

**RELAZIONE GEOGNOSTICA SULLE
INDAGINI ESEGUITE IN SITO**

**MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA
GEOMORFOLOGICA E ANALISI RISCHIO
IDRAULICO DELL'AREA DOVE E'
PREVISTA LA REALIZZAZIONE DI UNA
STRUTTURA SCOLASTICA**

**ANALISI SISMICA DEL SITO
RIPORTANTE LA PERICOLOSITA'
SISMICA DI BASE**

D.P.R. 380/2001

DECRETO MINISTERIALE 14 GENNAIO 2008

Legge Regionale 30 Ottobre 2008 n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico"
CIRCOLARE 02/02/2009 n. 617

Atto C.P. 112 del 22/07/2008 di Adozione della Variante Generale al P.T.C.P. della
Provincia di Modena approvato con D.C.P. n°46 del 18/03/2009

COMMITTENTE: COMUNE DI SAN POSSIDONIO.

CANTIERE : Via Focherini – SAN POSSIDONIO -

UBICAZIONE CATASTALE: Foglio n. 5 – Mappali n. 577 – 575 - 573

DATA: LUGLIO 2012



1.PREMESSA	pag.3
2.RIFERIMENTI NORMATIVI	pag.3
3.MODELLO GEOLOGICO IDROGEOLOGICO E ANALISI IDRAULICA	pag.4
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO PAESAGGISTICO	pag.4
3.2 DESCRIZIONE DEI PROCESSI DI MODELLAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	pag.7
3.2.1 <i>Geomorfologia di dettaglio</i>	pag.10
3.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	pag.15
3.3.1 <i>Idrogeologia locale</i>	pag.21
3.3.2 <i>Soggiacenza del livello piezometrico</i>	pag.21
3.3.3 <i>Piezometria a livello locale</i>	pag.24
3.4. IDROGRAFIA DI SUPERFICIE	pag.27
3.4.1 <i>Esondabilità del territorio</i>	pag.28
3.4.2 <i>Criticità idraulica</i>	pag.31
4. LITOSTRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	pag.35
4.1 TECNICHE DI INDAGINE	pag.35
4.2 INTERPRETAZIONE LITOLOGICA	pag.36
4.3 PARAMETRI GEOTECNICI MEDI E CARATTERISTICI	pag.40
4.3 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO	pag.42
5. ANALISI SISMICA RIPORTANTE LA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE DEL SITO	pag.43
5.1 SISMICITA' DEL TERRITORIO	pag.43
5.1.1 <i>Cenni sulla sismotettonica della pianura padana</i>	pag.43
5.2 MODELLO SISMICO DEL SOTTOSUOLO	pag.45
5.2.1. <i>Definizione categoria sismica mediante analisi HVRS del sottosuolo e mediante analisi onde di superficie MASW</i>	pag.45
5.2.1.1 <i>Prospezione sismica HVSR – Cenni di teoria</i>	pag.45
5.2.1.2 <i>Effetti di percorso</i>	pag.45
5.2.1.3 <i>Definizioni.</i>	pag.46
5.2.1.4 <i>Tecnica impiegata</i>	pag.46
5.2.1.5 <i>Strumentazione - Caratteristiche del campionamento ed elaborazione</i>	pag.47
5.2.1.6 <i>Schede di acquisizione elaborazione e interpretazione</i>	pag.47
5.2.2 <i>MASW - In Onde Rayleigh</i>	pag.50
5.2.2.1 <i>Schede di acquisizione elaborazione e interpretazione</i>	pag.51
5.2.3 <i>Modello sismico del sottosuolo</i>	pag.52
5.3 ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE	pag.57
5.3.1 <i>Spettri Di Risposta Elastiche amplificazione litologica</i>	pag.58
5.3.2 <i>Analisi Del Rischio Di Liquefazione Da Prove In Sito</i>	pag.62
6.CONCLUSIONI	pag.69
ALLEGATI	pag.76

1.PREMESSA

Su incarico e per conto del Committente, si produce una modellazione idrogeologica dell'area sita in Via Focherini in Comune di San Possidonio, dove è in progetto la costruzione di una struttura scolastica, si fornisce un'analisi rischio idraulico del sito e un'analisi di pericolosità sismica locale riportando gli effetti attesi. Si descrivono le proprietà litostratigrafiche e si fa una caratterizzazione preliminare dei parametri geotecnici dei livelli litologici superficiali e profondi riscontrati.

La sequenza stratigrafica di dettaglio, la definizione preliminare dei parametri geotecnici dei livelli litologici superficiali e profondi riscontrati, sono ricavati dai risultati di n.2 prove penetrometriche statiche di tipo meccanico, eseguite in sito in data 04/07/2012 dal Laboratorio di prove geotecniche in sito GEOPROGETTI S.r.l. di Medolla.

Le prove sono state spinte alla profondità variabile da - 20.00 a - 32.00 m per la ricostruzione delle caratteristiche litologiche e stratigrafiche fino a tale quota.

Al fine di produrre un'analisi di pericolosità sismica locale, determinare il valore della velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m e fornire la frequenza fondamentale del sito, si sono realizzate in data 04/07/2012 n. 2 prove di sismica passiva con tomografo digitale modello TRZ-0121/01/11 progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico e un rilievo geofisico in onde di superficie MASW con strumento SoilSpy Rosina modello SAB-0019/02-11.

Le prove sismiche sono state realizzate dallo Studio Geologico del Dott. Salvatore Mucci di Castelfranco (MO).

Scopo dell'indagine è stato fornire un modello idrogeologico dell'area in epigrafe, una analisi del rischio idraulico, una caratterizzazione geotecnica preliminare del volume di terreno influenzato dalla struttura da realizzare e un'analisi di pericolosità sismica locale che riporti il valore dell'accelerazione di propagazione delle onde sismiche attesa al suolo rigido di riferimento, il valore di amplificazione litologica quale effetto di sito atteso, il valore di accelerazione atteso in superficie, il valore della frequenza fondamentale del sito e gli spettri di risposta. Si condurrà anche un'analisi di rischio liquefazione dei terreni sabbiosi saturi presenti con metodi semplificati.

I rapporti delle prove penetrometriche statiche eseguite in sito e l'ubicazione di tutte le indagini eseguite sono allegati alla presente relazione. All. n. 1 e 2.

2.RIFERIMENTI NORMATIVI

D.P.R. 380/2001

DECRETO MINISTERIALE 14 GENNAIO 2008

Legge Regionale 30 Ottobre 2008 n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico"

CIRCOLARE 02/02/2009 n. 617

Atto C.P. 112 del 22/07/2008 di Adozione della Variante Generale al P.T.C.P. della Provincia di Modena approvato con D.C.P. n°46 del 18/03/2009

3. MODELLO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO E ANALISI IDRAULICA

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO PAESAGGISTICO

La zona oggetto di studio si trova immediatamente a nord-ovest rispetto il centro cittadino di San Possidonio ad una quota di 18 m slm, in zona agricola, circondata a nord e a ovest da aree agricole, mentre a sud e est da zone residenziali.

Le coordinate geografiche dell'area sono 44°53' 43.02"N e 10°59' 37.41"E.

Il sito ha accesso da Via di Focherini, che si collega con diverse vie secondarie al centro del paese.

I centri comunali più vicini sono:

San Possidonio a circa 300 m a sud-est

Concordia sulla Secchia a circa 2.0 Km a nord-ovest

Mirandola a circa 5.80 Km a est

Oltre che a varie case sparse di campagna.

Il territorio del Comune di San Possidonio dove si trova in sito di studio è situato a Nord della provincia di Modena e ricade nel settore assiale della Pianura Padana "propriamente detta".

L'area, secondo quanto indicato nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Modena, ricade nell'Unità di Paesaggio indicata con il numero 5 L'unità di Paesaggio n. 5 "Paesaggio perifluviale del Fiume Secchia nella fascia di Bassa e Media Pianura" che si estende nella porzione Ovest del territorio comunale a ridosso del fiume Secchia.

L'area di studio si trova a est del fiume Secchia a una distanza di 900 m dal punto più vicino.

Questa U.P. è caratterizzata dalla presenza del corso del fiume Secchia che influenza e determina la dimensione e l'orientamento della maglia poderale circostante rispetto alle aree più distanti dal fiume. Anche la struttura degli insediamenti sparsi e la maglia viaria complessa, sono influenzati dalla presenza del corso d'acqua che in alcuni casi determina l'orientamento delle strutture edilizie, prevalentemente di interesse storico-architettonico, disposte lungo i margini delle antiche golene.

La morfologia è fortemente connotata dalla presenza di dossi che corrono parallelamente e lateralmente al fiume.

Il contesto ambientale prevalente è quello fluviale, caratterizzato dalla presenza della vegetazione arborea ed arbustiva tipica dei corsi d'acqua con salici e pioppi lungo le sponde del fiume ed all'interno delle arginature, e da elementi residuali rappresentati da alberi di grandi dimensioni isolati o in formazioni arboree lineari sviluppate lungo i confini dei campi, dei fossati o nelle immediate vicinanze delle case coloniche o ville.

Negli ambiti agricoli sono presenti aziende agricole ad indirizzo viticolo-zootecnico, aziende agricole di carattere misto di grandi dimensioni anche a produzione frutticola e aziende di tipo estensivo a seminativo.

La maglia poderale è caratterizzata da una notevole complessità per orientamento e dimensioni a causa dell'andamento del corso del fiume.







Il paesaggio rurale determinato dalle tipologie aziendali prevalenti risulta

particolarmente variegato, e definito dalla diversa combinazione degli effetti degli ordinamenti produttivi riconoscibili nella zona.

Il territorio della U.P. n. 5 è prevalentemente interessato dalla tutela del corso del fiume Secchia in quanto ambito di interesse ambientale per i caratteri fluviali e dalla tutela del dosso principale.

Nel PRG Vigente l'area di ubicazione della struttura è classificata in zona per attrezzature di servizio (art.59).




**ZONE A PREVALENTE DESTINAZIONE PRODUTTIVA PRIMARIA
(ZONE OMOGENEE E)**

	Zone agricole nel paesaggio dei "terreni fertili"	Art. 51
	Zone agricole nel paesaggio dei "terreni argillosi di bonifica recente"	Art. 51
	Zone agricole di rispetto ai cimiteri	Art. 51
	Zone agricole di rispetto ai centri abitati nel paesaggio dei "terreni fertili"	Art. 51
	Zone agricole di rispetto ai centri abitati nel paesaggio dei "terreni argillosi di bonifica recente"	Art. 51
	Zone agricole di valore ambientale	Art. 51

ZONE PER ATTREZZATURE PUBBLICHE DI INTERESSE GENERALE (ZONE OMOGENEE F)

	Zone destinate alla viabilità	Art. 57
--	-------------------------------	---------

**ZONE PER ATTREZZATURE PUBBLICHE
(ZONE OMOGENEE G)**

	Zone a verde pubblico	Art. 59
	Zone per attrezzature di servizio	Art. 59
	Aree a parcheggio	

VINCOLI DI P.R.G. E ZONE ED ELEMENTI DI TUTELA AMBIENTALE E STORICO-PAESAGGISTICA














	Zone di tutela dei caratteri ambientali di laghi, bacini e corsi d'acqua	Art. 61
	Zone di tutela ordinaria	
	Fasce di espansione inondabile (da PTCP)	
	Invasi ed alvei di laghi, bacini, e corsi d'acqua	Art. 62
	Zone di particolare interesse paesaggistico - ambientale	Art. 63
	Dossi di pianura	Art. 64
	Dossi di ambito fluviale recente	
	Paleodossi di modesta rilevanza	
	Zone ed elementi di interesse storico-archeologico	Art. 65
	Aree di accertata e rilevante consistenza archeologica	
	Aree di concentrazione di materiali archeologici	
	Terreni interessati dalle bonifiche storiche di pianura	Art. 66
	Viabilità Storica	Art. 67



Fig.1: Stralcio PRG Vigente con indicata la zona di ubicazione del sito di intervento



Fig.2: Fotorilievo della zona di studio.

3.2 DESCRIZIONE DEI PROCESSI DI MODELLAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

L'attuale assetto morfologico ed altimetrico del territorio in esame è marcatamente influenzato dagli affluenti appenninici del fiume Po (Secchia nell'area di studio) ed è oltremodo legato ai movimenti tettonici, alla subsidenza naturale e all'intervento antropico.

I fiumi che scorrono in questa porzione di bassa pianura si trovano in uno stadio di maturità evolutiva in cui la fase deposizionale prevale su quella erosiva a causa della bassa capacità di deflusso e della esigua capacità di trasporto; questo quadro è confermato dalla presenza di meandri e di alvei pensili che hanno reso necessaria la costruzione di argini artificiali.

In assenza di argini artificiali i fiumi tendono a divagare e quando le acque di piena traboccano si verifica un deposito differenziato con la sedimentazione di elementi fini o grossolani in funzione della diversa energia cinetica della corrente. In prossimità dell'alveo il fiume tende a depositare materiali più grossolani formando dossi di tracimazione (argini naturali), oltre che ventagli e canali di esondazione in corrispondenza delle rotte; tali emergenze morfologiche si manifestano sia lungo il corso attuale del fiume Secchia che in corrispondenza di alvei abbandonati (paleoalvei).

Nelle aree distali più depresse, poste tra un fiume e l'altro, l'energia cinetica della corrente diminuisce ed i depositi si fanno sempre più fini per diventare prevalentemente argillosi nelle basse dove la prolungata permanenza delle acque favorisce la sedimentazione delle particelle in sospensione; per la maggiore costipabilità dei materiali fini rispetto a quelli sabbiosi, si determina poi un aumento dei dislivelli fra i dossi dei paleoalvei e le valli, oltre che fra la rete idrografica ed il livello medio del territorio.

In questa situazione, in concomitanza con gli eventi alluvionali, è possibile che un fiume cambi il suo percorso.

Secondo questo modello, schematizzato in Fig. 3, l'accrezione della pianura avviene perciò sia orizzontalmente, con il giustapporsi di successivi corpi d'alveo, sia verticalmente, a causa di continui cicli di riempimento dei bacini di esondazione.

La pianura risulta dunque costituita da un intrecciarsi di lenti a tessitura prevalentemente sabbiosa, corrispondenti a corpi d'alveo sepolti, e da sedimenti fini (limi ed argille) determinati dai riempimenti dei bacini interfluviali di esondazione.

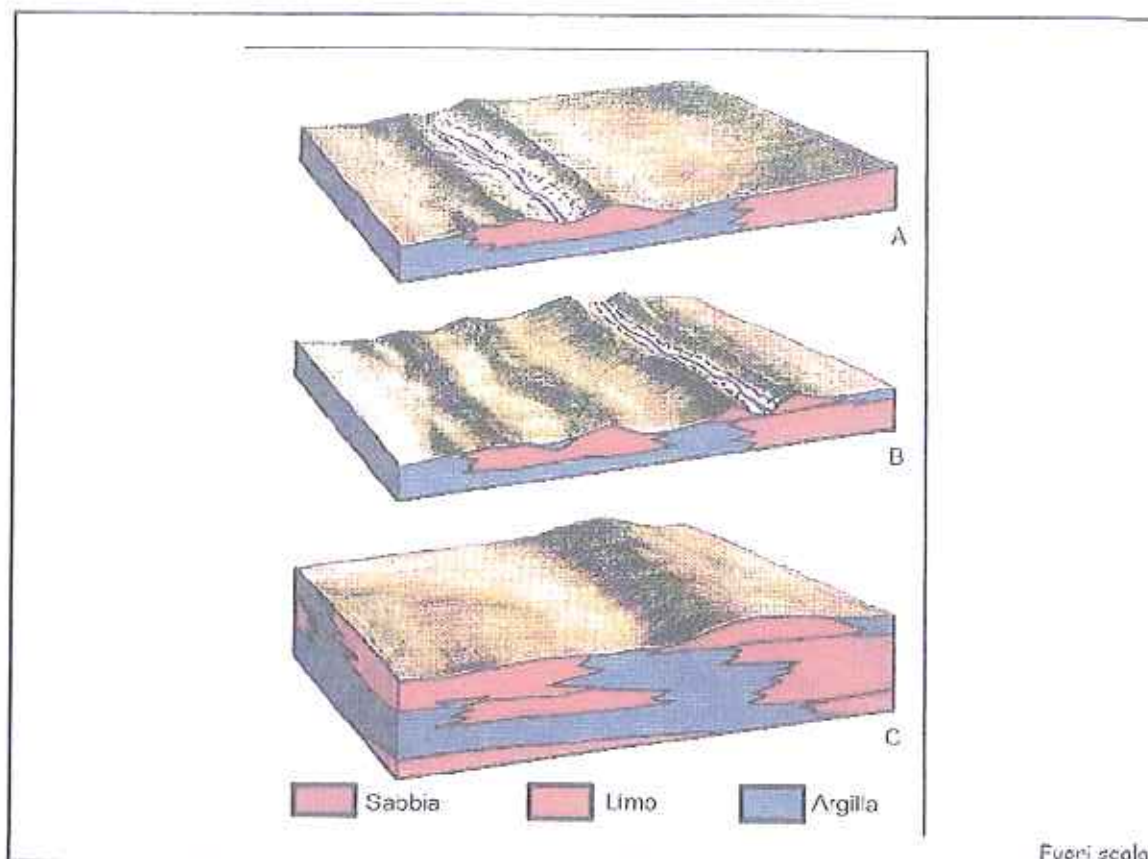


Figura 3 - Evoluzione morfologica di un corso d'acqua in un'area di piana alluvionale in una situazione non ancora regolata dall'uomo, cioè "naturale" Fonte: Pellegrini M. (1990) - I Navigli e la rete idrografica negli antichi ducati estensi di Modena e Reggio Emilia".

Il modello descritto è confermato, oltre che dalla distribuzione delle litologie di superficie e del primo sottosuolo, dall'assetto morfologico della pianura; una sintesi di esso è rappresentata dalla carta di Fig. 4, tratta dalla "Carta delle unità geomorfologiche" allegata alla pubblicazione "I suoli della pianura modenese - Regione Emilia Romagna, 1993", che illustra la distribuzione delle unità geomorfologiche in una zona comprendente il Comune di San Possidonio e le aree limitrofe; tali unità sono rappresentate da:

Unità degli Argini Naturali del Reticolo Idrografico Principale: comprende le aree topograficamente più rilevate della pianura alluvionale, di forma generalmente allungata secondo l'asse del canale fluviale e profilo convesso. I depositi sono caratterizzati da successioni di strati decimetrici a tessitura moderatamente grossolana, passanti lateralmente ed intercalati a strati a tessitura moderatamente fine; la loro deposizione è riconducibile ai processi fluviali di deposizione laterale d'alveo e di rotta e tracimazione descritti in precedenza. Localmente si possono ritrovare corpi canalizzati a tessitura grossolana riferibili a canali di rotta.

Nel territorio comunale questa unità è la più presente. Si trova lungo

l'alveo attuale del fiume Secchia nella parte ovest e sud del territorio, nella parte centrale, nella porzione est dove sorge il centro cittadino e le frazioni minori localizzate sul paleodosso che attraversa da nord a sud il Comune.

Unità delle Coperture Alluvionali (dove si trova la zona di studio): sono aree localizzate in genere a fianco degli Argini Naturali (come accade infatti nell'area di studio), costituite da depositi riconducibili anch'essi a processi di rotta e tracimazione fluviale, che presentano però sequenze generalmente più fini, costituite da alternanze di strati decimetrici a tessitura moderatamente fine e strati centimetrici a tessitura moderatamente grossolana. Nel territorio comunale questa unità è presente nella zona compresa fra l'attuale alveo del fiume Secchia e il paleoalveo centrale che attraversa da nord a sud il Comune e nella porzione nord del territorio.

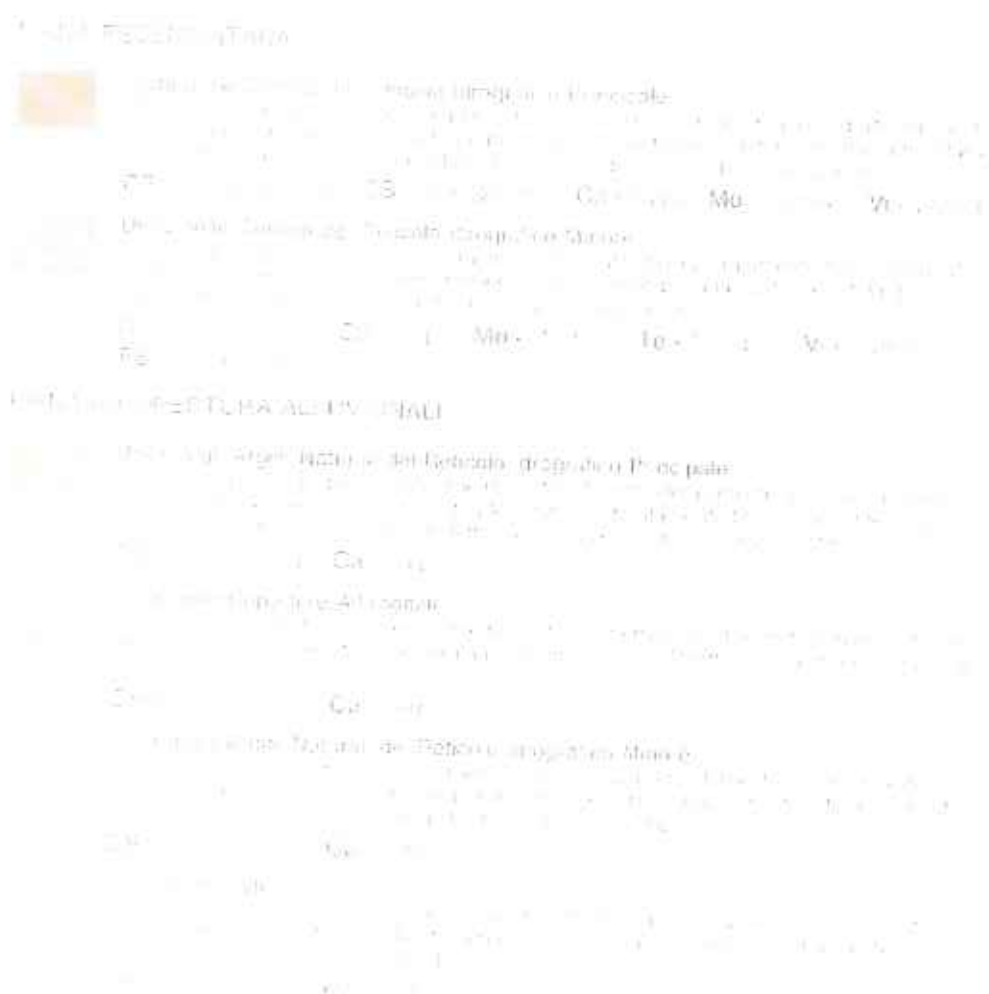


Figura 4a – Stralcio della Legenda della Carta delle Unità Geomorfologiche – Regione Emilia Romagna – Carta dei Suoli della Pianura Modenese, 1993.

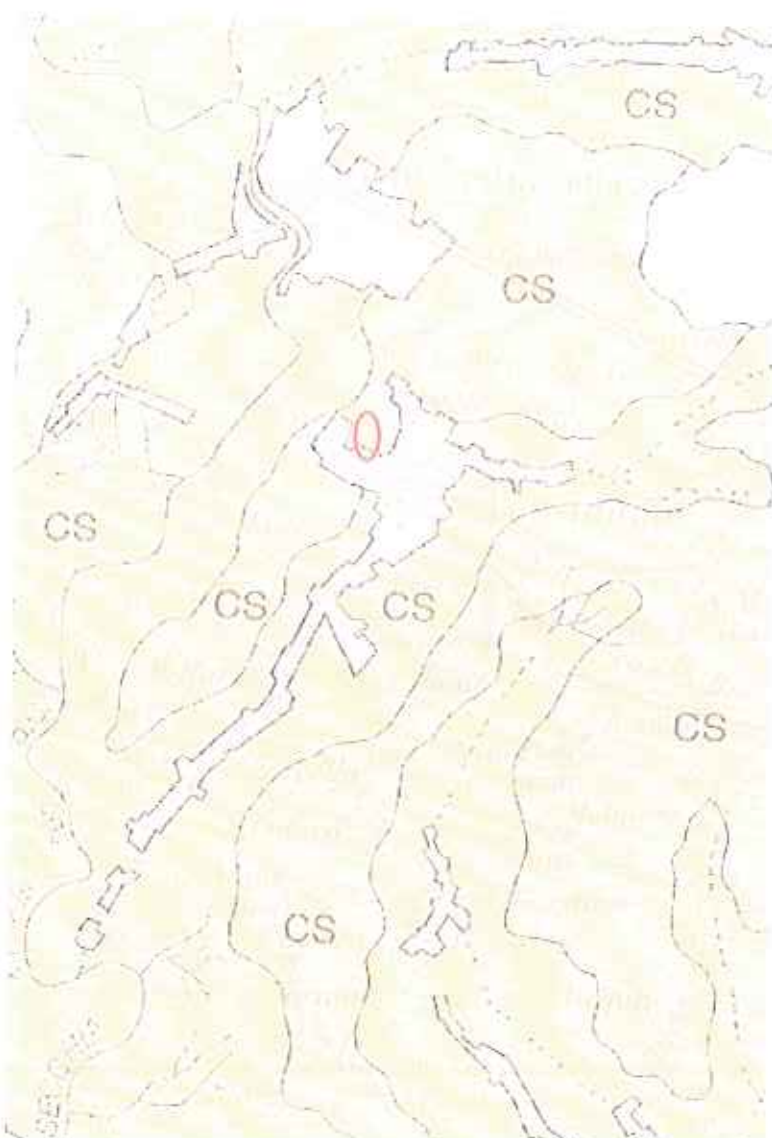


Figura 4b – Stralcio da Carta delle Unità Geomorfologiche – Regione Emilia Romagna – Carta dei Suoli della Pianura Modenese, 1993.

3.2.1 Geomorfologia di dettaglio

Le caratteristiche geomorfologiche del territorio comunale sono il risultato dell'evoluzione idrografica del fiume Po, Secchia e in subordine Panaro che, negli ultimi 5 millenni, hanno divagato modellando il territorio in oggetto.

L'azione fluviale è stata a sua volta condizionata da lenti movimenti della tettonica profonda, da fenomeni di subsidenza e costipamento, interessando in alcuni casi anche le forme più recenti.

Nei limiti del territorio comunale, si osservano processi naturali di tipo alluvionale ancora attivi, il confine ovest del Comune è infatti rappresentato dall'attuale corso d'acqua del F. Secchia.

Il dosso di ambito fluviale recente coincide con la sede dell'attuale alveo fluviale e normato dall'art. 23A, comma 2 lettera a del P.T.C.P..

Nella parte centrale del Comune, si evidenzia la presenza di un dosso, un antico paleoalveo del fiume Secchia, identificabile grazie ad un effettivo dislivello altimetrico esistente fra una forma di accumulo e la circostante superficie dei bacini limitrofi.

Il dosso, particolarmente pronunciato e rilevabile da osservazioni dirette sul territorio, parte dall'estremità sud del Comune confondendosi con il dosso attuale del fiume Secchia, continua verso nord nella parte centrale del Comune e si biforca, in corrispondenza del centro cittadino.

Il paleoalveo ora definito è stato caratterizzato come un paleodosso di modesta rilevanza e di importanza idraulica. Tale struttura emerge dalla superficie limitrofa per un'altezza media di circa 1.50 m nella parte centrale e circa 1 m nella parte che si dirige verso Ovest e l'abitato di Mirandola. Tale paleoalveo è diventato, nel tempo, zona di insediamento preferenziale, in quanto permetteva agli abitanti di mantenere gli immobili al sicuro dalle inondazioni.

Attualmente, è la zona dove più abbondanti sono gli insediamenti antropici e le infrastrutture che testimoniano l'importanza storico-testimoniale della struttura morfologica.

Il dosso cartografato ha inoltre un'importanza idraulica poiché permette la suddivisione del Comune di San Possidonio in celle idrauliche più o meno chiuse, limitando un eventuale invaso delle acque di esondazione nella parte ovest del dosso (cella compresa fra l'attuale alveo e il paleoalveo del fiume Secchia).

Un terzo aspetto da salvaguardare è il contributo idrico che il dosso apporta alle falde sotterranee per infiltrazione meteorica, essendo costituito da terreni a tessitura leggermente più grossolana di carattere limoso quindi, moderatamente più permeabile rispetto ai terreni circostanti.

I paleodossi di modesta rilevanza sono normati dall'art. 23A comma 2 lettera c del P.T.C.P..

Tra i motivi geomorfologici minori, nel Comune di San Possidonio, è stato identificato, un conoide di esondazione che coincide con un ampio ventaglio alluvionale a cui si adegua l'andamento dei campi coltivati. Lo stesso si diparte dal centro cittadino nella zona di passaggio del vecchio alveo del fiume e si estende verso nord-ovest.

Si identificano inoltre dei canali di esondazione a percorso incerto, diramatisi dal conoide stesso e quindi dal Corso fluviale quando era attivo che coincidono con scorrimenti idrici temporanei attivatisi lateralmente al corso principale per esondazione dello stesso e rimasti attivi per un certo tempo. Si tratta di forme nastriformi poco evidenti e a percorso incerto che sono state evidenziate dall'analisi delle foto aeree.

Altro elemento, incluso fra le forme di paesaggio naturale del Comune di San Possidonio, che ricade in una classe morfologica tipica della bassa pianura alluvionale modenese, è il bacino interfluviale o catino, detto anche area depressa, in quanto altimetricamente più bassa rispetto alle aree di dosso circostanti.

Nel Comune s'individua un catino alluvionale nella zona compresa fra il corso attuale del fiume Secchia e il paleoalveo centrale che attraversa il Comune da sud a nord e rappresenta, come già detto, un'eventuale cella d'invaso delle

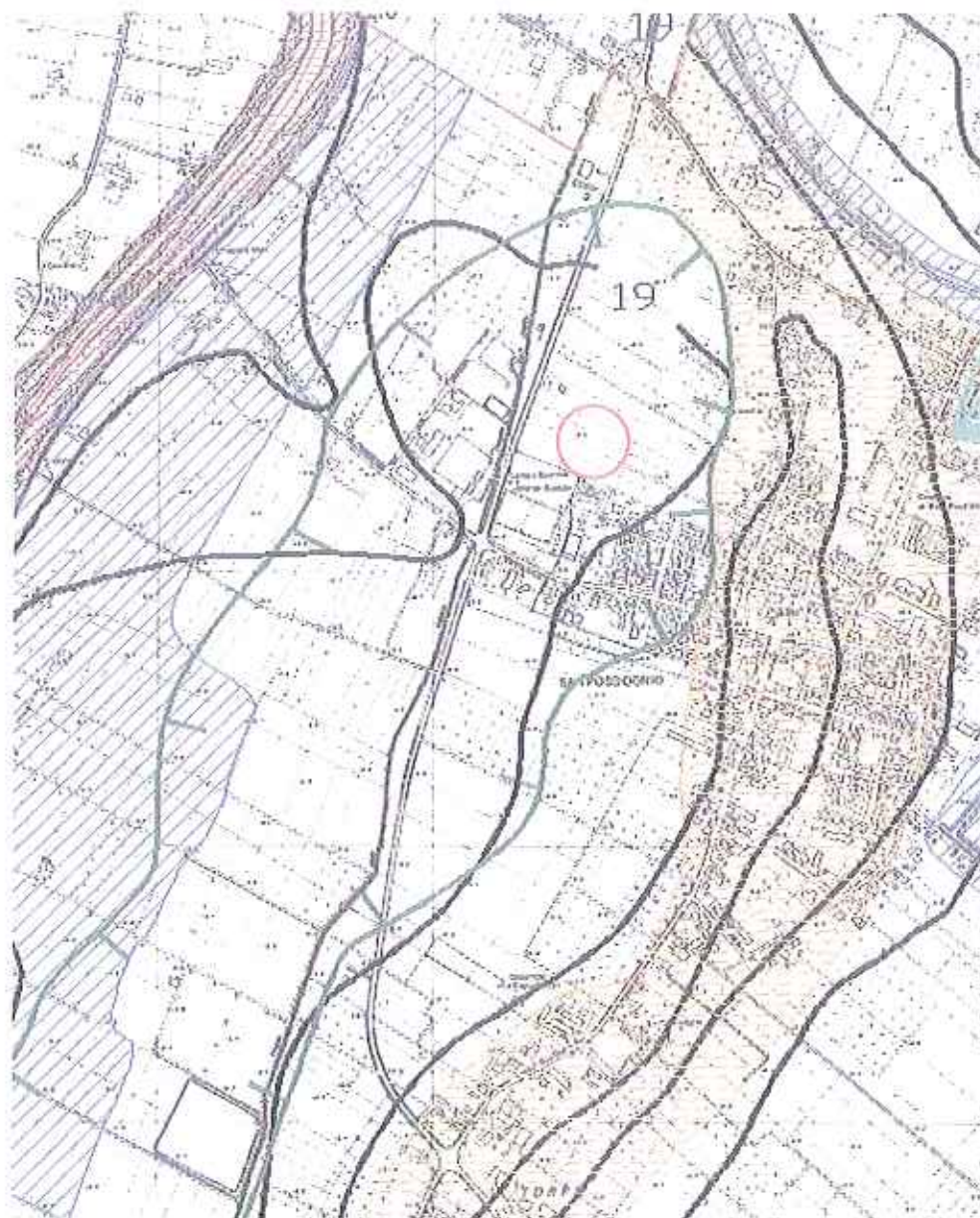


Figura 5 – Carta delle Strutture Geomorfologiche e delle tutele Paesaggistico-Ambientali del Comune di San Possidonio redatta per il quadro conoscitivo del PSC Comunale non ancora approvato e quindi non ancora pubblicata (Aprile 2012)

Si riporta inoltre uno stralcio con indicata la zona di studio della carta "Tutela delle risorse paesistiche e storico culturali" del PTCP della Provincia di Modena approvato il 18 Marzo 2009 dove il sito si trova a ovest del paleodosso in zona priva di morfostrutture particolari.

	Zone di tutela naturalistica (Art. 24)
	Zone di particolare interesse paesaggistico-ambientale (Art. 39)
	Terreni interessati da bonifiche storiche di pianura (Art. 43B)
	Viabilità storica (Art. 44A)
	Dossi di pianura (Art. 23A)
	<i>Paleodossi di accertato interesse (Art. 23A, comma 2, lettera a)</i>
	<i>Dossi di ambito fluviale recente (Art. 23A, comma 2, lettera b)</i>
	<i>Paleodossi di modesta rilevanza (Art. 23A, comma 2, lettera c)</i>



Fig.6: Estratto della tav. 1.1.02 PTCP "Tutela delle risorse paesistiche e storico culturali" del PTCP.

3.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Per quanto riguarda l'idrogeologia del sottosuolo, la pianura modenese si sviluppa ai piedi della catena appenninica ove affiorano le formazioni argillose del ciclo plio-pleistocentrico, che rappresentano la base delle alluvioni pleistoceniche superiori ed oloceniche costituenti la pianura.

Il passaggio tra la sedimentazione marina e quella continentale affiora al margine appenninico ed è contraddistinta da depositi di transizione quali sabbie e ghiaie, talora cementate, di ambiente litorale e peliti sabbiose e ghiaie di delta. Poiché il ritiro delle acque dall'antico golfo padano è avvenuto con movimenti alterni a causa sia delle glaciazioni, che si sono succedute nel Quaternario, sia di movimenti tettonici, determinanti sollevamenti della catena e subsidenza nella pianura, Questi ultimi (facies continentali) consistono prevalentemente in conoidi pedemontane formate dall'accumulo dei materiali alluvionali depositi dai corsi d'acqua al loro sfociare in pianura. Tali conoidi risultano incastrate le une alle altre di cui le più antiche sono spesso ridotte a lembi erosi e tettonizzati, mentre le più recenti conservano la loro originaria morfologia.

Nel sottosuolo della pianura e sul Margine Appenninico Padano sono stati riconosciuti tre Gruppi Acquiferi separati da barriere di permeabilità di estensione regionale, informalmente denominati Gruppo Acquifero A, B e C a partire dal piano campagna.

Il Gruppo Acquifero A è attualmente sfruttato in modo intensivo, il Gruppo Acquifero B è sfruttato solo localmente, il Gruppo Acquifero C, isolato rispetto alla superficie per gran parte della sua estensione, è raramente sfruttato.

Di seguito si effettua una caratterizzazione sintetica delle tre Unità Idrogeologiche A, B e C sovrapposte.

La prima, stratigraficamente superiore, è costituita da ghiaie e conglomerati, sabbie e peliti di terrazzo e conoide alluvionale organizzati in strati lenticolari di spessore estremamente variabile, da alcune decine di centimetri a svariati metri, in genere costituiti da un letto di conglomerati eterometrici ed eterogenei, con matrice sabbiosa, talora disorganizzati, talora embriciati, generalmente poco cementati, e da un tetto sabbioso-limoso. La base degli strati è fortemente erosiva. Sono presenti paleosuoli. La potenza dell'unità in affioramento è variabile da qualche metro fino ad alcune decine di metri. Il contatto con le unità idrogeologiche sottostanti B e C e le unità affioranti lungo il Margine Appenninico Padano è frequentemente discordante. L'età di questo Gruppo Acquifero A è *Pleistocene medio-Olocene*.

La seconda, Unità Idrogeologica B, è costituita da prevalenti argille limose di pianura alluvionale con talora intercalati livelli discontinui di ghiaie e conglomerati eterometrici ed eterogenei e sabbie; sono anche presenti alcuni paleosuoli. La potenza dell'unità in affioramento è variabile da qualche metro fino ad alcune decine di metri. Il contatto sulle unità affioranti lungo il Margine Appenninico Padano è frequentemente discordante. I depositi appartenenti a questa unità risalgono al Pleistocene medio.

L'ultima, l'Unità Idrogeologica C, è formata da depositi di delta-conoide e marino-

marginali costituiti da prevalenti sabbie e areniti, generalmente poco cementate o con cementazione disomogenea, ben selezionate con granulometria media e fine, talora grossolana, in genere ben stratificate e con evidente laminazione incrociata. Spesso sono massive e ricche in bioclasti, con frequenti intercalazioni, da sottili a molto spesse, di conglomerati eterogenei ed eterometrici e di peliti. La potenza dell'unità in affioramento raramente è maggiore di cento metri. Il contatto, sulle unità affioranti lungo il Margine Appenninico Padano è generalmente netto, di tipo erosivo ed in discordanza angolare. I depositi appartenenti a questa unità risalgono al *Pliocene inferiore - Pleistocene medio*.

A fare da Aquitardo Basale alle sovrastanti unità idrogeologiche c'è un insieme di Unità complessivamente impermeabili che, estendendosi nel sottosuolo della pianura ed affiorando sul Margine Appenninico Padano, costituiscono il limite della circolazione idrica-sotterranea qui presente.

In generale il Coefficiente di Immagazzinamento Specifico (S_{sm}) assume valori con variabilità sempre più ridotta passando dal Gruppo Acquifero A al Gruppo Acquifero C in cui tende a stabilizzarsi intorno al valore di $10^{-6} m^{-1}$; questo trend è in accordo con l'entità della compattazione che cresce dal Gruppo Acquifero A al Gruppo Acquifero C.

Per quanto riguarda il Coefficiente di Conducibilità Idraulica si evidenziano alti valori, che si spingono sino a $10^{-3} m/s$ per i Conoidi Alluvionali e i Riempimenti di Canali del paleoPo dei Gruppi Acquiferi A e B. I valori della Porosità risultano particolarmente alti nei corpi sabbiosi dei paleodelta del Fiume Po che, in tutti e tre i Gruppi Acquiferi, esprimono valori compresi fra 32 e 46%.

Non meno importanti sono le aree di ricarica diretta dei serbatoi acquiferi; i suoli esplicano questa funzione di ricarica, e sono anche le zone più esposte e vulnerabili agli inquinamenti. Oltre alla permeabilità, che è dipendente dalla porosità, altri fattori concorrono a regolare una maggiore o minore facilità d'infiltrazione nei suoli: il clima, la vegetazione, l'inclinazione del pendio e le pratiche colturali eseguite.

Le due immagini di seguito riportate sono tratte dal lavoro ENI-AGIP e rappresentano la prima un inquadramento stratigrafico ed idrostratigrafico dell'area studiata, la seconda una sezione sismica passante per Bologna in cui sono stati evidenziati in colore i tre acquiferi descritti prima.

PRINCIPALI UNITÀ STRATIGRAFICHE				ETÀ (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE	
APPROXIMANTI		SEMPLICI				GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO
QUATERNARIO CONTINENTALE	TERRAZZE ALLUVIALI E SISTEMI ALLUVIALI	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLI SINGOLA EMILIANO-ROMAGNOLI SUPERIORE	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLI INFERIORE	ALLUVIONI - QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI AGT	Pleistocene e Fiume e Fiume e Fiume	A	A1
							A2
							A3
							A4
QUATERNARIO MARINO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLI INFERIORE	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLI INFERIORE	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLI INFERIORE	ALLUVIONI - QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI AGT	Pleistocene e Fiume e Fiume e Fiume	B	B1
							B2
							B3
							B4
P ₂	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLI INFERIORE	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLI INFERIORE	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLI INFERIORE	ALLUVIONI - QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI AGT	Pleistocene e Fiume e Fiume e Fiume	C	C1
							C2
							C3
							C4
P ₂	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLI INFERIORE	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLI INFERIORE	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLI INFERIORE	ALLUVIONI - QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI AGT	Pleistocene e Fiume e Fiume e Fiume	C	C5
							C5

Fig.7 – Inquadramento geologico-stratigrafico e idrostratigrafico dell'area di studio.

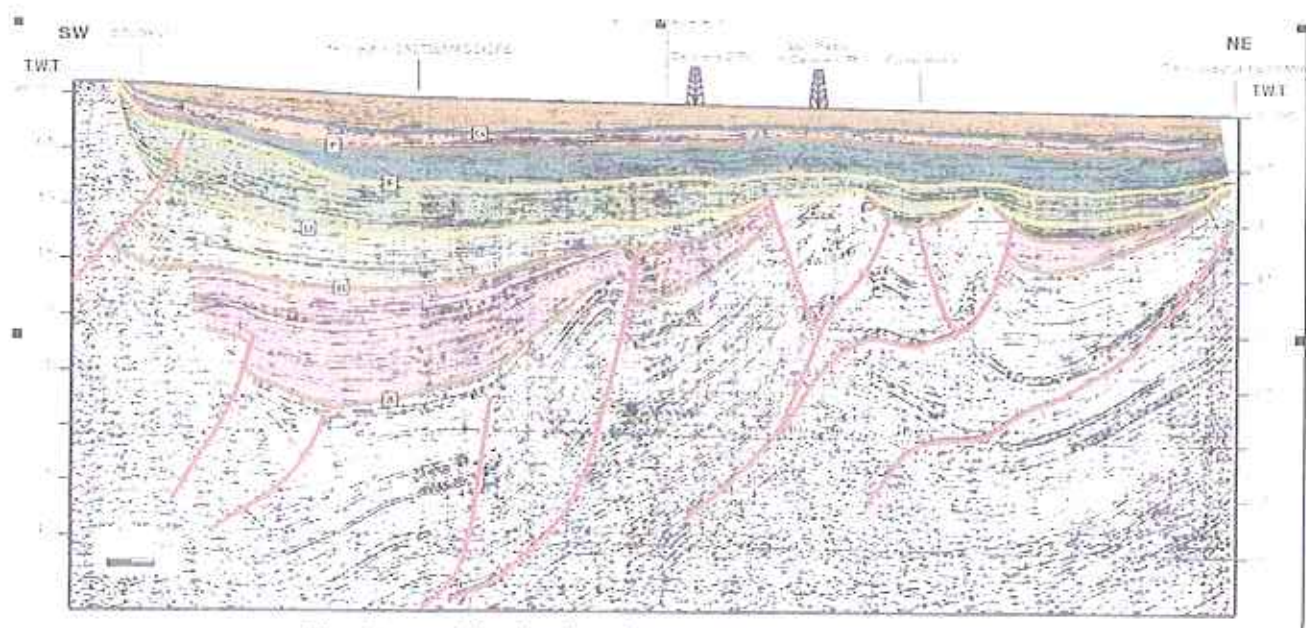


Fig. 8– profilo sismico interpretato (cortesia Agip).

L'assetto idrogeologico dell'area è schematizzato nella sezione geologica riportata in figura 9, tratta dal volume "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-

Romagna”.

La sezione mostra la presenza sulla verticale dei tre gruppi acquiferi sopracitati. Ciascun gruppo acquifero a sua volta viene suddiviso in diversi complessi acquiferi e acquitardi, secondo un modello di suddivisione gerarchico per ranghi via via più piccoli sulla base della dimensione e dell'estensione areale dei corpi idrogeologici che li compongono.

Sulla base di alcune loro caratteristiche geometriche, gli acquiferi nel sottosuolo si distinguono in:

acquifero monostrato: si sviluppa nella zona a ridosso dell'Appennino dove troviamo un unico acquifero costituito da ghiaie che dalla superficie continuano nel sottosuolo per decine e decine di metri senza soluzione di continuità; tale zona corrisponde anche alla zona di ricarica degli acquiferi;

acquifero multistrato: si sviluppa più a nord del precedente dove i corpi di ghiaie e sabbie si separano gli uni dagli altri per la presenza di intercalazioni di terreni più fini (limi e argille) e costituiscono quindi diversi acquiferi verticalmente sovrapposti (è il caso dell'area di interesse).

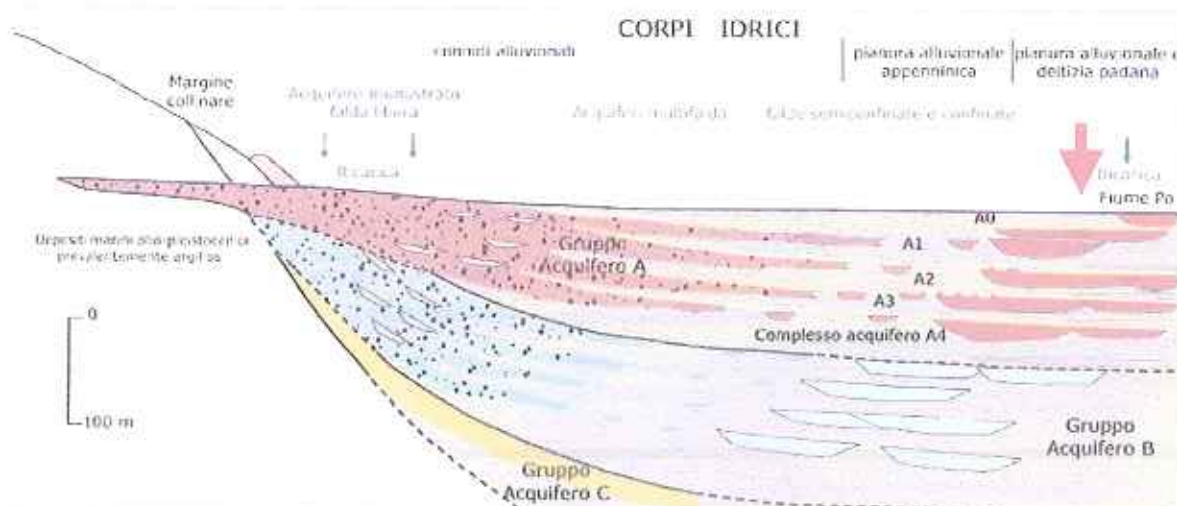


Fig.9 distribuzione schematica dei corpi idrici e delle unità idrostratigrafiche nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola (la freccia indica la situazione presso in Comune di San Possidonio).

Dove l'acquifero è monostrato, esso è un *acquifero freatico (o libero)*, cioè la falda può oscillare liberamente all'interno del deposito permeabile in cui è contenuta e la porzione più alta di questo deposito è insatura (asciutta). Diversamente i singoli acquiferi che costituiscono l'acquifero multistrato, come presso le aree in esame, sono *acquiferi in pressione (o confinati)*, in questo caso l'acqua, all'interno dei depositi permeabili, è confinata superiormente dalla presenza di depositi impermeabili o poco permeabili (gli acquitardi). L'acquifero è sempre completamente riempito d'acqua sotto pressione e, se perforato, all'interno del foro l'acqua salirà ad una quota più alta del limite superiore dei depositi che la contengono.

Più in dettaglio il Comune di San Possidonio ricadono a nord della fascia dei bacini idrici sotterranei compresi all'interno delle conoidi alluvionali che si dividono

in:

Conoide del fiume Secchia (1);

Conoide del fiume Panaro (3);

Conoidi di fiumi minori (2).

L'acquifero principale, in termini di qualità e quantità di risorsa idrica fruibile, è costituito dalle acque contenute nei livelli ghiaiosi dei corpi alluvionali (conoidi dei Fiumi Secchia -1- e Panaro -3-); di minore importanza sono gli acquiferi costituiti dalle acque presenti nei livelli sabbiosi delle conoidi dei fiumi minori (2) e della piana alluvionale (4 e 5) della medio-bassa pianura modenese (dove si trova il **Comune di San Possidonio**).

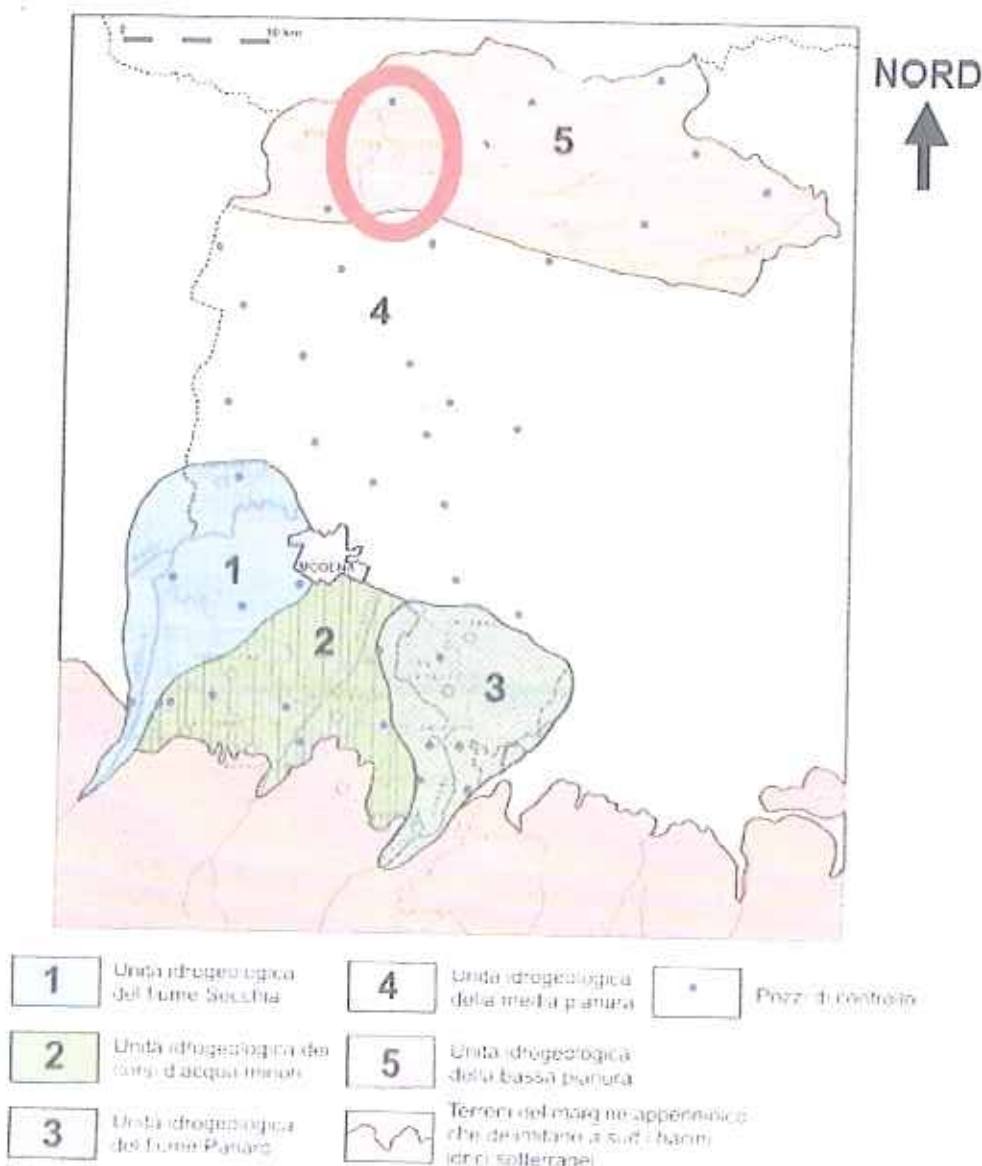


Fig.10- Unità idrogeologiche del territorio della pianura modenese.

Nelle zone apicali delle conoidi alluvionali, a ridosso del margine appenninico, l'acquifero cosiddetto "principale" presenta falde di tipo freatico monostrato. Queste divengono poi di tipo confinato o artesiano man mano che si procede verso nord. Nella fascia della media pianura modenese e ancora di più in quella della bassa pianura modenese, in corrispondenza delle zone di interesse, le falde sono molto profonde e sempre in pressione, con valori di soggiacenza prossimi al piano di campagna. In superficie è frequente riscontrare livelli acquiferi sospesi, di natura freatica, completamente separati dall'acquifero principale e dotati di acque scadenti.

Nella Bassa Pianura Modenese, quindi, in generale si ha una serie di falde sovrapposte, tutte e quasi ovunque in pressione, la cui alimentazione è peraltro complessa.

L'elemento caratterizzante dell'idrogeologia del settore è rappresentato dalla "Dorsale Ferrarese" che è, come noto, una struttura anticlinale del substrato marino sottostante la copertura alluvionale Olocenica, che in certi punti si innalza a meno di 80 metri dalla superficie topografica. Essa è intersecata da un complesso reticolato di faglie che hanno interessato, probabilmente, anche la coltre alluvionale, condizionando indubbiamente la struttura degli acquiferi ed, in certe zone, il chimismo stesso delle acque (Gasperi e Pellegrini, 1969).

A sud della "Dorsale Ferrarese" si riscontrano i depositi alluvionali dei fiumi appenninici, prevalentemente a granulometria medio fine e quindi sede di profondi acquiferi, sempre in pressione, con valori di soggiacenza prossimi al piano campagna. In superficie (entro i primi 10 metri) è frequente riscontrare livelli acquiferi sospesi, di tipo freatico, a volte separati dall'acquifero principale e dotati di acque scadenti.

Nel settore nord, dove si trovano le aree di interesse, si rinvencono le alluvioni sabbiose grossolane del fiume Po, connesse con il suo progressivo spostamento verso il percorso attuale. Sono in genere banchi allungati in direzione est – ovest; il deflusso generale delle acque sotterranee segue all'incirca questa direttrice. Queste bancate sono in genere ricoperte da alluvioni limo-argillose dallo spessore variabile.

Nelle zone del comprensorio, ove si riscontrano le culminazioni della Dorsale Ferrarese, si vengono a creare interferenze tra le acque dolci e quelle salate ad alto contenuto alogenico di facies marina. Queste ultime, attraverso orizzonti più permeabili o tramite le fratture stesse della dorsale, risalgono permeando anche gli acquiferi più superficiali. Si sono osservate miscele di queste acque di fondo con quelle della falda superficiale anche durante prolungati emungimenti dai pozzi.

I meccanismi di ricarica dei principali acquiferi del territorio della pianura modenese sono di seguito indicati:

- 1) Infiltrazione di acque meteoriche nelle zone collinari e pedecollinari in corrispondenza degli affioramenti impermeabili;
- 2) Infiltrazioni di acque dai corsi superficiali e dai subalvei;
- 3) Interscambi tra differenti livelli di acquiferi tra loro separati da strati semi-impermeabili (fenomeni di drenanza).

L'apporto alle falde idriche sotterranee da parte delle acque meteoriche va considerato in termini di piogge efficaci. Queste corrispondono alla quantità di

pioggia realmente in grado di infiltrarsi nel sottosuolo e di raggiungere le falde. Alla quantità totale di pioggia devono essere dunque sottratte sia l'aliquota dell'evapotraspirazione reale sia l'aliquota di quella di ruscellamento, ovvero dell'acqua che scorre in superficie alimentando la rete idrografica superficiale. Ne consegue che, a parità di precipitazioni e di condizioni di esposizione solare, le piogge efficaci risultano minori in corrispondenza di suoli impermeabili a litologia argillosa oppure nelle aree intensamente urbanizzate piuttosto che in aree con litologia superficiale ghiaioso-sabbiosa.

In particolare per gli acquiferi di interesse gli apporti sono in gran parte dovuti al fiume Po, con il quale sono in diretta comunicazione. Trascurabili sono le infiltrazioni superficiali, che raggiungono un'efficacia del 25% solamente in corrispondenza dei "dossi sabbiosi" (Pellegrini e Zavatti, 1980).

3.3.1 Idrogeologia locale

La situazione idrogeologica del Comune di San Possidonio e del sito di studio si inserisce quindi nel contesto sopra descritto.

Nel sito di studio le prime sabbie, sedi dell'acquifero utile locale, si riscontrano ad una profondità variabile da -6.40 m (prova CPT n. 2) a -7.20 m (prova CPT n.1). Il limite superiore dell'acquifero è confinato. Le coperture impermeabili argillose sovrastanti configurano un limite superiore di tipo geologico impermeabile (acquifero o falda confinata), per cui l'acquifero stesso è in pressione.

Schematizzando la successione tipo per l'area considerata si ottiene:

0 – 6.40/7.20 m	Argille
6.40/7.20 – 32 m	Sabbie medio-grossolane
≤ 100 m	Substrato

Le sabbie medie e grossolane al di sotto della profondità di -7.20 m contengono una ricca e abbondante falda acquifera (gruppo acquifero A) che è la più utilizzata nelle perforazioni per uso irrigazione, per scopi industriali e idropotabili.

Lo schema tipo delle Unità Idrogeologiche, dall'alto al basso, si può sintetizzare:

copertura litologica - strato dello spessore medio di 0.50 m costituito da terreno vegetale;

livello impermeabile - strato argilloso più o meno compatto con rare lenti limo-sabbiose sciolte che raggiunge la profondità massima di 7.20 m nel sito di studio;

acquifero - sabbie da medio addensate ad addensate fino alla profondità di 100 m (da prova sismica passiva HVRs). Tale acquifero è confinato al tetto, si trova quindi in pressione e contiene una buona falda acquifera da cui attingono la maggior parte dei pozzi esistenti nel territorio;

livello impermeabile - substrato.

3.3.2 Soggiacenza del livello piezometrico

Il Comune di San Possidonio si ubica in una zona con superficie piezometrica assai livellata.

Sulla base di quanto indicato nella "Carta della soggiacenza media (m) della falda

– anno 2006" (fig.12) tratta dal "Rapporto sullo stato delle acque sotterranee nella provincia di Modena", a cura di ARPA, la soggiacenza del livello piezometrico del Comune, dovrebbe attestarsi ad una profondità inferiore a – 5.00 metri da p.c., mentre la direzione di flusso della falda sarebbe orientata da SSO verso NNE, in analogia con l'andamento topografico generale della pianura padana.

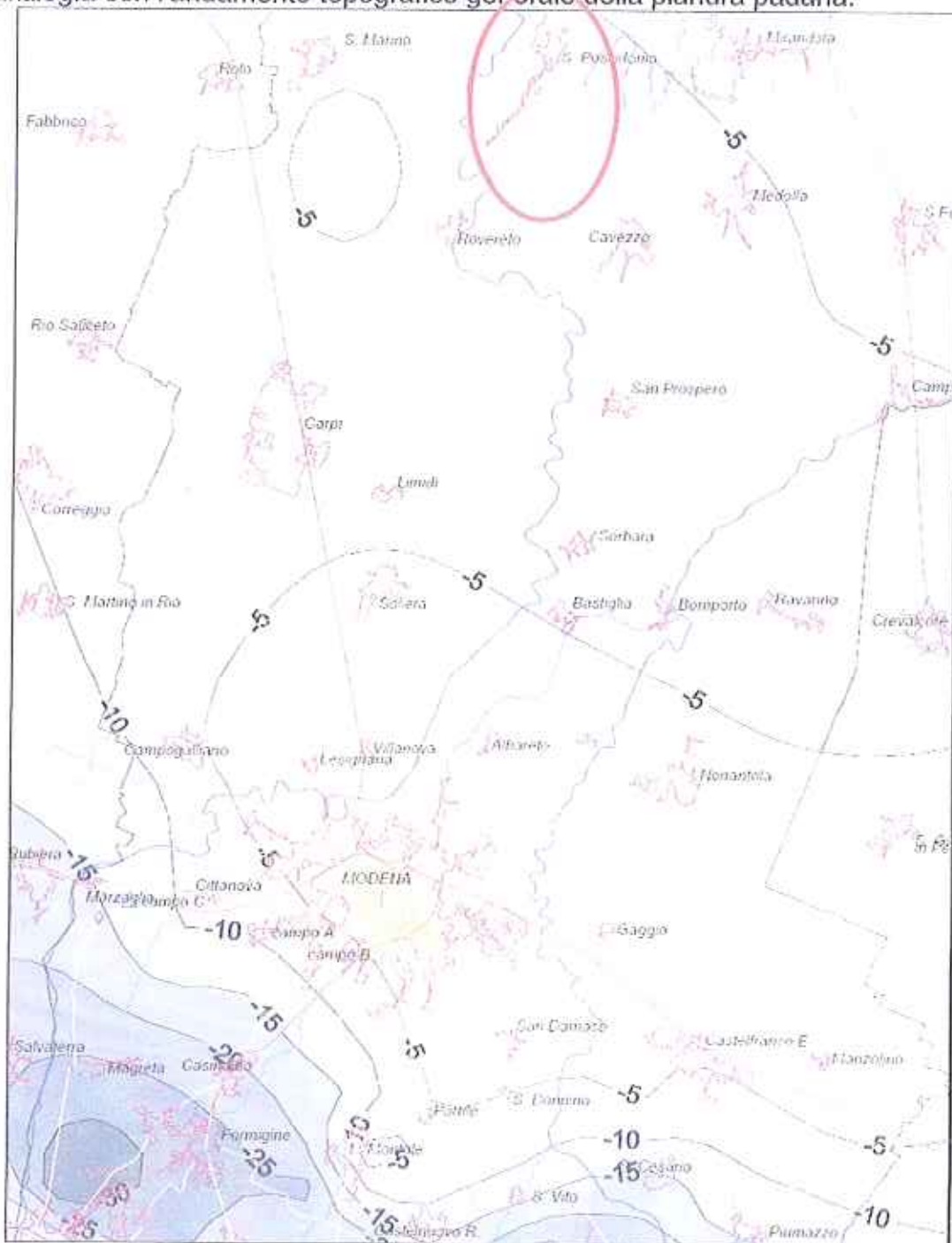


Fig.11 – Carta della soggiacenza media (m) del livello piezometrico – anno 2006. Tratta da "Rapporto sullo stato delle acque sotterranee nella provincia di Modena", a cura di ARPA.

L'interpretazione dell'andamento piezometrico nelle aree di studio è molto complessa, dal momento che il livello della falda dipende dall'interazione fra eventi meteorologici, condizioni d'infiltrazione ed emungimenti.

Per quanto riguarda il primo parametro, apporti pluviometrici, si riportano due illustrazioni rappresentative delle precipitazioni medie annue del 2006, confrontate con quelle del periodo 1951-2005 (figure 12 e 13).

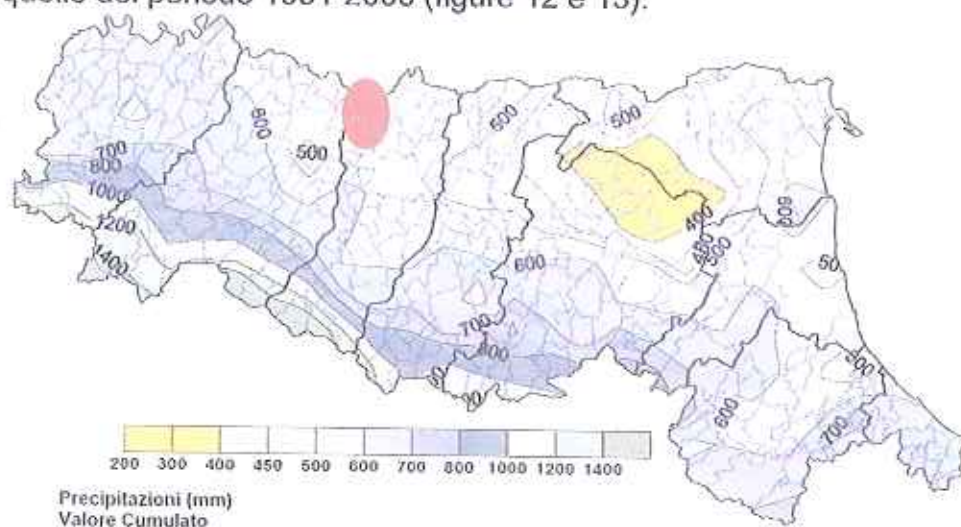


Fig. 12- Precipitazioni (mm) valore cumulato (01/01/2006-31/12/2006).

Dalla mappa regionale delle precipitazioni cumulate del 2006 è possibile osservare che, presso l'area d'interesse, i valori oscillano intorno ai 500 mm. Nel 2006 le minori precipitazioni si osservano nella parte più orientale della pianura (zona di Finale Emilia) con 400-450 mm. La media pianura (comprendendo anche il comune di Modena) presenta valori tra 450 e 500 mm, l'area pedecollinare e la pianura del settore occidentale sono caratterizzati da precipitazione tra 500 e 600 mm.

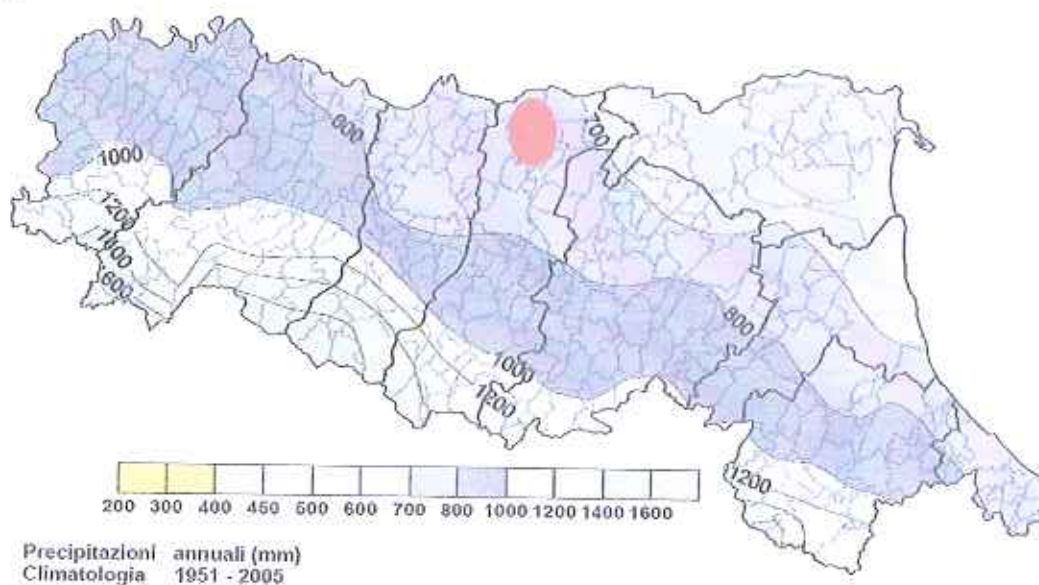


Fig. 13- Precipitazioni annuali (mm) dal 1951 al 2005.

Dalla mappa regionale delle precipitazioni annuali riferite al periodo 1951-2005 è possibile osservare che presso l'area d'interesse i valori sono compresi fra 700 e 800 mm. Confrontando i dati rilevati nel 2006 con quelli rilevati nel periodo 1951-2005, si può notare dunque un forte calo delle precipitazioni nel 2006.

3.3.3 Piezometria a livello locale

Per meglio comprendere e descrivere gli aspetti e le caratteristiche idrogeologiche del territorio comunale di San Possidonio è stata condotta nel Gennaio 2002, per lo "Studio Idrogeologico, Ambientale ed Idraulico per La Variante Specifica al P.R.G.", una campagna di misure dei livelli freatici e piezometrici nei pozzi per acqua privati.

Sono state eseguite misure in 111 pozzi, di cui in appendice, la maggior parte dei quali sono pozzi superficiali (profondità media 10 m) di tipo tradizionale a grande diametro.

I pozzi del tipo misurato attingono acqua dalla prima falda utile riscontrata a una profondità variabile da 6 a 18 metri ma, essendo poco profondi, sfruttano anche la falda freatica libera superficiale di circolazione, nel materasso alluvionale negli orizzonti più permeabili ed alimentata prevalentemente dall'infiltrazione meteorica. I livelli misurati hanno permesso di elaborare, per interpolazione dei dati, una carta delle isofreatiche con equidistanza di 1.00 m, che disegna l'andamento della falda freatica superficiale e permette di definire la soggiacenza della falda dal piano campagna in tutto il territorio comunale.

Le misure eseguite nel Gennaio 2002 ricadono in un periodo di eccezionale siccità.

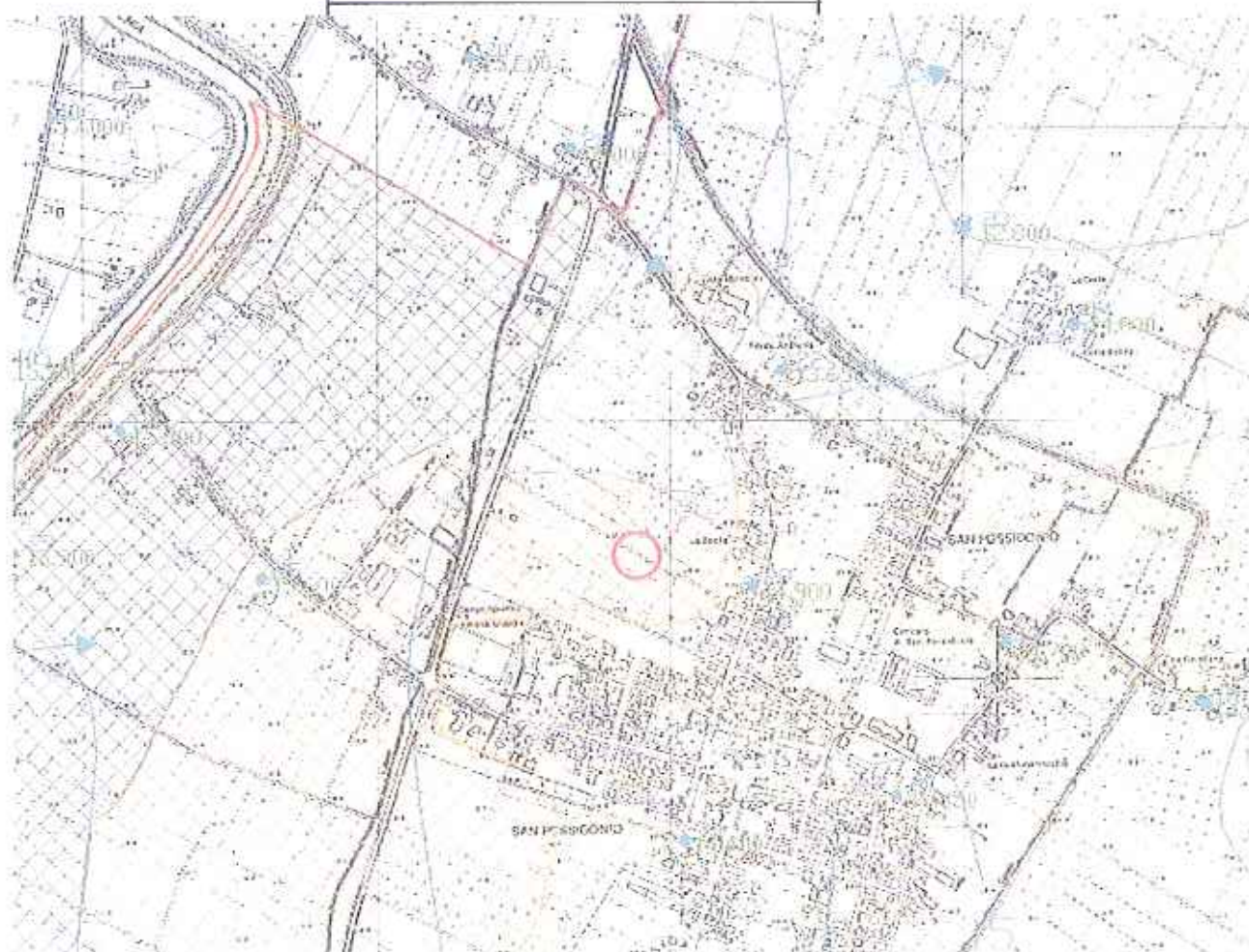
La soggiacenza della falda varia da un valore massimo pari a - 7.80 m dal p.c. (nel pozzo n. 85 ubicato all'estremità sud del comune a est rispetto l'argine destro del fiume Secchia) ad un minimo di - 0.90 m dal p.c. (nel pozzo n. 93 ubicato immediatamente fuori dal confine comunale all'estremità sud in un'area esterna all'argine ovest del fiume Secchia).

Nel sito di studio la soggiacenza rilevata nel gennaio 2002 si posizionava a - 3.50 m mentre quella rilevata in sito durante l'esecuzione delle prova nel luglio 2012 si posizionava alla profondità di - 2.60 m.

La direzione di flusso delle isofreatiche segue in linea generale l'andamento altimetrico dove la parte più rilevata del Comune è la fascia ovest (coincidente con il fiume Secchia) e degrada progressivamente verso est.

Le isofreatiche hanno direzione di flusso ovest - est in accordo con l'andamento generale delle acque sotterranee in Pianura Padana.

Di seguito si riporta uno stralcio della Carta della Vulnerabilità all'Acquifero principale redatta per "Studio Idrogeologico, Ambientale ed Idraulico per La Variante Specifica al P.R.G." (2002) con indicata la zona di studio in area a vulnerabilità bassa.



25

Dall'analisi delle prove penetrometriche, come già evidenziato sopra, nel sito di studio le prime sabbie, sede di un acquifero abbondante si riscontrano alla profondità variabile da - 6.40 a - 7.20 m dal piano campagna.

Questo è il primo acquifero utile per lo sfruttamento da cui attingono la maggior parte dei pozzi presenti nella zona.

Lo strato argillo-limoso sovrastante confina la falda contenuta nelle sottostanti sabbie e ne impedisce la risalita mantenendola in pressione.

La soggiacenza della frangia freatica, misurata nei fori di prova nel luglio 2012 si posizionava alla quota di - 2.60 m dal piano prove. Il livello di soggiacenza misurato nel gennaio 2002 si posizionava all quota di - 3.50 m. Il livello idrico misurato è testimonianza di una frangia freatica sospesa evidenzia la presenza di una circolazione ipodermica, non sfruttabile in quanto presente in terreni a bassa permeabilità caratterizzato da un movimento lento e dipendente dalle precipitazioni.

Considerate le caratteristiche litologiche del primo substrato argilloso, la profondità del primo acquifero, protetto dalle litologie poco permeabili sovrastanti, considerato il livello piezometrico e soprattutto il tipo di intervento di progetto che prevede la realizzazione di strutture scolastiche senza vani interrati, e quindi potenzialmente non idroinquinanti, si ritiene che non sussistano rischi ambientali d'inquinamento delle falde sotterranee.

3.4. IDROGRAFIA DI SUPERFICIE

Il territorio comunale di San Possidonio fa parte del macrobacino idrografico Po di Volano e della rete scolante artificiale di bonifica gestita dal Consorzio di Bonifica di Burana – Leo – Scoltenna – Panaro. Questo ricade per quasi la sua interezza nel Bacino Idrografico del Fiume Secchia.

Il Comune di San Possidonio è delimitato ad est dell'alveo attuale del fiume Secchia; inoltre è collocato a sud, ad una distanza media indicativa di circa 16 Km, dal fiume Po e a nord-ovest dal fiume Panaro ad una distanza media indicativa di 13 Km.

L'area di studio si trova a est del fiume Secchia a una distanza di 900 m dal punto più vicino.

Il resto della rete idrica superficiale è costituito da un insieme di cavi, canali e scoli in gestione al Consorzio di Bonifica di Burana – Leo – Scotenna che gestisce un territorio prevalentemente pianeggiante ed è dotato di una rete idrografica quasi totalmente artificiale. Il sistema idrico risulta così complesso a causa sia delle modestissime pendenze del suolo e della sua soggiacenza rispetto alle quote dei recapiti finali (necessità di ricorrere al sollevamento meccanico) sia della molteplicità di usi cui le acque sono destinate. Il bacino Burana – Po di Volano ha la funzione di collettore finale delle acque di scolo, di vettore di acque interne ed esterne allo stesso bacino per le derivazioni agricole, industriali e per la navigazione e si estende per la maggior parte nella provincia di Ferrara.

L'area comunale di San Possidonio rientra nei seguenti Bacini di Scolo:

Bacini di Scolo Acque Alte

- B "Bacino di Scolo Dugale Smirra di Confine in Destra", in particolare B1 "Bacino di Scolo Dugale Smirra";
- 1 "Bacini di Scolo che si immettono direttamente del Diversivo di Burana: Dugale delle Vallette".

Bacini di Scolo Acque Basse

- A "Bacino di Scolo Canale Quarantoli", in particolare A3 "Bacino di Scolo Dugale Zalotta", A5 "Bacino di Scolo Dugale Smirra di Confine in Sinistra" e A6 "Bacino di Scolo Dugale Cucco".

Il sito di studio rientra nel Bacino di Scolo Acque Basse " Dugale Zalotta A3" che dista, rispetto il sito di studio 300 m a ovest.

Il Dugale Zalotta nel suo tratto più a nord in località Fondo Bellini alla periferia est del Capoluogo ai confini con Concordia sulla Secchia viene segnalato per allagamenti per difficoltà di scarico delle acque, rigurgiti della rete fognaria del capoluogo nel "Programma di previsione e prevenzione di protezione civile della provincia di Modena: "Rischio idraulico" a cura della Regione Emilia Romagna e Provincia di Modena - Servizio pianificazione ambientale - u.o. protezione civile e difesa del suolo (dicembre 2006).

Il Dugale Zalotta e la Fossa Bernardi vengono indicati dal Consorzio di Bonifica di Burana come condotti idraulici con criticità delle portate di scolo esistenti nei tratti delle canalizzazioni a nord del centro urbano del Comune di San Possidonio in quanto recettori principali delle acque provenienti dal centro del Comune.

3.4.1 Esondabilità del territorio

Il territorio comunale non ha subito rilevanti eventi di esondazione da parte dei fiumi Secchia, Panaro e Po.

Come si può osservare in Fig.16, i territori allagati a seguito delle rotte del fiume Po, non interessarono il territorio comunale di San Possidonio in occasione degli eventi alluvionali del secolo scorso (1839, 1872, 1879).

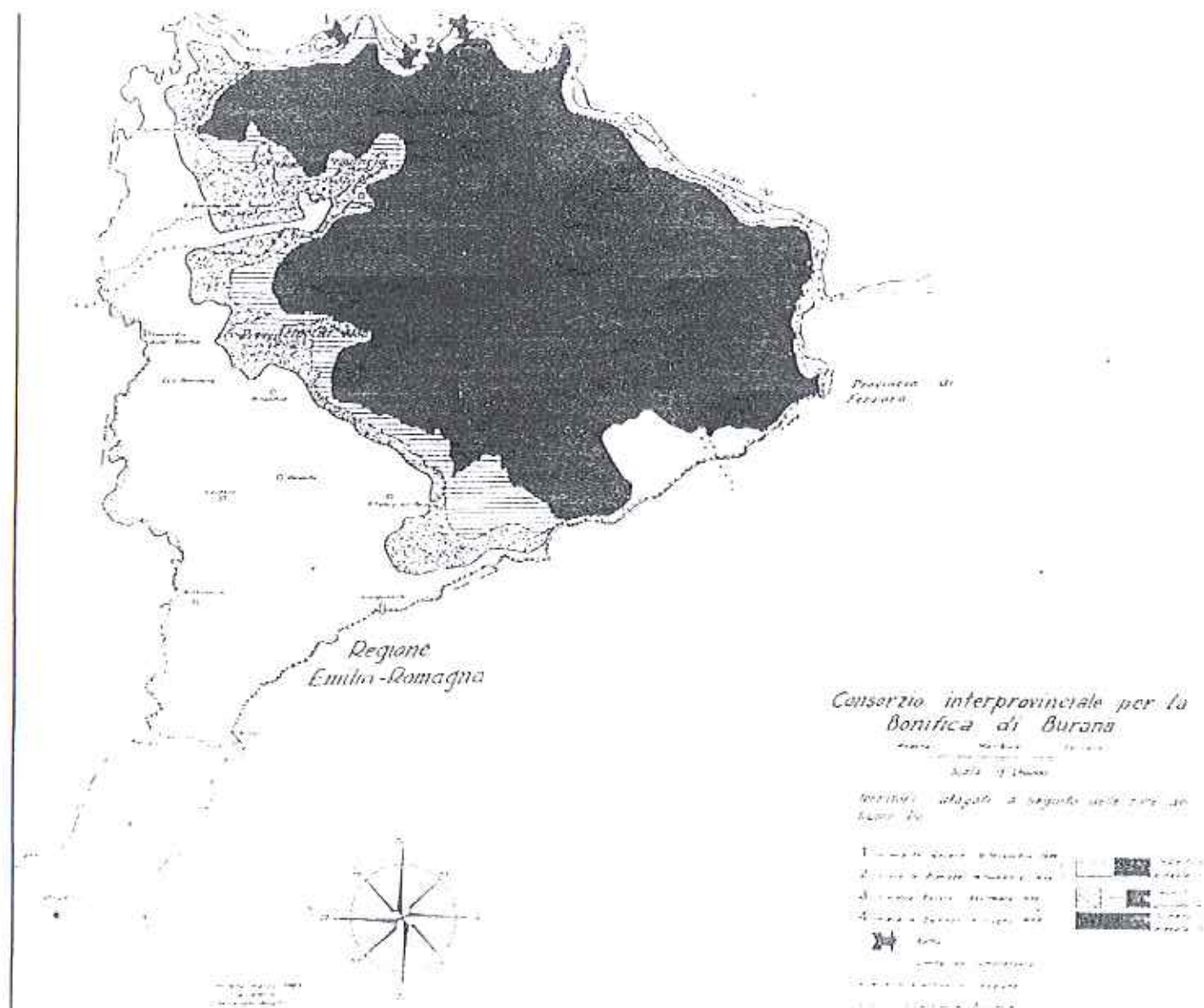


Fig.16 - Territori allagati in seguito alle rotte del fiume Po.

Nemmeno in tempi recenti il territorio comunale è stato interessato dalle esondazioni in seguito alla rotta del fiume Secchia (20 aprile 1960, novembre 1966, gennaio 1969, settembre 1972, settembre 1973 e recentemente nel giugno 1994) e del fiume Panaro (novembre 1952, novembre 1966, settembre 1972, settembre 1973 e novembre 1982).

Le notevoli e difficili condizioni di drenaggio nei corsi d'acqua naturali nel tempo sono risultate sempre maggiori e in diretta relazione alle opere di arginatura costruite nel corso dei secoli per domare i fiumi.

Questo processo è stato inizialmente naturale, poi successivamente sui rilevati che sono andati a formarsi con le esondazioni del fiume, è intervenuto il paziente lavoro dell'uomo che ha dato a questi rilevati continuità, fino a trasformarli in mirabili opere di difesa.

Le arginature artificiali, però, non consentono al fiume di espandersi nei territori circostanti, determinando un consistente aumento delle portate di piena.

Gli argini dei fiumi Secchia e Panaro si alzano progressivamente fino a raggiungere valori di 10÷12 m. sul piano campagna determinando un potenziale rischio idraulico nelle zone di pianura.

Intendendo come rischio idraulico l'effetto di un evento pluviometrico intenso e di uno stato locale di particolare interesse per la presenza di insediamenti abitativi, di attività produttive di rilievo, di infrastrutture e servizi di interesse generale, di beni artistici e ambientali di pregio, non si può non affermare che buona parte del territorio modenese a tale rischio soggiace.

Il rischio idraulico nella città di Modena e nel suo intorno è fortemente attenuato dalla costruzione dei dispositivi per la moderazione delle piene conosciuti come casse di espansione.

Le casse di espansione dei due fiumi sono ubicate, per esigenza idraulica, in zone strategiche e, più precisamente subito a monte dell'inizio delle trette arginate, così da sottendere per intero i bacini idrografici naturali.

Le portate di piena vengono di conseguenza regimate con notevole efficacia e restituite in tempi lunghi e con valori ridotti agli alvei che, essendo delimitati dalle arginature con spazi golenali poco ampi, hanno invasi modesti e non capaci di ulteriore autoregolazione, per cui anche le emissioni dovute agli emissari delle reti di scolo dei Consorzi di bonifica, dell'ordine ognuna di qualche decina di mc/sec., possono determinare, in circostanze critiche, qualche preoccupazione.

È evidente che i dispositivi per la moderazione delle piene, per non costituire essi stessi motivo di rischio, devono essere verificati a condizioni di esercizio modificabili nel tempo, come è proprio di tutti gli eventi naturali ed essere gestiti in uno stato di assoluta sicurezza.

Dal punto di vista idraulico, nel Maggio 1996 un evento di precipitazione eccezionale ha causato numerosi allagamenti sul comprensorio consortile.

Tale evento è stato poi seguito nel tardo autunno da due eventi significativi di cui uno, quello di Dicembre, grave quasi quanto quello di Maggio.

Le strutture di Bonifica presenti nel bacino di Burana sono state realizzate, così come quelle dei consorzi attigui, per la maggior parte, nel periodo fine ottocento - inizi novecento, e quindi dimensionate per smaltire le acque di un territorio ove erano presenti insediamenti civili e produttivi estremamente meno estesi di quelli attuali.

Come noto le urbanizzazioni determinano l'impermeabilizzazione di gran parte dei suoli interessati, così da provocare l'afflusso immediato degli apporti meteorici alla rete di scolo, afflusso inoltre spesso velocizzato dalla buona efficienza delle stesse reti fognarie, mentre invece un suolo agricolo assorbirebbe in buona parte gli stessi apporti e li restituirebbe con maggiore gradualità.

Quasi tutte le strutture scolanti si trovano così sottoposte a carichi idraulici superiori alle loro capacità originarie, fatto che può per certi eventi meteorici provocare danni anche ingenti.









3.4.2 Criticità idraulica

Nella "Carta della Criticità Idraulica" redatta per lo "Studio Idrogeologico, Ambientale ed Idraulico per La Variante Specifica al P.R.G." di cui si allega uno stralcio la zona di studio è classificata "Area potenzialmente a rischio idraulico" in quanto sita in zona a catino chiuso compresa fra il dosso attuale del fiume Secchia e il Paleoalveo centrale che attraversa il Comune.

Tale area presenta la criticità idraulica più alta nel Comune in quanto in questa zona di locale depressione si ha la raccolta di una quantità maggiore di acque superficiali, sia durante normali eventi meteorici che durante eventi meteorici eccezionali ed esondazioni da parte del fiume Secchia.

L'intera quantità delle acque superficiali di questa zona sono a carico del Dugale delle Vallette e solo nella parte più a nord del Dugale Zallotta di dimensioni e capacità idraulica più importanti ma in condizioni di criticità idraulica in quanto ricettore del carico idraulico proveniente dal centro città. In caso di eventi eccezionali, come quello del 1996, il Dugale delle Vallette non garantisce una portata sufficiente per un efficace e veloce allontanamento delle acque superficiali con conseguente allagamento del territorio interessato.

LEGENDA

AREE BOLENAI	
AREE AD ELEVATA PERICOLOSITA' IDRAULICA A1	
AREE DEPRESSE AD ELEVATA CRITICITA' IDRAULICA, AREE A RAPIDO SCORRIMENTO AD ELEVATA CRITICITA' IDRAULICA A3	
AREE POTENZIALMENTE A RISCHIO IDRAULICO	
AREE INTERESSATE DALLE ACQUE A SEGUITO DELLE PRECIPITAZIONI OCCORSE DURANTE LA PIENA IDRAULICA INTERNA NEI GIORNI 12-18 MAGGIO 1996	
DUGALI, CANALI E ALLACCIATI-SCARICATORI AD USO PROMISCUO IRRIGUO-SCOLO	
CANALE AD USO ESCLUSIVAMENTE IRRIGUO	
CONFINE COMUNALE	

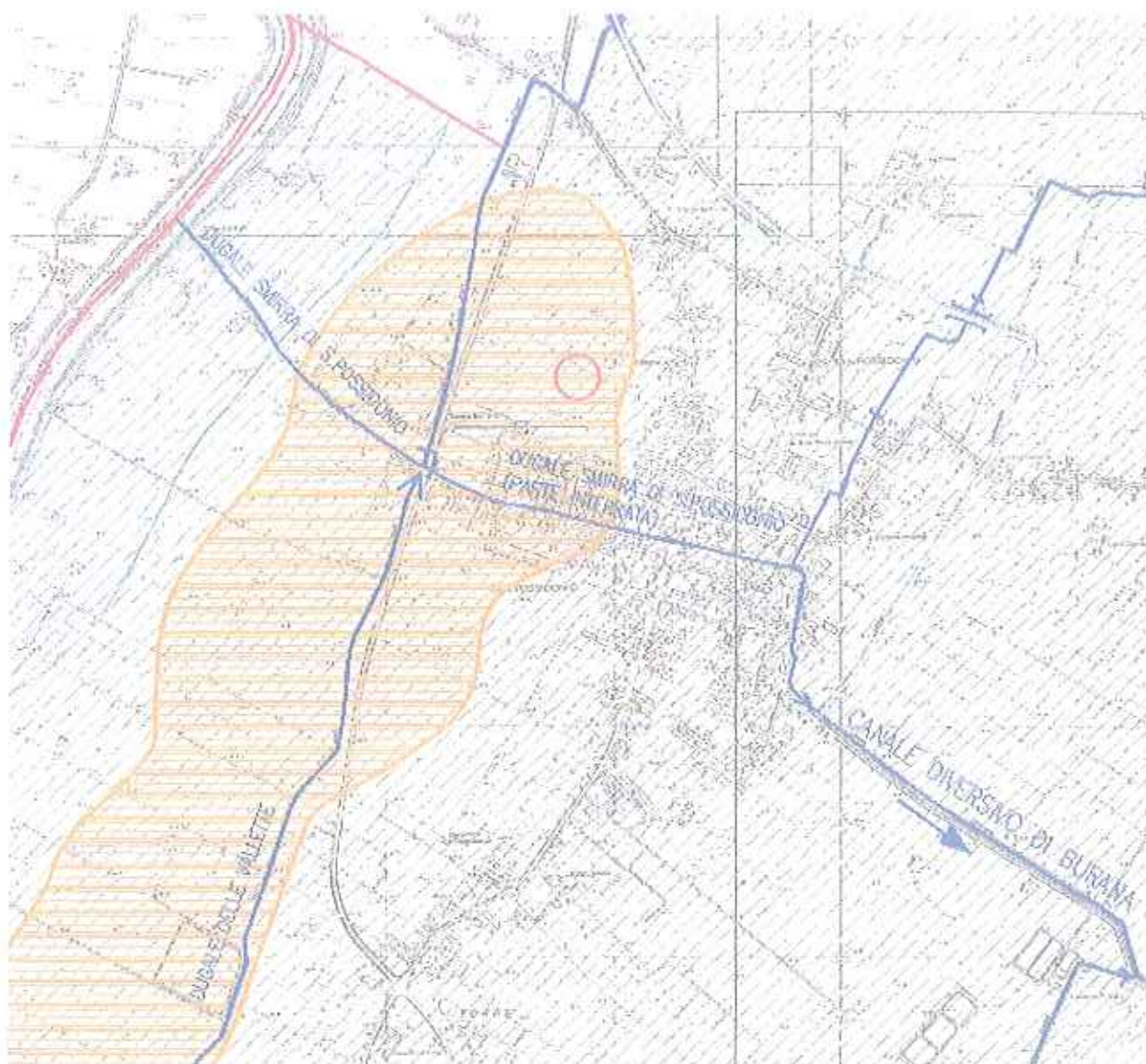


Fig.17. Carta della Vulnerabilità all'Acquifero principale redatta per "Studio Idrogeologico, Ambientale ed Idraulico per La Variante Specifica al P.R.G." (2002)

Si riporta inoltre un estratto della carta del Rischio idraulico: carta della pericolosità e della criticità idraulica redatta per il Nuovo PTCP approvato a Marzo 2009 dove risulta che l'area d'indagine rientra nelle aree del gruppo A3 che coprono quasi tutto il territorio comunale.

Le aree del gruppo A3 sono state definite mediante un'analisi morfologica, altimetrica e sulla base del contributo che gli interventi antropici determinano nel modificare il propagarsi dell'acqua esondata.

E' stata cioè analizzata la suscettività di un territorio a subire danni da alluvione in funzione di indici territoriali elaborati per la tipologia rischio alluvione:

- 1) probabilità per aree ad essere coinvolte da un evento alluvionale;
- 2) morfologia depressa e loro criticità;
- 3) difficoltà di smaltimento dell'acqua;

4) tempi di permanenza dell'acqua;

L'indicazione relativa al grado di criticità deriva da un'analisi altimetrica ma anche morfologica del territorio documentando il contributo che i rilevati antropici o naturali possono avere sul propagarsi delle acque esondate.

Il rilevamento dei rilevati morfologici e naturali distinti in relazione alla funzione di ostacolo o barriera al propagarsi delle acque ha permesso di individuare comparti morfologici che in relazione alla distanza dal corso del fiume e alle capacità contenitive, risultano essere immediatamente, o solo in tempi successivi, o per eventi di esondazione particolarmente distruttivi, raggiungibili dall'acqua.

Nel caso in cui si verifichi infatti un processo di esondazione prodotto da un corso d'acqua naturale a causa di un evento idrologico critico, le caratteristiche fisiografiche proprie del territorio interessato condizionano sia i luoghi preferenziali dell'esondazione sia la distribuzione delle acque di allagamento.

In particolare le aree del gruppo A3, con riferimento all'art. 11 del P.T.C.P. sono: *"aree depresse ad elevata criticità idraulica, situate in comparti morfologici allagabili, ma caratterizzate da condizioni altimetriche meno critiche della classe A2, aree caratterizzate da scorrimento rapido e buona capacità di smaltimento, ad elevata criticità idraulica poiché situate in comparti allagabili"*. Questa classificazione è basata sulle caratteristiche litologiche dei suoli, le quali favoriscono l'allontanamento veloce delle acque superficiali, allontanamento facilitato dalla presenza della rete idraulica rappresentata da condotti di diversa gerarchia. Il loro utilizzo è essenzialmente irriguo ed in subordine promiscuo, a seconda delle esigenze territoriali.

Secondo quanto riportato nel P.T.C.P., in quest'area non vengono segnalate limitazioni urbanistico-edilizie, *"i Comuni attivano una puntuale pianificazione dell'emergenza finalizzata alla limitazione del rischio per la popolazione residente"*, in particolare vengono fatti riferimenti ad interventi di natura idraulica.

VOCI DI LEGENDA	
Aree a differente pericolosità e/o criticità idraulica	
	A1 - Aree ad elevata pericolosità idraulica (Art.11)
	A2 - Aree depresse ad elevata criticità idraulica con possibilità di permanenza dell'acqua a livelli maggiori di 1 metro (Art.11)
	A3 - Aree depresse ad elevata criticità idraulica aree a rapido scorrimento ad elevata criticità idraulica (Art.11)
	A4 - Aree a media criticità idraulica con bassa capacità di scorrimento (Art.11)
	Aree geomorfologiche ed artificiali
	Paleodossa (Art.23A)
	Invasi ed avari di laghi, bacini e corsi d'acqua (Art.10)
	Fasce di espansione inondabili (Art.9)
	Limiti delle aree soggette a criticità idraulica (Art.11)



Fig.18 Tav 2.3.1 PTCP "Carta della Pericolosità e della Criticità Idraulica"

4. LITOSTRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 TECNICHE DI INDAGINE

Sulla base del contesto geologico dell'area e del tipo di caratterizzazione geotecnica richiesta, la ricostruzione litostratigrafica superficiale e profonda e la definizione preliminare delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni presenti è stata condotta mediante esecuzione di numero 2 prove penetrometriche statiche.

Le prove sono state realizzate con un penetrometro statico da 300 KN dotato di punta meccanica "jacket friction cone" in cui l'avanzamento automatico è regolato da centraline elettroniche.

La prova penetrometrica statica consiste nell'infiggere a pressione nel terreno una punta conica misurando separatamente ma con continuità lo sforzo necessario per la penetrazione della punta e l'adesione terreno-acciaio di un manicotto posto al di sopra della punta.

L'infissione avviene tramite un pistone idraulico che spinge la batteria di aste su cui è montata la punta a velocità costante di 2 cm/s con una tolleranza di ± 5 mm/s, l'avanzamento è automatico e regolato da centraline elettroniche.

Il penetrometro meccanico possiede il manicotto di attrito che si muove indipendentemente dalla punta secondo il metodo Begemann.

Lo sforzo per l'infissione della punta è misurato mediante manometri collegati al martinetto che esercita la spinta. L'acquisizione dati viene rilevata da manometri meccanici a bagno d'olio con sensibilità minima pari a 0.1 Bar.

Le caratteristiche del penetrometro statico olandese tipo Gouda sono:

- punta conica meccanica $\phi = 35.7$ mm - angolo di apertura $\alpha = 60^\circ$ - area punta $A_p = 10$ cm²
- manicotto laterale di attrito tipo "Begemann" $\phi = 35.7$ mm. - $h = 133$ mm. - sup.lat. $A_m = 150$ cm²
- le aste sono doppie: una cava $\phi = 36$ mm. e una, il cui diametro è tale da essere contenuta all'interno delle aste cave

Durante l'esecuzione della prova ogni 20 cm vengono lette nei manometri la resistenza all'avanzamento della sola punta L_{punta} , la resistenza dell'avanzamento della punta e del manicotto $L_{laterale}$ e la resistenza totale all'avanzamento delle sole aste cave.

Nei diagrammi vengono rappresentati:

- la resistenza alla punta q_c in MPa
- la resistenza laterale locale f_s in MPa
- la linea a destra rappresenta il rapporto q_c/f_s (numero puro).

4.2 INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

La natura litologica dei terreni oggetto delle prove penetrometriche è dedotta dall'analisi dei diagrammi penetrometrici mediante "Guide for estimating soil type from dutch friction-cone ratio" (after Schmertmann, 1969), Raccomandazioni A.G.I. 1977.

Le sequenze stratigrafiche desunte dall'analisi delle prove penetrometriche si presentano discretamente omogenee nei due punti di prova con diversi livelli litologici.

Al di sotto del terreno vegetale, si trovano argille compatte sovraconsolidate per essiccamento;

dalla quota variabile da - 6.40 m (prova CPT n. 2) a - 7.20 m (prova CPT n. 1), si trova un livello di sabbie poco addensate fino alla quota di - 9.60;

da - 9.60 m a - 13.80 m sabbie mediamente addensate;

da - 13.80 a - 25.80 m sabbie addensate;

da - 25.80 m a - 32.00 m sabbie molto addensate.

Di seguito si riporta lo schema della sequenza stratigrafica presente nella zona di studio.

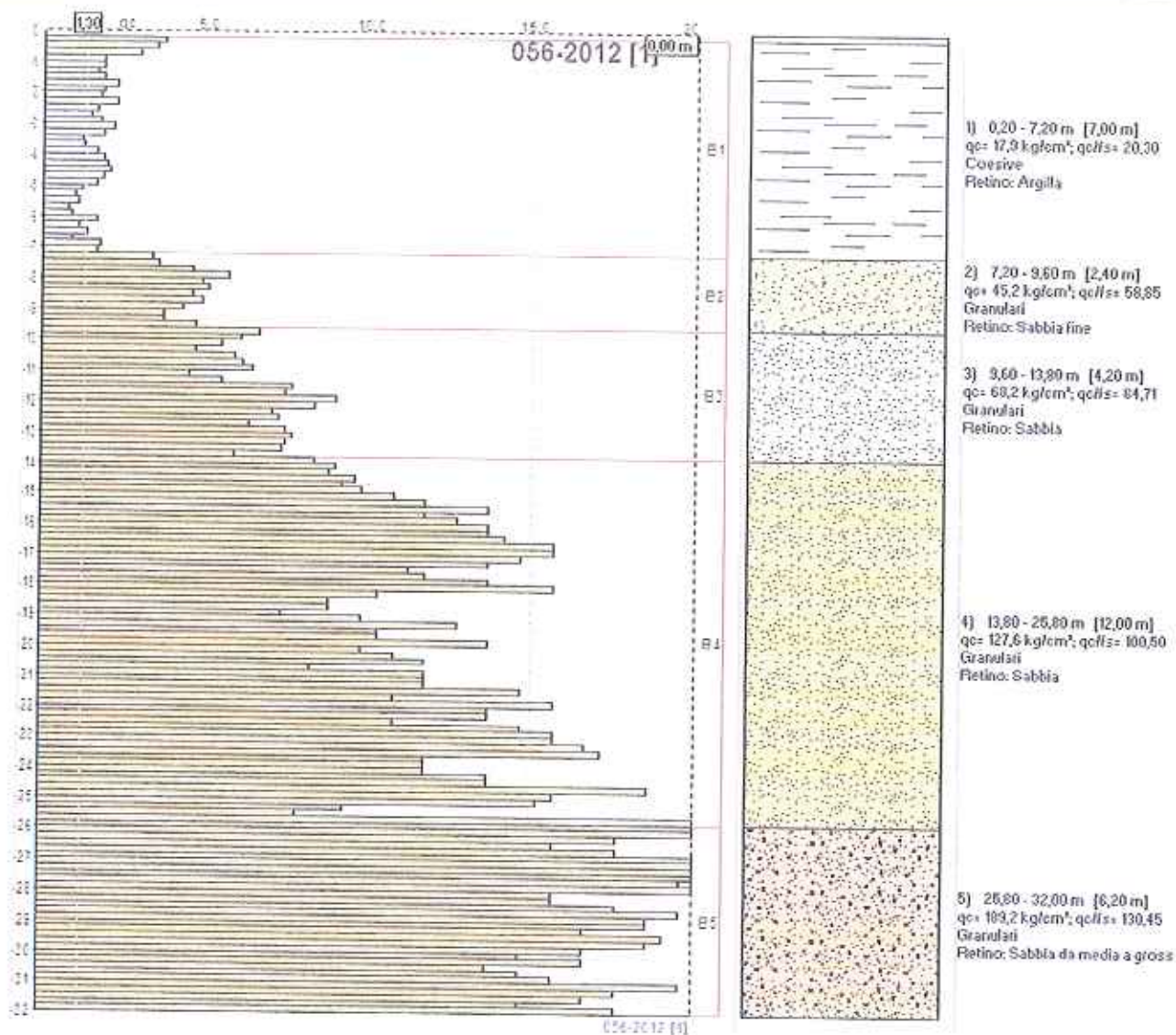


Fig.17: Schema sequenza stratigrafica CPT

Si riportano inoltre di seguito tutti i valori delle letture di campagna delle due prove penetrometriche statiche, ogni 20 cm, i relativi valori della qc (in Kg/cm²), fs (in Kg/cm²), qc/fs (numero puro) e fs/qc%.

056-2012

JM:	MPa	Date rec.	04/27/2012
Flag:	1	Folds:	-2.50 m 2.00
ES004315			

H = interfaccia	no = assenza di punto
L1 = prima stanza (principi)	fa = presenza libera e non obbligatoria
L2 = seconda stanza (regole - pratica)	L3 = sopra il tutto
L3 = terza stanza (scelte)	
OT = 10 OT (trasformazione)	

E-14325

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT **2**

identificativo **056-2012**

Committente: **COMUNE DI SAN POSSIDONIO**

Confiera: **SAN POSSIDONIO Via Focherini**

Località: **SAN POSSIDONIO Via Focherini**

1/M

MPa

Data dati: **24/07/2012**

pag. n. 1

Elaborato:

Foglio: **-0-50 m - 240**

H m	L1	L2	Lt	qc t/Pa	fs t/Pa	F	Rf %	H m	L1	L2	Lt	qc t/Pa	fs t/Pa	F	Rf %
0.20	3.0	0.0		0.0	50.00	0		15.20	120.0	115.0	5.2	100.00	120	1.0	
0.40	3.0	32.0		2.0	57.00	15	4.4	15.40	115.0	125.0	11.0	100.00	115	0.9	
0.60	3.0	34.0		2.1	47.00	-4	7.0	15.60	120.0	95.0	7.2	103.00	120	1.1	
0.80	3.0	34.0		1.7	100.00	-4	7.1	15.80	120.0	140.0	11.2	103.00	120	1.1	
1.00	3.0	34.0		1.8	47.00	-2	6.2	16.00	120.0	140.0	11.2	103.00	120	1.1	
1.20	3.0	40.0		1.8	40.00	-5	7.5	16.20	120.0	100.0	7.8	100.00	120	1.1	
1.40	3.0	32.0		1.7	57.00	25	6.1	16.40	115.0	130.0	11.2	107.00	120	1.1	
1.60	3.0	29.0		1.2	29.00	-4	7.2	16.60	120.0	135.0	14.7	103.00	115	0.9	
1.80	3.0	29.0		2.2	67.00	35	7.4	16.80	120.0	200.0	17.6	100.00	120	1.1	
2.00	3.0	32.0		1.8	53.00	34	6.2	17.00	120.0	220.0	16.8	200.00	120	1.0	
2.20	3.0	32.0		1.7	50.00	31	6.2	17.20	120.0	220.0	16.8	200.00	120	1.0	
2.40	3.0	32.0		1.6	40.00	40	5.5	17.40	120.0	220.0	17.6	103.00	120	1.1	
2.60	3.0	30.0		1.4	47.00	35	5.4	17.60	120.0	120.0	15.7	103.00	120	1.1	
2.80	3.0	21.0		1.4	70.00	25	4.5	17.80	120.0	120.0	15.7	103.00	120	1.1	
3.00	3.0	18.0		0.9	20.00	-6	6.1	18.00	140.0	160.0	13.7	107.00	120	1.1	
3.20	3.0	22.0		1.4	33.00	47	12.4	18.20	170.0	155.0	16.7	107.00	120	1.0	
3.40	3.0	24.0		1.0	67.00	25	5.5	18.40	150.0	155.0	15.7	103.00	120	1.0	
3.60	3.0	29.0		1.0	50.00	35	5.3	18.60	150.0	200.0	17.6	103.00	120	1.1	
3.80	3.0	29.0		1.0	50.00	32	5.3	18.80	150.0	170.0	14.7	107.00	120	1.1	
4.00	3.0	30.0		2.1	67.00	35	6.2	19.00	150.0	125.0	15.7	107.00	120	1.0	
4.20	3.0	24.0		1.8	70.00	25	6.2	19.20	150.0	175.0	14.7	103.00	120	1.0	
4.40	3.0	24.0		1.8	59.00	24	6.2	19.40	170.0	167.0	16.7	107.00	120	1.0	
4.60	3.0	24.0		1.7	59.00	24	6.2	19.60	170.0	155.0	15.7	107.00	120	1.0	
4.80	3.0	24.0		1.7	67.00	24	6.2	19.80	150.0	175.0	14.7	103.00	120	1.0	
5.00	3.0	24.0		1.6	40.00	24	6.2	20.00	140.0	150.0	13.7	103.00	120	1.0	
5.20	3.0	30.0		1.1	53.00	31	4.5								
5.40	3.0	17.0		0.8	40.00	25	4.0								
5.60	3.0	17.0		1.1	53.00	31	4.5								
5.80	3.0	29.0		1.6	67.00	25	4.5								
6.00	3.0	20.0		1.0	60.00	-7	6.6								
6.20	3.0	28.0		1.4	47.00	30	5.4								
6.40	3.0	24.0		1.7	67.00	25	6.0								
6.60	3.0	80.0		4.9	50.00	25	1.6								
6.80	3.0	65.0		7.5	100.00	12	1.6								
7.00	3.0	72.0		2.0	57.00	29	1.5								
7.20	3.0	72.0		2.0	57.00	29	1.5								
7.40	3.0	90.0		2.0	67.00	29	1.5								
7.60	3.0	72.0		2.1	67.00	29	1.5								
7.80	3.0	105.0		2.5	100.00	25	1.1								
8.00	3.0	120.0		10.6	100.00	25	1.2								
8.20	3.0	130.0		10.6	100.00	1.0	0.5								
8.40	3.0	100.0		2.5	100.00	25	1.5								
8.60	3.0	60.0		7.5	25.00	30	1.5								
8.80	3.0	90.0		2.5	100.00	24	1.2								
9.00	3.0	120.0		10.5	57.00	121	0.6								
9.20	3.0	105.0		6.0	100.00	25	1.1								
9.40	3.0	100.0		2.5	100.00	25	1.1								
9.60	3.0	105.0		2.6	100.00	30	1.1								
9.80	3.0	90.0		7.4	57.00	30	1.2								
10.00	3.0	105.0		6.0	100.00	24	1.1								
10.20	3.0	115.0		6.6	130.00	25	1.1								
10.40	3.0	140.0		11.6	130.00	25	1.1								
10.60	3.0	140.0		11.6	100.00	120	0.6								
10.80	3.0	120.0		10.3	130.00	29	1.5								
11.00	3.0	140.0		11.6	100.00	120	0.6								
11.20	3.0	120.0		10.3	130.00	29	1.5								
11.40	3.0	120.0		9.6	100.00	120	1.5								
11.60	3.0	115.0		9.6	100.00	120	1.5								
11.80	3.0	150.0		11.3	130.00	28	1.5								
12.00	3.0	120.0		9.6	100.00	120	1.0								
12.20	3.0	110.0		9.5	100.00	25	1.1								
12.40	3.0	120.0		10.5	160.00	25	1.6								
12.60	3.0	145.0		11.6	100.00	120	0.6								
12.80	3.0	120.0		10.3	130.00	29	1.5								
13.00	3.0	150.0		10.5	100.00	110	0.6								
13.20	3.0	100.0		9.5	100.00	25	1.1								
13.40	3.0	115.0		9.5	100.00	120	1.0								
13.60	3.0	110.0		9.5	87.00	27	1.6								
13.80	3.0	105.0		11.6	130.00	20	1.1								
14.00	3.0	170.0		14.7	130.00	115	0.6								
14.20	3.0	160.0		12.7	130.00	26	1.0								
14.40	3.0	180.0		12.7	87.00	28	1.0								
14.60	3.0	180.0		12.7	130.00	175	0.6								
14.80	3.0	180.0		12.7	130.00	120	0.6								
15.00	3.0	190.0		10.6	120.00	170	0.9								

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (coda - laterale)
Lt = terza lettura (coda)
C = 10.00 costante di trasformazione
qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata
C.L.T. = rapporto C/L2
F = valore di Sigaenani (qc/fs)
Rf = rapporto Schminke (C/L2)/100

nota

F01022

Tabella 1: Dati di campagna e valori trasformati ricavati dalle prove penetrometriche n. 1 e n. 2.

La stratigrafia di dettaglio è riportata nei diagrammi delle valutazioni litologiche e nelle tabelle dei parametri geotecnici. All. n. 3 e 4.

4.3 PARAMETRI GEOTECNICI MEDI E CARATTERISTICI

Al fine di caratterizzare i singoli strati della sequenza litologica riscontrata dalle indagini si riportano nella tabella di seguito i parametri geotecnici (valori meccanici del terreno) **medi** per ogni singolo strato individuato.

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA										riferimento		056-2012										
SEZIONE GEOTECNICA																						
Committente: COMUNE DI SAN POSSIDONIO										U.M.		MPa										
Contiene: SAN POSSIDONIO Via Focherini																						
Località: SAN POSSIDONIO Via Focherini																						
Param. 056-2012 (1)										NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE							
Prof.		q _c	q _{ult}	f _c	σ _{vo}	V _s	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	σ _{sc}	σ _{ca}	σ _{ko}	σ _{DB}	σ _{DM}	σ _{Me}	F _L	E ₅₀	E ₂₅	Mo
m	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	m/s	MPa	%	MPa	MPa	MPa	%	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
0,20	7,20	1,7	20,3	120	54	165	70	14,8	16,55	24,62	5,45	45	37	30	27	25	24	28	2,00	3,02	5,86	7,06
7,20	9,60	4,4	59,5	89	99	183	--	--	--	--	--	44	37	29	26	24	32	30	--	7,35	11,07	13,36
9,60	13,20	6,7	64,7	93	120	198	--	--	--	--	--	52	37	28	26	26	33	32	-11,14	16,71	20,05	
13,60	25,20	12,5	100,5	102	209	235	--	--	--	--	--	61	39	30	27	25	34	36	-20,65	31,27	37,52	
25,00	32,60	18,5	134,4	110	305	275	--	--	--	--	--	66	39	30	27	25	34	37	-30,90	48,35	55,62	

Fig.18:Valori GEOTECNICI MEDI per ogni strato della sequenza litologica.

Per quanto attiene ai parametri geotecnici caratteristici, con il DM 2008 si ragiona in termini non più di valori deterministici, ma in termini di variabili aleatorie, cioè le resistenze dei terreni vengono scelte secondo una stima cautelativa del valore medio delle stesse.

Stima cautelativa perché la variabile può essere rappresentata da più parametri ma la trattazione deve necessariamente riguardare tutti i possibili valori della variabile, e non solo il valore atteso (media), deve cioè tener conto di tutta la distribuzione della variabile.

La variabile aleatoria da prendere in considerazione **negli strati coesivi** studiati per il tipo di indagini geognostiche svolte direttamente in sito è il **parametro geotecnico caratteristico cu**; la variabile aleatoria da prendere in considerazione **negli strati sciolti** studiati per il tipo di indagini geognostiche svolte direttamente in sito è il **parametro geotecnico caratteristico φ**.

Il valore caratteristico scelto è pari al 5° percentile della media della distribuzione lognormale del parametro geotecnico (cu) per gli strati coesivi, è pari invece al 5° percentile della media della distribuzione normale del parametro geotecnico φ per gli strati sciolti.

La formula utilizzata per il calcolo del 5° percentile della distribuzione lognormale del parametro geotecnico (cu) è :

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} \frac{t_{1-\alpha/2}(n-1)}{\sqrt{n}} * \sqrt{S^2 \left(1 + \frac{S^2}{2}\right)}$$

La formula utilizzata per il calcolo del 5° percentile della distribuzione normale del parametro geotecnico (ϕ) è :

$$\mu = t(n-1) \left(\frac{s}{\sqrt{n-1}} \right) + \bar{x}$$

I dati immessi nei calcoli sono i valori di c_u e di ϕ derivati dalle correlazioni dei valori di q_c e f_s ricavati direttamente dalle prove penetrometriche mediante le correlazioni standard (Raccomandazioni AGI 1977-Ricceri et Altri 1974 – Marsal et al. 1974/1979).

COESIONE NON DRENATA Terreni COESIVI $C_u = R_p/\beta$		
CORRELAZIONI STANDARD - Raccomandazioni A.G.I. 1977 - Ricceri et altri 1974 - Marsland et al. 1974/1979		
- Argille normalmente consolidate N.C. ($q_c \leq 10 \text{ kg/cm}^2$)	$\beta = 25$	(valore standard: 20)
- Argille intermedie ($10 < q_c < 30 \text{ kg/cm}^2$)	$\beta = \text{valore interpolato}$	
- Argille sovra consolidate S.C. ($q_c \geq 30 \text{ kg/cm}^2$)	$\beta = 40$	(valore standard: 30)

Fig.19: Correlazioni per il calcolo di c_u dai valori di q_c e f_s .

I valori immessi nella formula utilizzata per il calcolo del 5° percentile della distribuzione relativi ai parametri geotecnici di interesse sono quelli significativi per i singoli strati indagati.

Lo scopo è fornire un valore di c_u e ϕ che caratterizzi lo strato nel suo complesso. Nei calcoli vengono quindi eliminati, se presenti, i valori di picco di livelli centimetrici non rappresentativi delle caratteristiche litologiche dello strato.

Se si considerano tutti i valori definiti ogni 20 cm dalle prove penetrometriche senza fare un'analisi ragionata delle proprietà litologiche dello strato si rischia di ottenere dei parametri geotecnici che falsano le reali caratteristiche dello strato.

I dati immessi nei calcoli sono i valori di c_u e di ϕ derivati dalle correlazioni dei valori di q_c e f_s ricavati direttamente dalla prova penetrometrica e interpretate e "ragionate" dalla scrivente.

**Primo strato, da sotto il terreno vegetale alla quota variabile da - 6.40m a - 7.20 m argille compatte sovraconsolidate per essiccamento: $c_{uk} = 58.00 \text{ kPa}$;
 Secondo strato da - 6.40/7.20 m a - 9.60 m livello di sabbie poco addensate: $\phi_k = 26.70^\circ$;**

Terzo strato da - 9.60 m a - 13.80 m sabbie mediamente addensate: $\phi_k = 27.20^\circ$;

Quarto strato da - 13.80 a - 25.80 m sabbie addensate: $\phi_k = 29.80^\circ$;

Quinto strato da - 25.80 m a - 32.00 m sabbie molto addensate: $\phi_k = 31.70^\circ$.

4.4 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

Le verifiche con il metodo semiprobabilistico degli stati limite secondo le indicazioni del D.M. 14 gennaio 2008 viene eseguite includendo per le azioni e le resistenze, fattori di sicurezza parziali FS applicati a valori medi dei parametri di interesse.

Il fattore di sicurezza globale viene quindi diviso in fattori di sicurezza parziali applicati ai singoli valori caratteristici dei carichi o dei parametri geotecnici in modo che la disequazione finale $E_d \leq R_d$ venga sempre verificata.

Cioè l'effetto delle azioni di progetto (E_d) deve essere sempre non superiore alle Resistenze di progetto (R_d) in condizioni di stabilità della struttura.

Se si utilizza l'approccio 2 proposto dal DM 2008 (A1 combinato con M1 combinato con R3) al parametro geotecnico caratteristico si applicano coefficienti riduttivi uguali all'unità quindi il parametro c_u di progetto è uguale al parametro c_u caratteristico $c_{u,d} = c_{u,k}$.

Se si utilizza l'approccio 1 combinazione 2 (A2 combinato con M2 combinato con R2), il parametro geotecnico di interesse da utilizzare è quello caratteristico ridotto dal coefficiente di sicurezza parziale definiti nella tabella 6.2.II del DM 2008 e di seguito riportata.

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza di taglio</i>	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{u,k}$	γ_{c_u}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_r	1,0	1,0

I valori di c_u e di ϕ di progetto degli strati della sequenza litologica riscontrata nel sito di studio sono:

Primo strato, da sotto il terreno vegetale alla quota variabile da - 6.40m a - 7.20 m argille compatte sovraconsolidate per essiccamento: $c_{u,d} = 41.40$ kPa;
Secondo strato da - 6.40/7.20 m a - 9.60 m livello di sabbie poco addensate: $\phi_d = 21.90^\circ$;

Terzo strato da - 9.60 m a - 13.80 m sabbie mediamente addensate: $\phi_d = 22.30^\circ$;

Quarto strato da - 13.80 a - 25.80 m sabbie addensate: $\phi_d = 24.60^\circ$;

Quinto strato da - 25.80 m a - 32.00 m sabbie molto addensate: $\phi_d = 26.30^\circ$.

5. ANALISI SISMICA RIPORTANTE LA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE DEL SITO

5.1 SISMICITA' DEL TERRITORIO

Il 20 Marzo 2003 è stata promulgata l'ordinanza n. 3274 della presidenza del Consiglio dei Ministri "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" che fissa le regole per l'identificazione dei comuni sismici e definisce le norme tecniche costruttive per la progettazione di edifici e per le opere di fondazione.

Nella nuova classificazione tutto il territorio viene suddiviso in 4 zone di cui la n. 1 è la più pericolosa.

Per quanto riguarda la Regione Emilia Romagna la novità consiste in un allargamento della zona 3 ed in un ampliamento della zona 2 entro la quale ricadono alcuni comuni.

Il comune di San Possidonio la zona d'indagine ricadono nella zona 3 e vengono definiti a "bassa sismicità".

Tale classificazione è destinata a cambiare dopo la recente crisi sismica verificatasi la mattina del 20 Maggio 2012 con un terremoto di magnitudo locale pari a 5.8 con epicentro Finale Emilia e la mattina del 29 Maggio con terremoto di magnitudo locale pari a 5.9 ed epicentro fra i Comuni di Medolla e Cavezzo. La zona indagata non può più essere considerata caratterizzata da sismi a bassa energia.

5.1.1 Cenni sulla sismotettonica della pianura padana

(Carta della Sismotettonica redatta dalla Regione Emilia Romagna nel Luglio 2004)

In Pianura Padana la superficie di base del Sistema Emiliano Romagnolo (0.45 Ma) è la più recente superficie di discordanza angolare in scala regionale.

La geometria di questa superficie è articolata in zone più o meno depresse. In particolare sono evidenti gli alti di Mirandola – San Possidonio e Finale Emilia (tra Reggio Emilia e Ferrara), di San Bartolomeo in Bosco (a sud di Ferrara) e di Bondeno-Casaglia-Occhiobello (a nord-ovest di Ferrara), dove la base del SERS è a una profondità inferiore a - 100 m s.l.m. Queste zone di alto (dove si trova l'area di studio) ricadono tutte sul culmine della dorsale ferrarese, permettendo di ipotizzare un'attività tardo – pleistocenica di questa struttura.

Lo studio in dettaglio delle strutture sepolte della Pianura Padana è possibile soprattutto grazie all'interpretazione di profili sismici.

I terreni più recenti che registrano diffuse deformazioni alla mesoscala sono le Sabbie di Imola e il Sistema Emiliano-Romagnolo inferiore (SERI) di età compresa tra 0.8 e 0.45 Ma; risulta dunque evidente, anche da osservazioni di campagna, che gran parte del margine appenninico-padano e del sottosuolo padano-adriatico sono stati interessati da deformazioni più recenti di 0.45 Ma.

Le maggiori evidenze di strutture attive segnalate nella Carta della Sismotettonica della Regione Emilia Romagna sono nel settore del margine compreso tra

Salsomaggiore e la valle dell'Idice, a est di Bologna, sul fronte sepolto delle pieghe emiliane tra Piacenza e Reggio Emilia e al tetto delle dorsale ferrarese tra Reggio Emilia e le Valli di Comacchio dove si trova il sito di studio.

L'attività recente e attuale della dorsale ferrarese è indicata oltre che dagli ultimi eventi sismici anche da alcune evidenze morfologiche. Alcuni depositi di canali dei fiumi appenninici non raggiungono né il Po, né il mare e sembrano non oltrepassare l'alto della dorsale ferrarese. Anche il corso del Po, a nord di Reggio Emilia, fa una brusca deviazione verso nord immediatamente prima di raggiungere Novellara e Mirandola, zone in cui il fronte della dorsale ferrarese è molto vicino alla superficie.

Nell'area di studio la SERS è indicata a una profondità inferiore a 50 m. Dall'analisi delle prove eseguite con sismica passiva HVRS risulta che fino alla profondità di circa 100 m si registrano aumenti graduali delle velocità di propagazione delle onde sismiche fino 500 m/s. La profondità di - 100 m può essere considerata come la quota del bedrock sismico.



Fig.20 Carta della Sismotettonica redatta dalla Regione Emilia Romagna nel Luglio 2004

5.2 MODELLO SISMICO DEL SOTTOSUOLO

5.2.1. Definizione categoria sismica mediante analisi HVRS del sottosuolo e mediante analisi onde di superficie MASW

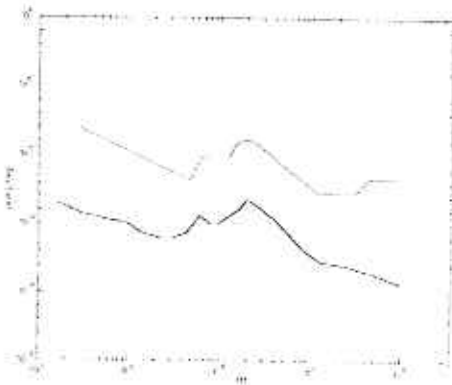
La ricostruzione del modello sismico del sottosuolo e la stima della velocità media delle onde di taglio nel volume di terreno investigato sono ricavati dall'analisi delle due prove eseguite con tomografo digitale e da un rilievo geofisico in onde di superficie MASW tarati dalla sequenza litostratigrafica definita dall'analisi della prova penetrometrica statica.

4.2.1.1 Prospezione sismica HVSR – Cenni di teoria

Le prospezioni sismiche HVSR si basano sulla registrazione del rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore in quanto riguarda oscillazioni molto piccole ($10-15 \text{ [m/s}^2\text{]}^2$ in termini di accelerazione), molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale, in assenza di vento e nel caso in cui il terreno sia roccioso e pianeggiante, lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso e pianeggiante presenta l'andamento illustrato in figura a lato, dove la curva bassa rappresenta il rumore di fondo 'minimo' di riferimento secondo il servizio geologico statunitense (USGS) mentre la curva superiore rappresenta il 'massimo' di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche.



Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco, anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

5.2.1.2 Effetti di percorso

Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che, se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di "ray tracing", è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.

Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazione. Questa informazione è però 'sepolta' all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

Una di queste è la tecnica dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR.

5.2.1.3 Definizioni.

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di contrasto di impedenza. Per strato si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

5.2.1.4 Tecnica impiegata.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970). Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che l'HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli. Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere in linea di principio usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). Considerando il sistema in figura a lato in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'orizzonte che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore h del primo strato. In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a

$$f_r = VP1/(4 h) \quad [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$f_r = VS1/(4 h) \quad [2]$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati. Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per il contenuto in frequenza, la risposta strumentale e l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con

rumore di fondo più o meno alto. La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo.

Rileviamo inoltre come i microtremori siano solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994). Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. L'applicabilità pratica della semplice formula [2] è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico (Gallipoli et al., 2000; Mucciarelli e Gallipoli, 2001; Castellaro et al., 2005). Poiché la situazione illustrata è tipica delle coltri sedimentarie sovrastanti basamenti rocciosi, il metodo HVSR è parso immediatamente applicabile alla determinazione dello spessore delle coltri sedimentarie (si veda Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

5.2.1.5 Strumentazione - Caratteristiche del campionamento ed elaborazione

Lo strumento utilizzato è stato il TROMINO ZERO, modello TRZ-0121/01-11 realizzato dalla Micromed Spa, Moglione Veneto - Treviso.

Di seguito si riporta la descrizione dello strumento:

Codice	Descrizione
TROMINO[®] ZERO 	Registratore digitale tutto in uno 10 x 7 x 13 cm, ~ 1 kg 1 Gb di memoria alimentazione a batteria (AA, 2 x 1,5 V) 2 set di piedini per accoppiamento al suolo banda di lavoro 0.1-200 Hz <ul style="list-style-type: none"> • 3 canali velocimetrici per microtremore sismico ambientale (saturazione ± 1.2 mm/s in banda), • frequenze di campionamento 128, 256, 512 Hz su tutti i canali. • valigetta rigida per il trasporto • cavo USB per trasferimento dati al PC

Il campionamento è stato effettuato ad una frequenza di 128 Hz, per una durata di 16 minuti, il nord dello strumento è stato orientato con il nord geografico.

L'elaborazione è stata effettuata con il software Grilla in dotazione a TROMINO, secondo la procedura descritta in Castellaro (2010), relativamente ai parametri utilizzati, ossia banda di frequenza analizzata, lunghezza delle finestre, tipo e percentuale del lisciamento si rimanda alle singole schede.

5.2.1.6 Schede di acquisizione elaborazione e interpretazione

SAN POSSIDONIO (MO), Via Focherini - HVSR 1

Strumento: TRZ-0121/01-11

Inizio registrazione: 04/07/12 13:49:58 Fine registrazione: 04/07/12 14:09:59

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS: LAT 44.895425° - LONG 10.993380°

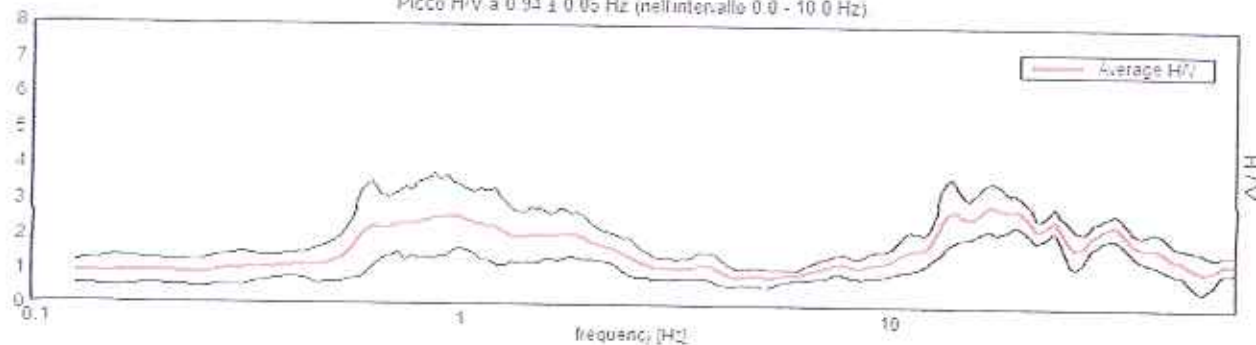
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 58% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

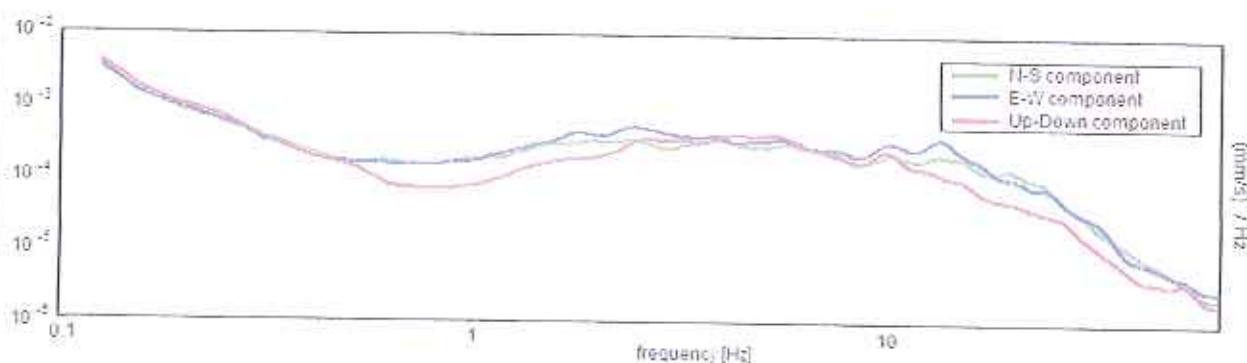
Lunghezza finestre: 20 s - Tipo di lisciamento: Triangularwindow - Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

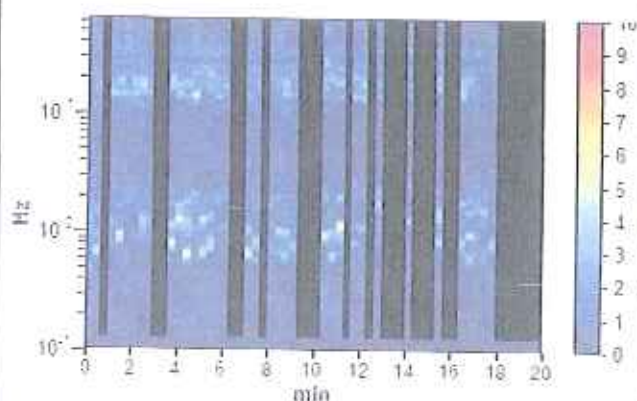
Picco H/V a 0.94 ± 0.05 Hz (nell'intervallo 0.0 - 10.0 Hz)



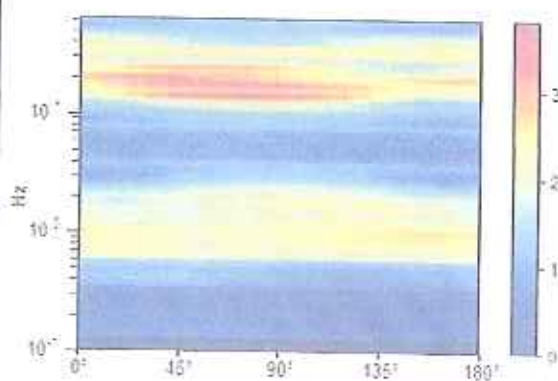
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SAN POSSIDONIO (MO), Via Focherini - HVSr 2

Strumento: TRZ-0121/01-11

Inizio registrazione: 04/07/12 14:36:44 Fine registrazione: 04/07/12 14:56:44

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS: LAT 44.894743° - LONG 10.993725°

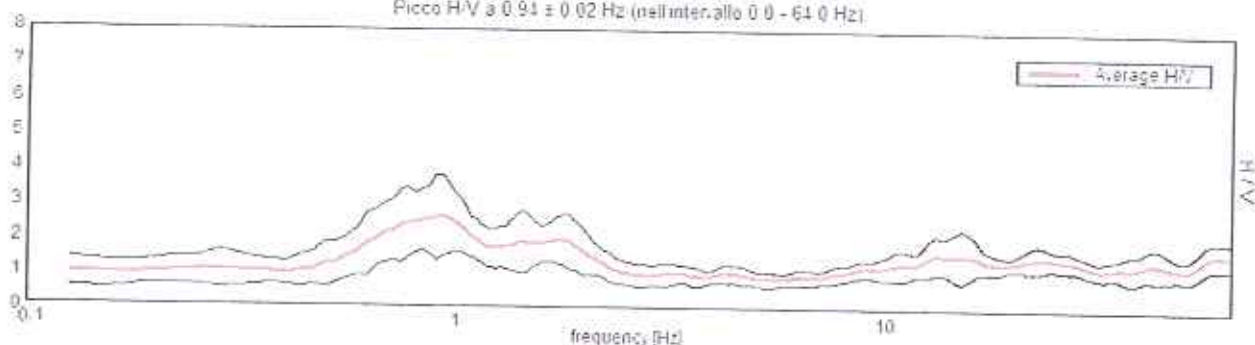
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 80% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

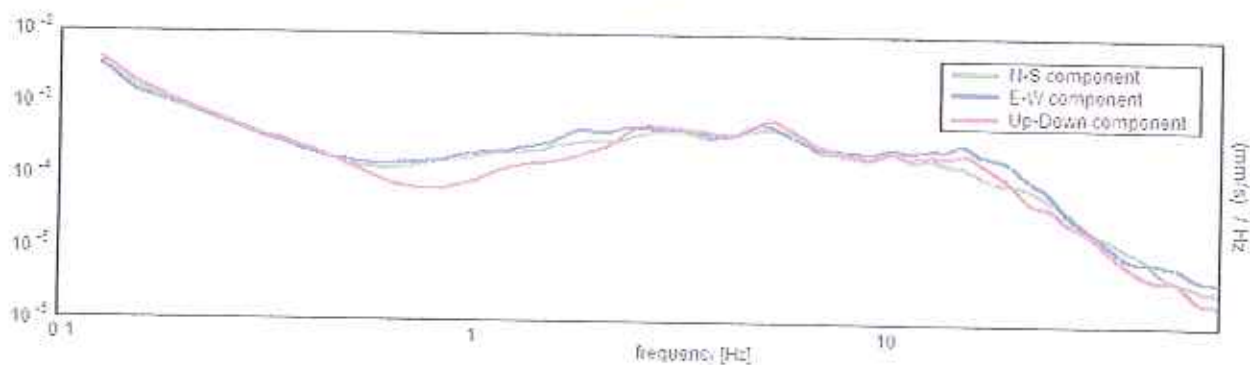
Lunghezza finestre: 20 s - Tipo di lisciamento: Triangularwindow - Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

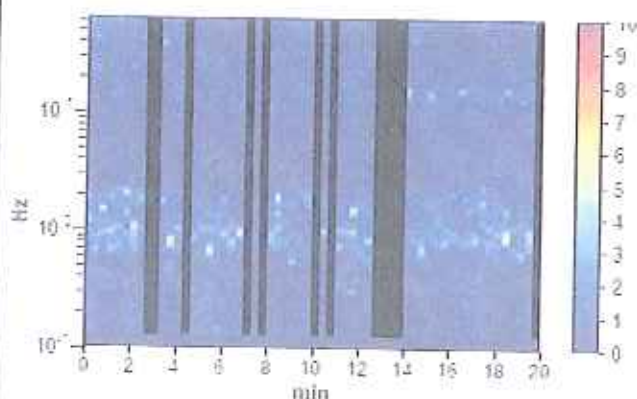
Picco H/V a 0.94 ± 0.02 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz)



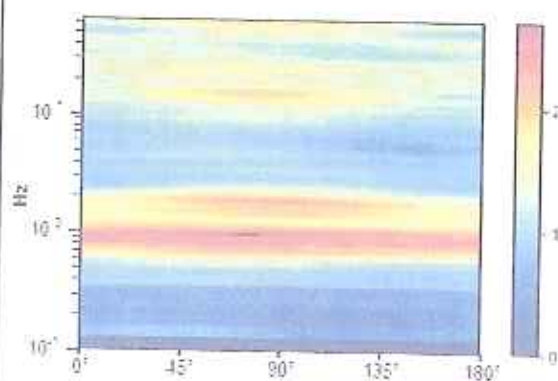
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V

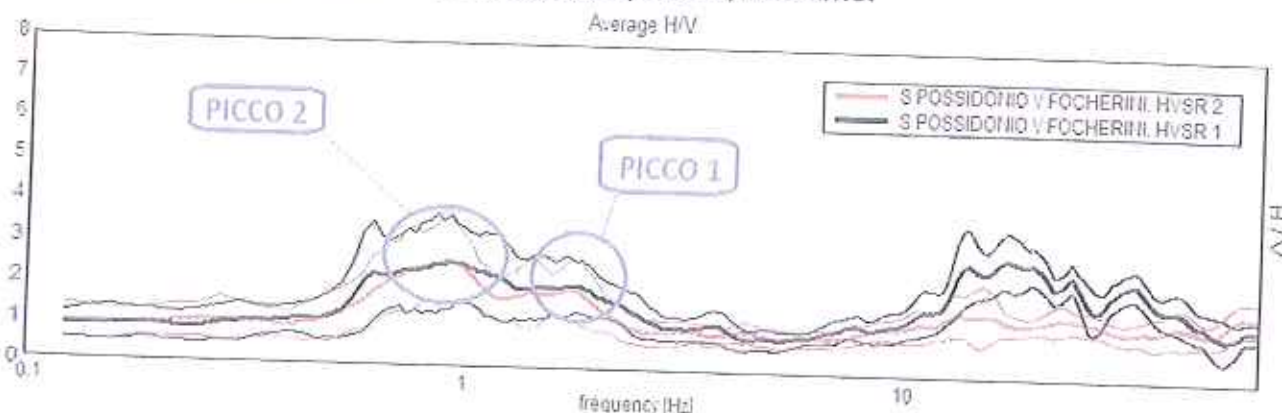


DIREZIONALITA' H/V



Tutte le acquisizioni HVSR, risultano completamente convalidate dalle linee guida SESAME 2005.

Relativamente alle **frequenze caratteristiche di sito**, dal diagramma del confronto delle curve H/V, di seguito riportato, abbiamo:



Due picchi stratigrafici, caratteristici, così caratterizzati:

Picchi Stratigrafici	Rapporto H/V (valori medi)	Frequenza(Hz) Caratteristica (valori medi)	Periodo (s) Caratteristico (valori medi)
1	1,9	~ 1,80	~ 0,55
2	2,60	~ 0,94	~ 1,06

Il **picco (1)**, rappresenta un contrasto di impedenza profondo circa 25,00 – 26,00 m., il passaggio alle sabbie molto addensate, convalidato dalle prove CPT, mentre il **picco (2)** rappresenta il passaggio al pseudo Bedrock sismico, si tratta di un contrasto di impedenza profondo circa 100 m. con V_s approssimabile a circa 500 m/s. I due picchi sono quelli che dà la massima amplificazione alle frequenze pari a 0,94 Hz e 1,80 Hz corrispondente rispettivamente ai periodi caratteristici di 1,06 s e 0,55 s. I periodi caratteristici definiti sono da confrontare con il periodo proprio della struttura che verrà realizzata per evitare "doppie risonanze".

5.2.2 MASW - In Onde Rayleigh

Le indagini MASW (*Multichannel Acquisition Surf Wave*) hanno come obiettivo quello di ricostruire il profilo sismostratigrafico di un sito, valutando in particolare la distribuzione della velocità delle onde "S" sia per la ricostruzione del profilo del sottosuolo che per la definizione *in situ* della V_{s30} .

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive ad alta frequenza in corrispondenza di un punto prestabilito lungo il profilo (punto di scoppio): nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (trigger). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale con tempo di registrazione pari ad almeno 2 secondi alla frequenza di 512 Hz.