6.06	3.21
207.98	-10.35	4.29
240.11	-15.62	5.27
264.21	-21.58	5.96
304.37	-30.00	8.42

Vs_{30 m} Eq. = 221,48 m/s



Da quanto sopra, i suoli dell'area di interesse vengono classificati in **Categoria C** – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

I dati ottenuti dalle prove penetrometriche dinamiche SPT ed i valori rilevati delle onde di volume trasversali (Vs), resi disponibili dalle indagini di cui sopra, sono stati utilizzati per le verifiche di suscettibilità alla liquefazione dei terreni di fondazione, discusse in dettaglio in Capitolo 8.

3 ASSETTO GEOLOGICO STRATIGRAFICO

3.1 Inquadramento geologico-stratigrafico

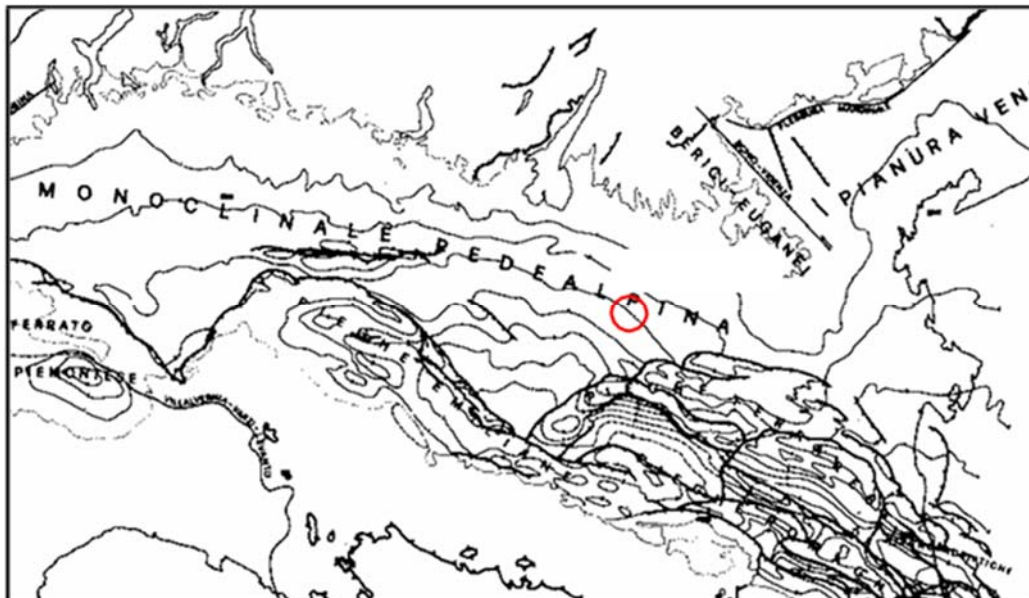
La Centrale ricade nel territorio comunale di Ostiglia che si sviluppa nel settore centro-orientale della Pianura Padana, un grande bacino subsidente pliocenico-quadernario, costituito da un'ampia depressione a stile compressivo, la cui evoluzione geologica è connessa allo sviluppo della catena alpina prima e di quella appenninica nella fase successiva, costituendo l'avanfossa di entrambi i sistemi.

Dal Pliocene ad oggi tale depressione, dal profilo asimmetrico, con minore inclinazione del lato settentrionale, è stata progressivamente colmata da sedimenti dapprima marino-transizionali e quindi strettamente continentali.

Strutturalmente la monoclinale pedealpina si presenta come un settore prevalentemente omoclinale limitato a Nord dal fronte di sovrascorrimento sudalpino il cui lembo esterno corrisponde alla fascia di basculamento dei Monti Lessini, nel Veronese, ed a Sud dal fronte di accavallamento esterno dell'Appennino sepolto (ETF), che nel settore studiato corrisponde alla zona di virgazione che l'arco occidentale delle Pieghe Ferraresi forma con il sistema delle Pieghe Emiliane (Figura 2).

In particolare nel Mantovano è stata individuata la cosiddetta "zona ostacolo" ritenuta responsabile di tale disallineamento dell'ETF e coincidente con una significativa anomalia aereo-magnetica positiva del Basamento Magnetico connessa alla presenza di intrusioni basiche.

Le Pieghe Ferraresi, intese come una complessa struttura geologica sepolta composta da una serie di pieghe associate a faglie che nell'insieme danno luogo ad una struttura positiva fortemente sollevata rispetto al substrato, rappresentano la prosecuzione delle strutture appenniniche nell'antistante area di pianura. A testimonianza di ciò, a sud del territorio comunale di Ostiglia, ad una distanza di circa 20÷30 km, nell'ambito territoriale della bassa provincia modenese (comuni di Mirandola e Concordia sulla Secchia), le strutture delle Pieghe Ferraresi mostrano le culminazioni raggiungendo profondità prossime a 100 metri dalla superficie del suolo.



Centrale di Ostiglia (MN)

Figura 2 – Carta Strutturale Semplificata della base della Successione Pliocenica-Quaternaria nella Pianura Padana e Veneta (Da M. Pieri & G. Groppi, 1981)

A causa del suo comportamento prevalentemente rigido, la monoclinale padana non sembra essere stata interessata dalle deformazioni legate alla fase parossistica terziaria, sebbene alcuni ricercatori abbiano riconosciuto blandi fenomeni di compressione esercitati dal Fronte Appenninico.

L'evoluzione del bacino padano vede, a partire dal Messiniano, la quasi cessazione dei movimenti tettonici legati all'edificio alpino; nel contempo si registra un sensibile spostamento verso NE del fronte Appenninico settentrionale.

Da questo momento le geometrie deposizionali del bacino padano sono strettamente legate ai repentini sollevamenti e movimenti in avanti delle falde Nord Appenniniche e dai lunghi periodi di relativa calma e subsidenza isostatica dei bacini.

Il margine meridionale del bacino padano, a ridosso del fronte appenninico risente in modo consistente di tali movimenti; il margine settentrionale risente, invece in modo più blando, di quanto succede nel bacino.

Gli studi della successione sedimentaria plio-pleistocenica padana ne hanno messo in evidenza il carattere tendenzialmente regressivo.

Dati ottenuti dalle ricerche condotte da AGIP, rielaborati successivamente da Pieri e Groppi (1981), hanno evidenziato come dal Pliocene ad oggi la depressione Padana sia stata progressivamente colmata, denotando una accentuata subsidenza.

Nella zona di virgazione sopra citata si registra il maggiore spessore dei depositi plio-quaternari dell'avanfossa; in particolare, il territorio che comprende il Comune di Ostiglia nell'ultimo intervallo (18.000 anni – attuale), mostra alcuni fenomeni di subsidenza accertati.

Allo stato attuale si può affermare che il territorio in esame è interessato da una debole subsidenza (vedi par. 5.4) che, per il suo carattere regionale, non influenza i manufatti già realizzati o da realizzarsi.

3.2 Unità geologiche affioranti nell'area vasta

L'assetto geologico è il complesso risultato di eventi morfogenetici e deposizionali. Nel corso del Quaternario continentale il succedersi di situazioni di equilibrio climatico (cicli glaciali) ha dato origine alle corrispondenti serie di aggradazione/degradazione del livello marino, con una conseguente mutazione ed evoluzione degli associati sistemi deposizionali.

Il territorio in esame si è formato in seguito allo scioglimento dei ghiacciai del Quaternario (Garda e Val d'Adige), le cui acque che alimentavano torrenti "scaricatori" epi e sub-glaciali, trasportavano a valle i depositi fluviali e fluvio-glaciali, originando, in questo modo, le vaste piane pro-glaciali.

Anche se con qualche soluzione di continuità dovuta a processi successivi alla sua deposizione, la piana pro-glaciale si estende dal limite esterno dell'anfiteatro morenico del Garda sino a Gazzo Veronese, Cerea, Legnago, raggiungendo i territori più settentrionali di Ostiglia.

L'assetto morfologico complessivo dei corsi d'acqua che hanno originato la piana pro-glaciale è riconducibile a quello di alvei a canali intrecciati tipici di corsi d'acqua soggetti a continue divagazioni, caratterizzati da paleoalvei ad andamento N-S e/o NNO-SSE, piuttosto incassati e

limitati da sponde sabbiose con scarpate relativamente continue, in cui si sono impostati i fiumi di risorgiva quali Tione, Tartaro e Menago.

Secondo le più recenti interpretazioni (Panizza, 1987), i depositi fluvioglaciali ascrivibili all'area studiata sono riferibili al post-glaciale (sub-boreale).

Nell'area studiata, i sedimenti fluvioglaciali sono stati ricoperti in epoca successiva, nella zona settentrionale del territorio comunale dalle alluvioni sub-boreali del Tione, Tartaro e dell'Adige, mentre nella parte meridionale è stato il Fiume Po, in tempi più recenti, a depositare alluvioni sopra il substrato fluviale e fluvioglaciale che non è più rinvenibile entro il profilo pedologico.

Tralasciando un'attribuzione cronologica di tali depositi, nel presente studio si è operata una distinzione in unità che avessero interesse sotto l'aspetto geologico-applicativo.

Pertanto, nel territorio comunale di Ostiglia sono riconoscibili due unità di alto rango, quella dei depositi che costituiscono la Media Pianura Idromorfa e quella dei depositi riferibili alla Piana alluvionale, a loro volta suddivise in facies differenti, distinte sulla base delle caratteristiche morfologiche e litostratigrafiche dei primi 10 metri di sottosuolo.

Lo studio geologico comunale ha raccolto ed esaminato criticamente una considerevole quantità di dati geognostici derivanti da sondaggi, pozzi, prove penetrometriche che hanno consentito di riconoscere le seguenti unità:

Depositi della Media Pianura Idromorfa:

- depositi fluviali costituiti da argille e argille sabbiose, di spessore variabile da 1 a 2 metri, sovrapposti a depositi prevalentemente sabbioso-limosi e sabbioso-argilloso-limosi, riscontrati fino alla profondità di 7÷8 metri di profondità, che caratterizzano le zone vallive poste a nord del Canal Bianco;
- depositi fluviali costituiti da limo e limo argilloso, di spessore medio pari a 3 metri che ricoprono depositi prevalentemente sabbioso-limosi e sabbioso-argilloso-limosi, riscontrati sino alla profondità di 8÷9 metri dal piano campagna. Si tratta di alluvioni tipiche delle superfici morfologicamente piatte, interposte alle principali linee di flusso; sono diffuse nel settore posto a nord del Canal Bianco, dalla località di Ponte Molino fino ai siti di Corte Agnella e Corte Gazzina.

Depositi di Piana Alluvionale:

- depositi alluvionali costituiti da sabbie limose e sabbie limoso-argillose, di spessore variabile da 3 a 7 metri, sovrapposti a depositi limo-argillosi, riscontrati sino alla profondità di 10 metri. Tale successione che caratterizza le aree di alto morfologico tipiche di dosso fluviale, si rinviene in corrispondenza degli abitati di Ostiglia e Correggioli e in prossimità della località di Bugno San Romano;
- depositi alluvionali costituiti da limi argilloso-sabbiosi, di spessore variabile da 5 a 6 metri, sovrapposti a terreni caratterizzati da fitte alternanza di limo-argillosi, sabbie argilloso-limose e sabbie limose, fino alla profondità di 10 metri circa. Si tratta di depositi

che caratterizzano le aree morfologicamente piatte o lievemente ondulate, diffuse a nord dell'abitato di Ostiglia fino al Canal Bianco;

- depositi alluvionali costituiti da sabbie limose e limi sabbiosi, di spessore variabile da 4 a 6 metri che ricoprono depositi prevalentemente limo-sabbioso-argillosi che si trovano nelle aree golenali.

Per meglio rappresentare graficamente le caratteristiche litostratigrafiche del territorio in esame lo studio comunale ha ricostruito anche 2 sezioni geologiche interpretative, di cui la sezione B-B', ricostruita lungo una linea spezzata che attraversa l'intero territorio comunale con andamento spezzato WSW-ENE/NW-SE, terminando in corrispondenza dell'abitato di Correggioli.

Per la redazione di tale elaborato si è fatto riferimento alle informazioni derivanti da precedenti perforazioni per la realizzazione di pozzi.

Le sezioni ricostruite, che arrivano a rappresentare il sottosuolo oggetto di studio fino a 130 metri di profondità, evidenziano come il sottosuolo di quest'area sia caratterizzato da alternanze di depositi sabbiosi con depositi prevalentemente limosi e argillosi, talora torbosi. Si osserva che gli spessori maggiori si riscontrano per i depositi più grossolani ed in particolare nei primi 50÷60 metri di profondità. Tali spessori, tuttavia, diminuiscono verso le aree baricentriche rispetto al Fiume Po; le intercalazioni più fini presentano anch'esse spessori importanti e risultano a cadenze piuttosto regolari.

Relativamente a quanto sopra riportato, è necessario precisare che i depositi in esame, a causa dei processi deposizionali che li hanno messi in posto (alluvionali, fluviali e fluvio-glaciali), sono caratterizzati da una certa variabilità di facies (granulometria e strutture sedimentarie) sia laterale che verticale; di conseguenza, le considerazioni sopra riportate sono da ritenersi puramente indicative.

3.3 Geologia dell'area di Centrale

L'area di Centrale in oggetto (vedi Area 4 relazione tecnica) fonda su termini indicati con la sigla S1P C2, identificati come unità a sabbie dominanti, più in dettaglio come “sabbie poco gradate con argilla”, al di sopra delle quali si sviluppano suoli calcarei o molto calcarei mediamente profondi (Figura 3-Figura 4).

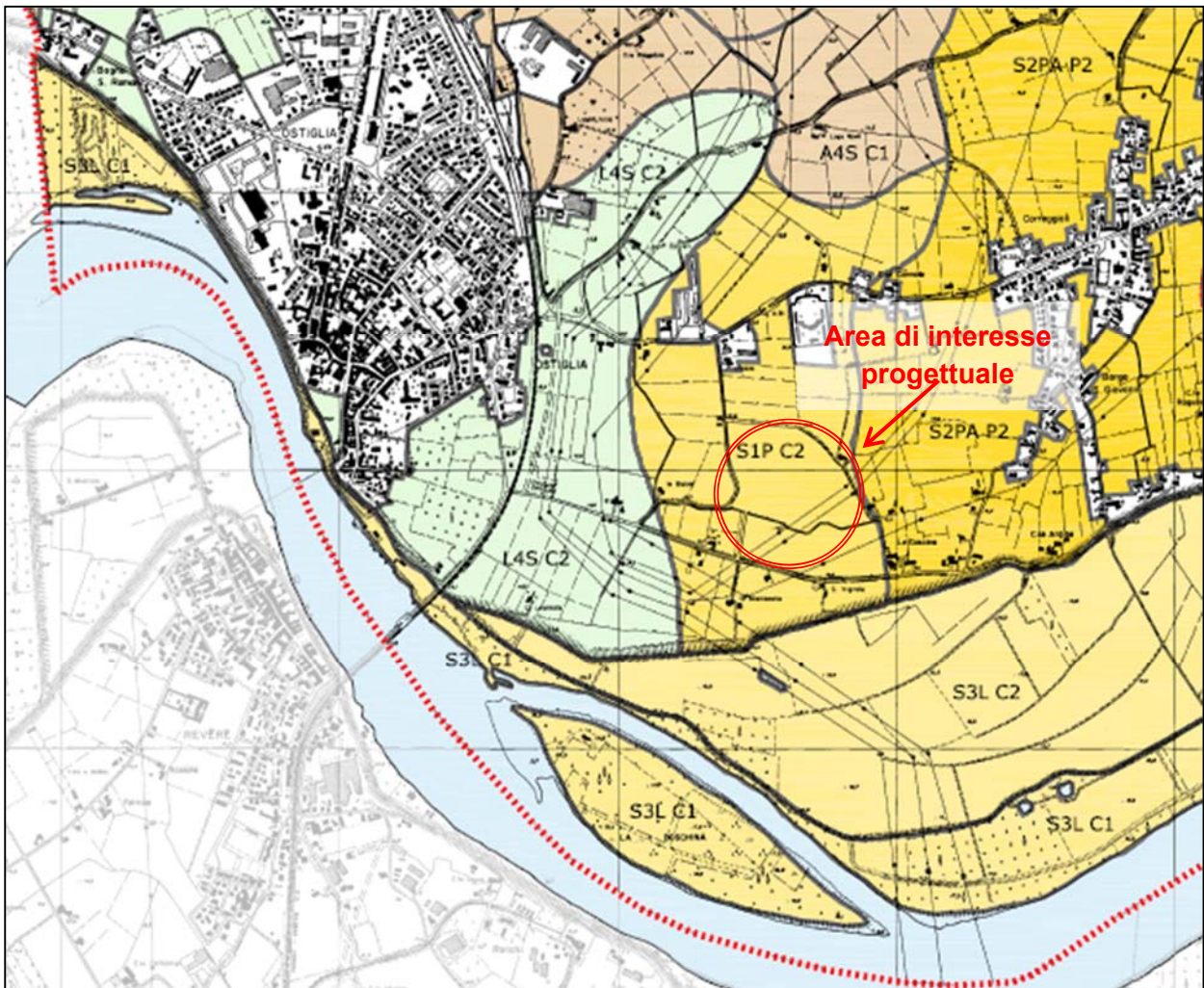


Figura 3 – Stralcio Carta Geologica comunale centrata sull'area di Centrale

Unità ad argille dominanti:



A4 C2: Argille, suoli calcarei o molto calcarei mediamente profondi

A4 C3: Argille, suoli calcarei o molto calcarei molto profondi

A4S C1: Argille con sabbia, suoli calcarei o molto calcarei poco profondi

A4S C2: Argille con sabbia, suoli calcarei o molto calcarei mediamente profondi

A4S C2/S3L C3: Alternanza di strati con diversa composizione litologica - Argille con sabbia / Sabbie limose, suoli calcarei o molto calcarei da mediamente a molto profondi

A4S P3: Argille con sabbia, suoli scarsamente calcarei molto profondi



A4T: Argille organiche e/o torbose, suoli sottili

Unità a limi dominanti:



L4S C2: Limi con sabbia, suoli calcarei o molto calcarei mediamente profondi

L4S C3: Limi con sabbia, suoli calcarei o molto calcarei, molto profondi

L4S P2: Limi con sabbia, suoli scarsamente calcarei, mediamente profondi

Unità a limi frammati a sabbie:



L5S C2: Limi sabbiosi, suoli calcarei o molto calcarei mediamente profondi

Unità a sabbie dominanti:



S1P C2: Sabbie poco gradate, suoli calcarei o molto calcarei mediamente profondi

Unità a sabbie frammiste a locali depositi fini (limi e argille):



S2PA P2: Sabbie poco gradate con argilla, suoli scarsamente calcarei, mediamente profondi

Unità a sabbie con locali depositi fini (limi e argille):



S3L C1: Sabbie limose, suoli calcarei o molto calcarei poco profondi

S3L C1/L4 C2: Alternanza di strati con diversa composizione litologica - Sabbie limose / Limi, suoli calcarei o molto calcarei, da poco a mediamente profondi

S3L C2: Sabbie limose, suoli calcarei o molto calcarei mediamente profondi



Aree idriche



Confine comunale

Figura 4 – Legenda Carta Geologica comunale

4 ASSETTO STRUTTURALE

4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE

Per quanto concerne l'evoluzione geologico strutturale di questo settore della pianura a partire dal Pliocene inferiore fino a tutto il Pleistocene si evidenzia una lenta subsidenza generalizzata, non compensata dalla sedimentazione (Figura 5-Baraldi et alii, 1980).

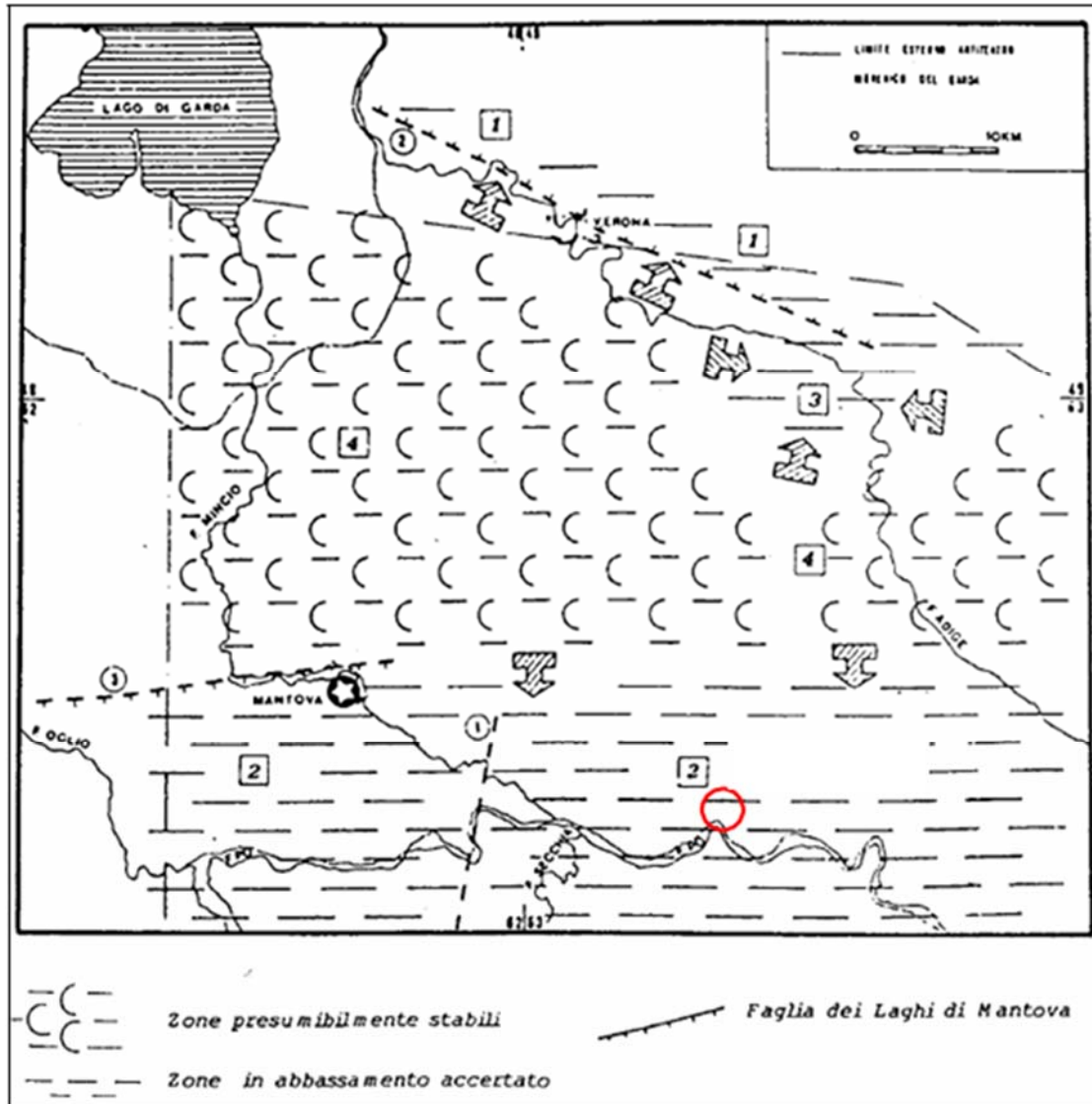


Figura 5 – Carta della Neotettonica (18.000-Attuale) – (Da Baraldi F., 1980)

Nell'intervallo successivo (fino a 18.000 anni fa) si assiste ad un progressivo riempimento del bacino ed il motivo tettonico predominante continua ad essere l'abbassamento generalizzato di tutta l'area; tale movimento è stato dedotto dagli Autori in relazione al notevole spessore dei sedimenti continentali.

4.2 FAGLIE ATTIVE E CAPACI

L'Italia si colloca nel settore centrale del bacino Mediterraneo, caratterizzato da un complesso mosaico geodinamico, contraddistinto attualmente da zone di convergenza e di distensione con diverso grado di attività. In prevalenza, la deformazione crostale si distribuisce lungo sistemi di faglie riconoscibili in superficie, ma talvolta sepolti, e si manifesta con eventi sismici. Le numerose osservazioni sinora effettuate nel mondo indicano che il fenomeno della fagliazione superficiale diviene comune per terremoti crostali a partire da magnitudo intorno a 5.5-6, con rigetti e lunghezze di rottura sempre maggiori all'aumentare della magnitudo. In Italia, molti terremoti storici catastrofici (e.g., i terremoti del 1783 in Calabria, 1915 nel Fucino, 1980 in Irpinia, con magnitudo intorno a 7), sono stati associati a fenomeni di fagliazione superficiale con rigetti prossimi o superiori al metro. Studi paleosismologici hanno consentito di riconoscere fenomeni simili in epoca tardo Pleistocenica-Olocenica lungo varie strutture tettoniche considerate in precedenza inattive, dimostrandone una frequenza maggiore di quanto prima supposto. La fagliazione superficiale può indurre seri danni agli edifici e alle infrastrutture e quindi rappresentare una rilevante fonte di pericolosità, particolarmente nelle numerose aree densamente popolate ed industrializzate del territorio italiano.

Di conseguenza, la conoscenza approfondita e la precisa collocazione spaziale delle faglie in grado di produrre una significativa deformazione tettonica permanente in superficie (faglie capaci), assume un ruolo chiave per la mitigazione del rischio. L'importanza di valutare la pericolosità in termini di ground rupture viene indicata anche nell'Eurocodice 8 (parte 5 sulle fondazioni). Per queste ragioni, il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA ha sviluppato il progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults), che sintetizza le informazioni disponibili sulle faglie capaci che interessano il territorio italiano. ITHACA si propone, quindi, come strumento fondamentale per:

- a) analisi di pericolosità ambientale e sismica,
- b) comprensione dell'evoluzione recente del paesaggio,
- c) pianificazione territoriale e
- d) gestione delle emergenze di Protezione Civile.

Sebbene gran parte dei movimenti associati alle faglie capaci avvenga in associazione ad eventi sismici, lo scorrimento può raramente avvenire in modo lento, quindi asismicamente (creep). Deformazioni in superficie o a profondità prossime alla superficie lungo strutture fragili possono essere indotte in Italia anche da fenomeni endogeni, non riferibili direttamente alla tettonica crostale, tra i quali:

- Attività vulcanica
- Tettonica salina
- Compattazione differenziale dei sedimenti

L'area di interesse progettuale si colloca in un'area che dista circa 6 km sia da una faglia distensiva (ad ovest) che da una compressiva (a sud) (Figura 6).

Dalla consultazione del *Database of Individual Seismogenetic Sources* (DISS) che raccoglie tutti i dati, i testi, la bibliografia e le prove della presenza di elementi tettonici, faglie, evidenze paleosismologiche e sismiche, presenti sul territorio italiano, si osserva che il territorio di Ostiglia si trova nei pressi di sorgenti sismogenetiche individuali (ITDS074 Nogara e ITCS050 Poggio Rusco-Migliarino) (Figura 7).

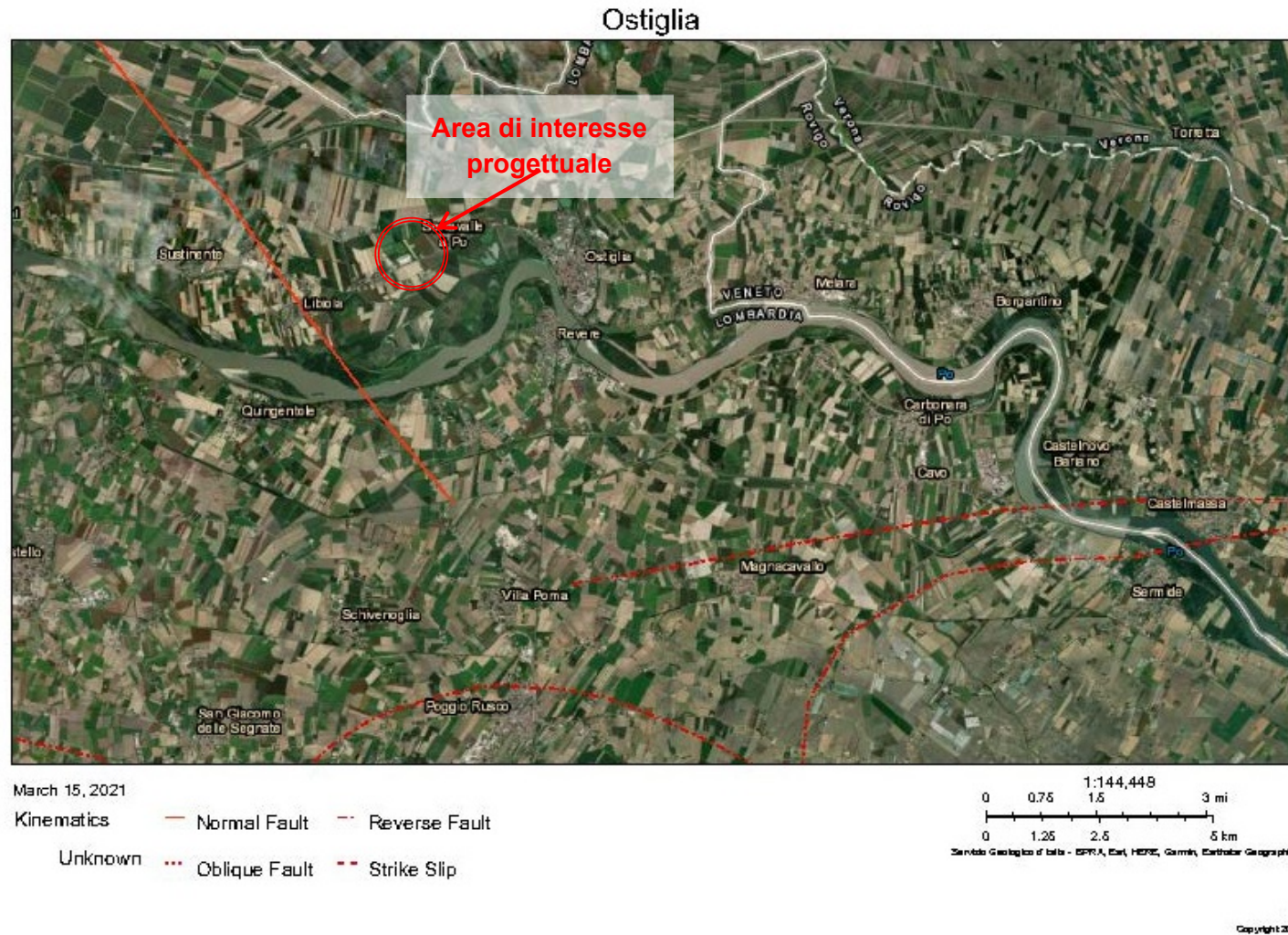


Figura 6 – Carta delle Faglie Capaci (progetto Ithaca).

Centrale di Ostiglia (MN)

Relazione geologica per l'installazione di una nuova unità a Ciclo Combinato e interventi di miglioramento ambientale sui gruppi esistenti

Rev. Marzo 2021

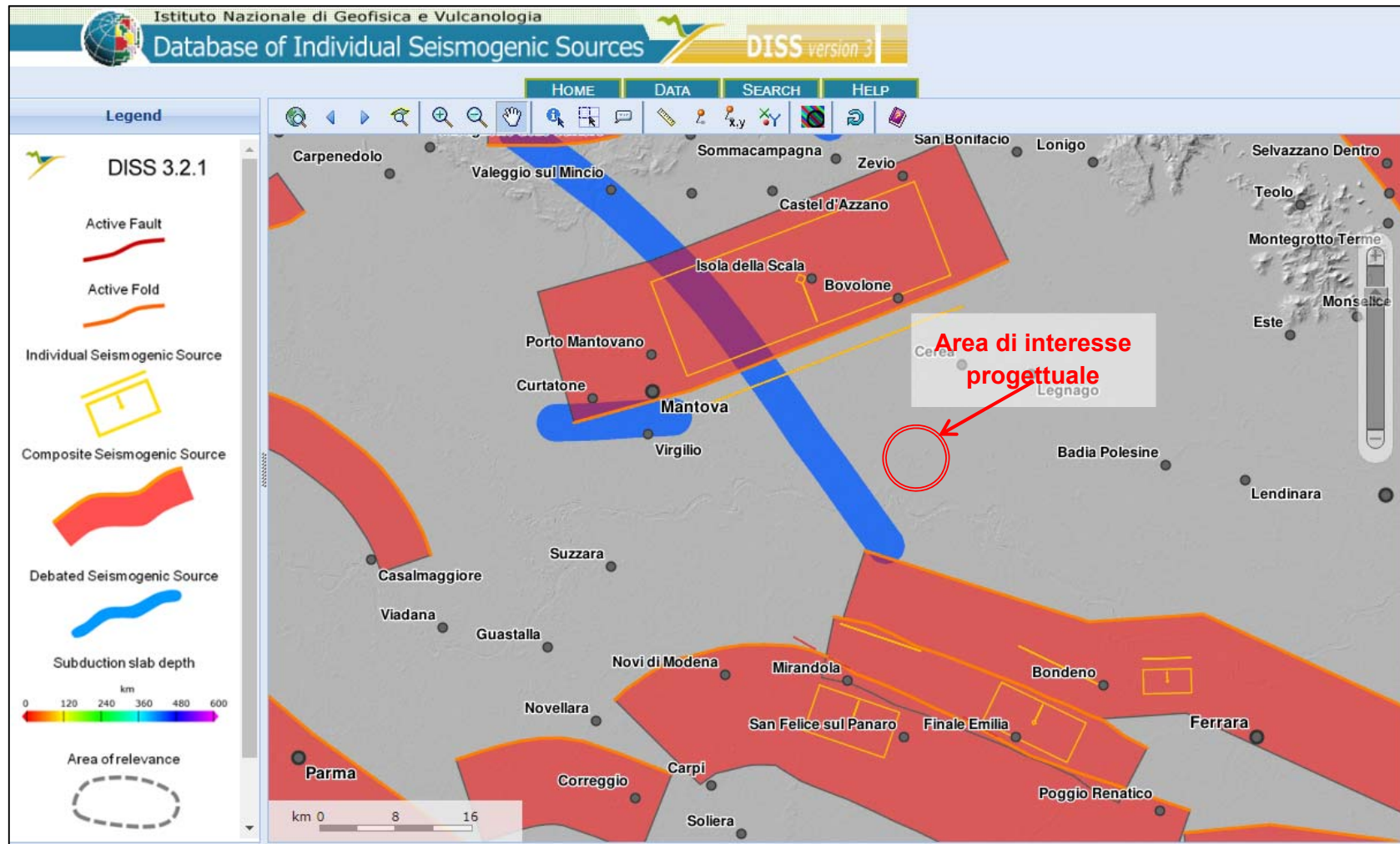


Figura 7 – Carta delle Sorgenti Sismogenetiche (progetto DISS).

Centrale di Ostiglia (MN)

Relazione geologica per l'installazione di una nuova unità a Ciclo Combinato e interventi di miglioramento ambientale sui gruppi esistenti

Rev. Marzo 2021

5 ASSETTO GEOMORFOLOGICO

5.1 CONDIZIONI MORFOLOGICHE DI AREA VASTA

L'area di interesse progettuale ricade, come detto, all'interno della bassa pianura mantovana, in un contesto territoriale in cui il paesaggio è caratterizzato dalla presenza di morfotipi poco evidenti. Tali forme sono essenzialmente legate a processi di origine alluvionale e fluvio-glaciale.

Come già segnalato in precedenza, detto settore di pianura si è formato dall'evoluzione della piana proglaciale, in cui i sedimenti di origine fluvio-glaciale che la costituiscono sono stati ricoperti, nella parte settentrionale del territorio comunale, dalle alluvioni sub-boreali del Mincio, del Tartaro, dell'Adige e di altri corsi d'acqua minori; diversamente, nel settore meridionale, è stato il Po, in tempi più recenti, a depositare alluvioni sopra il sub-strato fluvio-glaciale che non è più rinvenibile entro il profilo pedologico.

Ciò premesso, lo studio geomorfologico comunale ha consentito di riportare analiticamente le forme di erosione e di accumulo presenti nel territorio comunale, interpretandone la genesi in funzione dei processi geomorfologici attuali e passati, valutandone lo stato di attività.

Si evidenzia che le quote su cui si sviluppa il territorio comunale variano da un minimo di 9 m s.l.m. nella zona del confine nord-orientale, ad un massimo di 16 m s.l.m. in corrispondenza dell'insediamento urbano e nel settore nord dell'area.

Queste due ultime aree si trovano infatti su una piccola dorsale che attraversa l'area comunale con direzione N-S, partendo dal fiume Po fino al confine settentrionale e separando le zone di basso moderate del settore occidentale da quelle delle depressioni orientali che scendono progressivamente verso le valli "Grandi Veronesi".

Altre zone di alto, seppur meno continue e molto più articolate, si trovano rispettivamente in corrispondenza di Bagno San Romano, dove si sviluppa un dosso con direzione perpendicolare all'argine proseguendo verso NE e si biforca secondo due diramazioni principali in prossimità di Arginino Grande e in corrispondenza di Borgo San Giovanni e Correggioli.

In quest'ultima zona, i dossi sono interrotti da zone dove antiche rotte degli argini causarono la formazione di ventagli di esondazione.

Piccoli dossi isolati, riconducibili a differenti meccanismi genetici, si trovano nelle zone più lontane dal Po, in particolare nel settore zona nord-orientale, caratterizzato dall'attività fluviale di Mincio, Tartaro Tione e Adige. I lembi di dossi rinvenibili in prossimità della località di Ponte Molino, sembrano, infatti, riconducibili a lembi di antichi dossi legati ad antiche fasi erosive dei corsi d'acqua del settore settentrionale del comune. I terreni presenti in queste aree sono generalmente costituiti da materiali più grossolani di quelle che si rinvengono nelle zone di basso.

Diverse tracce di questa dinamica erosiva si rinvengono nel settore a nord del Canal Bianco, dove alcuni paleoalvei risultano leggermente incassati, presentando superficialmente suoli argillosi e ricchi in sostanza organica.

Zone di basso si riscontrano in prossimità dell'agglomerato urbano di Correggioli e nella fascia a ovest di Ponte Molino. Ad est della S.S. 12, le zone di basso vanno a degradare verso le valli "Grandi Veronesi", evidenziando singole frammentarie zone depresse, chiuse e di modeste dimensioni che rappresentano piccoli avvallamenti discontinui.

Tracce di antiche esondazioni sono rintracciabili dall'osservazione della struttura morfologica in direzione SO-NE, dove si riscontrano una serie di digitazioni allungate ed orientate nella direzione di flusso delle acque come nell'area di Comuna Santuario.

In merito alla presenza ed individuazione delle tracce di antichi percorsi (paleoalvei) seguiti dal Po nelle ultime fasi di formazione di questo settore di pianura, si segnala che dette strutture risultano colmate da sedimenti di varia natura, perlopiù rappresentati da spesse ed estese bancate di argille e limi, alternati con livelli sabbiosi.

L'effettiva delimitazione dei paleoalvei risulta abbastanza controversa poiché, sia per via degli agenti atmosferici, sia delle attività antropiche condotte nel corso degli anni si è avuto un parziale mascheramento in superficie di tali elementi.

Inoltre considerato che nel caso di tratti di fiume dove prevale un andamento meandriforme ben sviluppato, come accade per il Po in territorio ostigliese, le variazioni di litologia tra il paleoalveo ed il territorio circostante risultano non facilmente definibili, in quanto la bassa energia di trasporto fa sì che la sedimentazione all'interno dell'antico alveo abbandonato sia in ogni caso caratterizzata da sedimenti fini.

Nella rappresentazione geomorfologica i paleoalvei principali sono riscontrabili nell'area compresa tra il nucleo urbano e i centri di Correggioli e Borgo San Giovanni, dove si evidenzia la traccia di un'antica ansa fluviale con concavità verso sud; altri elementi si riscontrano a est di Casteltrivellino e soprattutto nel settore centrale del territorio comunale.

L'osservazione comparata tra la litologia di superficie e l'andamento dei paleoalvei conferma quanto detto precedentemente riguardo ai rapporti tra questi due fattori, infatti le tracce dei paleoalvei coincidono a seconda delle aree con litologie differenti, da sabbie ad argille con una generale tendenza ai depositi prevalentemente sabbiosi nelle zone prossimali al Po e a quelli prevalentemente limoso-argillosi nelle zone distali.

La presenza di questi elementi si conferma quindi non essere in assoluto un'indicazione di precise variazioni litologiche rispetto alle aree circostanti, ma comunque è fondamentale per comprendere l'evoluzione sedimentologica dell'area.

Un cenno meritano, infine, gli ultimi lembi di palude ancora esistenti a nord di Ostiglia, al confine con i territori del basso veronese; essi si trovano in corrispondenza del Busatello e di Ponte Molino, aree in cui gli antichi fiumi rallentavano notevolmente la loro velocità, impaludandosi.

5.2 EVOLUZIONE MORFOLOGICA DELLA RETE IDRICA

Le arginature maestre, continue su entrambe le sponde, arrivano fino a 22÷23 metri di altezza s.l.m. ed hanno fatto sì che tutta l'evoluzione recente dell'alveo avvenisse all'interno di esse.

L'elevata distanza delle arginature delimita lungo l'asta una grande area che svolge essenziali funzioni di laminazione (golene chiuse).

In questo tratto dell'asta fluviale, l'alveo di magra è sostanzialmente monocursale, caratterizzato da arginature parallele prossime alle sponde che limitano l'estensione delle zone golenali fino in prossimità dell'alveo inciso.

Centrale di Ostiglia (MN)

In particolare, nel tronco medio inferiore, la forma tipica dell'alveo del Po presenta:

- un alveo maggiore, compreso fra gli argini maestri, con larghezze variabili fino a valori che sono, per lunghi tratti, superiori ai 2.000 m, in cui sono comprese le aree golenali;
- un alveo medio, all'interno dell'alveo maggiore, inciso rispetto al livello delle golene, di larghezza variabile attorno a valori di 450-500 m.

L'evoluzione morfologica dell'alveo inciso risulta estremamente lenta e di modesta entità; non si osservano modificazioni significative nel periodo recente, a partire dal 1991; i fenomeni erosivi di sponda sono localizzati e di entità molto modesta. L'alveo di magra è oggi pressoché interamente sistemato per la navigazione e caratterizzato da un assetto sufficientemente stabile.

In merito alle tendenze evolutive dell'alveo inciso del Fiume Po, l'analisi dell'evoluzione morfologica dell'alveo inciso nel periodo successivo o contestuale alla realizzazione delle opere di navigazione (intervallo considerato 1943-2003), ha confermato che l'evoluzione geomorfologica e sedimentologica dell'alveo inciso nel tratto navigabile, fino alla configurazione 2005, è stata fortemente condizionata dalle opere di navigazione e dalla attività estrattiva in alveo.

In riferimento al periodo 1954-1991, sulla base di alcune sezioni Brioschi e in particolare alle n. 50 (Ostiglia – 2 km a monte del ponte F.S. BO-VR), n. 51 (Ostiglia – 2 km a monte del ponte F.S. BO-VR) e n. 53 (Ostiglia – ponte F.S. BO-VR), si evidenzia un abbassamento significativo del fondo alveo che raggiunge valori compresi tra 3,03÷3,94 metri.

Gli abbassamenti più significativi si sono verificati nei periodi 1954-1969 e 1969-1979, mentre dal 1979 al 1991 si registra una tendenza all'attenuazione del trend.

Nel periodo compreso tra gli anni 1979 e 2005 si registra un sostanziale equilibrio del profilo di fondo medio dell'alveo, con abbassamento inferiori al metro e con l'instaurarsi di episodi di recupero della quota di fondo.

Pertanto, sulla base delle considerazioni sopra esposte, è possibile affermare come il trend evolutivo dell'abbassamento dell'alveo in questi ultimi anni non sia esaurito e l'attuale tendenza all'attenuazione o a un leggero recupero delle quote minime sia strettamente correlabile alla rigorosa limitazione attuata sulle asportazioni di inerti dall'alveo attivo.

5.3 Condizioni geomorfologiche dell'area di Centrale

L'area di Centrale di interesse progettuale si sviluppa, ad una quota di circa 14,0 m s.l.m., nell'ambito della "piana alluvionale recente ed attuale" in corrispondenza di tracce di "paleovalvei" del Fiume Po (Figura 8-Figura 9).

Data la morfologia dei luoghi non si rilevano forme di dissesto attive che possano interessare le aree oggetto di progettazione.

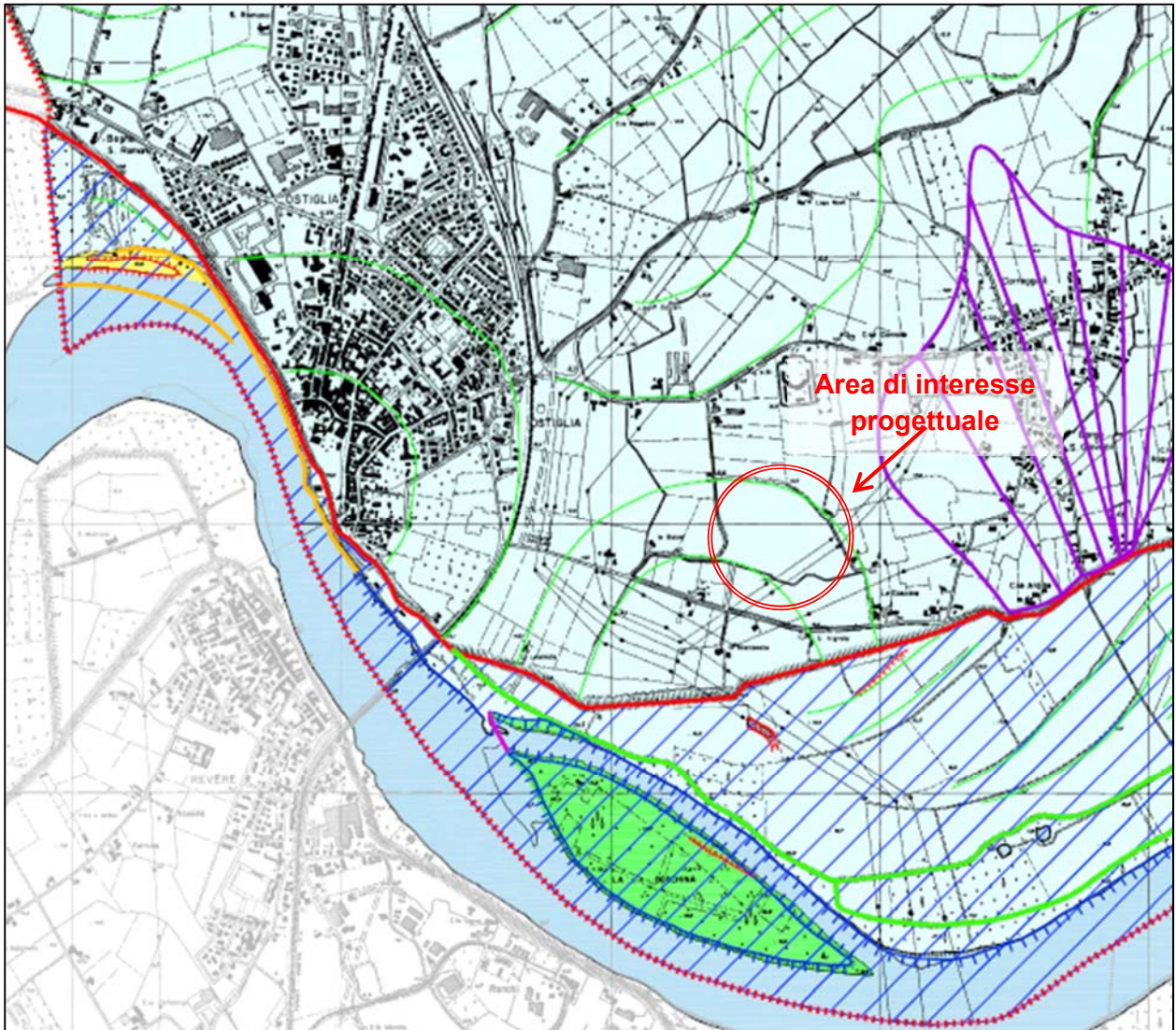













Figura 8 – Stralcio Carta Geomorfologica comunale centrata sull'area di Centrale

AMBITI GEOMORFOLOGICI

-  Media planura Idromorfa
-  Planura alluvionale attuale e recente
-  Piana di esondazione del fiume Po

FORME, PROCESSI E DEPOSITI LEGATI ALLE ACQUE SUPERFICIALI

-  Orlo di scarpata (h < 5 m)
-  Sponda alta (fiume Po)
-  Area morfologicamente depressa (limite meridionale)
-  Paleoalveo
-  Ventaglio di esondazione
-  Area paludosa
-  Barra di meandro
-  Barra laterale

FORME ANTROPICHE

-  Argine maestro
-  Argine golenale
-  Opera di difesa longitudinale
-  Opera di difesa trasversale
-  Laghetto di cava cessata

-  Aree idriche

-  Confine comunale

Figura 9 – Legenda Carta Geomorfologica comunale

5.4 ANALISI INTERFEROMETRICHE REGIONE LOMBARDIA

Recentemente l'ARPA Lombardia ha incaricato alcune ditte specializzate di effettuare elaborazioni interferometriche differenziali di scene SAR satellitari da piattaforma COSMOSkyMed, sia in orbita ascendente che discendente, con tecnica A-DInSAR, finalizzate allo studio di diversi dissesti presenti sul territorio regionale.

Il servizio messo a disposizione dal sito regionale contiene i dati puntuali derivati da analisi effettuate con tecniche di interferometria delle immagini radar satellitari nel periodo dal 1992 al 2014. L'elaborazione consente di evidenziare e monitorare i movimenti lenti del terreno legati a fenomeni franosi e di subsidenza e misurarne la velocità media in millimetri/anno.

Nella figura sottostante si riporta una mappa centrata sull'area di interesse progettuale (Figura 10) che evidenzia movimenti negativi del suolo (abbassamenti) con valori compresi tra -1,5 / -3 mm/anno.



Figura 10 – Mappa con ubicazioni punti di rilievo interferometrico (Regione Lombardia)

6 ASSETTO IDROGEOLOGICO

6.1 IDROGRAFIA SUPERFICIALE E CARATTERI EVOLUTIVI DEGLI ALVEI

La quasi totalità del territorio Ostigliese appartiene al bacino dei territori in sponda sinistra Po, mentre l'ambito territoriale a sud, delimitato dallo stesso fiume Po, appartiene all'area golenale (Figura 11).

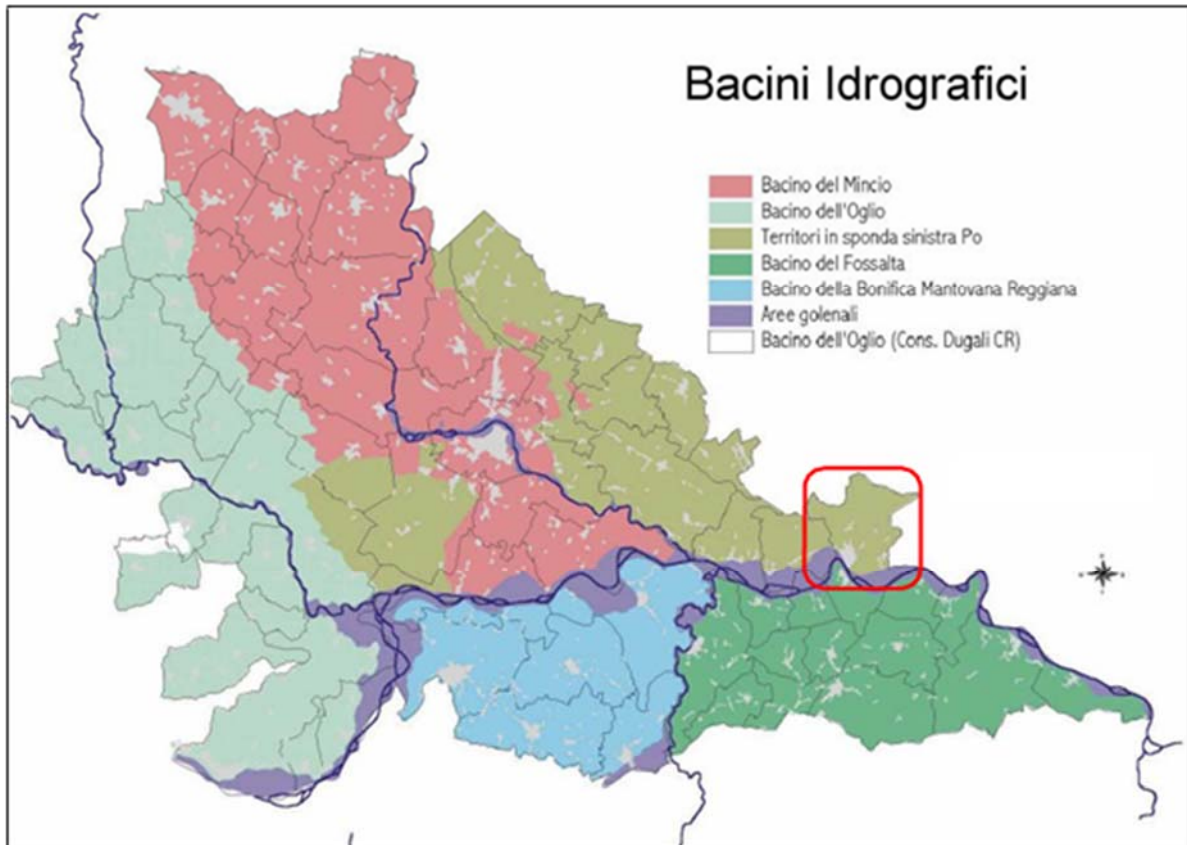


Figura 11 – Carta dei bacini idrografici della Provincia di Mantova.

Il reticolo idrografico deriva, oltre che dalla naturale evoluzione de fiumi Po e Tartaro, da una serie di successive modificazioni antropiche del sistema scolante iniziate in epoca romana e potenziate, in tempi più recenti, dagli Enti e Consorzi di Bonifica.

Il sommarsi di tali elementi ha portato all'attuale conformazione dell'assetto idrografico superficiale, costituito da un sistema di assi drenanti nel quale gli spartiacque superficiali più importanti sono costituiti a nord dal Canal Bianco, a est dal Dugale Madonna della Comuna, dal Dugale di San Sebastiano, dal Dugale di Correggioli e dal Dugale della Comuna Bellis, a sud dal Fiume Po e ad ovest dal Canale Canameletto.

Importante risulta il canale denominato "Fossa di Ostiglia", tombinato nel tratto ubicato all'interno del centro cittadino, per poi tornare a pelo libero in prossimità dell'impianto di depurazione, fino all'immissione in Canal Bianco.

L'elemento idrografico sicuramente più rilevante è rappresentato dal Fiume Po che come si è visto in precedenza ha contribuito in maniera importante alla modellazione del paesaggio.

Da un punto di vista idraulico, il Fiume Po nel tratto in esame, posto nella parte media e terminale del suo corso, tra la confluenza Mincio e l'incile del Delta, presenta un assetto di connotazione fortemente artificiale, il cui regime di flusso è influenzato in generale dalle condizioni idrologiche, geomorfologiche e delle opere di difesa e di sistemazione idraulica realizzate sull'asta fluviale.

Le escursioni di livello tra le condizioni ordinarie e di piena superano in questo tratto i 10 m.

Altro elemento distintivo è il complesso Fissero Tartaro Canal Bianco il cui bacino complessivo è stato perimetrato con D.P.R. del 01.06.1998; si tratta di un corso d'acqua artificiale che presenta molteplici finalità, quali di sistemazione idraulica, irrigua e navigazione interna.

Il Canal Bianco percorre l'intero territorio comunale con andamento ovest est, separando la zona a sud, comprendente gran parte del territorio comunale e sede dei principali nuclei urbani, dalla zona settentrionale prevalentemente ad uso agricolo.

Collegato a questo sistema esiste inoltre il complesso reticolato di rii e piccoli canali regimati ad uso irriguo e drenante che interessa buona parte del territorio comunale, rappresentato nella Figura 12 e relativa legenda (Figura 13).

Oltre al Fiume Po e complesso Fissero-Tartaro-Canal Bianco, si descrivono solo i corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrico principale:

- Busatello: posto nella porzione nord-occidentale del territorio comunale di Ostiglia, si sviluppa in direzione nord/sud dalla località di Casin Bordino, punto di confluenza dei fiumi Tartaro e Tione, al Canal Bianco a sud. La sua importanza è collegata alla presenza dell'oasi naturalistica della Palude di Ostiglia, il cui approvvigionamento idrico avviene per mezzo di un'idrovora posta in territorio veronese; la sua vallecchia infatti, risulta pensile rispetto alla campagna circostante.
- Acque Basse: posto nella porzione nord-occidentale del comune, entra in territorio ostigliese per qualche centinaio di metri, scaricando le proprie acque nel Canal Bianco.
- Canameletto: drena con andamento SO-NE la porzione sud-occidentale del territorio comunale, scaricando le proprie acque nel Canal Bianco, all'interno della fascia compresa tra l'area di pertinenza portuale e la linea ferroviaria dismessa Legnago-Ostiglia, nelle vicinanze della località Calandre. Fossetta di Ostiglia: tombinato nel tratto ubicato all'interno del centro cittadino, per poi tornare a pelo libero in prossimità dell'impianto di depurazione, fino all'immissione in Canal Bianco, scorre nella parte meridionale del territorio comunale con andamento S-N.

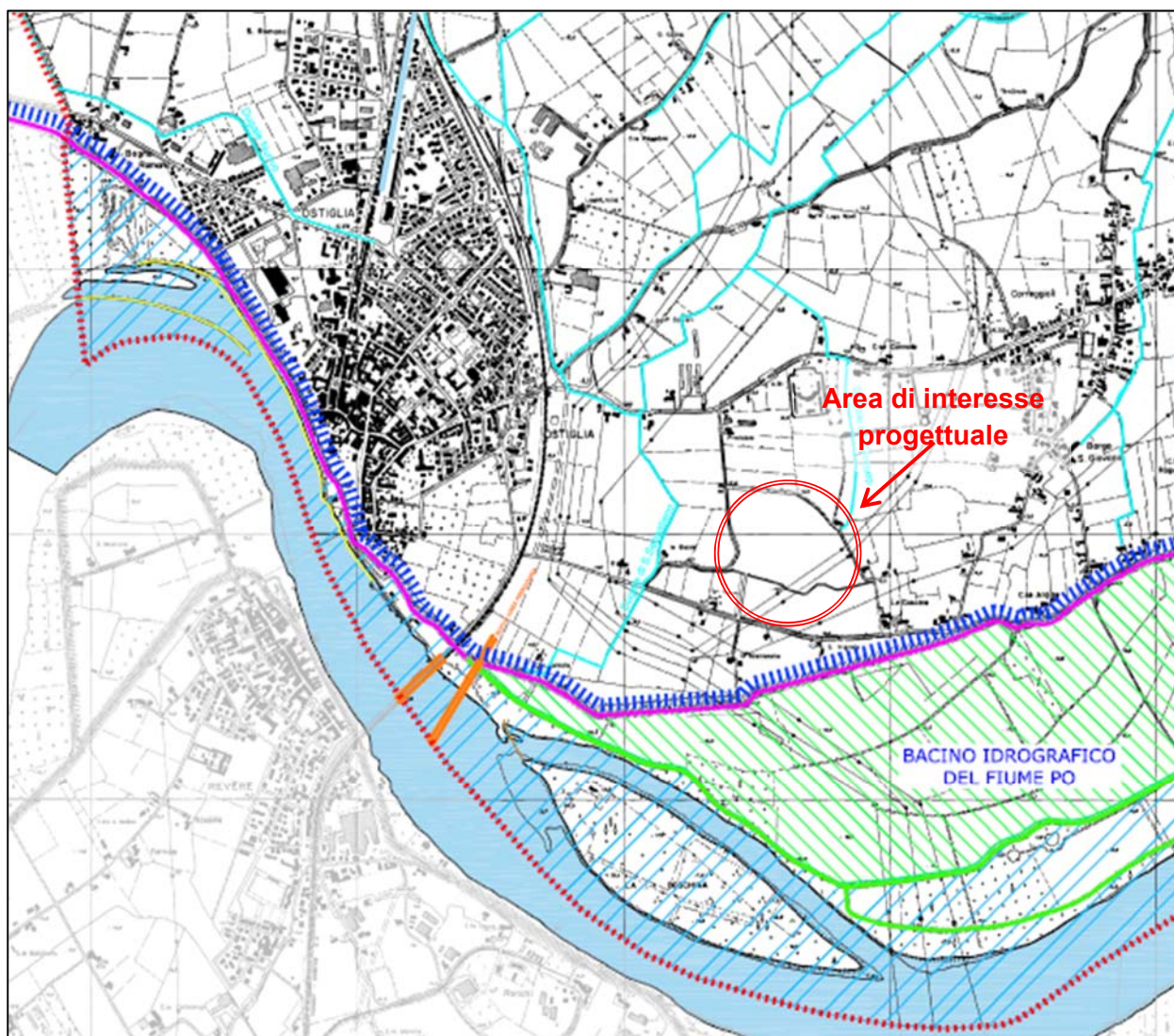


Figura 12 – Stralcio della Carta del reticolo idrografico comunale.



Figura 13 – Legenda Carta del reticolo idrografico comunale.

6.2 ASSETTO IDROGEOLOGICO

6.2.1 Caratteri idrogeologici regionali

La pianura lombarda, all'interno della quale ricade il territorio comunale di Ostiglia, rappresenta una delle maggiori riserve idriche europee, la cui struttura idrogeologica è caratterizzata dalla presenza di potenti livelli acquiferi sfruttabili, in particolare nella media (in massima parte compresa tra 100 e 50 metri s.l.m.) e bassa pianura (posta in massima parte al di sotto dei 50 metri s.l.m.).

La Relazione Generale del Programma di Tutela delle Acque della Regione Lombardia (P.T.U.A.), nella Tavola 9 "Aree di Riserva e di Ricarica e captazioni ad uso potabile", individua le varie zone presenti in Provincia di Mantova, ovvero:

- macroarea di riserva compresa nei bacini idrogeologici di pianura: interessa tutta la provincia di Mantova;
- aree di riserva ottimale: interessa la porzione di territorio mantovano posta a sud delle colline moreniche lungo l'allineamento Castel Goffredo-Goito-Roverbella nonché la fascia territoriale orientale posta in sinistra del fiume Mincio e a nord del fiume Po, per cui anche il territorio comunale di Ostiglia;
- aree di riserva integrative: non sono presenti in territorio mantovano;
- aree di ricarica degli acquiferi profondi: interessano la porzione di territorio mantovano posta al piede delle colline moreniche (fascia pedecollinare) nonché le aree inframoreniche.

Per quanto riguarda la struttura degli acquiferi si fa riferimento in particolare allo Studio della Regione Lombardia (2002), "Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia".

Nel sottosuolo della Regione Lombardia sono stati riconosciute quattro unità idrostratigrafiche (Gruppi Acquiferi A, B, C, D) a partire dal piano campagna; ciascun Gruppo Acquifero è stato descritto attraverso i parametri geometrici, stratigrafici, deposizionali e ambientali.

All'interno di ogni Gruppo Acquifero vi è un'ulteriore compartimentazione in unità idrostratigrafiche di rango inferiore (Complessi Acquiferi), a loro volta separati da setti impermeabili caratterizzati da una più limitata continuità laterale.

Nell'area di studio sono presenti i Gruppi A e B.

- Il Gruppo Acquifero A, con età compresa tra 450.000 anni e il presente, ha un limite basale posto a profondità comprese tra 200 e 250 metri sotto il livello medio del mare. Lo spessore cumulativo dei livelli porosi permeabili è compreso tra 80 e 120 metri.
- Il Gruppo Acquifero B, con età compresa tra 450.000 e 650.000 anni dal presente, ha il livello basale considerato come interfaccia acqua dolce-salmastre posto tra 400 e 450 metri sotto il livello medio del mare.

Attualmente sia i pozzi privati che pubblici prelevano le acque dai vari livelli produttivi dei Gruppi Acquiferi A e B.

- I depositi del Gruppo Acquifero C sono privi di livelli acquiferi utili in quanto saturi di acque salmastre.

Con riferimento all'Allegato 3 della già citata Relazione Generale del Programma di Tutela ed Uso delle Acque della Regione Lombardia, in cui è stata eseguita una suddivisione della Regione

Centrale di Ostiglia (MN)

in bacini a loro volta suddivisi in settori, con caratteri idrogeologici omogenei, si osserva che il Comune di Ostiglia ricade nel Settore 9 “Ostiglia” del Bacino 5 “Oglio-Mincio” (Figura 14).

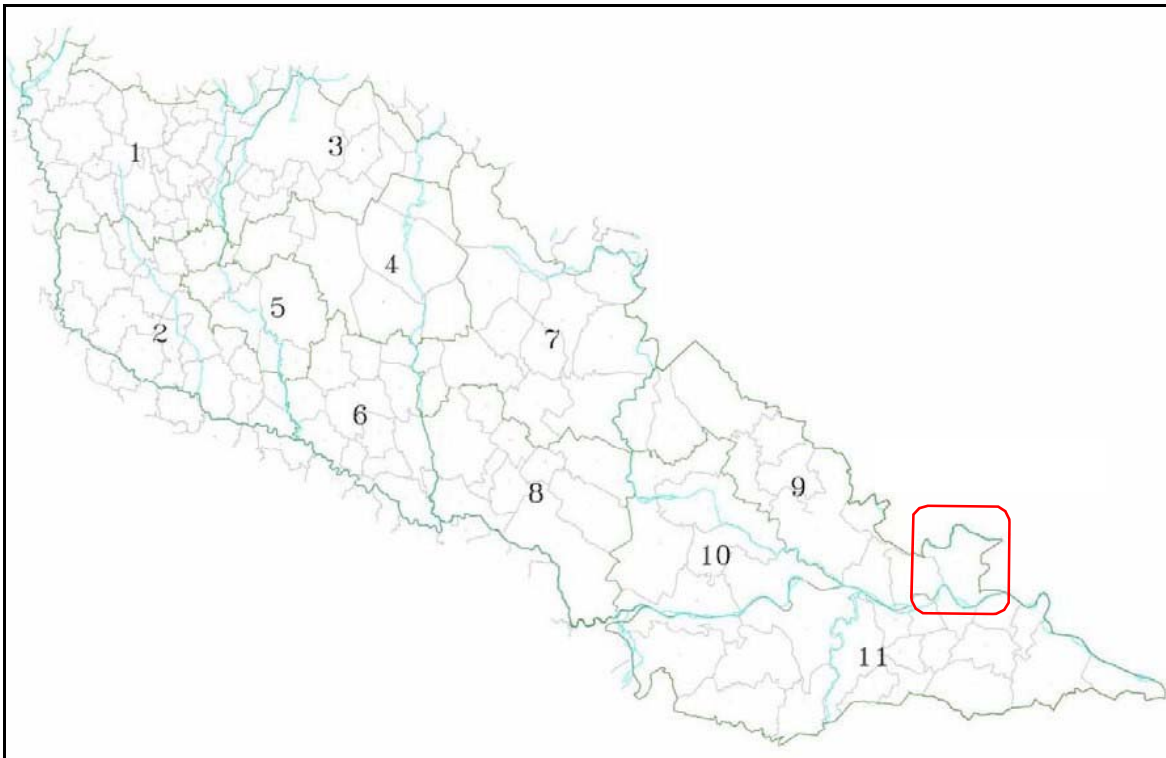


Figura 14 – Bacino 5 “oglio-mincio” con i relativi settori idrogeologici.

Il settore idrogeologico 9 “Ostiglia”, collocato nella parte orientale del Bacino 5, in adiacenza con il confine regionale e delimitato a sud dal Fiume Po, è caratterizzato da un acquifero differenziato la cui base si ritrova tra -80 e -140 metri s.l.m.; l'aquitard più o meno continuo di separazione tra falda superficiale e confinata è compresa tra le quote di -0 e -15 metri s.l.m. La trasmissività media è di $4,5 \cdot 10^{-2}$ mq/s.

6.2.2 Struttura degli acquiferi

Il territorio mantovano appartiene al grande bacino idrogeologico Padano, con un acquifero compreso mediamente tra i 400 e i 500 metri; la base può essere assunta, in prima approssimazione, in corrispondenza dell'interfaccia acque dolci-salate, posta a tale profondità. Nella Provincia di Mantova, tale acquifero è contraddistinto da caratteristiche piuttosto variabili, che, sulla base dello studio redatto da Baraldi F. e Zavatti A. (1994-Figura 15), permettono di suddividerlo in cinque Unità idrogeologiche:

- Unità idrogeologica delle Colline Moreniche
- Unità idrogeologica Pedecollinare
- Unità idrogeologica del Medio Mantovano – Laghi di Mantova
- Unità idrogeologica del sistema Chiese-Oglio
- Unità idrogeologica del Po – basso mantovano

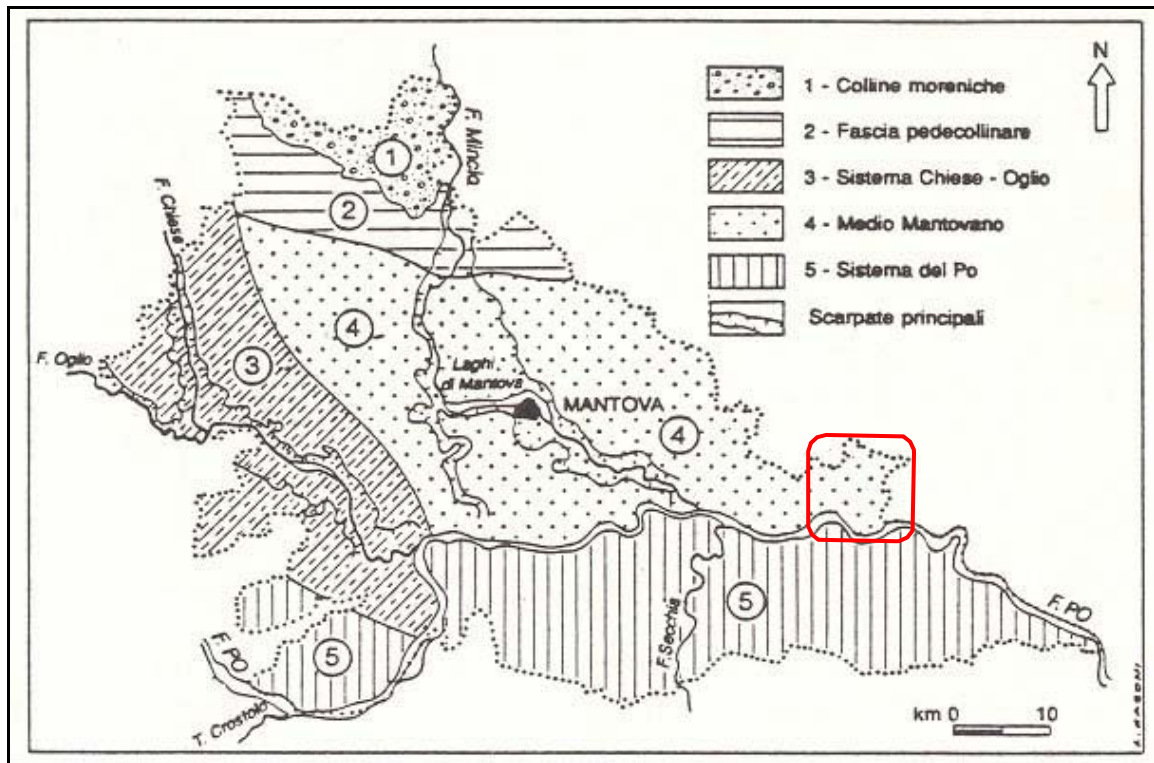


Figura 15 – Unità idrogeologiche – da studi sulla vulnerabilità degli acquiferi (F. Baraldi e A. Zavatti, 1992)

In tale studio, il territorio comunale di Ostiglia risulta interamente compreso nell'Unità idrogeologica del Medio Mantovano, che occupa il territorio compreso tra la fascia pedecollinare e il Fiume Po e sfuma a E nell'unità dell'Adige, in territorio veronese.

Tuttavia, dalle risultanze di uno studio condotto da Baraldi F. & Pellegrini M. (1976), curato da C.N.R. e I.R.S.A., si ritiene più attendibile che il territorio comunale di Ostiglia sia suddivisibile in due zone distinte, poste rispettivamente a Nord e a Sud rispetto all'alveo del Canalbianco.

La parte settentrionale del comune ricade nell'Unità idrogeologica del Medio Mantovano (Zona 13 nello studio sopra menzionato), le cui caratteristiche sono legate alle modalità di apporto dei fiumi Adige, Mincio, Tione e Tartaro e di altri scaricatori fluvio-glaciali minori, mentre la parte a Sud, compresa tra il Po e il canale stesso, ricade nell'ambito dell'Unità idrogeologica del Sistema Po (Zona 19), interessata principalmente dalle modalità di deposito del Po.

Tale distinzione degli ambiti idrogeologici trova riscontro nelle successioni idrostratigrafiche, ricostruite mediante le osservazioni ottenute dalle stratigrafie dei pozzi locali.

Nell'ambito del Medio Mantovano, la ricostruzione dei corpi acquiferi ha evidenziato la presenza del tetto della prima falda, sovrastata da depositi argilloso-sabbiosi e argilloso-limosi, ad una profondità di circa 15 metri; essa presenta spessori variabili tra 15 e 30 metri ed è ospitata da depositi costituiti da sabbie fini, caratterizzata da scarsa circolazione idrica. Seguono fino a 75-80 metri, fitte alternanze di livelli potenti 4-5 metri, costituiti da argille, argille sabbiose e sabbie fini. La seconda falda, il cui letto è localizzato a 100 metri di profondità, è ospitata in sabbie fini, a scarsa circolazione idrica. Al di sotto di una potente bancata prevalentemente argillosa, avente

Centrale di Ostiglia (MN)

uno spessore variabile da 35 a 45 metri, si rinviene la terza falda, ospitata in sabbie medie, a circolazione idrica relativamente abbondante.

La zona compresa nel Sistema Po evidenzia una successione idrostratigrafica caratterizzata dalla presenza del tetto della prima falda, ospitata in sabbie da medio-fini a grossolane miste a ghiaietto e sovrastata da sedimenti argillosi, argilloso-sabbiosi e/o limosi, a partire da 20 metri di profondità; essa presenta spessori variabili tra 20 e 30 metri.

La circolazione idrica è variabile, da scarsa a relativamente abbondante in relazione alla granulometria dei depositi. Alla base si ha un banco, potente 20-25 metri, costituito da argille sabbiose, limi e sabbie finissime. La seconda falda, rinvenibile tra i 60-65 e 80 metri, è ospitata da sabbie medio-fini; la circolazione idrica è scarsa.

Al di sotto di un altro banco impermeabile dello spessore di circa 25 metri, costituito da argille compatte nere, con lenti di torba, si riscontra la terza falda, ricca di acqua, compresa tra i 100 e i 135 metri; essa ha sede in sabbie da medie a grossolane, talora frammiste a piccole percentuali di ghiaietto.

La ricostruzione complessiva della successione stratigrafica dei depositi profondi fino alla quota di 130 metri da p.c. mette in evidenza una distribuzione dei vari livelli permeabili e impermeabili di tipo lentiforme, con frequenti variazioni sia in senso verticale che laterale, che configura un sistema caratterizzato da eteropia di facies tipica dei depositi di origine alluvionale.

Nello specifico, dall'esame delle sezioni stratigrafiche elaborate, le cui tracce hanno interessato quasi esclusivamente l'ambito dell'Unità idrogeologica del Sistema Po, è stato possibile individuare tre livelli acquiferi produttivi, in accordo con quanto evidenziato negli studi idrogeologici più generali precedentemente menzionati:

- un primo livello, presente tra 18/25 e 40/45 metri di profondità, ha sede in sabbie medio-fini, talora limose, produttive dal punto di vista idraulico solo in presenza di livelli sabbiosi a granulometria media e senza materiale matriciale (prima falda);
- un secondo livello, presente tra 55/65 e 75/80 metri di profondità, ha sede in sabbie fini, intercalato da depositi lentiformi limo-argillosi, produttivo solo in presenza di livelli sabbiosi (seconda falda) ;
- un terzo livello, presente tra 105 e 130 metri di profondità, ha sede in sabbie medio-grossolane, con orizzonti ghiaiosi fini, di maggiore produttività idraulica rispetto ai precedenti soprastanti (terza falda).

Nei primi 20 metri di profondità prevalgono depositi di natura limosa e limoso-argillosa, con intercalazioni sabbiose fini, generalmente poco permeabili anche se saturi d'acqua; all'interno di tali depositi, è ospitata la falda freatica.

La soggiacenza della falda freatica varia da un valore massimo pari a -2,50 metri dal p.c. nel pozzo ubicato in località Borgo San Giovanni, nell'estremità orientale del territorio comunale in prossimità del rilevato arginale, ad un minimo di -0,70 metri dal p.c. nel piezometro installato all'interno del comparto produttivo Canalbianco, ubicato nella porzione centrale del territorio comunale.

Tenendo conto del periodo in cui sono state eseguite le misure negli studi di pianificazione comunale, in linea di massima si può ritenere che:

- nei terreni a tessitura limoso-sabbiosa la superficie freatica tende ad essere ad una profondità superiore a 200 cm da p.c., poiché tali litologie moderatamente permeabili favoriscono l'infiltrazione e la percolazione delle acque meteoriche;
- nei terreni prevalentemente argillosi impermeabili o semi-permeabili, la frangia freatica risale verso la superficie fino a valori compresi tra 70 e 120 cm da p.c.;
- nei terreni a miscela ternaria (argilla-limo-sabbia) la soggiacenza della falda freatica superficiale si posiziona in genere a profondità comprese tra 130 e 200 cm da p.c..

In merito all'andamento della falda freatica è possibile distinguere due situazioni ben distinte: nella parte settentrionale del territorio comunale, a partire dal Canal Bianco, le isopiezometriche hanno un andamento che richiama la situazione regionale con il flusso delle acque sotterranee diretto da NO verso SE, essendo la zona di alimentazione posta nell'alta pianura. Al contrario, nella parte meridionale del territorio, le isopiezometriche presentano un andamento diretto da SSE verso NNO, risentendo della presenza del fiume Po, che svolge un'azione di alimentazione solamente a seguito di periodi di piena idrometrica del fiume stesso, facendo risentire i propri influssi fino a qualche chilometro di distanza. Sulla base delle considerazioni sopra esposte, si delinea la presenza di un importante spartiacque sotterraneo nella porzione centrale del territorio in esame, con andamento diretto da OSO verso ESE, sub parallelo al Canal Bianco.

6.2.3 Idrogeologia dell'area di Centrale

L'area di centrale oggetto di intervento si colloca in un'area ad elevata vulnerabilità idrogeologica, in cui si rileva una bassa soggiacenza della falda idrica sotterranea (isopieza 12 m s.l.m.) a circa 2 metri dal p.c. (Figura 16).

Il deflusso idrico sotterraneo assume una direzione NE-SW a deflusso settentrionale, ossia il Fiume Po si presenta prevalentemente disperdente.

Una sezione idrogeologica (B-B') ad andamento NW-SE riportata in Figura 18, mostra la ripetizione in profondità di livelli decametrici poco permeabili, a partire dai primi metri dal p.c., a cui seguono alternativamene livelli a maggiore e/o minore permeabilità.

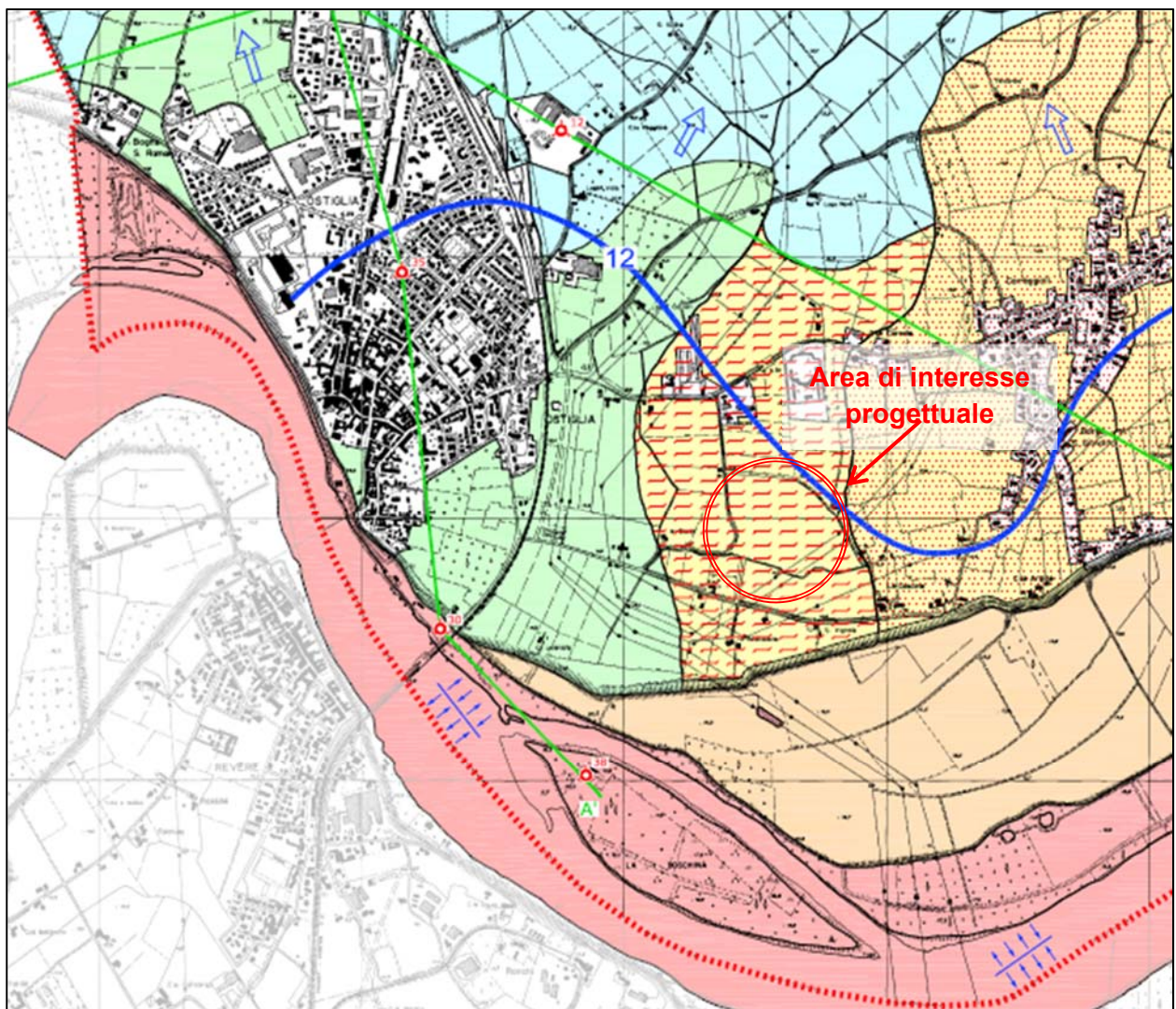








Figura 16 – Stralcio della Carta Idrogeologica comunale.

ELEMENTI IDROGEOLOGICI

-  Zona di transizione tra l'unità Idrogeologica del Medio Mantovano e del Sistema Po (spartiacque sotterraneo)
-  Isopleze con quote in metri s.l.m. (acquifero superficiale - dicembre 2009)
-  Direzione di scorrimento della falda acquifera sotterranea
-  Corso d'acqua a regime misto (drenante e disperdente) in funzione della stagionalità
-  Aree con possibile presenza di falde sospese
-  Aree a bassa soggiacenza della falda

GRADO DI VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO SUPERFICIALE

-  Basso
-  Medio
-  Alto
-  Elevato
-  Estremamente Elevato




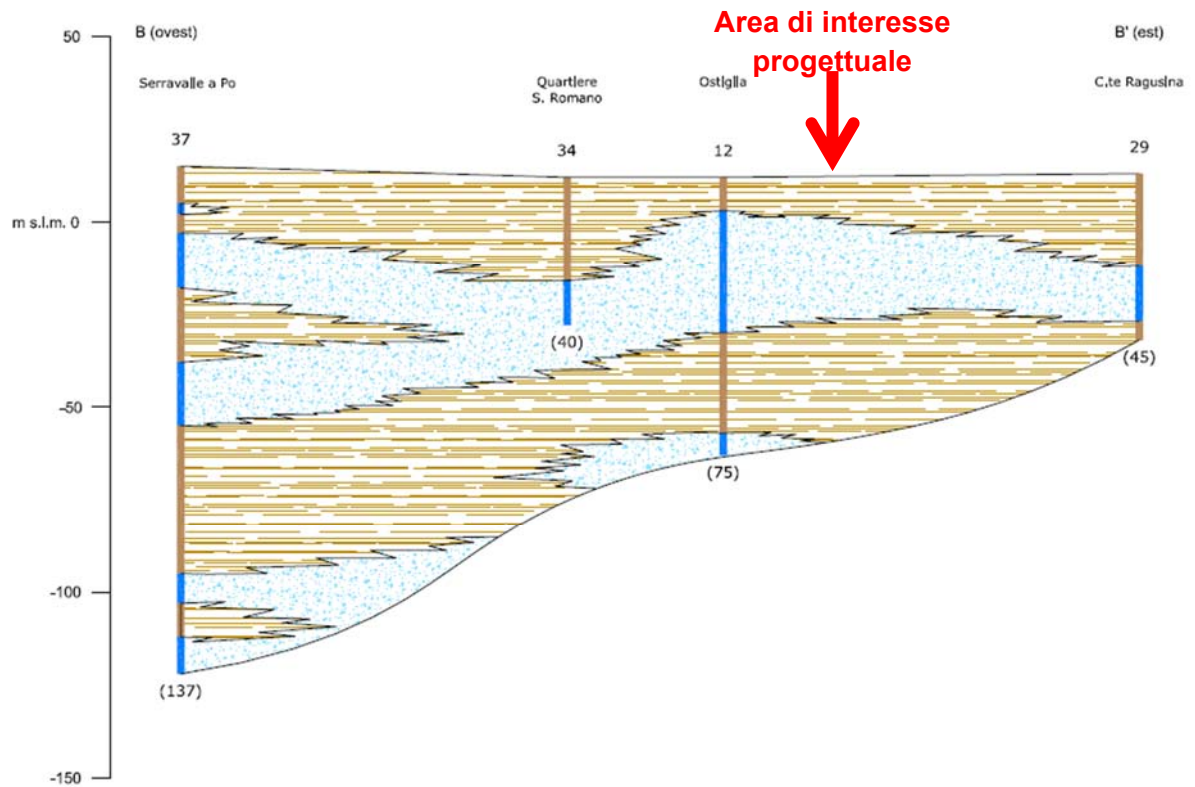
-  Traccia di sezione geologica
-  Pozzi a litostatigrafia nota con relativo codice
-  Confine comunale

Figura 17 – Legenda Carta Idrogeologica comunale.



35
(120)

Pozzo a litostratigrafia nota con relativo codice (profondità in m dal p.c.)



Depositi prevalentemente permeabili (sabbie e sabbie limose, talora con ghiaietto)



Depositi prevalentemente impermeabili (argille, argille limose e limi)

Figura 18 – Sezione idrogeologica B-B' inserita nella Carta idrogeologica comunale.

6.3 ANALISI DEL PAI - PGRA - LINEE GENERALI DI ASSETTO IDRAULICO E IDROGEOLOGICO SULL'ASTA DEL PO (TRATTO CONFLUENZA TANARO - DELTA) E RISCHIO ALLUVIONI

L'asta del Po è un sistema idraulico il cui assetto ha una connotazione prevalentemente artificiale ed il cui regime di deflusso è influenzato in generale dalle condizioni idrologiche, geomorfologiche e di sistemazione idraulica dell'insieme degli affluenti, oltre che naturalmente dalle opere di difesa e di sistemazione direttamente realizzate sull'asta fluviale.

Il territorio circostante, costituito dalle aree direttamente confinanti con il sistema arginale e dai sottobacini idrografici minori della pianura, direttamente afferenti all'asta fluviale, interessati da un reticolo idrografico in gran parte artificiale e a scolo meccanico per una porzione significativa, è soggetto ai livelli di piena di Po ed è pertanto interessato dai pericoli di esondazione in caso di rotte arginali. Viene quindi considerato per gli aspetti connessi al rischio idraulico.

L'asta del Po, dalla confluenza del Tanaro (bacino idrografico sotteso di 25.320 km² alla sezione di Isola S. Antonio) all'incile del Po di Goro (bacino idrografico sotteso di 70.091 km² a Pontelagoscuro) ha una lunghezza complessiva di circa 375 km. Gli affluenti principali, da monte verso valle, sono in sinistra l'Agogna, il Terdoppio, il Ticino, l'Olonza, il Lambro, l'Adda, l'Oglio e il Mincio; in destra lo Scrivia, il Curone, il Tidone, il Trebbia, il Nure, l'Arda, il Taro, il Parma, l'Enza, il Crostolo, il Secchia e il Panaro. Nel primo tratto, tra la confluenza del Tanaro e quella del Ticino, il corso d'acqua conserva ancora caratteri di tipo sostanzialmente torrentizio, nonostante la già elevata superficie sottesa, con una pendenza di fondo dell'ordine di 0,35 per mille e piene con picchi molto ripidi a rapido decorso ed escursioni di livello dell'ordine dei 7-8 m. La confluenza del Ticino, pur apportando un contributo di superficie sottesa di soli 6.600 km² (bacino idrografico alla Becca pari a 36.770 km²), comporta una trasformazione del regime del corso d'acqua in senso decisamente fluviale, in ragione dell'apporto idrico regolato, con un notevole contributo glaciale e trasporto solido assente, che alimenta gli stati di magra e di morbida; la pendenza media si riduce bruscamente al 0,18‰, per poi decrescere regolarmente e gradualmente verso valle fino a circa lo 0,14‰ all'altezza di Revere-Ostiglia (237 km a valle).

L'alveo mantiene caratteri di instabilità, condizionati dagli apporti degli affluenti alpini e appenninici, con andamento estremamente tortuoso e mobile, nel campo della tipologia pluricursale, lasciando tracce nella pianura circostante delle passate divagazioni. Le escursioni di livello superano i 10 m. Le arginature continue su entrambe le sponde hanno un tracciato molto irregolare, risentendo della loro origine frammentaria, con distanze che vanno da meno di 1.000 m a oltre 4.000 m. Proprio l'elevata distanza delle arginature maestre delimita lungo l'asta una grande area di laminazione della piena (invaso golenale), in parte aperta ed in parte delimitata da argini secondari che vengono tracimati solo in occasione delle piene maggiori. L'importanza di tale effetto è qualitativamente intuibile tenendo conto che a fronte di progressivo aumento verso valle della superficie del bacino idrografico sotteso (36.770 km² a Becca; 67.900 km² a Revere), la portata al colmo delle piene maggiori è normalmente massima a Piacenza o a Cremona e si riduce progressivamente verso valle, proprio in ragione dell'azione modulatrice esercitata dall'invaso nelle aree golenali.

Da valle di Revere-Ostiglia, e cioè oltre la foce del Mincio e del Secchia, all'incile del Delta le arginature si avvicinano all'alveo e incomincia il tronco inferiore del Po, caratterizzato da un alveo canalizzato tra le arginature, in alcuni tratti a distanze inferiori ai 500 m, che non riceve più apporti,

Centrale di Ostiglia (MN)

ad eccezione del Panaro, con una pianura circostante interessata da un reticolo idrografico minore, di bonifica prevalentemente a scolo meccanico. In questo tratto l'alveo attuale del Po è quello che si è formato a seguito della famosa rotta di Ficarolo in sponda sinistra, verificatasi verso l'anno 1140, per cui fu gradualmente abbandonato il vecchio alveo, che, passando per Ferrara, si suddivideva nei due rami di Volano e di Primaro, e estromesso il Reno, in precedenza affluente del Po; il corso oggi visibile, che forse ha occupato un colatore preesistente e ha dato anche inizio alla costruzione dell'attuale Delta, è il risultato di tale evento singolare, oltre che dei lavori di deviazione verso sud attuati a partire dal 1600 dalla Repubblica di Venezia.

Il PAI, edito dall' Autorita' di Bacino del Fiume Po, definisce le fasce di esondazione indicate alla sottostante Figura 19, da cui si osserva che l'area oggetto di studio è esterna alla Fascia C.

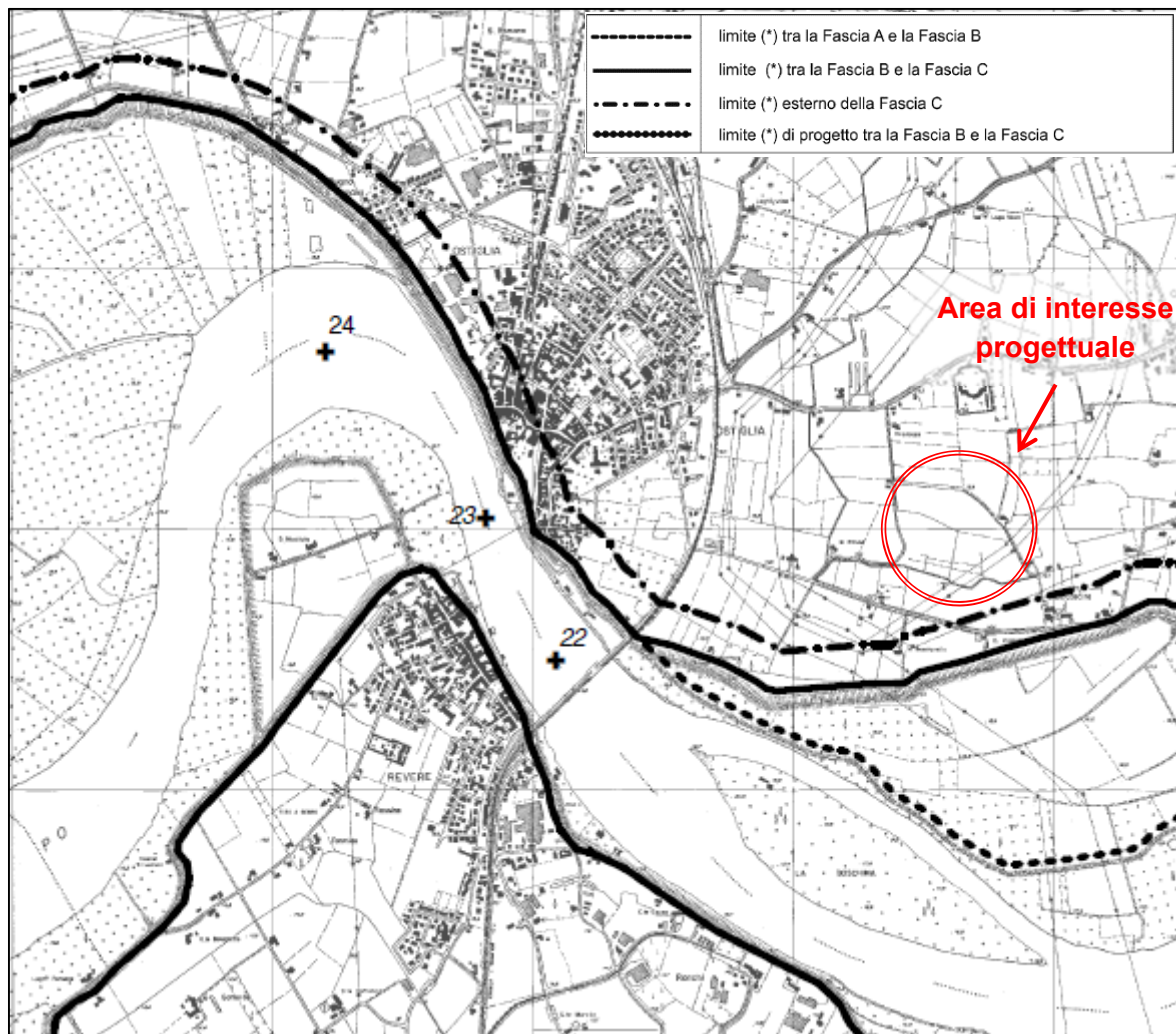


Figura 19 – AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO - Stralcio tavola di delimitazione delle fasce fluviali Interventi sulla rete idrografica e sui versanti - Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico - Scala originaria 1:25.000 - FOGLIO 166 SEZ. III – Ostiglia PO 09 SECCHIA 01

Anche le carte allegate al Piano di Gestione Rischio Alluvioni (Direttiva 2007/60/CE relativa alla Valutazione e Gestione dei Rischi di Alluvione) redatte dalla Segreteria Tecnica dell’Autorità di bacino del fiume Po, con il supporto specialistico operativo di Adriano Aimar di AIPo (2011), indicano che l’area di sedime delle opere in progetto ricade in una zona con scarsa probabilità di alluvione (TR500).

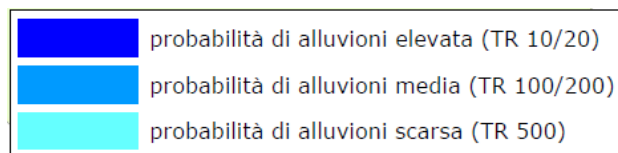
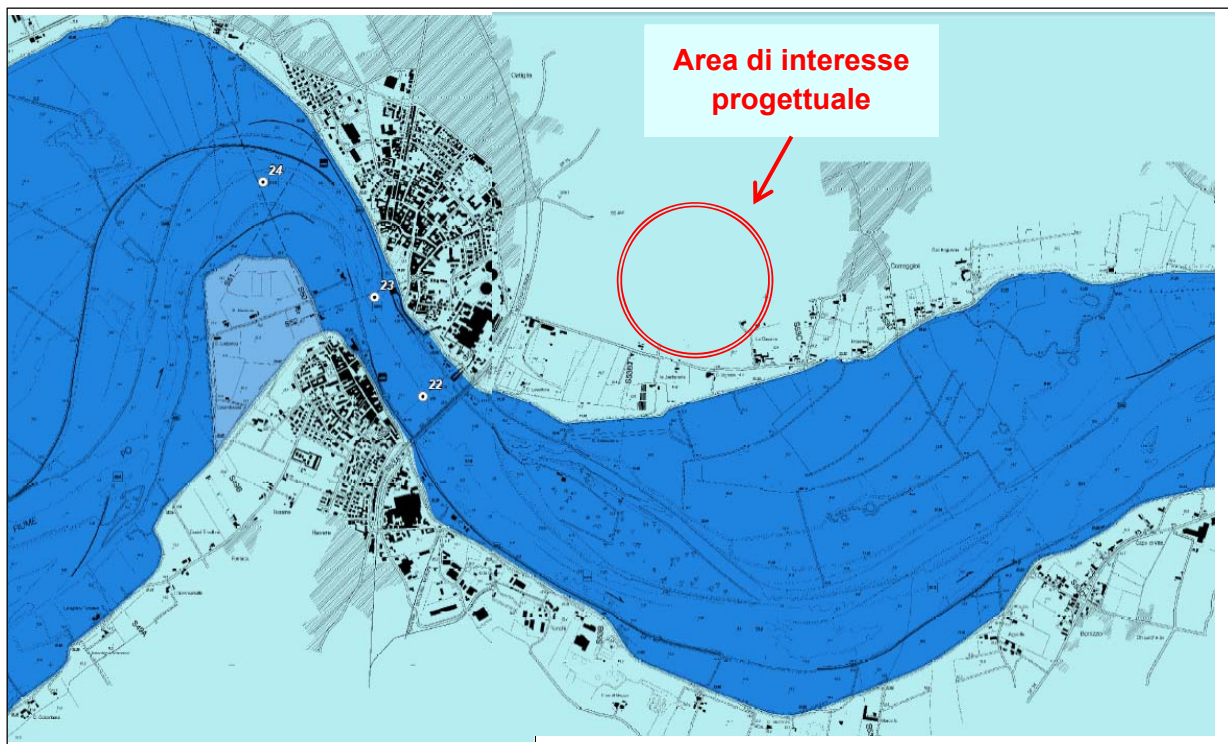


Figura 20 – Stralcio della mappa delle Aree Inondabili sul reticolo idrografico principale del Bacino del Fiume Po.

7 SISMICITÀ STORICA

7.1 ZONIZZAZIONE E ACCELERAZIONE SISMICA

Il Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018, recante “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” (c.d. NTC2018), entrato in vigore a partire dal 22 Marzo 2018 in sostituzione della precedente normativa di cui al D.M. 14 Gennaio 2008 (c.d. NTC2008) detta la normativa tecnica nazionale di riferimento per le costruzioni.

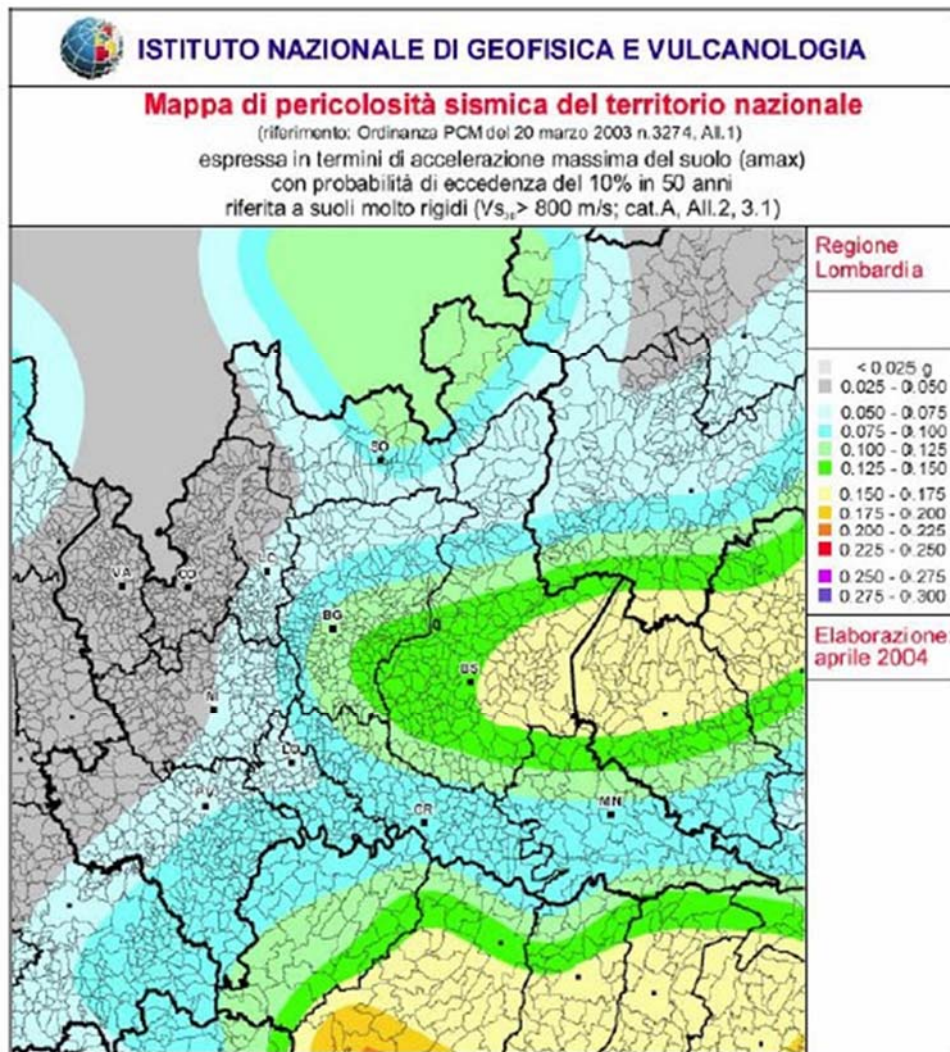


Figura 21 – – Mappa di pericolosità sismica: dettaglio per la regione lombardia (I.N.G.V., 2004)

Per effetto dell'entrata in vigore del Decreto Ministeriale ha cessato di avere efficacia la normativa tecnica dettata in via d'urgenza, per ragioni di pubblica incolumità, dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 maggio 2003, in seguito aggiornata dall'OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006, le quali fornivano l'individuazione delle zone sismiche del territorio nazionale, indicando, in un apposito allegato, la classificazione di ciascun comune.

Centrale di Ostiglia (MN)

Relazione geologica per l'installazione di una nuova unità a Ciclo Combinato
 e interventi di miglioramento ambientale sui gruppi esistenti

Rev. Marzo 2021

Il Decreto Ministeriale suddivide il territorio in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) su suolo di categoria A, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Il Comune di Ostiglia rientra nell'elenco dei comuni dichiarati a rischio sismico, il cui grado di rischio è funzione della zona in cui il territorio in esame viene assegnato; Ostiglia ricade in zona 3, per cui l'accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A risulta essere $0.05 < a_g \leq 0.15$.

La norma afferma che "Le zone 1, 2 e 3 possono essere suddivise in sottozone caratterizzate da valori di a_g intermedi rispetto a quelli riportati nella tabella (...) e intervallati da valori non minori di 0,025. In tal caso, i vari territori saranno assegnati alle sottozone in base ai valori di a_g con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni".

L'Ordinanza n. 3274 propone una classificazione sismica (I.N.G.V., 2004) che fornisce uno scenario della pericolosità sismica in Italia, in cui viene adottata una suddivisione con intervalli di accelerazione più dettagliati, pari a 0,025, in attesa che venga promulgata una nuova e più rigorosa mappa sismica, proposta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Nella nuova Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa in termini di accelerazione massima al suolo (a_{max}) per suoli molto rigidi ($V_S > 800$ m/sec, categoria A), viene rappresentata l'attesa probabilistica di terremoti (periodo di ritorno $T_r = 475$ anni), caratterizzati da maggiore o minore energia. Osservando la mappa emerge chiaramente come le aree in cui l'attesa sismica è più significativa corrispondono al settore nord-orientale (Friuli Venezia-Giulia e parte del Veneto), l'Appennino settentrionale, l'Appennino centrale e meridionale, l'arco calabro e la Sicilia orientale. Dall'esame della mappa di dettaglio per la Regione Lombardia, si può osservare che la Provincia di Mantova è compresa in valori di a_{max} mediamente bassi ($0,075g < a_{max} < 0,150g$).

Tali valori di picco sono indotti da attività sismica provenienti dalle vicine aree sismogenetiche del margine appenninico-padano, della dorsale ferrarese, del Garda Occidentale e del Veronese.

Come si può notare per il territorio comunale di Ostiglia, l' a_g massima attesa varia da valori minimi di 0.075g fino a 0.100g.

7.2 SISMICITÀ DELL'AREA E MAGNITUDO DI RIFERIMENTO

Per lo studio della sismicità di un'area è fondamentale poter disporre di informazioni relativamente al passato, in quanto i terremoti, essendo provocati da cause geologiche, si ripresentano sempre nei medesimi areali.

La ricerca su quanto avvenuto in passato si è avvalsa dei cataloghi predisposti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.). Più in dettaglio sono stati esaminati:

- il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04), I.N.G.V., Bologna;
- il Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani (DBMI04) utilizzate per la compilazione dello stesso parametrico (CPTI04).

Attraverso l'accesso al Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani (DBMI04), realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia per la compilazione del catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI04) è possibile disporre delle osservazioni macrosismiche dell'intero territorio italiano mediante due modalità: consultazione per terremoto di riferimento, ovvero consultazione per località.

La consultazione per località permette di visionare la storia sismica delle località italiane presenti almeno tre volte in DBMI04.

Entrambi gli strumenti sono stati impiegati da appositi gruppi di lavoro per la redazione di studi fondamentali, quali la "Carta delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani" (Figura 22) e la "Mappa di pericolosità sismica" di riferimento per l'individuazione delle zone sismiche.

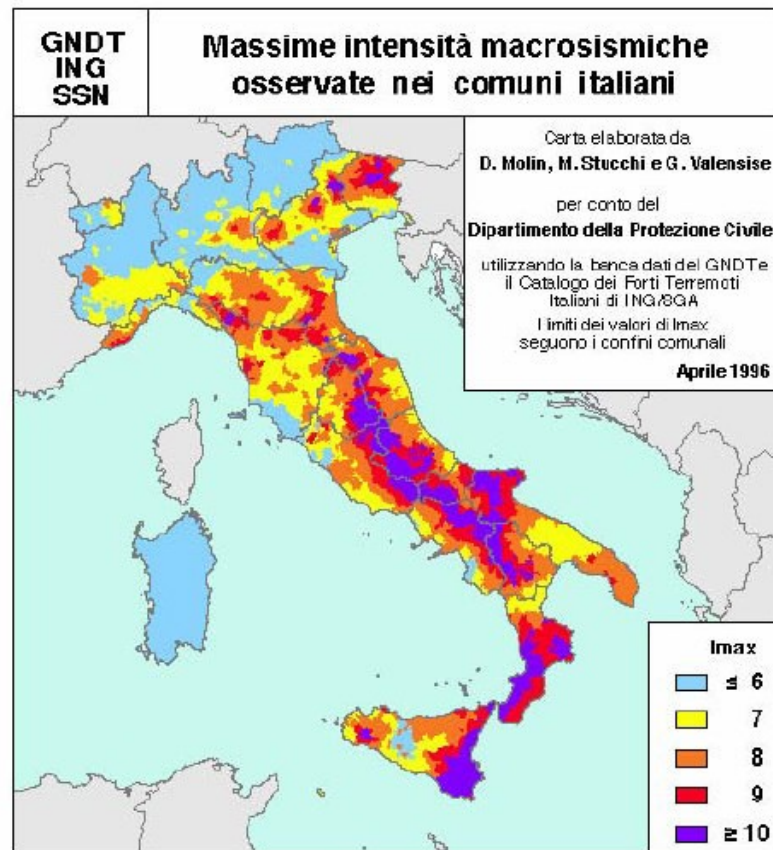


Figura 22 – Mappa delle Intensità Macrosismiche Osservate on Italia (I.N.G.V.)

In Figura 23, è riportata la situazione in dettaglio per quanto riguarda le massime intensità macrosismiche osservate in Lombardia; trattandosi di un elaborato che utilizza i limiti comunali quale cella unitaria, l'aspetto a "macchie di leopardo" che ne deriva, necessita di un'interpretazione elastica alla luce delle conoscenze geologiche, morfologiche e tettonico-strutturali che sono alla base del fenomeno sismico.

In ogni caso appare evidente che vengono confermate aree più significative, sotto il profilo sismico, quelle della zona bresciana e dell'oltrepò pavese ($7 < I_{max} < 9$).

Nella provincia mantovana, caratterizzata da bassa sismicità, le intensità massime I_{max} attese sono generalmente inferiori a 6; si differenziano da questo comportamento i comuni dell'alto mantovano, ai confini con Brescia e Verona, che hanno risentito di effetti macroscopici maggiori in virtù della loro relativa vicinanza alle aree epicentrali dei forti terremoti storici che hanno colpito Brescia (1222) e Verona (1117). Analogamente le massime intensità storiche riscontrate nei Comuni del sud-ovest della Provincia, sono da collegarsi con la vicinanza all'area sismogenetica del Reggiano-Parmense. L'intensità attribuita al Comune di Felonica non è anomala in quanto simile ai valori di intensità dei comuni ferraresi e rodigini confinanti; risulta, invece, anomalo il caso di Magnacavallo, non giustificabile per una carenza di fonti documentarie. La situazione riscontrata per il Comune di Mantova, con intensità superiori rispetto ai comuni circostanti è, probabilmente, imputabile alla completezza del record macrosismico, inteso come numero di risentimenti sismici registrati nel proprio passato.

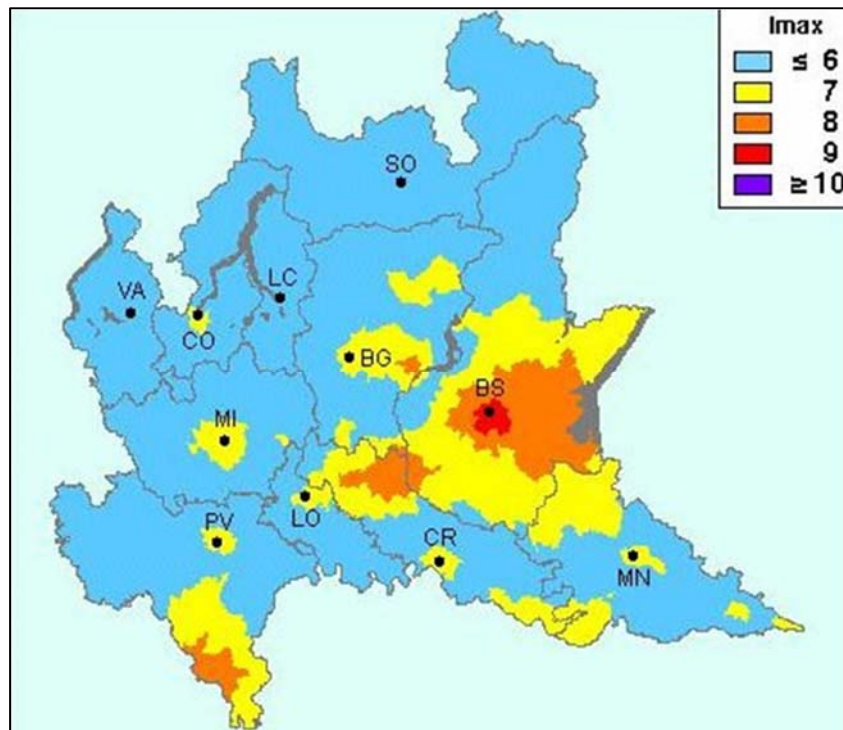


Figura 23 – Massime Intensità Macrosismiche registrate in Lombardia (I.N.G.V.)

Dalla consultazione del Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani per località (DBMI04) sono emerse diverse osservazioni relative al Comune di Ostiglia.

La storia sismica dell'areale di Ostiglia è segnalata a partire dall'anno 1695, con area epicentrale nell'Asolano (MN) che rappresenta anche l'evento di intensità massima registrato; tra gli ultimi eventi sismici va segnalato il terremoto molto più recente del 29 Aprile 1986 con area epicentrale in Valfabbrica/Gubbio, nella zona appenninica umbra.

Centrale di Ostiglia (MN)

*Relazione geologica per l'installazione di una nuova unità a Ciclo Combinato
e interventi di miglioramento ambientale sui gruppi esistenti*

Rev. Marzo 2021

Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	Area epicentrale	Io	Mw
5	1695	02	25	05	30		Asolano	9-10	6.61
5	1802	05	12	09	30		Valle dell'Oglio	8	5.67
4-5	1806	02	12				NOVELLARA	7	5.26
3-4	1811	07	11	22	44		SASSUOLO	7	5.24
4	1895	04	14	22	17		Slovenia	8	6.25
3	1898	03	04				CALESTANO	6-7	5.07
5	1907	04	25	04	52		BOVOLONE	6	4.94
5	1909	01	13	00	45		BASSA PADANA	6-7	5.53
5-6	1914	10	27	09	22		GARFAGNANA	7	5.79
3	1919	06	29	15	06	13	Mugello	9	6.18
3	1930	10	30	07	13		SENIGALLIA	9	5.94
4-5	1971	07	15	01	33	23	Parmense	7-8	5.61
4	1972	10	25	21	56		PASSO CISA	5	4.95
4	1983	11	09	16	29	52	Parmense	6-7	5.10
NF	1984	04	29	05	02	59	GUBBIO/VALFABBRICA	7	5.68
NF	1986	12	06	17	07	19	BONDENO	6	4.56
5	1987	05	02	20	43	53	REGGIANO	6	5.05
NF	1998	03	26	16	26	17	APPENNINO UMBRO- MARCH.	6	5.33

Tabella 1 - Storia sismica di Ostiglia (MN)

Tutti gli eventi documentati negli ultimi 1000 anni non hanno mai superato nel territorio indagato un valore di Is di 6, ovvero VI° della scala MS, anche se nelle rispettive zone epicentrali questi effetti sono stati abbondantemente superati.

Dall'esame della Tabella 1, si osserva che gli epicentri dei terremoti storici selezionati ricadono in sette casi (su diciotto terremoti di riferimento) nella zona sismogenetica ZS 912, suddivisi tra il margine appenninico-padano, con magnitudo compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e l'arco della dorsale ferrarese, caratterizzato da sismicità frequente ma generalmente di minore energia (Magnitudo < 5,5).

La recente pubblicazione dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha mappato il territorio nazionale in zone sismogenetiche; tale zonazione viene definita ufficialmente ZS9.

Rispetto alle zonazioni precedenti, le zone sorgente sono state disegnate più vincolate rispetto alle sorgenti sismogenetiche ed alla sismicità storica e strumentale e le aree circostanti sono state cautelate attraverso i normali effetti di propagazione della pericolosità sismica al di fuori delle zone sorgenti.

La ZS9 può essere utilizzata in congiunzione con il nuovo catalogo CPTI2, e fornisce, inoltre, una stima della "profondità efficace", ovvero dell'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato

Centrale di Ostiglia (MN)

il maggior numero di terremoti in ogni zona sorgente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale, e fornisce, per ogni zona, un meccanismo di fagliazione prevalente.

La zonazione è costituita da 42 zone-sorgente, identificate da un numero che va da 901 a 936, che presentano limiti di colorazione nera e blu; i limiti neri definiscono limiti il cui tracciamento dipende esclusivamente da informazioni tettoniche o geologico-strutturali, il colore blu definisce, invece, suddivisioni di zone con uno stesso stile deformativo ma con differenti caratteristiche della sismicità, come la distribuzione spaziale degli eventi o la massima magnitudo rilasciata.

Il territorio comunale di Ostiglia non è compreso in alcuna zona sismogenetica; tuttavia, risulta abbastanza prossimo alla zona sismogenetica 912, identificata come Dorsale Ferrarese, distandovi circa 14 km, ed alla zona sismogenetica 906, al doppio della distanza precedente (circa 28 km), e che interessa l'area che va da Bassano del Grappa fino a Verona.

La zona 912 rappresenta la porzione più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale. Al di sotto delle spesse coltri di sedimenti sciolti alluvionali è presente un sistema roccioso, orogeneticamente legato alla catena appenninica e fagliato da diverse ed importanti linee sismotettoniche, la cui genesi è riconducibile alle forze compressive che da sudovest spingono verso nordest.

Nella zona 912 i dati pubblicati dal Gruppo di Lavoro dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia evidenziano che in questi anni di monitoraggio strumentale la magnitudo massima registrata sia stata di 4,6 Md, la profondità efficace di 7 km e che la maggior parte dei terremoti che si verificano, hanno basse magnitudo, indicando così un frequente movimento con funzioni dissipative delle energie tettoniche che possono accumularsi nell'area, a causa delle azioni compressive sopra citate.

7.3 ANALISI DEL RISCHIO SISMICO

7.3.1 Risposta sismica locale – Generalità

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona (condizioni locali) possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base, producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area. Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti; pertanto, gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati sull'identificazione della categoria di terreno presente in una determinata area.

In funzione, quindi, delle caratteristiche del terreno presente, si distinguono due grandi gruppi di effetti locali: quelli di sito o di amplificazione sismica locale e quelli dovuti ad instabilità.

- **Effetti di sito o di amplificazione sismica locale**; interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese; tali effetti sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali.

Tali effetti vengono distinti in due gruppi che possono essere contemporaneamente presenti nello stesso sito:

- a) effetti di amplificazione topografica: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali più o meno articolate e da irregolarità topografiche in generale; tali condizioni favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione tra il campo d'onda incidente e quello rifratto; se l'irregolarità topografica è rappresentata da substrato roccioso (bedrock) si verifica un puro effetto di amplificazione topografica, mentre nel caso di rilievi costituiti da materiali non rocciosi l'effetto amplificatorio è la risultante dell'interazione tra l'effetto topografico e quello litologico di seguito descritto;
 - b) effetti di amplificazione litologica: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte (bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia, ecc.) e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche; tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, fenomeni di risonanza tra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e fenomeni di doppia risonanza tra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.
- **Effetti di instabilità**; interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese e sono rappresentati in generali da fenomeni di instabilità consistenti in veri e propri collassi e talora movimenti di grandi masse di terreno incompatibili con la stabilità delle strutture; tali instabilità sono rappresentate da fenomeni diversi a seconda delle condizioni presenti nel sito.

7.3.2 Analisi della pericolosità sismica: applicazione al territorio comunale di Ostiglia

Il primo livello prevede il riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento generale), sia di dati esistenti.

Per il territorio comunale di Ostiglia, al fine di ottemperare alla compilazione della documentazione necessaria all'analisi di primo livello e quindi con lo scopo di definire le condizioni locali (spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime della falda, proprietà indice, caratteristiche di consistenza, grado di sovraconsolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.) si sono consultate:

- cartografie topografiche di dettaglio;
- cartografia tematica regionale;
- risultati di indagini geognostiche e geotecniche pregresse;
- risultati di indagini in sito eseguite per il presente studio;
- stratigrafie (da sondaggi e pozzi per acqua) e sezioni geologiche;
- cartografia di analisi e inquadramento allegata al presente studio geologico ed idrogeologico; in particolare sono state analizzate:
 - carta litologica con elementi pedologici in scala 1:10.000;
 - carta geomorfologica in scala 1:10.000;
 - carta idrogeologica e della vulnerabilità degli acquiferi in scala 1:10.000.

Dal precedente elenco si evidenzia che, salvo per quei casi in cui non siano disponibili informazioni geotecniche di alcun tipo, nell'ambito del primo livello di approfondimento non sono necessarie nuove indagini geotecniche. Tuttavia, per meglio dettagliare le analisi in corrispondenza di alcune aree in cui non erano disponibili dati significativi, è stata predisposta una campagna di indagini geofisiche ad hoc, costituita da prove sismiche dirette basate sulla misura del rumore sismico ambientale (microtremori); in particolar modo, le indagini geofisiche che hanno interessato quattro diversi ambiti territoriali urbanizzati e urbanizzabili, sono state realizzate anche in funzione degli approfondimenti di secondo livello.

Pertanto, lo studio è consistito nell'analisi dei dati esistenti già inseriti nella cartografia di analisi e inquadramento e nella redazione di un'apposita cartografia a scala 1:10.000 rappresentata dalla "Carta della pericolosità sismica locale", derivata dalle precedenti carte di base, in cui è stata riportata la perimetrazione areale delle diverse situazioni-tipo in grado di determinare gli effetti sismici locali.

Gli studi effettuati hanno evidenziato che in Comune di Ostiglia sono stati riconosciuti gli scenari di pericolosità sismica locale Z2 e Z4a così come definiti nella Tabella 1 dell'Allegato 5 della D.G.R. 7374/2008.

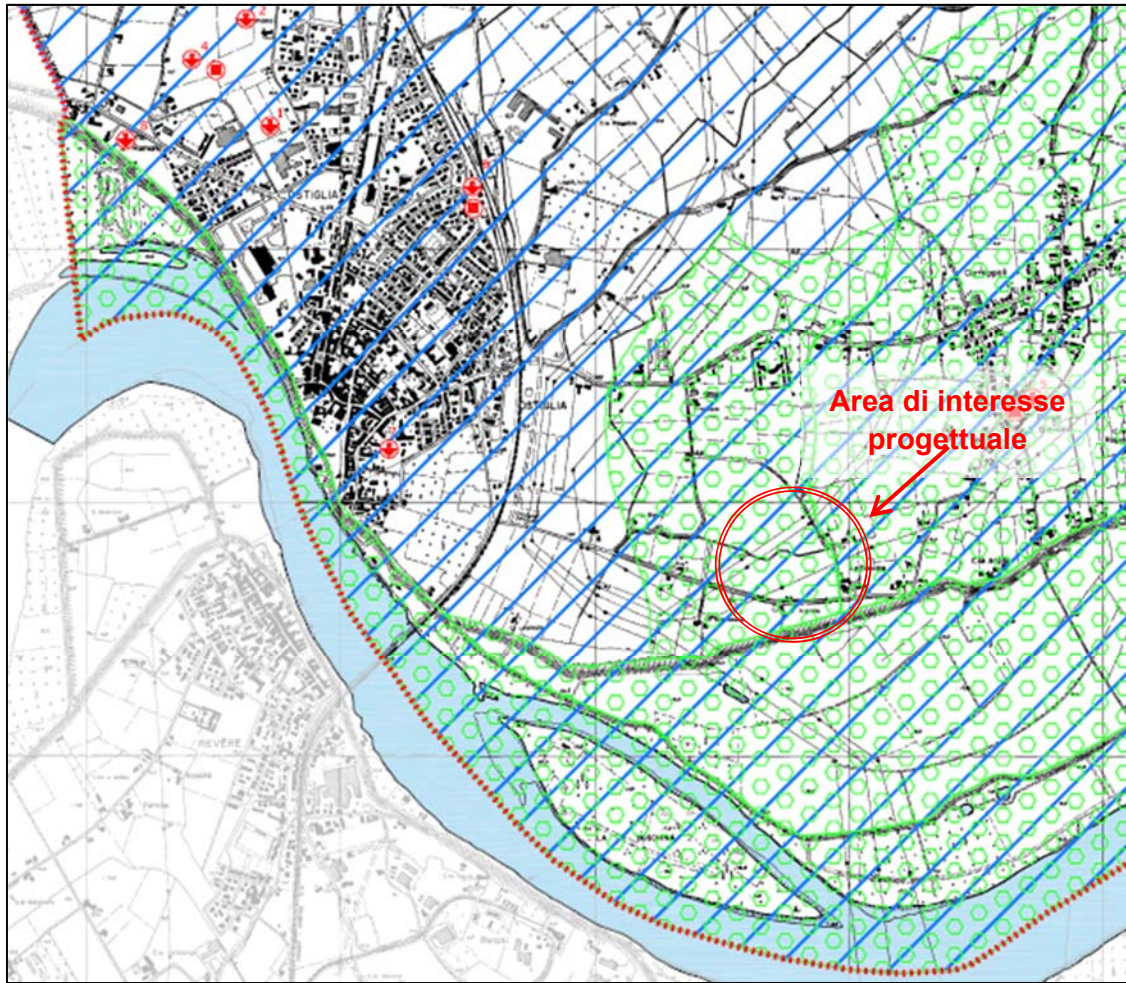
SIGLA	SCENARIO DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE	EFFETTI	CLASSE DI PERICOLOSITÀ SISMICA
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni	H2 – livello di approfondimento 3°
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali coesivi e granulari	Amplificazioni litologiche e geometriche	H2 – livello di approfondimento 2°

Tabella 2 - P.S.L.: Scenari, Effetti, Classi Di Pericolosità

Come visibile in Figura 24 (Stralcio della Carta della Pericolosità Sismica Locale). L'area di intervento interessa un'area in cui i n. 2 scenari descritti (Z2, Z4a) si sommano. Per tali Zone valgono i seguenti Scenari di Pericolosità.

- **Scenario di Pericolosità Sismica Locale Z2:** Ricadono in tali aree i terreni classificati come “simicamente instabili” che, a seguito dello sforzo di taglio indotto dall'azione sismica, possono dare luogo a cedimenti differenziali della struttura per improvvisa densificazione del materiale insaturo oppure a fenomeni di liquefazione per una perdita nella resistenza la taglio di un materiale saturo a causa di un aumento istantaneo delle pressioni interstiziali, con conseguente fluidificazione che portano a situazioni di instabilità più o meno gravi. L'analisi e la distribuzione areale di queste due tipologie di fenomeni che potrebbero insorgere all'interno del territorio comunale in conseguenza di una sollecitazione sismica è stata effettuata sulla base delle osservazioni geologiche e litologiche e sulla raccolta di dati disponibili quali risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche, necessarie per definire le condizioni locali. Rientrano nella classe di terreni “simicamente instabili”, le aree golenali, le aree paludose, la fascia delimitata dall'argine maestro e la S.S. n° 482 tra gli abitati di Ostiglia e Correggioli, alcune zone poste immediatamente a sud del Canalbianco in corrispondenza della località Lo Zuccone, tra cui si segnalano quelle in zona artigianale-industriale e all'interno del Comparto produttivo Canalbianco, le aree adiacenti ai laghetti con falda emergente posti in località San Romano. In questa zone risultano presenti terreni prevalenti sabbiosi con bassa soggiacenza della falda o possibilità di falde sospese, depositi di palude o limo-argillosi con caratteristiche geotecniche particolarmente scadenti e/o altamente compressibili.

- **Scenario di Pericolosità Sismica Locale Z4a**: Ricadono in tali aree i terreni classificati come “sismicamente stabili” che, in seguito a sollecitazioni sismiche, sono sede di effetti di amplificazione sismica legati alle particolari caratteristiche litologiche del sito (amplificazione litologica). I fattori che influenzano l'amplificazione del moto sismico in superficie sono la risonanza, che si ha quando le frequenze del moto sismico sono prossime alle frequenze di risonanza dei sedimenti, e l'effetto di “intrappolamento” delle onde sismiche all'interno del deposito sedimentario, favorito dal contrasto di impedenza tra sedimenti e bedrock. Nel caso di valle alluvionale, i fattori che influenzano l'amplificazione del moto sismico in superficie sono la focalizzazione delle onde sismiche in aree prossime al bordo-valle e la genesi di onde superficiali per incidenza di onde sull'interfaccia obliqua roccia-sedimento al bordo della valle.



AREE SOGGETTE AD AMPLIFICAZIONE SISMICA LOCALE

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti Zone con depositi granulari fini saturi	Cedimenti e/o liquefazioni
Z4a	Zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche

INDAGINI GEOTECNICHE

-  Prove penetrometriche statiche

INDAGINI GEOFISICHE

-  Prova a sismica passiva (rumore sismico ambientale)

Figura 24 – Stralcio della Carta della Pericolosità Sismica Locale (PGT)

7.3.3 Azione sismica di progetto ai sensi delle NTC2018

L'azione sismica di progetto per la valutazione del potenziale di liquefazione del sito è valutata mediante un approccio semplificato (ai sensi delle Norme Tecniche NTC2018), in funzione della risposta sismica locale, ottenuta portando in conto gli effetti dell'amplificazione topografica e litologico/stratigrafica caratterizzanti l'area.

Il volume significativo di terreno è rappresentato da una situazione stratigrafica tipica e ben definita, in cui l'amplificazione stratigrafica è relativa a predeterminati intervalli di variazione della velocità di propagazione delle onde Vs, il cui valore è stato determinato mediante indagini di tipo MASW (già descritte in precedenza), e riconducibile ad una delle categorie di sottosuolo di cui alla Tab. 3.2.11 delle NTC; analogamente, la condizione topografica del sito, pressochè pianeggiante, si traduce in un fattore di amplificazione unitario che non porta ulteriore contributo aggiuntivo all'azione sismica in sito.

L'accelerazione massima attesa al sito è valutata tramite la relazione:

$$a_{\max} = (S_S \cdot S_T) \cdot a_g$$

con:

- S_S , S_T = coefficienti che comprendono l'amplificazione stratigrafica e l'amplificazione topografica locale;
- a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido orizzontale.

Il valore di a_g è tabellato in normativa per sito, in funzione di un predeterminato tempo di ritorno per assegnate classi d'uso dell'opera, relativa vita nominale e stato limite considerato per la verifica progettuale.

Si definisce Vita utile di Riferimento V_R la seguente:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Con:

- V_N = 50 anni vita nominale, riferita ad opere il cui livello di prestazione è ordinario come da definizione NTC2018;
- C_U = 2 coefficiente d'uso per opere di Classe IV, cui è ascrivibile la centrale in corso di progettazione, stante il suo carattere strategico e di funzione pubblica, come definito nelle NTC2018.

Inoltre, come da indicazioni della stessa normativa, le verifiche agli stati limite ultimi di opere e sistemi geotecnici si riferiscono al solo stato limite di salvaguardia della vita (SLV), cui è associata una probabilità P_{VR} di superamento del valore dell'azione sismica non superiore al 10% nel corso del periodo riferimento V_R . Tale livello probabilistico si traduce in un tempo di ritorno del sisma di progetto pari a 949 anni.

Sotto tali condizioni, per l'area in esame il valore di a_g è desunto da normativa pari al valore:

$$a_g = 0.107 \text{ g}$$

I valori di S_S e S_T valgono:

- $S_S = 1.5$ per suolo di categoria C (Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s);
- $S_T = 1.0$, come già citato, per interventi ubicati su siti sostanzialmente orizzontali (classe topografica T1 ai sensi delle NTC2018);

In definitiva, si verifica che:

- $a_{max} = 0.160$ g

7.3.4 Magnitudo massima attesa per le verifiche di liquefazione

Una delle condizioni per il verificarsi della liquefazione è il potenziale manifestarsi di eventi sismici attesi al sito caratterizzati contemporaneamente da valori di magnitudo $M_w \geq 5$ ($I_{rif} \geq VII$ MCS) e da un'accelerazione di riferimento in superficie $a_{max} \geq 0.1$ g.

In sostanza occorrerà che un determinato sisma, di magnitudo almeno pari a 5, si verifichi sufficientemente vicino al sito da produrre un'accelerazione orizzontale che rispetti il requisito precedente.

Un metodo semplice per stimare quale sia il valore di M_w da considerare ai fini delle valutazioni per le verifiche di liquefazione per l'area o la microzona di interesse, è il seguente:

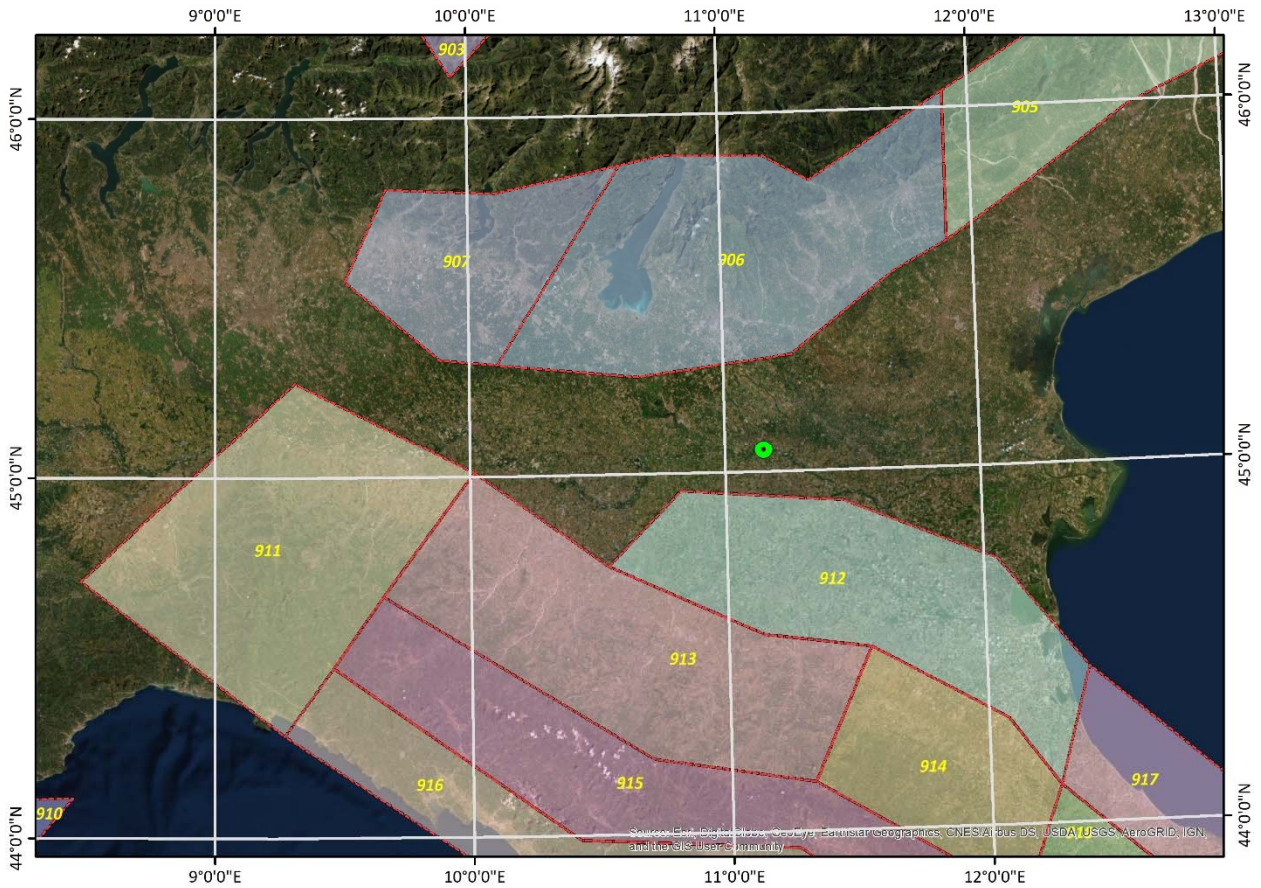
- si considera la zonazione sismogenetica (ZS9; INGV, 2009) precedentemente descritta, secondo la quale la sismicità è distribuita in 36 zone sismogenetiche, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima $M_{w_{max}}$;
- per i siti che ricadono in una delle 36 zone sismogenetiche, si assume come M_w il valore della magnitudo massima $M_{w_{max}}$ associato ad ogni zona;
- Come si evince dalla zonazione sismogenetica, tutti i siti hanno una $M_{w_{max}} > 5$ e quindi tutti i siti rispettano la condizione per la liquefazione;
- per i siti che non ricadono in alcuna zona sismogenetica si determinano le minime distanze (R_i) dalle zone sismogenetiche circostanti (i) e si verifica per ciascuna di esse, se la magnitudo della zona sismogenetica considerata (M_i) è inferiore o superiore alla magnitudo fornita dalla relazione:

$$M_{si} = 1 + 3 \cdot \log R$$

con R espresso in km.

Nel caso in cui almeno una M_{si} , calcolata per le zone sismogenetiche circostanti, è inferiore alla M_i della stessa zona per la quale è stata calcolata M_{si} , si assume per M_w il valore di magnitudo più alto tra le magnitudo delle zone sismogenetiche circostanti ($M_i = M_w$); se invece tutte le M_{si} sono superiori alle M_i , si determina la M_w con il metodo della disaggregazione.

Relativamente al sito di Ostiglia, la centrale in corso di progettazione ricade nel mezzo tra le zone sismogenetiche n° 906 e n° 912, ad una distanza rispettivamente pari a 24 e 14 km; si riporta nella seguente immagine la zonazione sismogenetica nei dintorni di Ostiglia, e la tabella con il calcolo della magnitudine di riferimento massima attesa al sito:



zona	Mw _{max}	R	Ms	Ms<Mw
		(km)		
906	6.60	24	5.14	SI
912	6.14	14	4.44	SI

La condizione $M_s_i < M_{w_{max}}$ è verificata per entrambe le zone sismogenetiche, per cui si assume come Mw di riferimento al sito di Ostiglia il valore maggiore tra le Mw_{max} pari a 6.6.

8 SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

8.1 INTRODUZIONE

Il criterio generale che esprime la resistenza al taglio di un terreno è esprimibile mediante la relazione (principio delle tensioni efficaci):

$$\tau_f = c' + (\sigma_{n0} - u) \cdot \tan \varphi'$$

In cui

- c' , φ' sono rispettivamente la coesione e l'angolo di attrito in condizioni efficaci;
- σ_{n0} è la tensione totale iniziale, normale alla giacitura di rottura, che interessa un deposito costituito da materiale granulare incoerente in condizioni statiche;
- u è la pressione interstiziale in condizioni idrostatiche.

Nelle analisi di stabilità in condizioni post-sismiche, si assumono generalmente, per i terreni saturi, condizioni di drenaggio impedito; in tal caso, nelle analisi condotte in termini di tensioni efficaci, la resistenza al taglio si modifica nell'espressione:

$$\tau_f = c' + (\sigma'_n - \Delta u) \cdot \tan \varphi'$$

Nella quale il termine $\sigma'_n = \sigma_{n0} - u$ è la tensione efficace in condizioni statiche, e Δu è l'eventuale sovrappressione interstiziale generata dall'azione ciclica del sisma.

La liquefazione è un fenomeno che comporta la perdita di resistenza dei terreni saturi sotto sollecitazioni generalmente dinamiche, in conseguenza delle quali il terreno raggiunge una condizione di fluidità pari a quello di una massa viscosa. Il fenomeno interessa i terreni incoerenti saturi nel corso degli eventi sismici, quando, sotto l'azione delle sollecitazioni cicliche indotte dallo scuotimento, la sovrappressione interstiziale dell'acqua Δu aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione di confinamento σ_n , annullando la resistenza al taglio.

Nel corso di un evento di liquefazione il terreno può scorrere o fluire, nel caso di un pendio inclinato, o assestarsi, nel caso di una giacitura iniziale orizzontale; la portanza nei confronti delle fondazioni è ridotta o annullata.

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende dalle proprietà geotecniche, dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso, nonché dalle caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata.

In generale, si può affermare che:

- tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa), tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione;
- per quanto riguarda la storia delle sollecitazioni sismiche su un deposito, una serie numerosa di precedenti deformazioni moderate influiscono positivamente sulla resistenza, generando addensamento del materiale, mentre una storia caratterizzata da alti livelli di deformazione e precedenti eventi di liquefazione ha effetti negativi sulla suscettibilità al ripetersi del fenomeno.

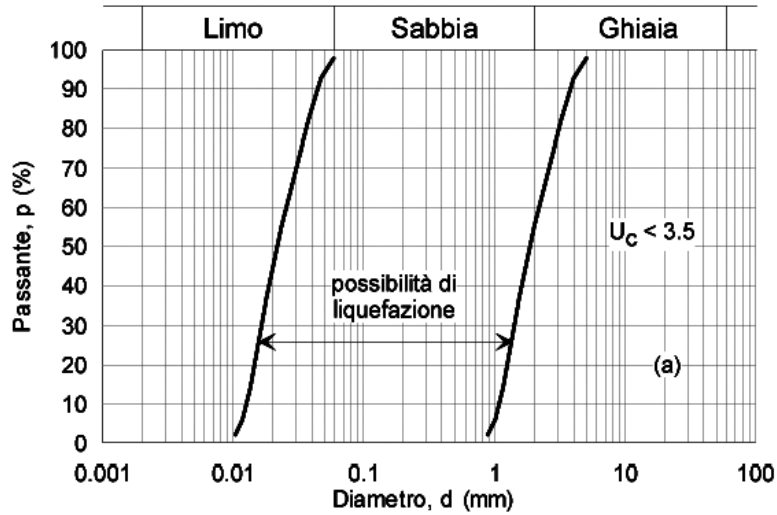
Inoltre, anche la distribuzione, la forma delle particelle e il grado di uniformità influenzano notevolmente la liquefazione dei terreni, per le implicazioni che questi fattori hanno sulla resistenza al taglio e per il modo di dissiparsi della pressione interstiziale in eccesso.

In generale, i depositi sabbiosi di tipo alluvionale, geologicamente recenti, avranno il più alto potenziale di liquefazione; al contrario, a parità di composizione e altre condizioni, depositi più antichi avranno sviluppato un addensamento maggiore ed un certo grado di cementazione che conferiscono stabilità nei confronti della suscettibilità alla liquefazione.

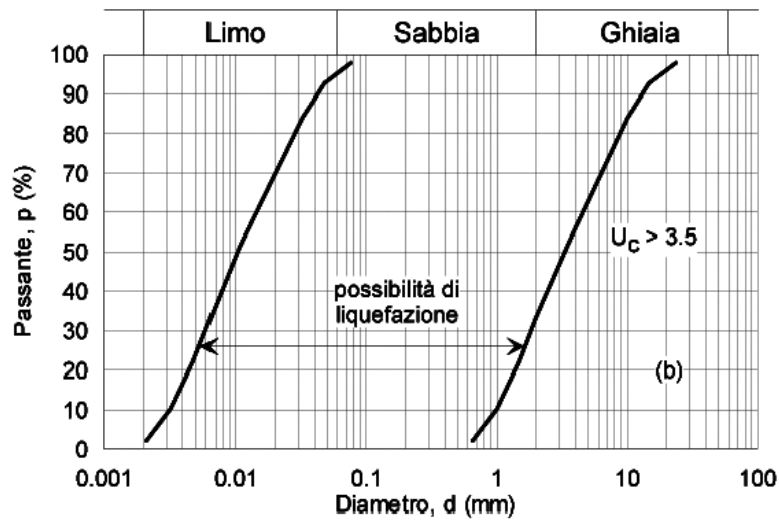
8.2 ESCLUSIONE DELLA VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Le NTC 2018, al § 7.11.3.4.2 - *“Esclusione della verifica a liquefazione”*, individuano le condizioni per le quali è possibile omettere la verifica a liquefazione. In particolare, la verifica a liquefazione può non effettuarsi quando si verifica una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1 g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano di campagna, per piano di campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle seguenti figure, nel caso (a) di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$, e nel caso (b) di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.



a)



b)

Dal momento che nessuna delle precedenti condizioni risulta verificarsi, è necessario procedere ad una verifica come da normativa, al fine di valutare la suscettibilità a liquefazione dei depositi in termini di coefficiente di sicurezza.

8.3 METODOLOGIA DI CALCOLO

8.3.1 Generale

La suscettibilità alla liquefazione di un deposito è valutabile in maniera puntuale, a diverse profondità, mediante la determinazione di un fattore di sicurezza espresso in maniera tradizionale come rapporto tra capacità resistente offerta dal terreno, raffrontata ad un'azione di sollecitazione indotta dal sisma.

In accordo a tale definizione, il fattore di sicurezza è calcolabile come:

$$FS = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_{\sigma}$$

In cui:

- $CRR_{7.5} = \tau_f / \sigma'_{V0}$ è detto rapporto di resistenza ciclica alla liquefazione, nelle condizioni di sisma di riferimento avente magnitudo $M_W = 7.5$;
- $CSR = \tau_{media} / \sigma'_{V0}$ è il rapporto di sollecitazione ciclica;
- $MSF = \text{Magnitude Scaling Factor}$ è un fattore di scala che consente di riportare la valutazione a terremoti aventi M_w differenti da quella di riferimento;
- K_{σ} è un parametro correttivo per compensare la non-linearità dell'incremento di resistenza del terreno con la profondità.

Entrambi i termini sono espressi come rapporto di tensione di taglio in condizioni cicliche e normalizzati rispetto alla tensione efficace verticale σ'_{V0} , agente alla profondità di calcolo in condizioni statiche.

La normativa ammette, per il calcolo dei valori di CRR e CSR, metodologie semplificate basate sui risultati di prove in situ, quali prove penetrometriche statiche (CPT) dinamiche (SPT) o prove sismiche a rifrazione atte a misurare la velocità delle onde di taglio V_s . Per la valutazione del potenziale di liquefazione nel caso in esame sono state utilizzati, in particolare, sia i risultati di indagini SPT che MASW (V_s).

Per la determinazione dei termini che compaiono nell'espressione precedente, e quindi del fattore di sicurezza alla liquefazione, si è fatto riferimento al workshop 2001 del NCEER – National Center for Research on Earthquake Engineering (Taiwan) ed al relativo rapporto di sintesi, che ha visto esperti internazionali ed autori in materia riuniti al fine di determinare una metodologia semplificata e procedure condivise per la valutazione della resistenza a liquefazione dei suoli sotto carico sismico.

8.3.2 Rapporto di Sollecitazione Ciclica

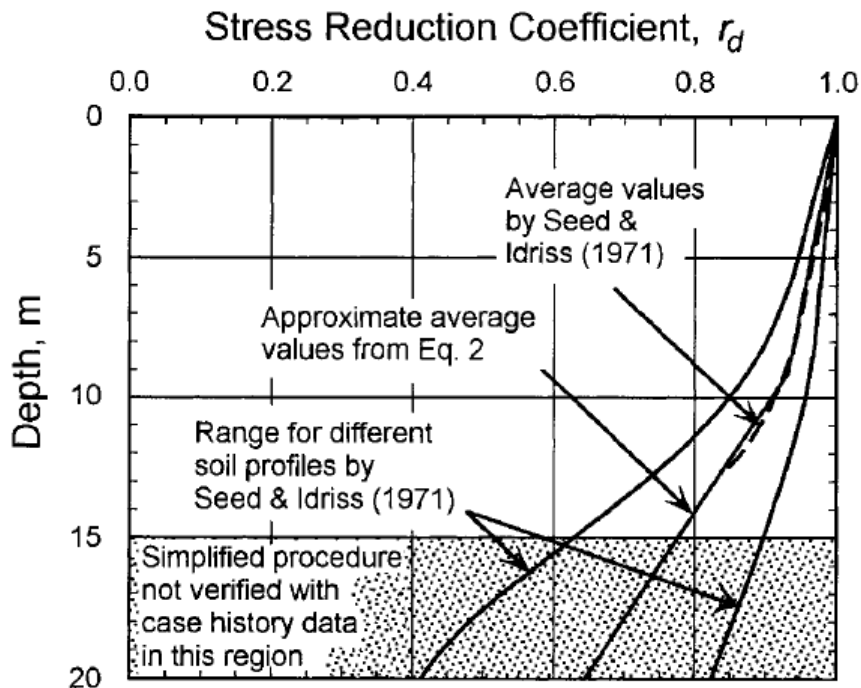
Il rapporto di sollecitazione ciclica CSR che compare al denominatore nella determinazione del fattore di sicurezza è universalmente stimato con la relazione semi-empirica):

$$CSR = (\tau_{av}/\sigma'_{vo}) = 0.65(a_{max}/g)(\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})r_d$$

Dove:

- a_{max}/g accelerazione orizzontale di picco prodotta dal terremoto in superficie;
- σ_{vo} tensione litostatica verticale totale;
- σ'_{vo} tensione litostatica verticale efficace (al netto della pressione interstiziale prodotta dalla falda);
- r_d coefficiente riduttivo delle tensioni.

Il coefficiente r_d porta in conto gli aspetti elastici del terreno in profondità rispetto alla superficie, ed assume l'andamento riportato in figura:



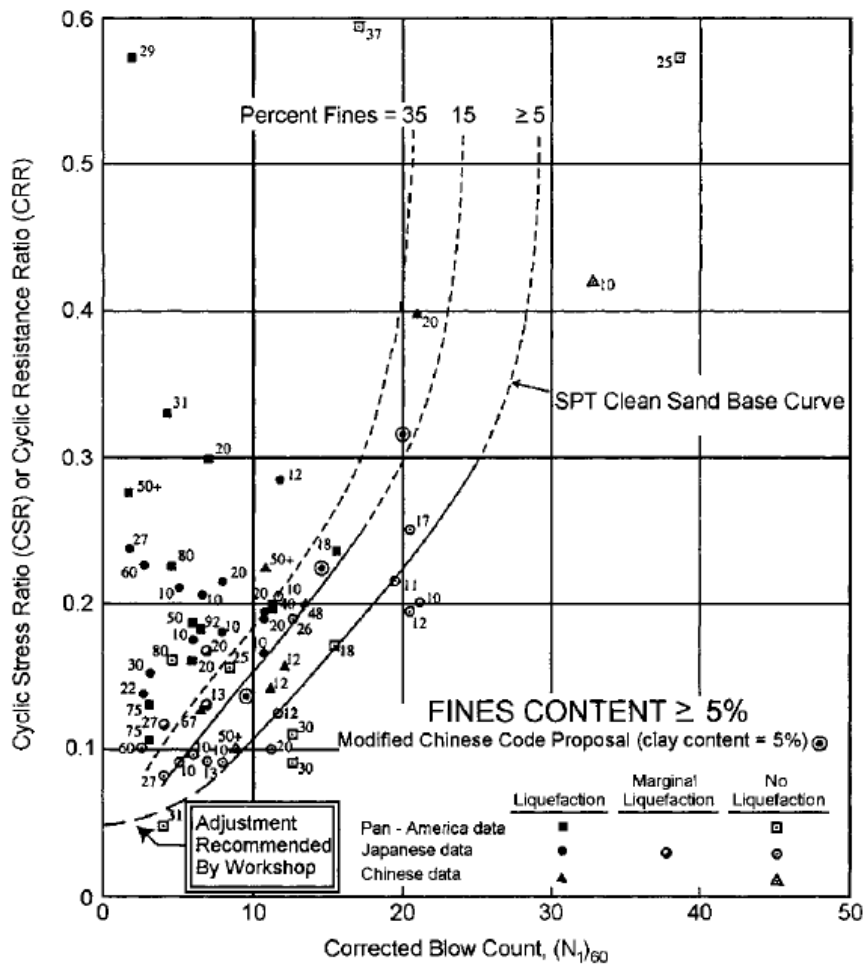
Il suo andamento è esprimibile analiticamente con la seguente equazione di regressione:

$$r_d = \frac{(1.000 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5})}{(1.000 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2)}$$

8.3.3 Metodologia basata su prove SPT per il calcolo di CRR

Il valore CRR è stato efficacemente correlato nel corso degli anni alla resistenza del terreno ricavata mediante l'esecuzione di prove penetrometriche di tipo dinamico (SPT – Standard Penetration Test).

Il legame che lega CRR al valore $(N_1)_{60}$ (discusso in seguito) è schematizzato, per un terremoto di riferimento di Mw = 7.5, nella seguente figura:



Il valore $(N_1)_{60}$ che compare in figura è il numero di colpi N_{SPT} risultante dalla prova, ad una determinata profondità, normalizzato ad una pressione litostatica pari a quella atmosferica (101.3 kPa) e per un rendimento di battuta pari al 60%.

Il grafico è traducibile in una metodologia di calcolo analitica come segue:

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

La metodologia indicata è valida per valori di $(N_1)_{60} < 30$; oltre tale limite, i terreni granulari sono considerati non liquefacibili.

CORREZIONE DELLA PROVA SPT PER RENDIMENTO ENERGETICO GLOBALE

Il risultato NSPT della prova penetrometrica viene normalizzato, corretto e riportato alle condizioni indicate, mediante l'applicazione di una serie di coefficienti moltiplicativi:

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S$$

In cui:

- C_E correzione per rendimento energetico;
- C_B correzione per diametro del sondaggio
- C_R correzione per lunghezza delle aste
- C_S correzione per il tipo di campionatore utilizzato

I valori dei parametri sono riportati nella seguente tabella:

Factor (1)	Equipment variable (2)	Term (3)	Correction (4)
Overburden pressure	—	C_N	$(P_a/\sigma'_{vo})^{0.5}$
Overburden pressure	—	C_N	$C_N \leq 1.7$
Energy ratio	Donut hammer	C_E	0.5–1.0
Energy ratio	Safety hammer	C_E	0.7–1.2
Energy ratio	Automatic-trip Donut-type hammer	C_E	0.8–1.3
Borehole diameter	65–115 mm	C_B	1.0
Borehole diameter	150 mm	C_B	1.05
Borehole diameter	200 mm	C_B	1.15
Rod length	<3 m	C_R	0.75
Rod length	3–4 m	C_R	0.8
Rod length	4–6 m	C_R	0.85
Rod length	6–10 m	C_R	0.95
Rod length	10–30 m	C_R	1.0
Sampling method	Standard sampler	C_S	1.0
Sampling method	Sampler without liners	C_S	1.1–1.3

NORMALIZZAZIONE PER TENSIONE DI RIFERIMENTO

La normalizzazione per tensione litostatica pari alla pressione atmosferica si applica con:

$$(N_1)_{60} = (N)_{60} \cdot C_N$$

e

$$C_N = 2.2 / (1.2 + \sigma'_{v0} / P_a)$$

Dove:

- σ'_{v0} tensione litostatica verticale efficace (al netto della pressione interstiziale prodotta dalla falda);
- $P_a = 101.3$ kPa è la pressione atmosferica

CORREZIONE PER PRESENZA DELLA FRAZIONE FINE NEL TERRENO

Il contributo di resistenza CRR del terreno aumenta con l'incremento del contenuto in frazione granulometrica fine (<75 μ m = argille) del terreno. Tale aumento di resistenza è apprezzabile a partire dalla frazione fine in misura pari al 5% del contenuto, e fino al 35% della composizione valutata nel fuso granulometrico.

L'influenza della frazione fine è portata in conto con una correzione al valore $(N_1)_{60}$ apportata come segue:

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta(N_1)_{60}$$

I parametri α e β valgono:

$$\alpha = 0 \quad \text{for } FC \leq 5\%$$

$$\alpha = \exp[1.76 - (190/FC^2)] \quad \text{for } 5\% < FC < 35\%$$

$$\alpha = 5.0 \quad \text{for } FC \geq 35\%$$

$$\beta = 1.0 \quad \text{for } FC \leq 5\%$$

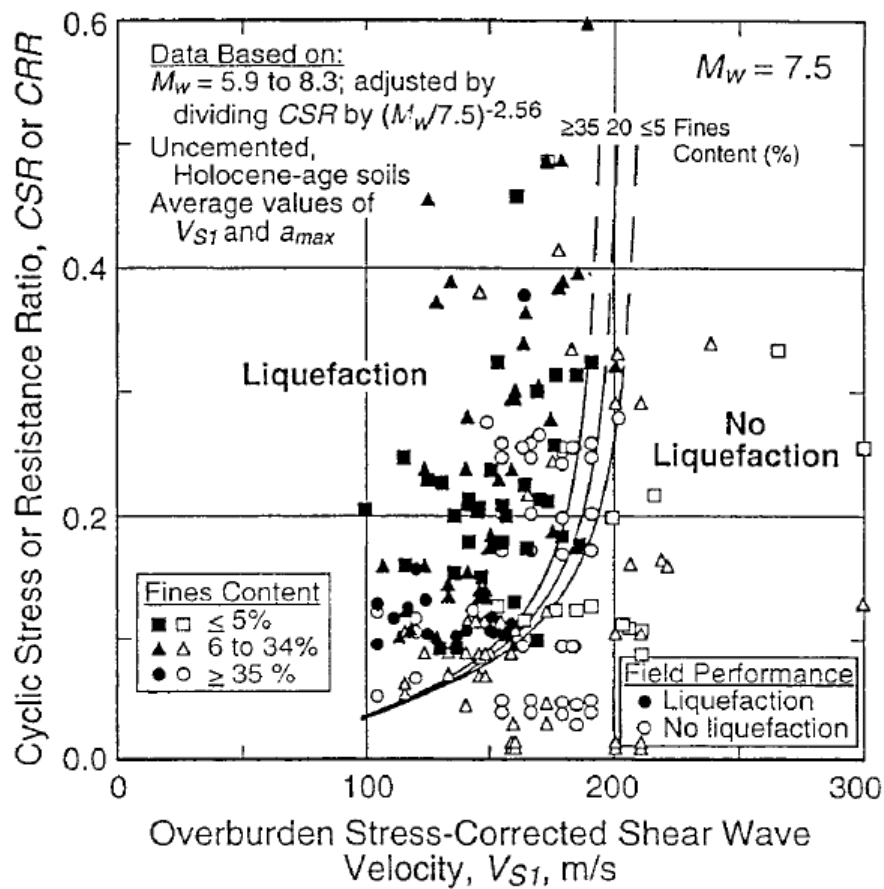
$$\beta = [0.99 + (FC^{1.5}/1,000)] \quad \text{for } 5\% < FC < 35\%$$

$$\beta = 1.2 \quad \text{for } FC \geq 35\%$$

8.3.4 Metodologia basata sulla velocità delle onde sismiche Vs per il calcolo di CRR

Una metodologia alternativa per la determinazione del fattore CRR è la sua correlazione con la velocità V_s di propagazione delle onde di taglio nel terreno.

L'abaco che consente di ricavare il desiderato valore CRR dalla V_s , per un terremoto di riferimento avente $M_w = 7.5$, è il seguente:



Similmente a quanto si realizza per le prove SPT, i valori V_s sono normalizzati e corretti per una pressione di riferimento pari a quella atmosferica e per portare in conto il contributo della frazione fine come incremento di resistenza alla liquefazione.

L'abaco sopra è valido per velocità corrette V_{s1} inferiori alla soglia limite di 215 m/s, valore oltre il quale il terreno è considerato non liquefacibile.

La sua espressione analitica è la seguente:

$$CRR = a \left(\frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + b \left(\frac{1}{V_{s1}^* - V_{s1}} - \frac{1}{V_{s1}^*} \right)$$

In cui:

- a, b sono parametri adimensionali di regressione, pari a 0.022 e 2.8 rispettivamente;
- V_{s1} velocità delle onde di taglio V_s , normalizzata per una tensione litostatica di riferimento pari a quella atmosferica;
- V^*s1 valore limite della velocità V_s al di sopra della quale non è possibile la liquefazione; la sua formulazione porta in conto il contributo di resistenza del terreno dovuto alla sua frazione fine.

NORMALIZZAZIONE PER TENSIONE DI RIFERIMENTO

La normalizzazione per tensione litostatica pari alla pressione atmosferica si applica con:

$$V_{s1} = V_s \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vo}} \right)^{0.25}$$

In cui, al solito, $P_a = 101.3$ kPa è la pressione di normalizzazione.

CORREZIONE PER PRESENZA DELLA FRAZIONE FINE NEL TERRENO

Il contenuto in frazione fine del terreno (frazione granulometrica $<75 \mu\text{m}$, equivalente alle argille) se in misura maggiore del 5% e fino al 35%, è in grado di apportare un contributo alla resistenza ciclica CRR del terreno significativamente rilevante, soprattutto per terreni già caratterizzati da alte velocità di propagazione delle onde di taglio.

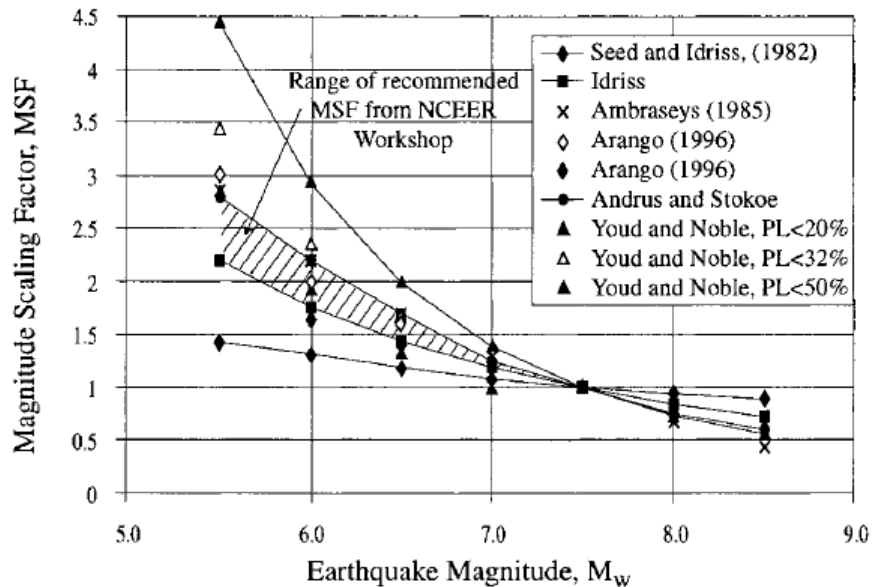
La correzione per il contenuto in fino è semplicemente apportata facendo variare linearmente il valore soglia V^*s1 , da un minimo di 200 m/s per terreni con frazione fine $\geq 35\%$, fino a 215 m/s per terreni con frazione fine $\leq 5\%$.

8.3.5 Fattore di scala per il terremoto MSF

Le formulazioni del CRR espresse finora sono applicabili solo a terremoti di riferimento aventi una magnitudine momento M_w pari a 7.5.

Al fine di riportare la valutazione di suscettibilità alla liquefazione alle condizioni di un terremoto massimo atteso di magintudine diversa a quella di riferimento, sono stati formulati negli anni una serie di fattori di scala, utilizzati per modificare verso l'alto o verso il basso le curve di valutazione del CRR.

I valori MSF derivati dai vari autori sono riportati nel seguente grafico, che mostra una regione campita con i valori raccomandati così come suggeriti dal workshop NCEEER.



Le due curve di delimitazione superiore ed inferiore della regione con i valori raccomandati di MFS, trovano espressione analitica:

$$MSF_{LOWER} = 10^{2.24} / M_w^{2.56}$$

$$MSF_{UPPER} = (M_w / 7.5)^{-3.3}$$

8.3.6 Fattore di correzione K_σ per sovrappressione litostatica

I casi di liquefazione storicamente utilizzati per determinare le curve di resistenza a liquefazione si riferiscono generalmente a profondità inferiori a 10 m (nella maggior parte dei casi inferiori a 5 m) e quindi a valori della tensione efficace verticale $\sigma'_v < 100 \text{ kPa} \cong 1 \text{ atm}$.

Prove di carico ciclico condotte in laboratorio sugli stessi terreni, ma con pressioni efficaci di confinamento maggiori, indicano che la resistenza alla liquefazione aumenta in una maniera non

lineare, ovvero “meno che lineare”, al crescere di σ'_{V_0} e quindi della profondità. E' pertanto prudente prendere in considerazione tale comportamento.

La formulazione accettata per la correzione relativa alla sovrappressione litostatica è la seguente:

$$K_{\sigma} = (\sigma'_{v_0}/P_a)^{(f-1)}$$

In cui:

- σ'_{v_0} tensione litostatica efficace iniziale;
- $P_a = 101.3 \text{ kPa}$ pressione atmosferica di riferimento;
- f esponente in funzione dello stato di addensamento del materiale, così definito:
 - o $f = 0.7 \div 0.8$ per densità relative D_R nel range 40% \div 60%
 - o $f = 0.6 \div 0.7$ per densità relative D_R nel range 60 \div 80%

8.4 VERIFICA A LIQUEFAZIONE IN CONDIZIONI SISMICHE

Come discusso nei capitoli precedenti, sul sito oggetto di indagine sono disponibili i dati relativi a n°3 sondaggi ed a n°2 profili sismici MASW.

In particolare, per ogni sondaggio si hanno a disposizione i risultati relativi a n°7 prove SPT realizzate a profondità comprese tra i 2 ed i 27 m dal piano campagna.

Le prove MASW sono restituite mediante profilo di velocità discretizzato in 7 strati, per ognuno dei quali è disponibile il valore V_s , distribuiti da 1 m a 30 m di profondità rispetto al piano.

Le verifiche sono state condotte per tutte le quote cui sono disponibili le prove SPT e la velocità delle onde V_s .

La profondità della falda è stata assunta pari a 0.5 m, come da valore minimo determinato nel sondaggio SP01.

In mancanza di informazioni continue sullo stato di addensamento e sul peso specifico di tutte le formazioni che si succedono in stratigrafia, le tensioni litostatiche sono state determinate assumendo un peso specifico naturale del terreno $\gamma_{NAT} = 19.08 \text{ kN/m}^3$, come da valore medio determinabile dalle prove di laboratorio disponibili.

In ragione del fattore di scala MSF, fornito in letteratura non come un valore unico, ma come una regione delimitata da due curve (una superiore ed una inferiore) il fattore di sicurezza è stato calcolato come un intervallo di variazione tra i suoi valori minimo e massimo, e di cui si fornisce la media.

Le seguenti tabelle riassumono i dati di input ed i risultati delle valutazioni condotte sulle 5 indagini geognostiche disponibili; per una rapida interpretazione del risultato, i valori del fattore di sicurezza sono stati campiti con una scala di colore così rappresentata:

- In rosso i valori con FS >1;
- In giallo i valori per cui $1 \leq FS \leq 1.25$;
- In verde i valori FS > 1.25

CONDIZIONI GEOTECNICHE			NOTE
γ_{NAT}	(kN/m ³)	19.08	peso specifico naturale
CONDIZIONI IDRAULICHE			NOTE
z_w	(m)	0.5	profondità di calcolo della falda
SISMA			NOTE
V_N	(y)	50	vita utile NTC2018
Classe	(-)	IV	classe d'uso NTC2018
$>C_{U,NTC}$	(-)	2	coefficiente d'uso NTC2018
$>V_R$	(y)	100	vita di riferimento
$>T_R$ SLO ($P_{VR} = 81\%$)		60	tempo di ritorno per Stato Limite di Operatività (SLE)
$>T_R$ SLD ($P_{VR} = 63\%$)		101	tempo di ritorno per Stato Limite di Danno (SLE)
$>T_R$ SLV ($P_{VR} = 10\%$)		949	tempo di ritorno per Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLU)
$>T_R$ SLC ($P_{VR} = 5\%$)		1950	tempo di ritorno per Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLU)
$>a_g$ SLO	(g)	0.040	accelerazione orizzontale su sito di riferimento rigido orizzontale per SLO
$>a_g$ SLD	(g)	0.048	accelerazione orizzontale su sito di riferimento rigido orizzontale per SLD
$>a_g$ SLV	(g)	0.107	accelerazione orizzontale su sito di riferimento rigido orizzontale per SLV
$>a_g$ SLC	(g)	0.131	accelerazione orizzontale su sito di riferimento rigido orizzontale per SLC
Categoria sottosuolo	(-)	C	categoria di sottosuolo NTC2018
$>S_s$	(-)	1.500	fattore di amplificazione stratigrafico
Categoria topografica	(-)	T1	categoria topografica
$>S_T$	(-)	1.00	fattore di amplificazione topografico
stato limite	(-)	SLV	stato limite per il calcolo di liquefazione
$>a_{max}$	(g)	0.160	accelerazione massima attesa al sito per lo stato limite considerato
MW_{max}	(-)	6.60	magnitudine massima del sisma atteso

SONDAGGIO SP01

Z (m)	FC		D _R (%)	K _G (-)	MSF _{LOWER} (-)	MSF _{UPPER} (-)	CRR _{7,5} (-)	CSR (-)	FSL _{LOWER} (-)	FSL _{AVG} (-)	FSL _{UPPER} (-)
	<75μm (%)	N _{SPT} (-)									
2.3	20	8	54	1.00	1.39	1.52	0.150	0.171	1.22	1.28	1.34
7.8	5.8	16	68	1.00	1.39	1.52	0.182	0.188	1.34	1.41	1.48
9.3	2	6	41	1.00	1.39	1.52	0.082	0.186	0.61	0.64	0.67
16.8	5	11	46	0.90	1.39	1.52	0.102	0.146	0.87	0.92	0.96
22.8	5	36	75	0.75	1.39	1.52	0.270	0.119	2.37	2.49	2.61
24.3	5	20	54	0.80	1.39	1.52	0.138	0.115	1.33	1.39	1.46
27.3	5	23	56	0.77	1.39	1.52	0.146	0.109	1.42	1.50	1.57

SONDAGGIO SP02

Z (m)	FC		D _R (%)	K _G (-)	MSF _{LOWER} (-)	MSF _{UPPER} (-)	CRR _{7,5} (-)	CSR (-)	FSL _{LOWER} (-)	FSL _{AVG} (-)	FSL _{UPPER} (-)
	<75μm (%)	N _{SPT} (-)									
8.8	6.8	24	83	1.00	1.39	1.52	0.313	0.187	2.33	2.44	2.56
10.3	6.8	6	40	1.00	1.39	1.52	0.081	0.183	0.61	0.65	0.68
15.3	6.6	20	64	0.89	1.39	1.52	0.179	0.155	1.42	1.49	1.56
16.8	5	17	57	0.88	1.39	1.52	0.145	0.146	1.21	1.27	1.33
22.8	3.81	24	61	0.79	1.39	1.52	0.169	0.119	1.56	1.64	1.72
25.8	3.81	14	45	0.82	1.39	1.52	0.100	0.112	1.02	1.08	1.13
27.3	5	23	56	0.77	1.39	1.52	0.146	0.109	1.42	1.50	1.57

SONDAGGIO SP03

Z (m)	FC		D _R (%)	K _G (-)	MSF _{LOWER} (-)	MSF _{UPPER} (-)	CRR _{7,5} (-)	CSR (-)	FSL _{LOWER} (-)	FSL _{AVG} (-)	FSL _{UPPER} (-)
	<75μm (%)	N _{SPT} (-)									
9.3	1.2	34	97	1.00	1.39	1.52	NON LIQ.	0.186	NON LIQ.	NON LIQ.	NON LIQ.
10.8	1.2	28	84	0.98	1.39	1.52	0.354	0.181	2.67	2.81	2.94
15.3	4.74	16	57	0.90	1.39	1.52	0.143	0.155	1.15	1.21	1.27
16.8	2.55	53	##	0.79	1.39	1.52	NON LIQ.	0.146	NON LIQ.	NON LIQ.	NON LIQ.
20.3	5	8	37	0.89	1.39	1.52	0.077	0.127	0.75	0.78	0.82
22.8	5	59	96	0.70	1.39	1.52	NON LIQ.	0.119	NON LIQ.	NON LIQ.	NON LIQ.
24.3	5	29	66	0.76	1.39	1.52	0.196	0.115	1.81	1.90	1.99

Centrale di Ostiglia (MN)

Relazione geologica per l'installazione di una nuova unità a Ciclo Combinato
e interventi di miglioramento ambientale sui gruppi esistenti

Rev. Marzo 2021

PROFILO MASW 1

Z (m)	FC		K _G (-)	MSF _{LOWER} (-)	MSF _{UPPER} (-)	CRR _{7.5} (-)	CSR (-)	FSL _{LOWER} (-)	FSL _{AVG} (-)	FSL _{UPPER} (-)
	<75μm (%)	V _s (m/s)								
0.92	5	122.30	1.00	1.39	1.52	0.304	0.135	3.13	3.28	3.44
2.68	5	119.62	1.00	1.39	1.52	0.098	0.175	0.78	0.82	0.86
6.42	5	179.88	1.00	1.39	1.52	0.283	0.188	2.08	2.18	2.29
10.64	5	167.81	0.99	1.39	1.52	0.106	0.182	0.81	0.85	0.89
15.91	5	178.52	0.90	1.39	1.52	0.096	0.151	0.80	0.84	0.88
21.45	5	272.24	0.84	1.39	1.52	NON LIQ.	0.123	NON LIQ.	NON LIQ.	NON LIQ.
30	5	307.05	0.77	1.39	1.52	NON LIQ.	0.105	NON LIQ.	NON LIQ.	NON LIQ.

PROFILO MASW 2

Z (m)	FC		K _G (-)	MSF _{LOWER} (-)	MSF _{UPPER} (-)	CRR _{7.5} (-)	CSR (-)	FSL _{LOWER} (-)	FSL _{AVG} (-)	FSL _{UPPER} (-)
	<75μm (%)	V _s (m/s)								
1.07	5	146.39	1.00	1.39	1.52	NON LIQ.	0.142	NON LIQ.	NON LIQ.	NON LIQ.
2.85	5	162.46	1.00	1.39	1.52	NON LIQ.	0.177	NON LIQ.	NON LIQ.	NON LIQ.
6.06	5	131.61	1.00	1.39	1.52	0.079	0.188	0.58	0.61	0.64
10.35	5	207.98	1.00	1.39	1.52	0.495	0.183	3.76	3.95	4.13
15.62	5	240.11	0.91	1.39	1.52	NON LIQ.	0.153	NON LIQ.	NON LIQ.	NON LIQ.
21.58	5	264.21	0.84	1.39	1.52	NON LIQ.	0.123	NON LIQ.	NON LIQ.	NON LIQ.
30	5	304.37	0.77	1.39	1.52	NON LIQ.	0.105	NON LIQ.	NON LIQ.	NON LIQ.

Si osserva che:

- La verifica di suscettività a liquefazione eseguita nei diversi sondaggi, mediante le prove MASW ed a varie profondità, mostra un'alternanza di strati il cui potenziale di liquefazione è variabile e legato allo stato di addensamento degli elementi della successione stratigrafica, che si presenta talvolta caotica, vista la natura legata alla deposizione di genere alluvionale;
- La colonna stratigrafica è in generale poco suscettibile alla liquefazione, tranne che per strati isolati caratterizzati da un basso livello di addensamento (densità relativa inferiore al 45%) e comunque contenuti entro i primi 15÷20 m di profondità;
- Il sondaggio SP03 mostra caratteristiche e condizioni stratigrafiche, relativamente alla suscettibilità alla liquefazione, nettamente migliori rispetto ai rimanenti sondaggi.
- A partire dai 20 m di profondità, è ravvisabile un miglioramento delle condizioni geotecniche con relativo incremento del fattore di sicurezza alla liquefazione.

Centrale di Ostiglia (MN)

9 FATTIBILITA' GEOLOGICA

Gli studi Comunali di Piano di Governo del Territorio hanno condotto alla redazione di una Carta di fattibilità Geologica in cui il territorio è stato suddiviso in area diversa classe di fattibilità, secondo i criteri attuativi della Legge Regionale 12/05 per il Governo del Territorio della Regione Lombardia. La Carta di Fattibilità è una carta di pericolosità che fornisce le indicazioni in ordine alle limitazioni e destinazioni d'uso del territorio.

Essa deve essere utilizzata congiuntamente alle “Norme Geologiche di Attuazione” (di cui al Piano delle Regole) che ne riportano la relativa normativa d'uso (prescrizioni per gli interventi urbanistici, studi ed indagini da effettuare per gli approfondimenti richiesti, opere di mitigazione del rischio, necessità di controllo dei fenomeni in atto o potenziali, necessità di predisposizione di sistemi di monitoraggio e piani di protezione civile).

Di seguito vengono riportati il procedimento di attribuzione della classe di fattibilità e le 3 classi di fattibilità in cui è stato suddiviso il territorio comunale, secondo la normativa sopraccitata. Per le classe di fattibilità viene effettuata inoltre una distinzione in sottoclassi, individuate mediante sigle che contraddistinguono il fattore di pericolosità all'interno del quale tali aree ricadono. Al mosaico della fattibilità è stato sovrapposto un retino trasparente che indica le aree soggette ad amplificazione sismica locale (Zona Z4a) e quelle soggette a fenomeni di cedimenti e/o liquefazione (Zona Z2), così come risulta dagli approfondimenti di 1° Livello eseguiti ai sensi della D.G.R. 7374/2008.

Come osservabile in Figura 25, l'area di interesse progettuale ricade in Classe 3, ossia caratterizzata da Fattibilità con consistenti limitazioni; la classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

Gli elementi di potenziale pericolo/vulnerabilità, più o meno consistenti, sono:

- bassa soggiacenza della falda;
- depositi superficiali torbosi e paludosi;
- depositi superficiali argillosi talora organici, con scadenti caratteristiche geotecniche, riscontrati sino a 5 metri di profondità dal p.c.;
- appartenenza di una fascia di territorio parallela all'argine maestro, alla fascia fluviale C del fiume Po.

Più in dettaglio, l'area risulta appartenere alla sottoclasse 3a, ossia “a bassa soggiacenza della falda”.

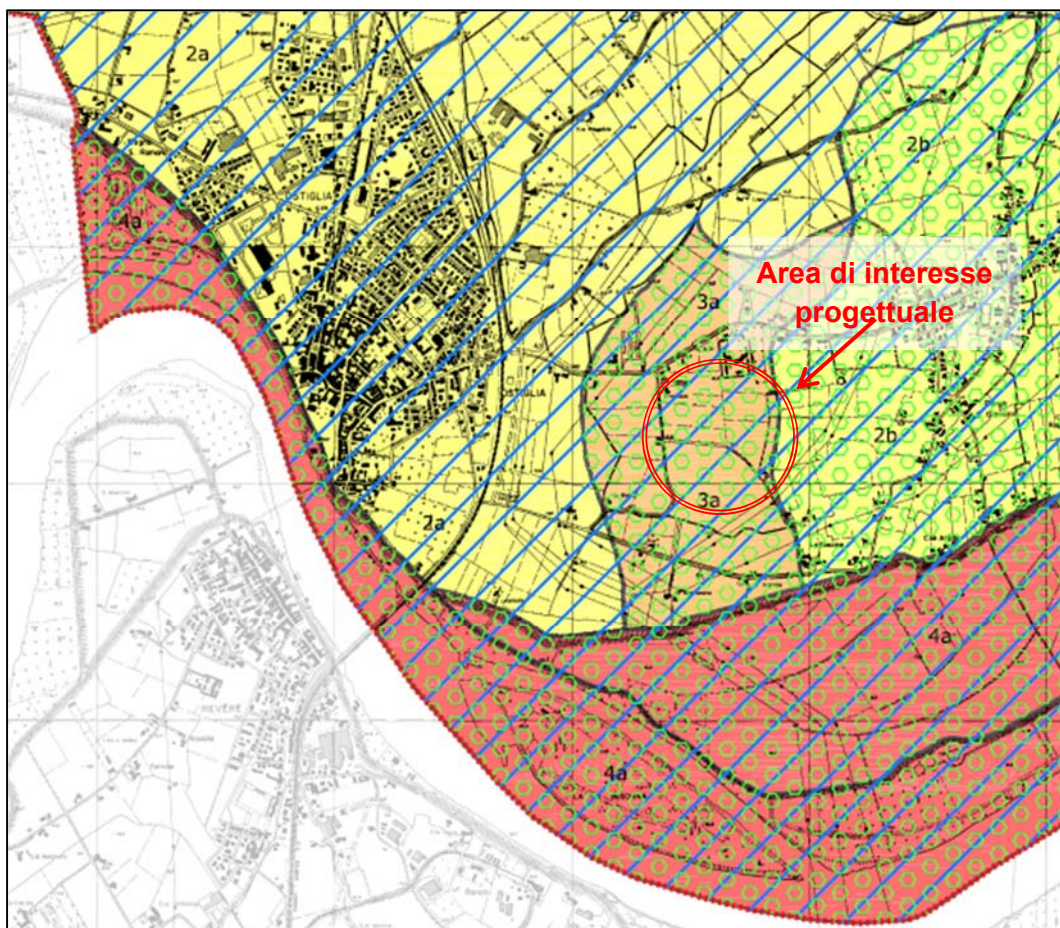





Figura 25 – Stralcio della Carta di Fattibilità Geologica (PGT)

FATTIBILITÀ GEOLOGICA (riferimento alle Norme geologiche di Piano)

Per gli Ambiti di trasformazione del P.G.T. si vedano anche le relative schede

-  **CLASSE 2 - Fattibilità con modeste limitazioni**
- 2a: Aree limo-argillose con limitata capacità portante
- 2b: Aree con possibile presenza di falde sospese
-  **CLASSE 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni**
- 3a: Aree a bassa soggiacenza della falda
- 3b: Aree paludose o torbose
- 3c: Aree con depositi argillosi compressibili (spessore compreso tra 4 e 5 m)
-  **CLASSE 4 - Fattibilità con gravi limitazioni**
- 4a: Aree di esondazione del fiume Po e ad elevata vulnerabilità dell'acquifero superficiale
- 4b: Aree con falda emergente

AREE A PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE



-  **Z2: Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti - Zone con depositi granulari fini saturi**
-  **Z4a: Zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi**



Figura 26 – Legenda Carta di Fattibilità Geologica (PGT)

10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

10.1 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

L'area di Centrale in oggetto fonda su termini identificati come unità a sabbie dominanti, più in dettaglio come "sabbie poco gradate con argilla" (indicati con la sigla S1P C2), al di sopra delle quali si sviluppano suoli calcarei o molto calcarei mediamente profondi, ad una distanza di circa 6 km sia da una faglia distensiva (posta ad ovest) che da una compressiva (a sud).

Sotto il profilo della Fattibilità Geologica il sito di fondazione delle opere in progetto ricade in un'area di Classe 3, ossia caratterizzata da fattibilità con consistenti limitazioni, più in dettaglio alla sottoclasse 3a, ossia "a bassa soggiacenza della falda".

10.2 ASPETTI GEOMORFOLOGICI ED IDROLOGICI

L'area di Centrale di interesse progettuale si sviluppa, ad una quota di circa 14,0 m s.l.m., nell'ambito della "piana alluvionale recente ed attuale" in corrispondenza di tracce di "paleoalvei" del Fiume Po; data la morfologia dei luoghi non si rilevano forme di dissesto attive che possano interessare le aree oggetto di progettazione.

Sulla base dell'analisi delle elaborazioni interferometriche differenziali svolta dalla Regione Lombardia si osserva che nel periodo dal 1992 al 2014 l'area di interesse progettuale evidenzia movimenti negativi del suolo (abbassamenti) con valori compresi tra -1,5 / -3 mm/anno. Tale abbassamento è riferibile ad una debole subsidenza che, per il suo carattere regionale, non influenza i manufatti già realizzati o da realizzarsi.

L'analisi delle carte di Pianificazione (PAI e PGRA) hanno mostrato che sotto il profilo idrologico-idraulico l'area oggetto di studio è esterna alla Fascia C, in una zona con scarsa probabilità di alluvione (TR500).

10.3 ASPETTI IDROGEOLOGICI

L'area di Centrale si colloca in una zona ad elevata vulnerabilità idrogeologica in cui si rileva una bassa soggiacenza della falda idrica sotterranea (isopieza 12 m s.l.m.) a circa 2 metri dal p.c.. Il deflusso idrico sotterraneo assume una direzione NE-SW a deflusso settentrionale, ossia il Fiume Po si presenta prevalentemente disperdente.

Una sezione idrogeologica ad andamento NW-SE mostra la ripetizione in profondità di livelli decametrici poco permeabili, a partire dai primi metri dal p.c. fino a circa 20 m da p.c., a cui seguono alternativamente livelli a maggiore e/o minore permeabilità.

10.4 ASPETTI SISMICI

Il Comune di Ostiglia rientra nell'elenco dei comuni dichiarati a rischio sismico, il cui grado di rischio è funzione della zona in cui il territorio in esame viene assegnato; Ostiglia ricade in zona 3, per cui l'accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A risulta essere $0.05 < a_g \leq 0.15$.

Nel territorio comunale sono stati riconosciuti gli scenari di pericolosità sismica locale Z2 e Z4a così come definiti nella Tabella 1 dell'Allegato 5 della D.G.R. 7374/2008, ossia Z2 (Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti - riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale-), soggetti a cedimenti e/o liquefazioni, e Z4a (Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali coesivi e granulari) soggetti ad amplificazioni litologiche e geometriche. Il sito in oggetto ricade in un'area in cui le zone Z2 e Z4a si sommano.

10.5 EVIDENZE EMERSE DALL'ANALISI ESEGUITA

In relazione alla diversa destinazione d'uso delle opere in costruzione afferenti al nuovo Gruppo di produzione a ciclo combinato, si ritiene che le opere fondazionali da stabilire nella successiva fase progettuale debbano essere differenziate, anche in maniera sensibile.

Dalle verifiche di suscettibilità a liquefazione eseguite si evidenzia un'alternanza di strati il cui potenziale di liquefazione è variabile e legato allo stato di addensamento degli elementi della successione stratigrafica (che si presenta a tratti caotica, vista la natura alluvionale), ma la colonna stratigrafica esaminata è in generale poco suscettibile alla liquefazione, tranne che per strati isolati caratterizzati da un basso livello di addensamento e comunque contenuti entro i primi 15÷20 m di profondità. A partire dai 20 metri di profondità si evidenzia infatti un miglioramento delle condizioni geotecniche, con un conseguente incremento del fattore di sicurezza alla liquefazione.

L'esame delle indagini eseguite indica quindi come fattibile la soluzione di fondazioni profonde su pali prevista nel progetto presentato con lo studio di impatto ambientale.

La necessità di prevedere fondazioni su pali più estesi in profondità rispetto agli orizzonti stratigrafici soggetti a liquefazione per sollecitazioni sismiche sarà verificata nella successiva fase esecutiva, all'atto in cui, oltre a disporre di elementi di dettaglio circa le macchine da installare, loro carichi, ecc., verrà predisposto il progetto esecutivo riguardante le strutture e la loro conformità alle norme tecniche per le costruzioni NTC2018.

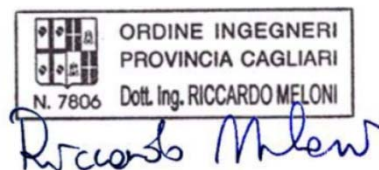
Roma, 19 Marzo 2021



(Dott. Valerio Ricciardi)



(Dott. Fabio Melchiorri)



(Ing. Riccardo Meloni)

Centrale di Ostiglia (MN)

BIBLIOGRAFIA E PORTALI CONSULTATI
--

- Autorita' di Bacino del Fiume Po - Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico - Scala 1:25.000 - FOGLIO 166 SEZ. III – Ostiglia PO 09 SECCHIA 01
- Autorità di bacino del fiume Po con il supporto specialistico operativo di Adriano Aimar di AIPo (2011) - (Direttiva 2007/60/CE) – PGRA, Valutazione e Gestione dei Rischi di Alluvione
- Baraldi F. e Pellegrini M. - Falde acquifere della Provincia di Mantova. Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, 34 (15) – Roma, 1978
- Baraldi F. e Zavatti A. (1994) - Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, 5 - Provincia di Mantova. Quaderni di tecniche di protezione ambientale. Protezione delle acque sotterranee. Pitagora Editrice Bologna.
- C.N.R. - I.R.S.A. (1979) – Lineamenti idrogeologici della Pianura Padana. Quaderni I.R.S.A., 28 (II), Roma.
- C.N.R. - I.R.S.A. (1981) – Indagine sulle falde acquifere profonde della Pianura Padana. Quaderni I.R.S.A. 51 (II), Roma
- Cassano E., Anelli L., Fichera R. e Capelli V. (1986) - Pianura Padana, interpretazione integrata di dati geofisici e geologici - AGIP - 73° congresso Società Geologica Italiana - 29 settembre - 4 ottobre 1986, Roma.
- Cerbini G. – Gorla M. (2004) - Idrogeologia Applicata. Principi, metodi e misure. Ed. Geo-Graph, 1° edizione.
- Civita M. (1997) - Le carte della Vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica. Pitagora Editrice Bologna.
- Comune di Ostiglia (BG) - PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO, Relazione geologica e allegati - Dott. Geol. F. Gabrielli, Dott. Geol. L. Calzolari & Dott. Geol. A. Baracca
- E.R.S.A.L. (1991) - Progetto Carta Pedologica. I Suoli della Pianura Ostigliese. Serie SSR6, Milano. Francani V. (1977) - Geologia Tecnica. Osservazioni sul comportamento delle falde acquifere alimentate dal Po presso Ostiglia (MN).
- ENEL (1984) – Rapporto per la localizzazione di una centrale elettronucleare nella Regione Lombardia.
- ENEL (1981) – Elementi di neotettonica del territorio italiano. 3 vol., 1-94, Milano.
- Gruppo di lavoro (2004) – Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile. INGV, Milano-Roma, aprile 2004.
- <http://diss.rm.ingv.it/dissGM/>
- <http://esse1-gis.mi.ingv.it>
- <http://sqi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/index.html>
- <http://sqi2.isprambiente.it/mapviewer/>
- <http://www.geoportale.regione.lombardia.it/en/metadati>
- <https://emidius.mi.ingv.it/CPT15-DBMI15/> Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani-

Centrale di Ostiglia (MN)

Relazione geologica per l'installazione di una nuova unità a Ciclo Combinato e interventi di miglioramento ambientale sui gruppi esistenti

Rev. Marzo 2021

- <https://www.arpalombardia.it/Pages/Monitoraggio-geologico/Le-reti-di-controllo.aspx>
- <https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/iffi-inventario-dei-fenomeni-franosi-in-italia>
- Politecnico di Milano (2006) – Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell’aspetto sismico nei piani di governo del territorio. Milano, febbraio 2006.
- Politecnico di Milano (2005) – Analisi e valutazione degli effetti sismici in determinati comuni del territorio lombardo e supporto tecnico inerente l’analisi di vulnerabilità sismica prevista dal programma temporale delle verifiche di cui alla D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003. Dipartimento di ingegneria Strutturale del politecnico di Milano, Convenzione tra Regione Lombardia e Dipartimento di ingegneria Strutturale. Milano, marzo 2005.
- Politecnico di Milano (2005) – Metodi di valutazione della risposta sismica locale, con particolare riferimento alla modellazione numerica: alcuni casi reali. Pavia, 10 novembre 2005.
- Politecnico di Milano (2005) – Proposta di una metodologia per la valutazione degli effetti locali a supporto della pianificazione. Pavia, 10 novembre 2005.
- Provincia di Mantova – Assessorato Sanità e Ambiente (1979) - Le risorse idriche del comprensorio 31. Regione Lombardia (2001) - Acque sotterranee in Lombardia – Gestione sostenibile di una risorsa strategica.
- Regione Lombardia, Eni Divisione Agip (2002) - Geologia degli acquiferi Padani della Regione Lombardia, a cura di Cipriano Carcano e Andrea Piccin – Ed. S.EL.CA., Firenze.
- T. L. Youd, Member, ASCE, and I. M. Idrissi, Fellow, ASCE (2001): Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering / April 2001.
- Stewart, David and Knox, Ray, "What is the Maximum Depth Liquefaction Can Occur?" (1995). International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. 27.
<https://scholarsmine.mst.edu/icrageesd/03icrageesd/session03/27>
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica: Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazioni (LQ) versione 1.0, Roma, 2018.
- Commissione Interregionale NTC. I quaderni: Modellazione sismica e stabilità alla liquefazione.