

COMUNE DI SAN FELICE
Provincia di Modena

**AREA PER LOCALIZZAZIONE STRUTTURA
MAGAZZINO COMUNALE**

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

Dott. Geol. Valeriano Franchi

STUDIO:

V.le Caduti in Guerra, 1
41121 Modena
Tel 059/226540
Fax 059/4398943
Mobile 335/6611883
e-mail valerianofranchi@tin.it

INDICE CONTENUTI

1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEODINAMICO GENERALE	3
2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GENERALE	6
3. ASPETTI SISMICI.....	8
3.1. Sismicità in relazione alle strutture tettoniche presenti	11
3.2. Pericolosità sismica di base	15
3.3. Microzonazione sismica del Comune di San Felice s/P	18
4. CARATTERIZZAZIONE AREA SELEZIONATA	21
4.1. Inquadramento geografico	21
4.2. Litologia di superficie e geomorfologia	22
4.3. Idrografia di superficie, rischio idraulico e idrogeologia	25
4.4. Stratigrafia e parametri geotecnici del terreno	27
4.5. Caratteristiche sismiche del terreno	29

1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEODINAMICO GENERALE

L'evoluzione geologica del territorio comunale di San Felice sul Panaro va necessariamente inquadrata in un contesto regionale; esso ricade infatti nella parte centro-meridionale della Pianura Padana, che costituisce dal punto di vista geologico, un grande bacino subsidente plio-quaternario di tipo sedimentario, che comincia a delinearsi sin dall'inizio del Triassico (225 milioni di anni fa) e viene interessato da subsidenza differenziata sia nel tempo che nello spazio, in diversi periodi (Mesozoico, Cenozoico, ma soprattutto Pliocene e Quaternario), con movimenti verticali controllati dai caratteri strutturali presenti in profondità; più in particolare, l'area ricade nel suo settore appenninico, in diretta influenza del Po e dei suoi affluenti di destra.

Nell'ambito del suddetto bacino, i terreni olocenici, di origine alluvionale, poggiano sul sottostante Pleistocene continentale e/o marino, strutturalmente caratterizzato da elementi ormai sufficientemente definiti in letteratura.

Dal punto di vista strutturale la Pianura Padana non costituisce una unità omogenea: fanno infatti parte del suo sottosuolo le pieghe più esterne dell'Appennino settentrionale e delle Alpi meridionali lombarde, l'avampaese comune alle due catene e, nel Veneto, l'avampaese delle Alpi meridionali orientali e della catena dinarica; su questi elementi è impostata l'avanfossa piocenico-quaternaria dell'Appennino.

Legenda: a) nucleo carbonatico, mesozoico sepolto; b) minimo dell'anomalia gravimetrica; c) accavallamento principale; d) faglia verticale; e) faglia diretta; f) faglia diretta trasversale al margine appenninico; g) limite tra rilievo e pianura; h) faglia di "Verona". B-B': traccia di sezione.

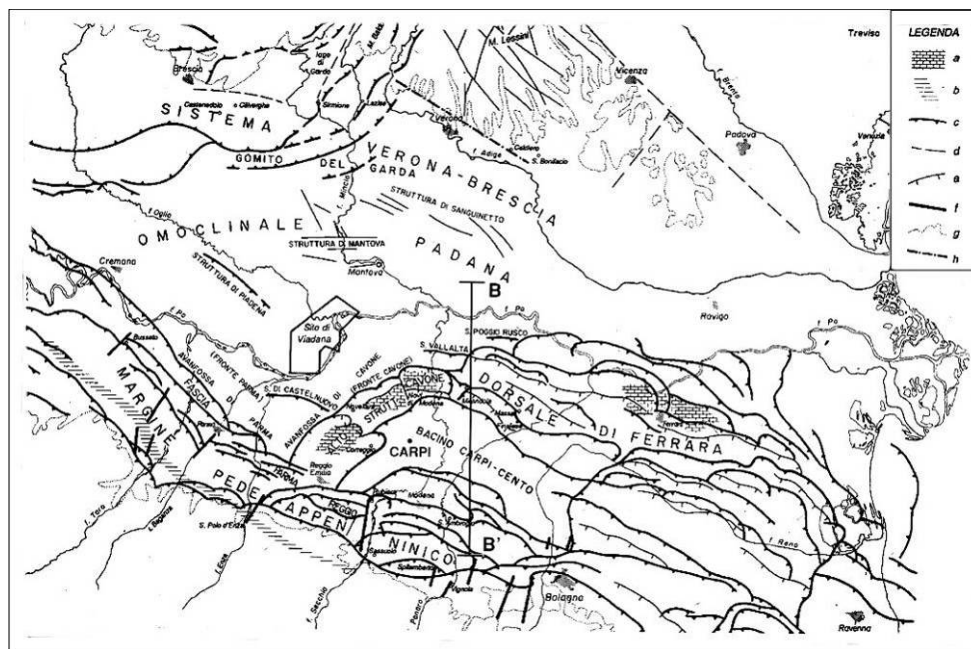


Figura 1 - Carta degli elementi tettonici significativi dell'area Padana centro-orientale
(Fonte: I. serva - 1990)

In Figura 1 è riportato un estratto della "Carta degli elementi tettonici significativi dell'area Padana centro-orientale", che mette in evidenza la presenza di un ampio bacino, fortemente subsidente ed attivo sin dal Plio-Pleistocene, che si estende tra Carpi e Cento di Ferrara, denominato "Bacino di Carpi" o meglio noto come "Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia, collocata tra due grandi archi di pieghe, che costituiscono la porzione più esterna dell'Appennino settentrionale, rappresentati dalle

"Zona delle pieghe pedeappenniniche", a sud, più prossime alla catena appenninica, e dalla "Dorsale di Ferrara", a nord; quest'ultima è caratterizzata da un'ampia struttura anticlinale molto evidente ed elevata, che corre da Massa Finalese a Mirandola, con direzione complessiva E/SE-N/NW e che, in corrispondenza di Novi di Modena e Correggio, subisce una decisa inflessione verso sud, con andamento SE-NW.

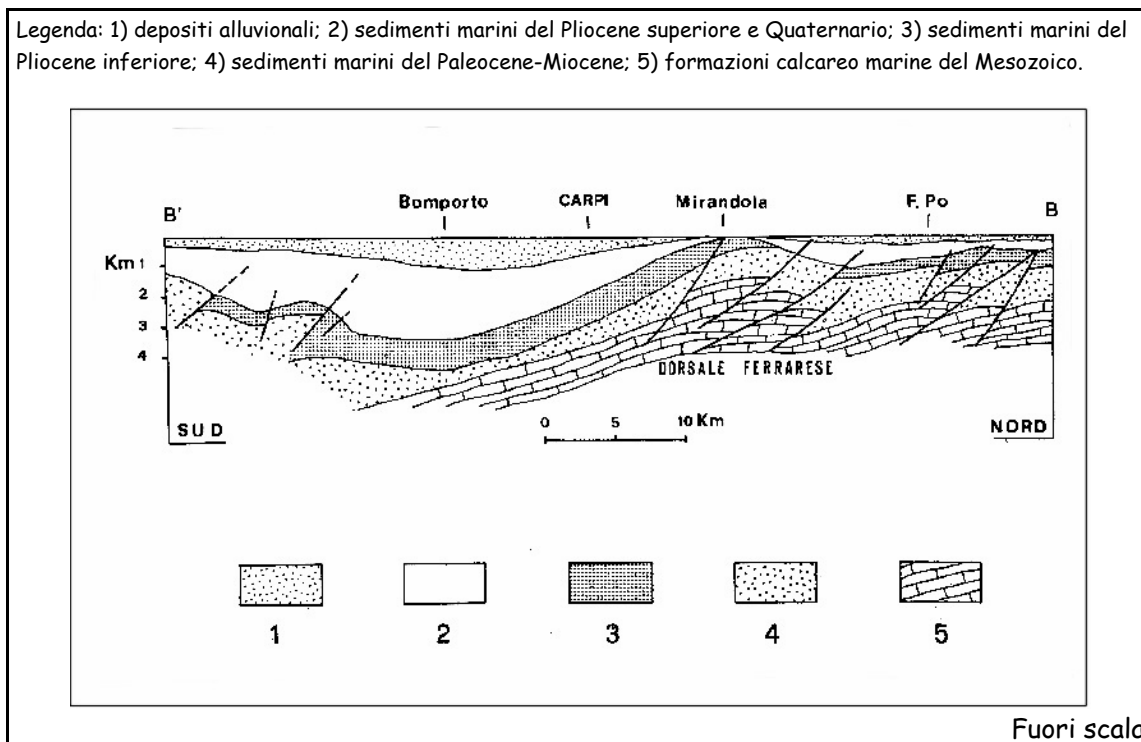


Figura 2 - Sezione geologica schematica, indicativa della situazione strutturale profonda della bassa pianura modenese (Fonte: Pieri - 1980)

Lungo tali allineamenti, lo spessore dei depositi quaternari subisce una notevole riduzione, sino a poche decine di metri (80/90 m) (Figura 2).

Focalizzando l'attenzione sulla zona in esame, si osserva in Figura 3 che il territorio di San Felice ricade nella zona delle "pieghe ferraresi". Lo spessore della successione plio-quaternaria, cioè dei sedimenti che si sono depositati negli ultimi 5 milioni di anni (dalla base del Pliocene ad oggi), risulta abbastanza variabile: da oltre 3.000 m, nella zona più meridionale, esso si riduce, alla cerniera della piega-faglia ferrarese, fino a meno di 1.000 m (porzione centrale e settentrionale del territorio comunale).

Per quanto riguarda l'area comunale, essa ricade in un settore deposizionale caratterizzato dai depositi alluvionali del fiume Po, presenti in massima parte nelle aree più a nord, e dei corsi d'acqua minori di tipo appenninico, ed in particolare del fiume Panaro e Secchia; si tratta di depositi di origine continentale a granulometria solitamente medio-fine, con prevalenza di litologie generalmente sabbiose, per quanto riguarda i depositi del fiume Po, caratterizzati da uno spessore via via decrescente procedendo verso sud, e di depositi limosi e argillosi, con intercalazioni di livelli e lenti sabbiose discontinue, per quanto riguarda le alluvioni del fiume Panaro.

Lo spessore della coltre alluvionale è variabile e comunque non superiore ai 200 m.

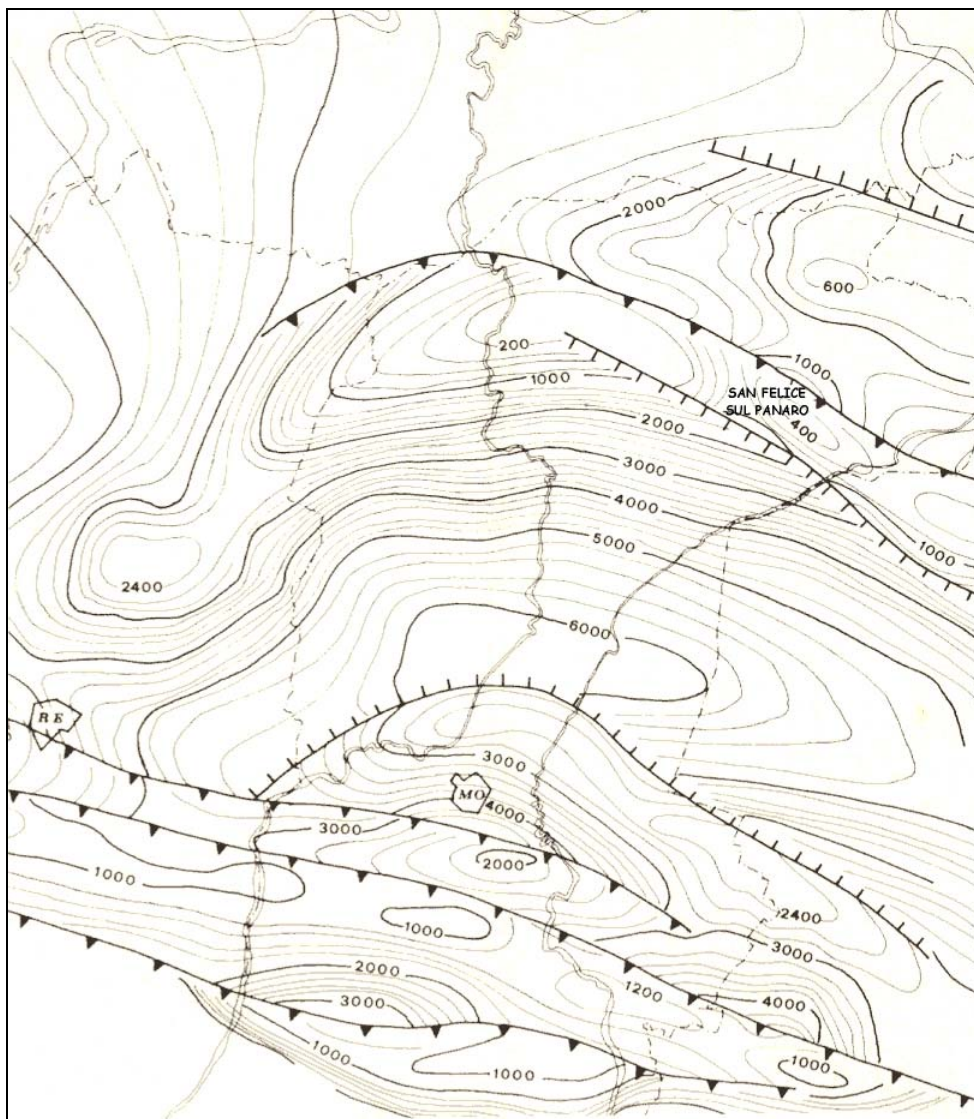


Figura 3 - Carta delle isobate della base del Pliocene

(Fonte: M. PELLEGRINI, A. COLOMBETTI & A. ZAVATTI Idrogeologia profonda della pianura modenese - Quaderni dell'istituto di ricerca sulle acque - C.N.R.)

Il riempimento della Pianura Padana ad opera dello smantellamento delle catene alpina ed appenninica ha portato quindi all'accumulo di depositi dapprima marini e successivamente continentali di piana alluvionale in un bacino sedimentario che ha subito una notevole azione di subsidenza. Modalità e tempi di deposizione dei materiali sono stati controllati principalmente dalla tettonica e, dal Pliocene medio-superiore ad oggi, dall'evoluzione delle pieghe-faglie descritte in precedenza e schematizzate nelle figure riportate, segnalata anche in epoca storica dal graduale "sfuggire" della rete idrografica superficiale alla "dorsale ferrarese", come verrà meglio descritto nel paragrafo successivo. I movimenti tettonici, soprattutto quelli ad andamento verticale, sono quindi uno dei principali fattori di controllo dello sviluppo paleogeografico dell'area padana, influenzando direttamente morfologia e geometria dei corsi d'acqua, anche se non vanno dimenticati altri fattori determinanti dovuti alle oscillazioni climatiche, quali le variazioni del livello marino e del regime dei corsi d'acqua.

2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GENERALE

Il territorio di San Felice si colloca nella fascia di media e bassa (al limite nord-orientale) pianura alluvionale, in cui l'azione morfogenetica predominante è determinata dai corsi d'acqua, oltre che, in tempi più recenti, dall'azione antropica. Si potrebbe anzi affermare che l'intervento antropico di bonifica, che si è andato sempre più intensificando dall'età preromana in poi, ha in gran parte modificato e poi interrotto l'evoluzione degli eventi naturali, diminuendo, fino in pratica ad annullare, la dinamica evolutiva del reticolo idrografico.

Un'indagine geomorfologica effettuata in occasione della realizzazione della carta dei suoli della pianura modenese¹, colloca la zona studiata nel macro-ambiente deposizionale della "Piana a copertura alluvionale", contraddistinta dalla presenza di depositi a sequenze prevalentemente fini (sabbie, limi, argille) dovuti ad una crescita di tipo verticale, data da processi di tracimazione e rotta fluviale, che hanno portato alla deposizione di strati suborizzontali a geometria lenticolare probabilmente riferibili a singoli eventi alluvionali.

Lo spessore delle unità sedimentarie riconosciute sul territorio risulta molto variabile, essendo funzione della maturità delle forme, delle dimensioni del canale fluviale e di quelle del relativo bacino idrografico, caratteristiche che condizionano la dinamica idromorfologica del fiume e l'entità degli eventi alluvionali. Sembra ragionevole ipotizzare che gli Argini Naturali del Reticolo Idrografico Principale possano avere spessori tra i 10 ed i 20 m, le Coperture Alluvionali tra i 5 e i 10 m, mentre le Valli spessori inferiori ai 5 m.

Dal punto di vista topografico l'area comunale presenta una morfologia insospettabilmente varia se si tiene conto che si colloca nella bassa pianura; le quote variano all'interno del territorio tra i 20.0 - 20.5 m s.l.m. dell'estremità occidentale (zona a ovest di San Biagio), ai 9.5 - 10.0 m s.l.m. della zona nord-orientale (loc. "Il Cristo delle Valli), con graduale decremento spostandosi da ovest verso est.

In senso nord-sud, si riconosce una fascia, posta lungo l'allineamento San Biagio-Rivara, dove le quote del terreno risultano più rilevata e due fasce marginali, poste a sud e nord, dove le quote del terreno presentano valori nettamente inferiori, con differenze anche di 4.0 - 5.0 m.

La caratterizzazione geomorfologia complessiva del territorio comunale è stata eseguita, a cura dello scrivente, in occasione della redazione del QC allegato al PSC del comune di San Felice sul Panaro (2009), sulla base della documentazione bibliografica esistente², che colloca il territorio in un quadro di riferimento a scala provinciale, dove gli elementi principali caratterizzanti la morfologia del territorio sono rappresentati dalle forme e depositi fluviali ed, in epoca più recente, dall'intervento dell'uomo, oltre che avvalendosi dei sopralluoghi appositamente effettuati per l'occasione. Il paesaggio di San Felice è largamente dominato dall'acqua: quella del F. Panaro e, in passato, del F. Secchia e del Naviglio, hanno determinato lo scheletro, la struttura topografica e quella paesaggistica, mentre quella degli alvei minori, artificiali o naturali, solca e segna profondamente tutto il territorio comunale.

Complessivamente nel tratto di pianura nel quale è inserita l'area comunale possono delinearsi due differenti scenari morfologici:

- il primo, posto a sud della linea Novellara-Novì e Mirandola-Finale Emilia, in cui rientra la fascia più meridionale del territorio comunale, è contraddistinto da una quasi assenza di elementi

¹ REGIONE EMILIA-ROMAGNA, PROVINCIA DI MODENA (1993) - *I suoli della pianura modenese*.

² "Geomorfologia ed evoluzione recente della Pianura Padana";

"Carta geomorfologica" allegata alla pubblicazione "Una sentinella per il territorio"² a cura del Consorzio della Bonifica Burana-Leo-Scoltenna-Panaro, in scala 1:60.000;

"Carta delle unità geomorfologiche" allegata alla pubblicazione "I suoli della pianura modenese"

"Carta del rischio di esondazione" e "Rotte fluviali" allegata al P.R.G. comunale vigente (1986) in scala 1:25.000.

morfologici direttamente osservabili in campagna; questi, quando presenti, seguono una direttrice prevalente N-S;

- Il secondo scenario, posto a nord di tale allineamento, presenta una situazione morfologica del tutto differente, con la presenza di diversi elementi morfologici, ad orientazione prevalente O-E, da considerarsi relativamente giovani e quindi rilevabili in campagna con una certa immediatezza. In questo scenario, nel quale rientra la restante parte del territorio comunale, il primo elemento di rilievo è rappresentato dal cosiddetto "dosso di Finale", che appare evidentemente connesso con il corso del fiume Secchia, poiché si distacca da questo con direzione SO-NE nella zona di San Prospero - Cavezzo - Mirandola, piegando poi verso est, dove va a toccare il territorio di San Felice, Massa Finalese e Finale Emilia, ricollegandosi poi all'ex alveo del Panaro (Panaro abbandonato) e, proseguendo, ad altri elementi morfologici in destra del Panaro attuale. A nord di tale dosso si ha la prima grande depressione della pianura modenese-mantovana, nella quale le quote del terreno raggiungono valori nettamente inferiori rispetto a quelli dei territori posti sia a sud, che a nord, all'interno del territorio comunale si toccano quote minime di 9.5 m s.l.m. all'estremità nord-orientale, che rientra, a tutti gli effetti entro tale depressione.

All'interno del territorio comunale si individua pertanto la presenza di alcune zone più rilevate, individuabili come paleodossi di accertato interesse (vedi "dosso di Finale") o paleodossi di modesta rilevanza; la forma principale, costituita dal cosiddetto "dosso di Finale", si sviluppa con andamento E-O passando per l'abitato di San Biagio, per poi flettere, nella zona orientale verso l'abitato di Rivara, dove tuttavia risulta essere meno evidente e di minor rilevanza.

Tale dosso costituisce, in realtà, la parte terminale di un più complesso sistema morfologico, che si diparte dall'ansa fluviale dell'alveo attuale del Secchia presente appena a S dell'abitato di Cavezzo, prendendo inizialmente una direzione NE fino all'abitato di Medolla, da dove piega verso est dando luogo a numerose diramazioni secondarie, di cui la maggior parte piuttosto brevi e di ampia sezione, si sviluppano sia verso nord che verso sud, mentre il ramo principale, via via sempre più ridotto in dimensione, si prolunga verso est fino a Massa Finalese, dopo aver descritto un'ampia ansa a nord di S. Felice sul Panaro, il cui centro storico sorge a sua volta su una delle sue diramazioni secondarie.

Giunto in zona S. Felice, Massa Finale, Finale Emilia, la struttura di dosso va a ricollegarsi all'ex-alveo del Panaro ("Panaro abbandonato") e ad altri elementi morfologici in destra del Panaro attuale.

Altri due rami cospicui sono serviti per l'insediamento di Mortizzuolo e di Pavignane e delle relative infrastrutturazioni storiche.

A nord di tale "dosso" si ha la prima grande depressione della pianura modenese-mantovana ("valle Le Partite") nella quale le quote raggiungono valori minori (anche 8.0 m s.l.m.) rispetto ai terreni situati sia a nord che a sud; la porzione nord-orientale del territorio comunale rientra all'interno di tale struttura di "valle di pianura", con quote che raggiungono valori minimi di 9.5 m s.l.m. all'estremità settentrionale.

Il sub-sistema dei dossi Cavezzo-Medolla-Massa Finalese rappresenta quindi una sorta di antico delta, nel quale erano probabilmente presenti più rami attivi contemporaneamente che davano luogo alle valli Le Partite, ora bonificate, ma ancora riconoscibili dall'altimetria depressa, dalla cospicua artificializzazione del sistema idraulico, dall'ordinamento colturale nonché dalla scarsa concentrazione insediativa.

La distribuzione dei paleoalvei e, più in generale, delle unità geomorfologiche degli argini naturali e dei bacini interfluviali ha condizionato e condiziona tuttora sia l'assetto idraulico di superficie che la distribuzione degli insediamenti antropici, soprattutto storici: le strutture rilevate (paleoalvei), vere e proprie direttrici geomorfologiche, sono state infatti sede preferenziale dello sviluppo insediativo e viario, a causa della migliore difesa dalle esondazioni e delle migliori condizioni geotecniche dei terreni; al contrario le aree depresse, specie nelle zone di vera e propria conca, sono state sede di paludi ed acquitrini fino alla avvenuta bonifica.

Le conche morfologiche rappresentano ancora le aree di maggior rischio idraulico, non solo in caso di esondazione ma anche nel caso di eventi pluviometrici di eccezionale durata e/o intensità, che possono mettere in crisi la rete scolante o produrre ristagni di acqua, favoriti anche dalla scarsa permeabilità della litologia di superficie.

3. ASPETTI SISMICI

Il dato di partenza per un'analisi della potenzialità sismica di un territorio è la ricostruzione delle strutture tettoniche maggiormente attive nel tempo geologico più recente, all'incirca l'ultimo milione di anni (neotettonica). Sono queste le strutture che possono, se confermate anche da dati macrosismici e/o sismologici, ragionevolmente costituire sorgente di terremoti anche in futuro.

San Felice si sviluppa in corrispondenza del margine settentrionale di un ampio bacino di *piggy-back* (

Figura 4), fortemente subsidente ed attivo sin dal Plio-Pleistocene, che si estende tra Carpi e Cento di Ferrara, denominato "Bacino di Carpi" o meglio noto come "Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia (si veda anche precedente Figura 1), collocato tra due grandi archi di pieghe, che costituiscono la porzione più esterna dell'Appennino settentrionale, rappresentati dalla "Zona delle pieghe pedeappenniniche", a sud, e dalla "Dorsale di Ferrara", a nord; quest'ultima è caratterizzata da un'ampia struttura anticlinale molto evidente ed elevata (Figura 2 e Figura 5), che procede da Massa Finalese a Mirandola (attraversando anche il territorio comunale di San Felice), con direzione complessiva E/SE-N/NW e che, in corrispondenza di Novi di Modena e Correggio, subisce una decisa inflessione verso sud, con andamento SE-NW.

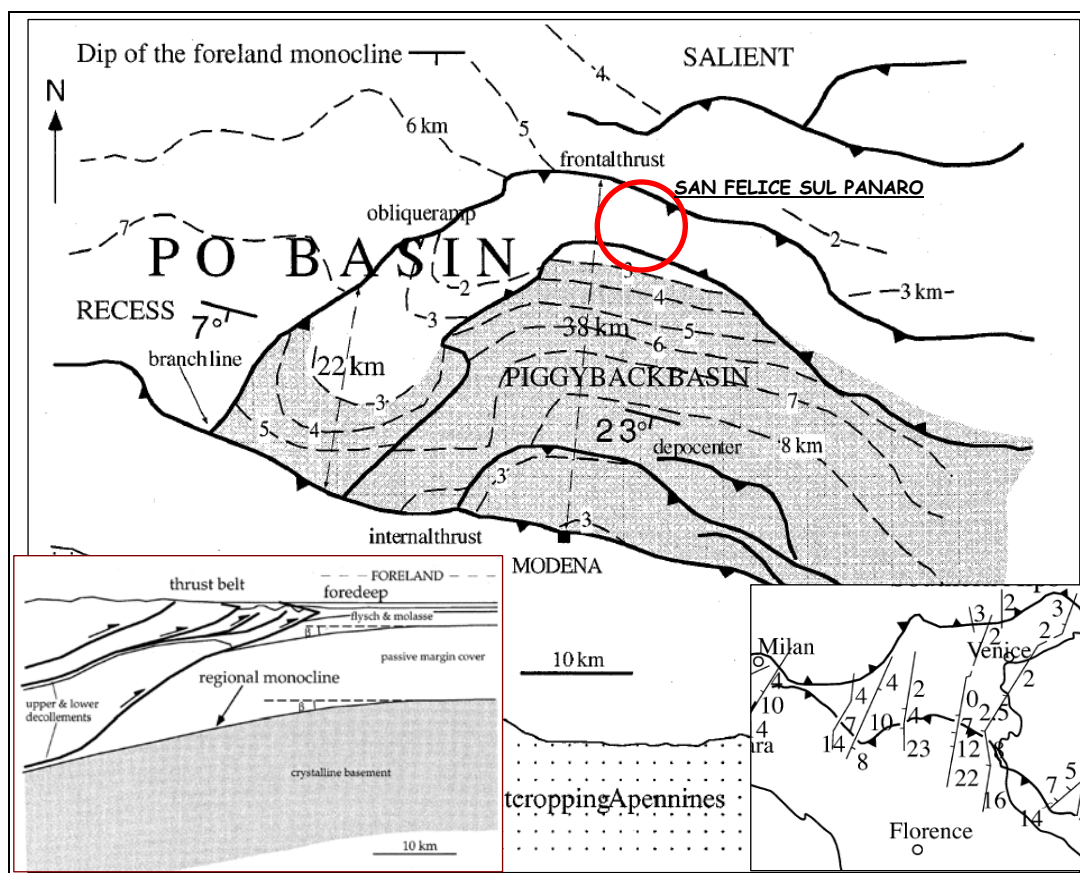


Figura 4 - Bacino di piggy-back sepolto nella pianura del fiume Po, rappresentativo del fronte nord-orientale del cuneo d'accrezione appenninico
 (Fonte principale dei dati: M. Pieri - 1983).

NOTE ALLA FIG. 4.

I numeri indicano lo spessore, in chilometri, dei sedimenti di *foredeep* pliocenici e quaternari che riempiono il bacino di *piggy-back*³ e coevi allo sviluppo del thrust. Si noti la forma arcuata del thrust frontale principale (*frontal thrust* in carta) il quale determina un sollevamento del prisma d'accrezione che coincide con un bacino mesozoico e con alti valori d'inclinazione della monoclinale di *foreland* (si veda il riquadro in basso a sinistra). Valori minori nell'inclinazione della monoclinale si riscontrano ad ovest, nella parte distale dei thrust. I thrust si diramano verso ovest ed il bacino di *piggy-back* si assottiglia lungo la stessa direzione. Viene evidenziata in grigio l'area in cui il bacino sedimentario ha uno spessore maggiore di 3 km.⁴

Nel riquadro in basso a destra i valori d'inclinazione della monoclinale di thrust regionale (23° in prossimità di Modena).

Nel riquadro in basso a sinistra, lo schema teorico di una *thrust belt* e della monoclinale regionale associata: l'inclinazione di quest'ultima (β) generalmente aumenta procedendo dal foreland verso il nucleo profondo della *thrust belt*. (Da: G. Mariotti & C. Doglioni).⁵

Il cerchio rosso individua, a grandi linee, l'ubicazione del territorio comunale di San Felice s/P.

³ Bacino di *Piggy-back*: stabile depressione che si sviluppa sul "dorso" (letteralmente da "*piggy-back*") di un blocco di thrust attivo senza subire significative deformazioni interne. Pressoché ubiquitari nelle catene orogenetiche, tali bacini possono rappresentare depositi di petrolio potenzialmente significativi.

⁴ M. Pieri, Three seismic profiles through the Po Plain. In: A.W. Bally (Ed.), *Seismic Expression of Structural Styles*, Am. Assoc. Petrol. Geol. Stud. Geol. 15, 1983, pp. 3.4.1/ 8-26.

⁵ G. Mariotti & C. Doglioni (2000) - The dip of the foreland monocline in the Alps and Apennines. *Earth and Planetary Science Letters*, 181, 191-202.

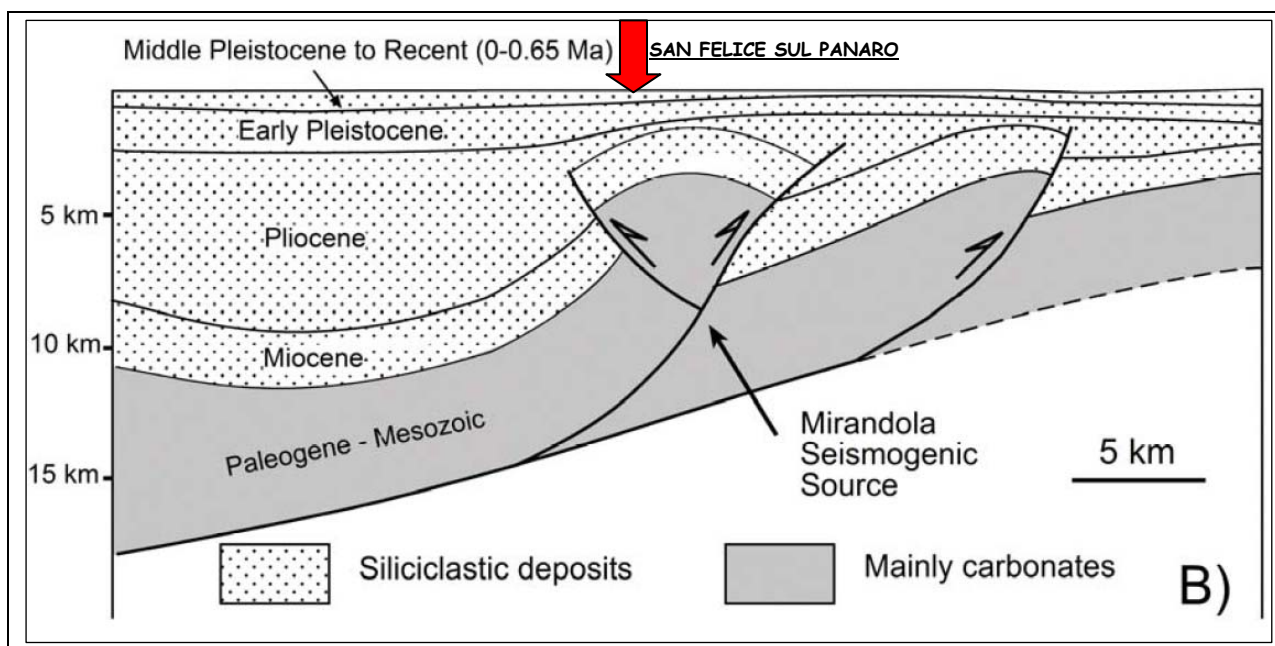


Figura 5 - Sezione stratigrafica in corrispondenza della dorsale di Mirandola basata su dati stratigrafici ad alta risoluzione (modificato da RER & ENI-AGIP, 1998) (ubicazione della sezione riportata nel cerchio rosso di Figura 6). (Da: D. Scrocca et al. - "Slab retreat and active shortening along the central-northern Apennines"⁶).

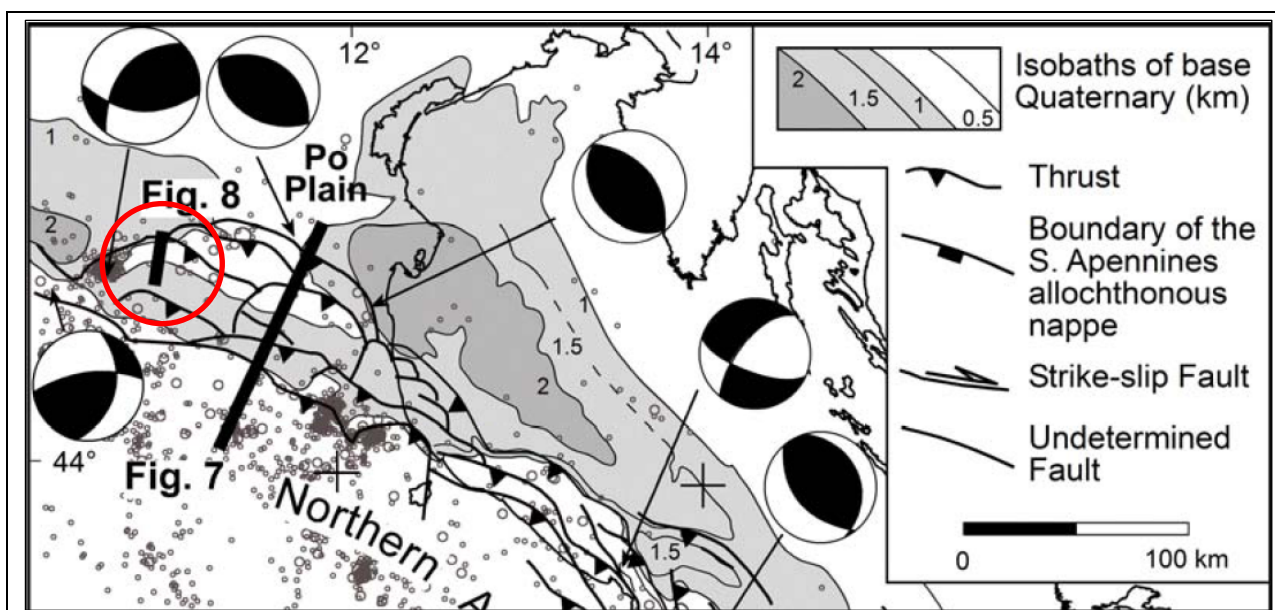


Figura 6 - Carta degli epicentri di sismicità strumentale registrata dal 1985 al 2000 e meccanismi focali rappresentativi lungo il fronte appenninico. Le isobate semplificate della base dei depositi quaternari sono tracciate secondo Dondi et al. (1985) e Bartolini et al. (1996) (Da: D. Scrocca et al. - "Slab retreat and active shortening along the central-northern Apennines").

⁶ D. Scrocca, E. Carminati, C. Doglioni & D. Marcantoni (2006) - Arretramento dello slab adriatico e tettonica compressiva attiva nell'Appennino centro-settentrionale. Rend. Soc. Geol. It., 2 (2006), Nuova Serie.

3.1. Sismicità in relazione alle strutture tettoniche presenti

L'Emilia-Romagna rappresenta un settore della catena appenninica esterna caratterizzato da una sismicità frequente che può essere definita media in relazione alla sismicità nazionale, con ipocentri dei terremoti localizzati non solo nella crosta superiore, ma anche nel mantello. Il confronto tra dati geologici, morfologici e sismologici ha permesso l'individuazione delle principali strutture attive in Emilia-Romagna la cui sintesi è riportata in Figura 7.

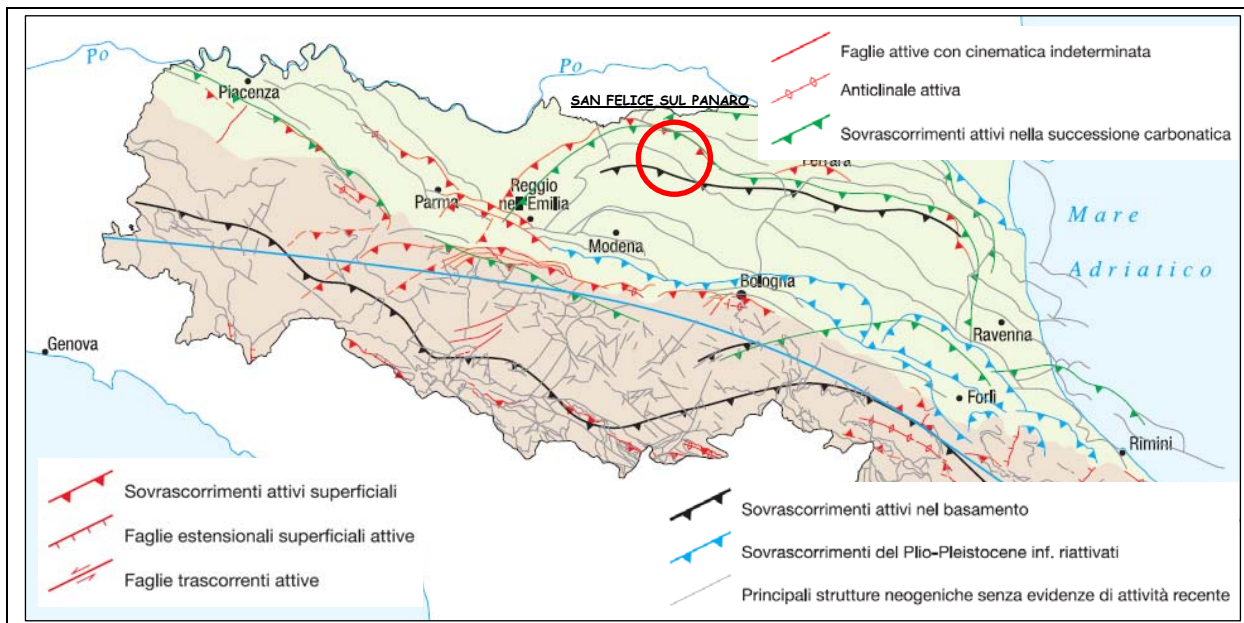


Figura 7 - Principali strutture tettoniche attive in Emilia-Romagna - tratto dalle Note Illustrative alla Carta Sismotettonica a scala 1:250.000 della Regione Emilia-Romagna.

Le strutture attive più prossime all'area di studio coincidono con l'alto delle Pieghe Ferraresi e delle Pieghe Emiliane per il quale le principali evidenze di attività derivano dai profili sismici; dagli stessi emerge anche che le strutture attive e recenti si collegano in profondità con strutture compressive profonde che interessano la successione carbonatica e il basamento (si vedano le linee rosse di Figura 8, rappresentanti sovrascorrimenti attivi nel post Pleistocene Medio).

COMUNE DI SAN FELICE S/P (MO)
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA
 RELATIVA AD AREA SELEZIONATA PER LOCALIZZAZIONE STRUTTURA MAGAZZINO COMUNALE

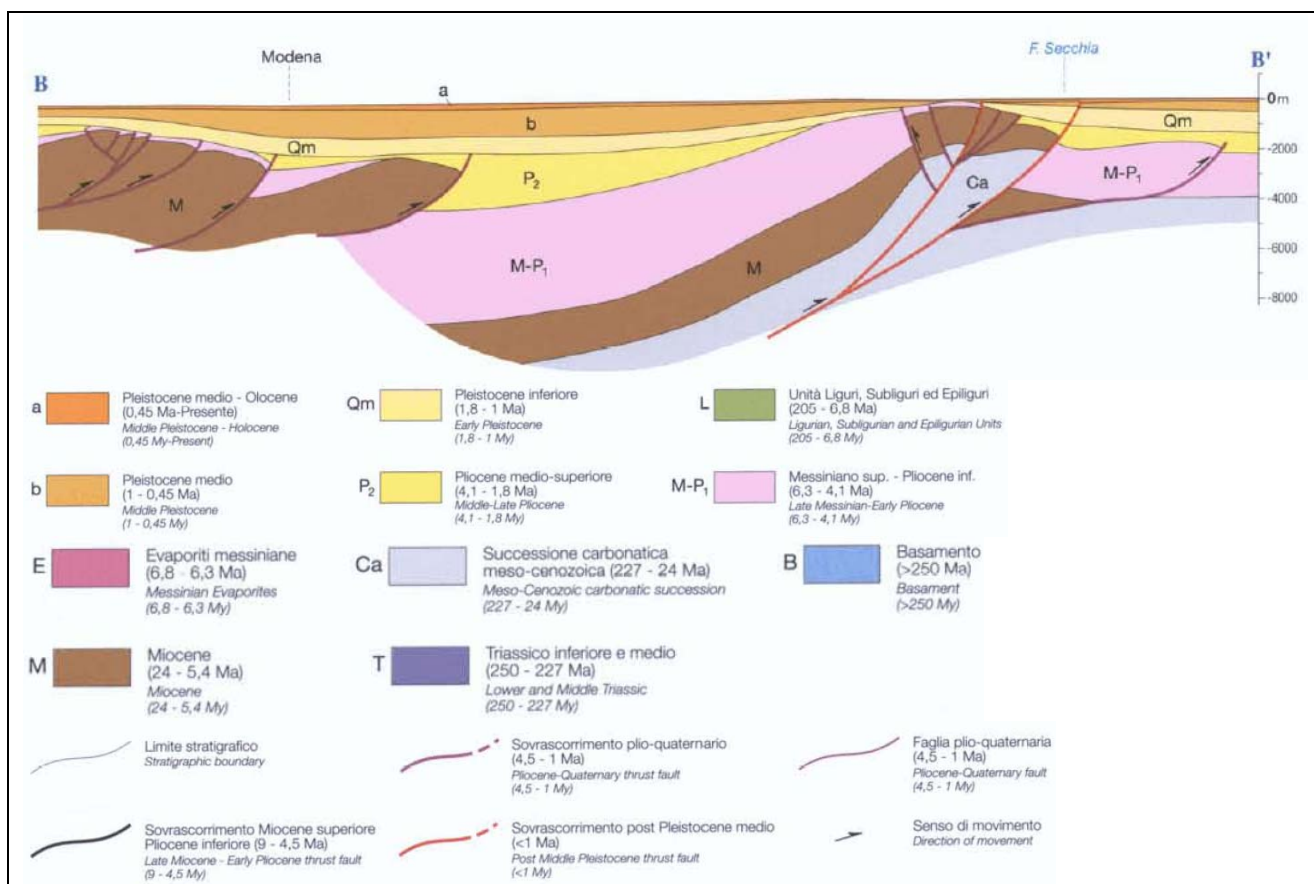


Figura 8 - Interpretazione geologica del profilo sismico del sistema anticlinalico-sinclinalico esistente tra Modena e Carpi (da: Note Illustrative alla Carta Sismotettonica a scala 1:250.000 della Regione Emilia-Romagna)

È proprio in corrispondenza di tali strutture attive riportate in Figura 8 che si sono sviluppati i recenti eventi sismici che hanno interessato il territorio della bassa pianura emiliana nell'ultima decade di maggio 2012: come si vede in Figura 9, gli ipocentri dei terremoti del 20 (max. $M_L = 5.9$) e 29 (max. $M_L = 5.8$) maggio 2012 si concentrano proprio in corrispondenza delle suddette strutture attive, a profondità di 6,3 e 10,2 km.

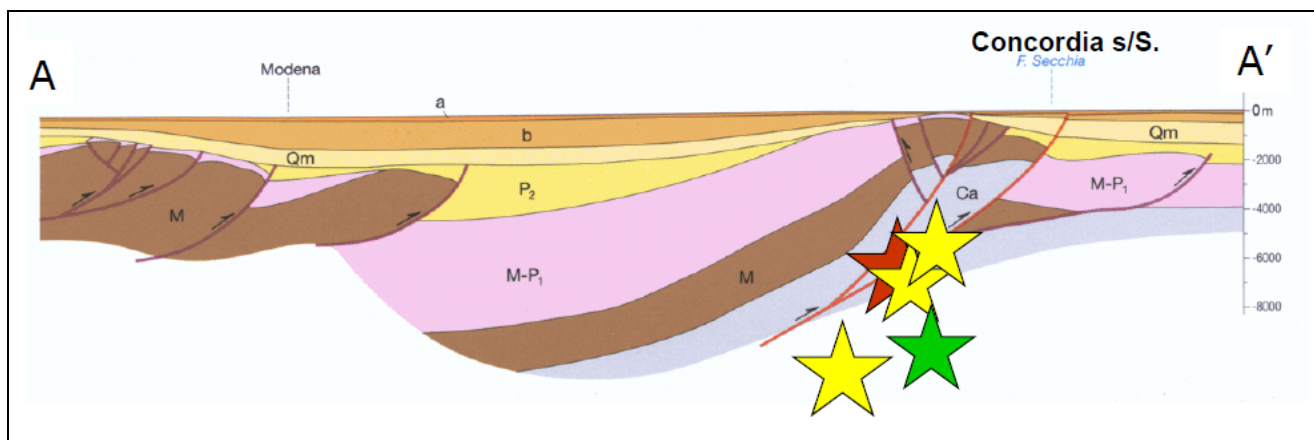


Figura 9 - Sezione geologica di Figura 8, con proiezione degli ipocentri di $M_L > 5$. La dimensione delle stelle è proporzionale alla magnitudo. Stella rossa: terremoti del 20 maggio 2012; stelle gialle: terremoti del 29 maggio 2012; stelle verdi: terremoti del 3 giugno 2012. (Fonte: L. Martelli (2012) - "The 2012 May 20 earthquake in the Emilia Plain. The geologic point of view - presentazione).

Dall'esame della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna⁷ emerge come, statisticamente parlando, la sismicità strumentale rilevata nel territorio di pianura in cui ricade San Felice s/P mostri una frequenza progressivamente minore con la profondità degli ipocentri, e una magnitudo generalmente < di 4. La massima frequenza si registra nei primi 15 km di profondità, diminuisce da 15 a 35 km di profondità, e aumenta leggermente a profondità maggiori di 35 km.

Gli epicentri dei terremoti, rilevati da dati macrosismici (Figura 10), mostrano una distribuzione delle magnitudo piuttosto irregolare: i valori più alti ($M \geq 5.5$) sono registrati nell'area a nord di Mirandola; quelli intermedi ($5 \leq M < 5.5$) e minori ($4 \leq M < 5$) sono presenti nel settore occidentale compreso tra Carpi e Novellara.

La risoluzione dei meccanismi focali evidenzia la presenza predominante di faglie sismogenetiche inverse, concentrate in particolare a nord di Mirandola, con Magnitudo Momento pari a circa 5,5; faglie sismogenetiche trascorrenti ed inverse - trascorrenti sono presenti nel settore occidentale, compreso tra i territori dei comuni di Carpi, Correggio, Bagnolo in Piano, Novellara e Campagnola Emilia.

Chiaramente, il quadro della sismicità storica, alla luce dei recenti eventi sismici che hanno interessato il territorio della bassa pianura emiliana, viene sostanzialmente modificato, come si vede in Figura 11: compaiono epicentri di magnitudo compresa tra 4 e 6 che si allineano su di una linea con direzione O-E, interessando due Sorgenti Sismogenetiche Composite (CSS) individuate dal Database of Individual Seismogenetic Sources (DISS) dell'INGV⁸: la ITCS051 "Novi-Poggio Renatico" e la ITCS050 "Poggio Rusco-Migliarino" (Figura 12). In particolare, l'epicentro del sisma più intenso del 20 maggio 2012 ricade all'interno della Sorgente Sismogenetica Individuale (ISS) "ITIS 107 - Mirandola", circa 5 km ad ovest del centro di San Felice s/P: lo strike della sorgente (direzione geografica del lato maggiore del rettangolo verde) corrisponde molto bene con lo strike del piano di thrust che ha generato il sisma di magnitudo 5.9 del 20 maggio 2012 (riquadro interno di Figura 12), confermando le interpretazioni geometriche del database dell'INGV.

⁷ M. Boccaletti & L. Martelli (a cura di) (2004) - Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000 - Note illustrative. Servizio Geologico, sismico e dei suoli - Regione Emilia-Romagna, S.EL.CA. Firenze, 60 p.

⁸ DISS Working Group (2010). Database of Individual Seismogenetic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, © INGV 2010 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - All rights reserved.

COMUNE DI SAN FELICE S/P (MO)
 RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA
 RELATIVA AD AREA SELEZIONATA PER LOCALIZZAZIONE STRUTTURA MAGAZZINO COMUNALE

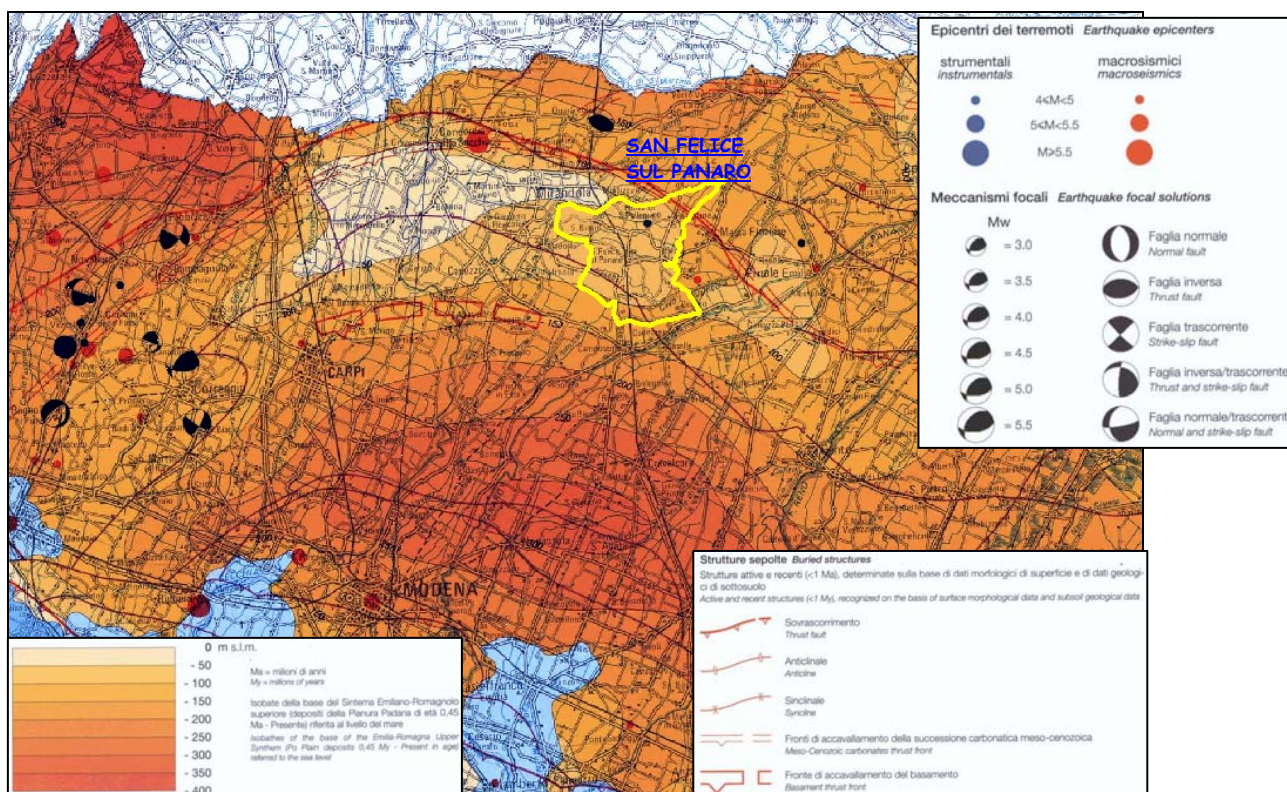


Figura 10 - Carta Sismotettonica a scala 1:250.000 della R.E.R. (I cerchi rossi gli epicentri dei terremoti rilevati da dati macrosismici; i cerchi a spicchi neri rappresentano la risoluzione dei meccanismi focali dei terremoti.)

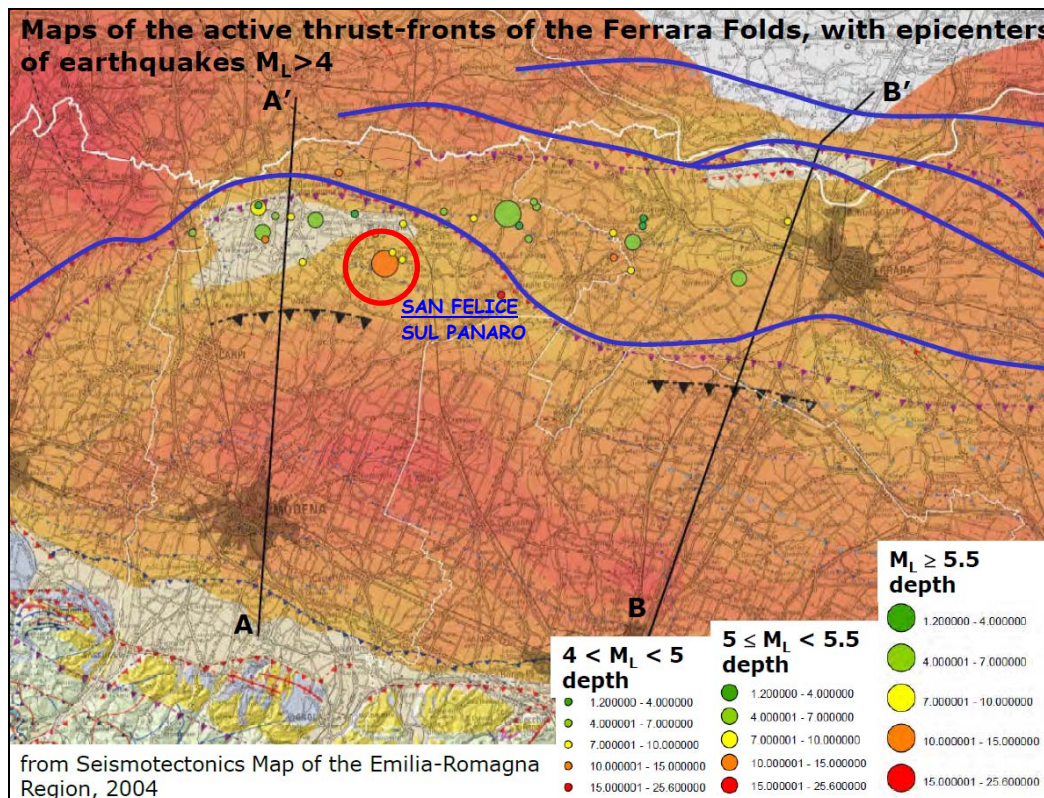


Figura 11 - Ubicazione degli epicentri dei recenti eventi sismici del maggio 2012.
 (Fonte: L. Martelli (2012) - "The 2012 May 20 earthquake in the Emilia Plain. The geologic point of view - presentazione). (Il cerchio rosso individua, a grandi linee, l'ubicazione del territorio comunale di San Felice s/P.)

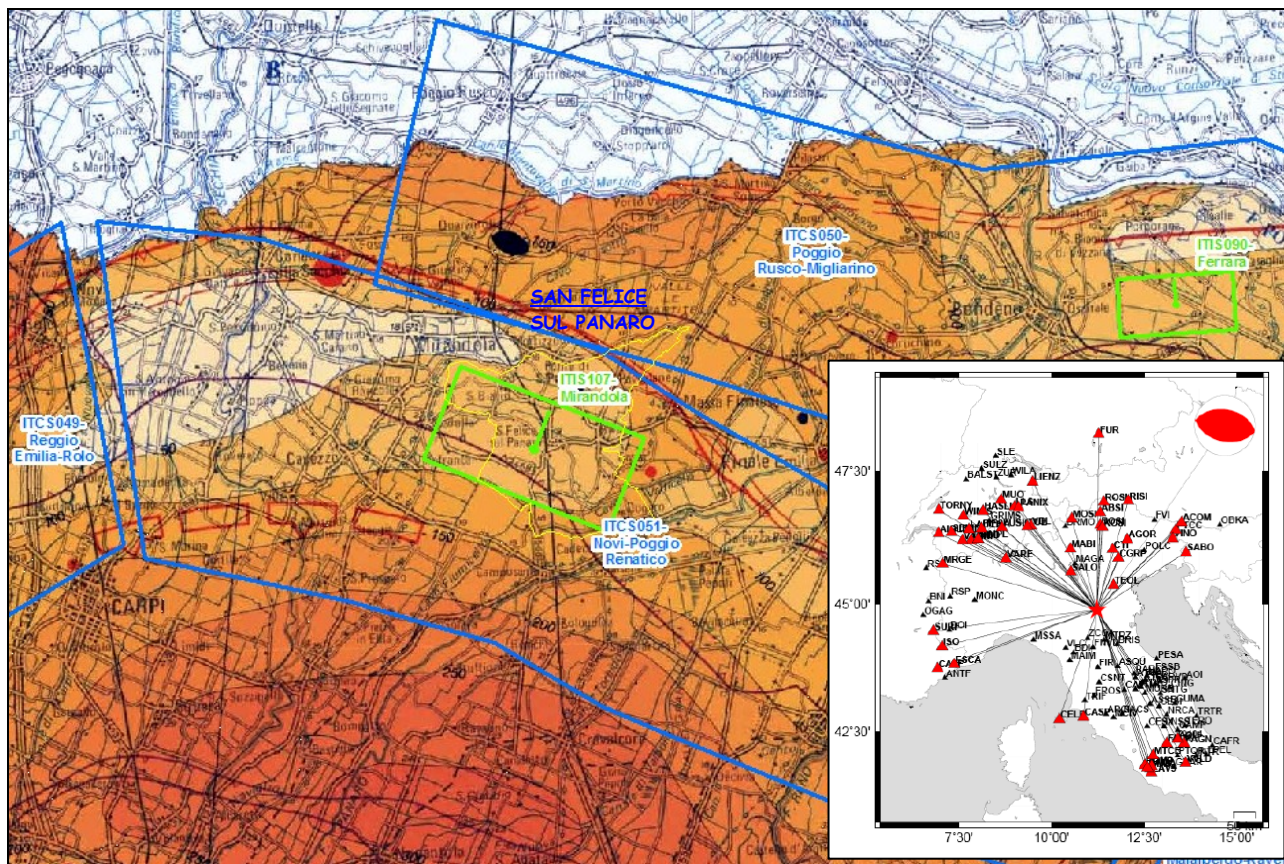


Figura 12 - Carta delle principali Sorgenti Sismogenetiche Individuali (ISS - rettangoli di colore verde) e delle Sorgenti Sismogenetiche Composite (CSS - strisce con contorno blu), nel territorio provinciale di Modena, georeferenziate sulla Carta sismotettonica dell'Emilia-Romagna (base cartografica alla scala 1: 250.000).

Nel riquadro: risoluzione del meccanismo focale del sisma di magnitudo 5.9 del 20 maggio 2012

(fonte: INGV, Terremoto in Pianura Padana-Emiliana - 20 maggio 2012 ML 5.9, Secondo comunicato - ore 14,00 del 20 maggio 2012).

Lo stesso database DISS dell'INGV (con aggiornamento precedente il sisma del 20 maggio 2012) segnalava come tale sorgente sismogenetica individuale non fosse associata a nessun terremoto storico e/o strumentale e per questo potesse rappresentare una lacuna sismica; cosa ovviamente non più vera alla luce degli ultimi dati. Lo stesso database, nonostante tale lacuna, riusciva ad ipotizzare, per tale sorgente, sulla base della sua dimensione, la possibilità di generare terremoti di **Mw 5,9**. Sempre secondo il DISS, il basso tasso di slip (scorrimento sul piano di rottura) suggerisce tempi di ritorno lunghi per potenziali sismi.

3.2. Pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di base è quella componente di pericolosità dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area. Essa fornisce, in termini probabilistici, per una certa regione e per un determinato periodo di tempo, i valori, corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza, dei parametri che descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto. Si riferisce a condizioni ideali di suolo roccioso affiorante e privo di irregolarità morfologiche e fornisce le caratteristiche del terremoto di riferimento atteso al sito. E', quindi, un dato che stima la probabilità con cui un evento sismico di una determinata intensità può verificarsi in futuro nel territorio in esame.

La pericolosità sismica di base è definita secondo una procedura basata sui risultati dello studio dell'INGV, disponibili sul sito web (<http://esse1.mi.ingv.it/>) nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica". In tali mappe, la pericolosità si sgancia dalle divisioni amministrative e viene distribuita sui 10751 nodi, a distanza reciproca non superiore a 10 km, di un reticolo geografico regolare che copre l'intero territorio nazionale. Ogni nodo è caratterizzato da specifiche curve di pericolosità che definiscono la frequenza media annua di occorrenza di una serie di terremoti caratterizzati da diversi livelli di severità, espressa, ad esempio, in termini di a_g (meglio nota come PGA, accelerazione orizzontale di picco).

L'esame della mappa probabilistica di pericolosità sismica del territorio comunale (Figura 13) evidenzia valori di accelerazione massima al suolo, calcolati per probabilità di superamento in 50 anni del 10% (distribuzione del 50° percentile - mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento), variabili tra **0.125** e **0.15**, nel settore settentrionale del territorio comunale, a **0.15** e **0.175** nel settore meridionale.

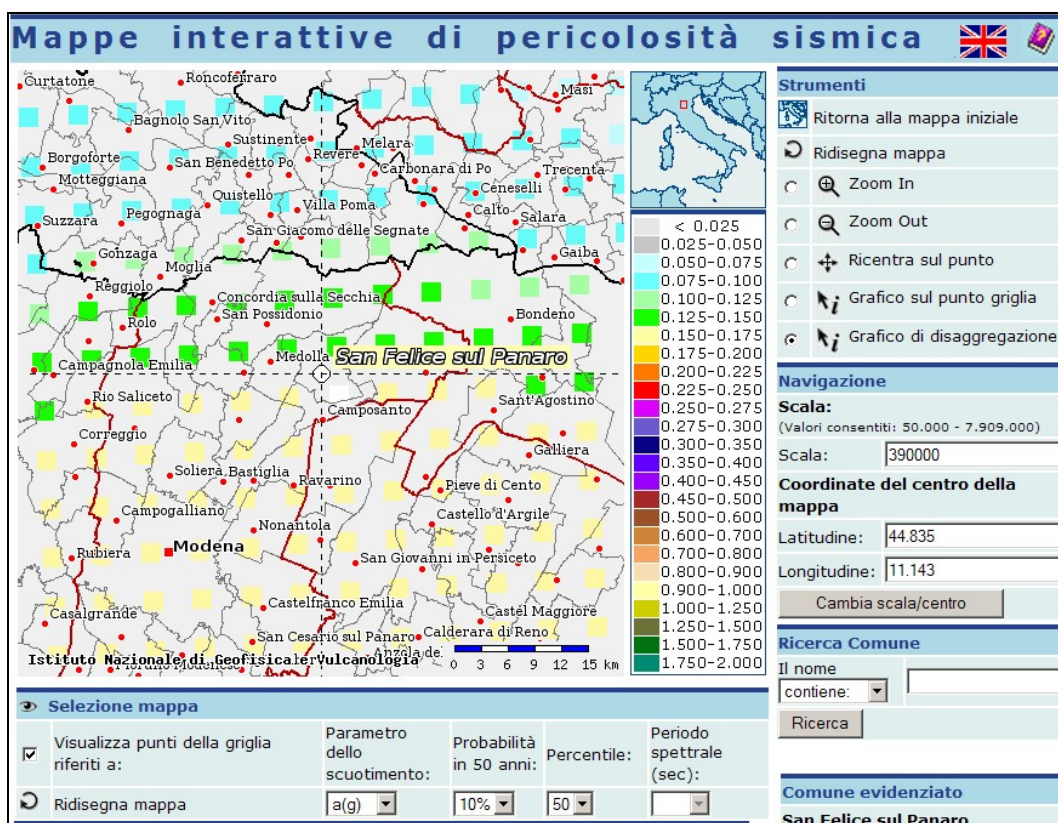


Figura 13 - Mappa probabilistica di pericolosità sismica del territorio comunale. Sono evidenziati, in colore, i punti della griglia nazionale caratterizzati da valori di a_g con probabilità di occorrenza del 10% in 50 anni - Sito web INGV.

Da ognuno dei punti componenti la griglia di pericolosità si può generare il rispettivo grafico di disaggregazione: rappresentazione grafica del contributo di distanza chilometrica e magnitudo al verificarsi di quella determinata accelerazione sismica, utile nell'individuazione della sorgente sismogenetica che contribuisce maggiormente a produrre il valore di scuotimento stimato in termini probabilistici.

L'analisi di disaggregazione ha un importante significato nell'ambito di studi di microzonazione sismica, di analisi di liquefazione, di analisi di risposta sismica locale e di studi di stabilità dei versanti, in cui è necessaria la conoscenza dei parametri del terremoto di scenario. I risultati dell'analisi di disaggregazione possono inoltre risultare utili al fine di selezionare (o simulare)

accelerogrammi a scopi di progettazione e/o per analisi dinamiche (es. analisi numeriche di risposta sismica locale)⁹.

Di seguito si riporta il grafico di disaggregazione tridimensionale del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni per il nodo della griglia nazionale corrispondente ad $a(g)$ compresa tra 0,15 e 0,175 (Figura 14), dove ϵ rappresenta il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento (logaritmico) devia dal valore mediano predetto da una data legge di attenuazione dati M ed R .

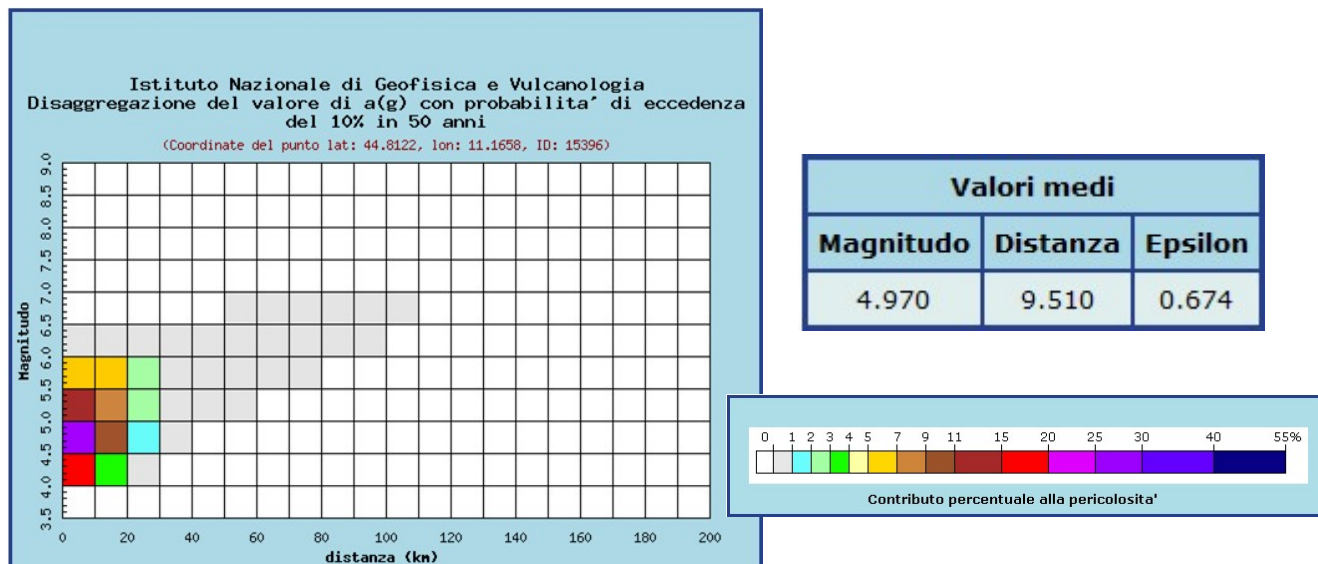


Figura 14 - Pericolosità sismica - Comune di Cavezzo: grafico di disaggregazione del valore di $a(g)$ (0,15-0,175, più conservativo) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

Dal grafico di disaggregazione sopra riportato è possibile identificare, per il Capoluogo, un **valore medio** di **Magnitudo (M_w)** molto prossimo a **5**, e un **valore medio** di **Distanza** chilometrica dalla sorgente sismogenetica di **10 km**; valori che contribuiscono per il **25-30%** alla pericolosità sismica locale. Valori che contribuiscono, in percentuale, in modo minore alla pericolosità sismica di base, ma pur sempre da tenere in considerazione, sono anche le coppie (**$M_{4-4.5}$; D_{10}**)_{15-20%} (**$M_{4.5-5}$; D_{20}**)_{9-11%}, (**$M_{5-5.5}$; D_{10}**)_{9-11%} e (**$M_{5.5-6}$; D_{10-20}**)_{5-7%}.

Nella segnalazione dell'INGV "Pericolosità sismica, zone sismiche e normativa sismica nella zona dei terremoti del maggio 2012" presente attualmente (21 giugno 2012) sulla home-page del sito web dell'istituto¹⁰, datata 31 maggio 2012, si ipotizza, per la "zona" interessata dagli ultimi eventi sismici del maggio 2012, una magnitudo massima pari a **6.2** (quindi già rivista rispetto a quanto precedentemente contenuto nel DISS); inoltre, viene espressa l'opinione, sempre secondo l'INGV, che "la mappa di pericolosità sismica di riferimento sia perfettibile, ma che l'eventuale aggiornamento che tenga conto solo degli ultimi terremoti non ne determini, complessivamente, variazioni significative".

⁹ Spallarossa D., Barani S., 2007. Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M - R - ϵ . Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D14, <http://esse1.mi.ingv.it/d14.html>

¹⁰ <http://www.ingv.it/primo-piano/segnalazioni/2012/06011552/>

3.3. Microzonazione sismica del Comune di San Felice s/P

Nel presente capitolo sono stati considerati i rapporti tra l'area di studio e le indicazioni ed i vincoli previsti nel PSC.

Tavola S1 "Aree suscettibili di effetti locali" e Tavola S3 "Carta degli effetti attesi - zonazione sismica"

Nella Tavola S1 "Carta delle aree suscettibili ad effetti locali" (Figura 15) allegata al PSC sono riportati i principali elementi e caratteristiche del territorio che concorrono a definire la pericolosità sismica locale nel Comune di San Felice sul Panaro; mentre nella carta S3 "Effetti attesi - Zonazione Sismica" (Figura 16) è rappresentata la suddivisione in ambiti caratterizzati da uguali effetti attesi in caso di sisma, indicando per ognuno di essi gli studi necessari nelle successive fasi di pianificazione.

Facendo riferimento a queste due carte di seguito si riportano le osservazioni relative all'area in studio in merito agli effetti attesi per i quali sono richiesti studi di approfondimento.

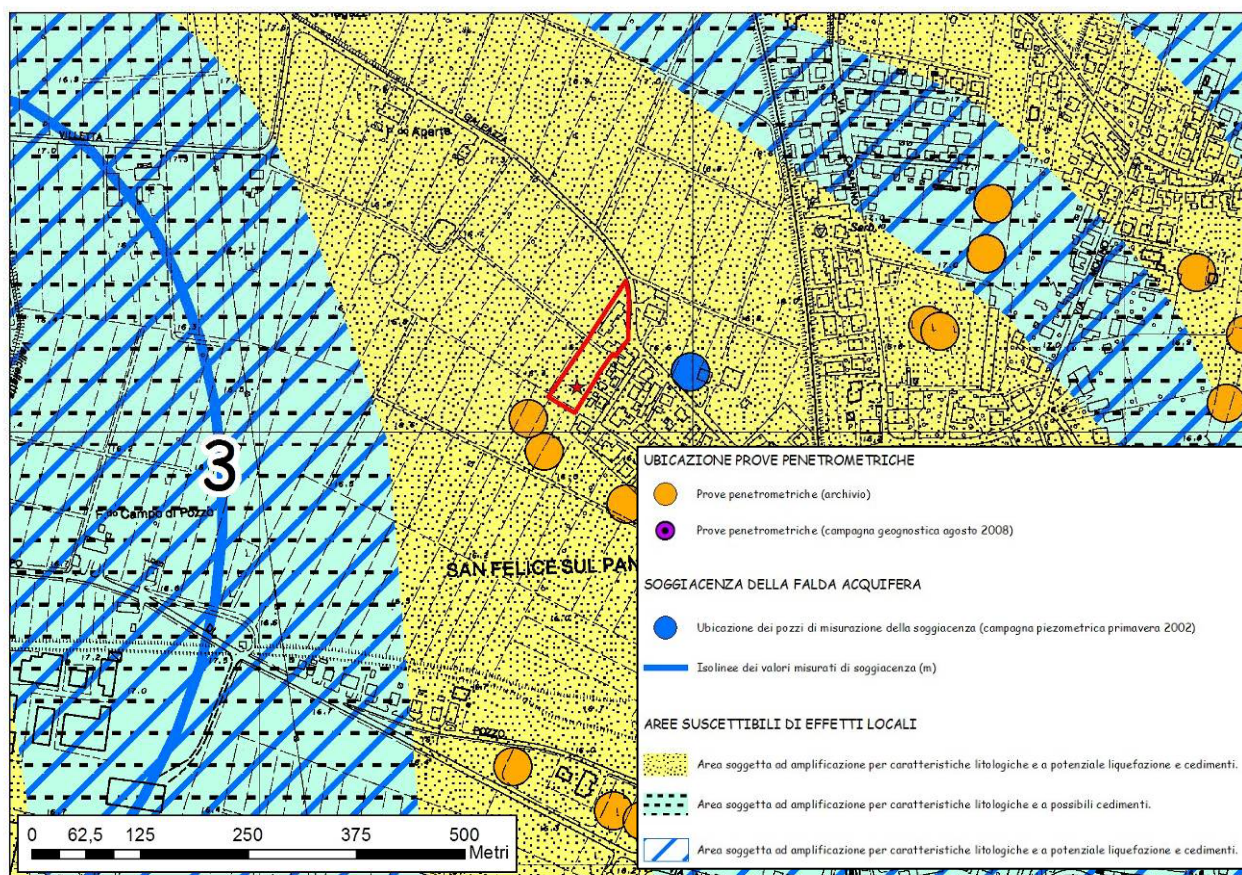


Figura 15 - Estratto della Tavola S1 "Carta delle aree suscettibili ad effetti locali" del PSC di San Felice s/P.

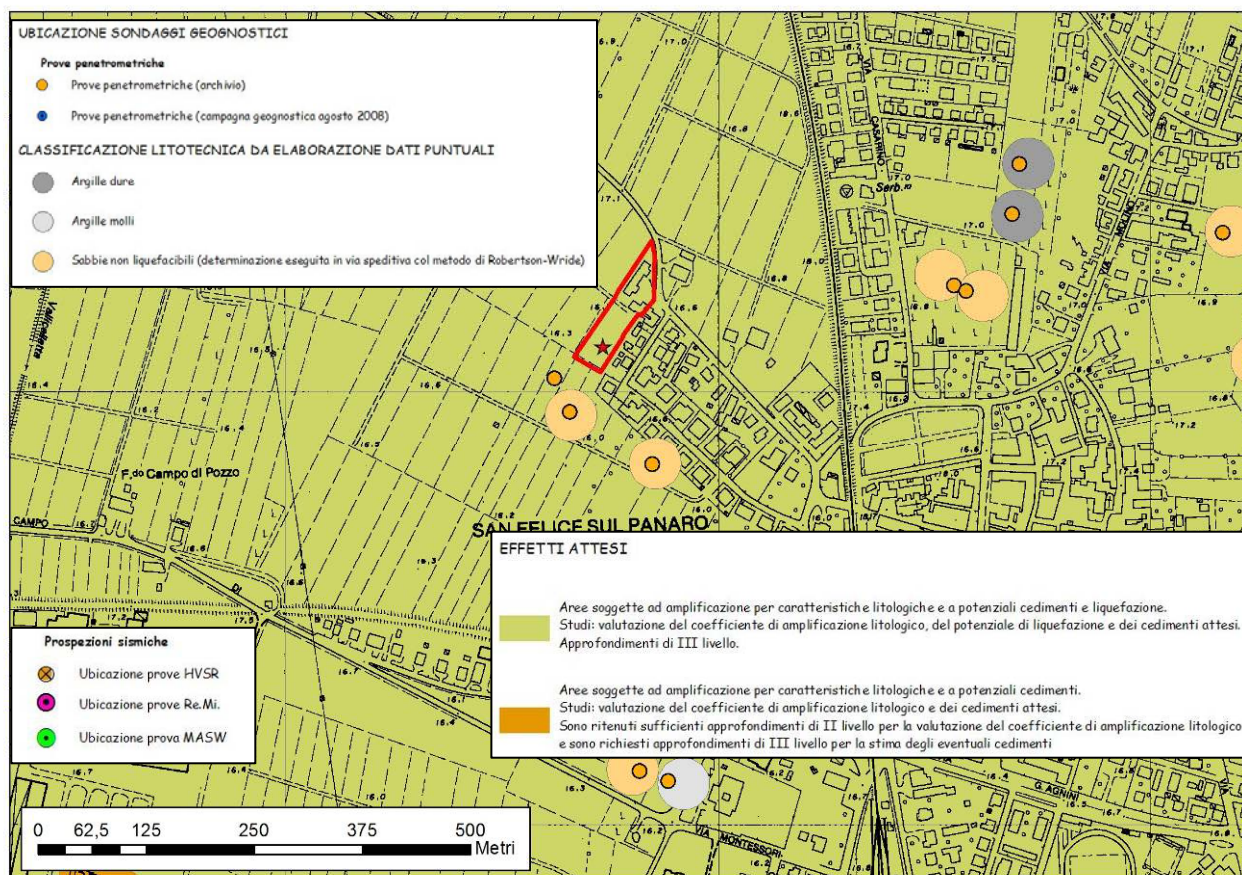


Figura 16 - Estratto della Tavola S3 "Effetti attesi - Zonazione Sismica" del PSC di San Felice s/P.

L'area è compresa in una zona individuata come *Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione e cedimenti*.

- **STUDI RICHIESTI:** valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi;
- **APPROFONDIMENTI:** sono richiesti approfondimenti di III livello.

Tavola S2 "Fattori di Amplificazione"

Nella carta S2 "Fattori di amplificazione" (Figura 17) è riportata, oltre all'ubicazione delle indagini sismiche ReMi eseguite e delle indagini MASW utilizzate per la redazione della Carta allegata al PSC, l'individuazione territoriale delle classi dei fattori di amplificazione.

Di seguito si riportano i fattori di amplificazione relativi all'area in studio desunti dalla "Carta dei Fattori di Amplificazione" del PSC:

F.A. PGA = 1,5

F.A. IS $0,1 < T_0 < 0,5$ = 1,7

F.A. IS $0,5 < T_0 < 1$ = 2,3

COMUNE DI SAN FELICE S/P (MO)
 RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA
 RELATIVA AD AREA SELEZIONATA PER LOCALIZZAZIONE STRUTTURA MAGAZZINO COMUNALE

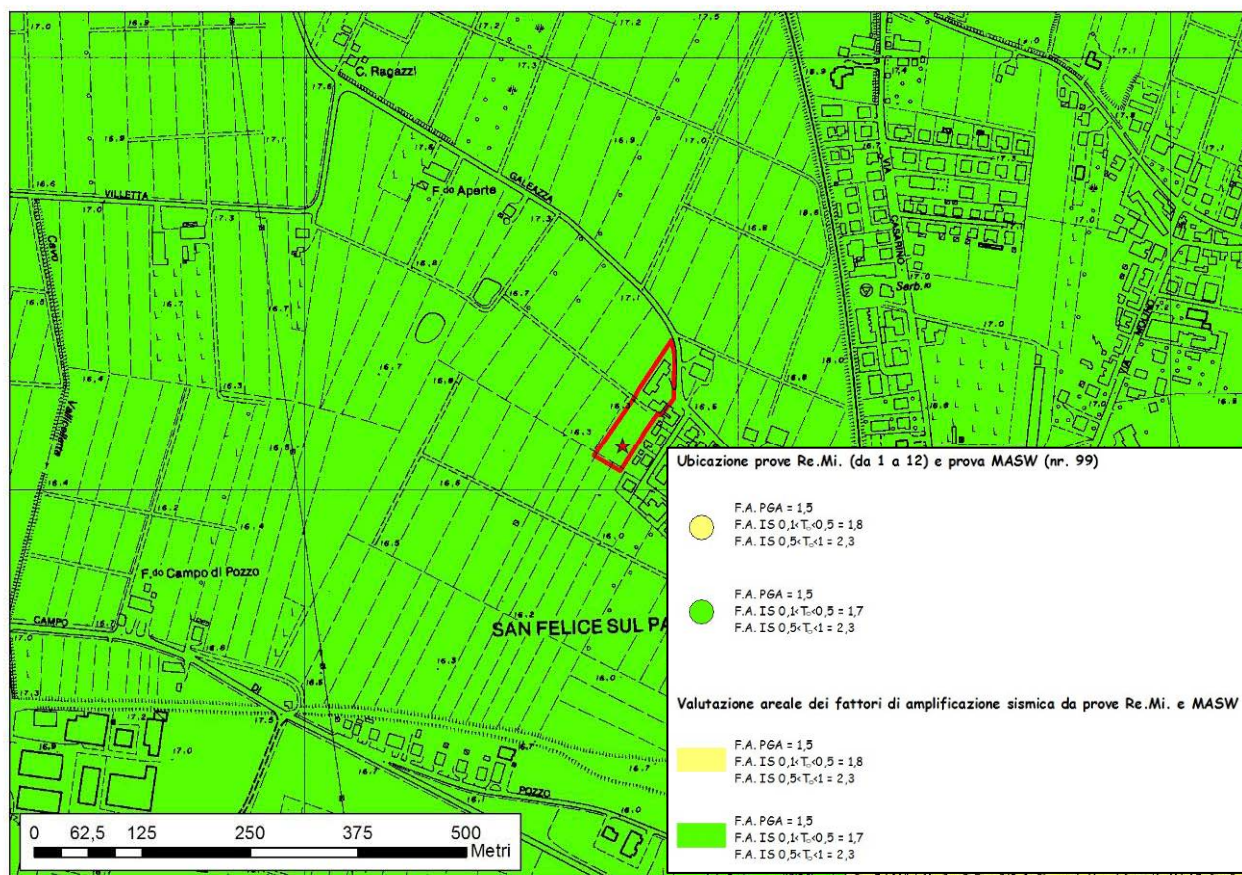


Figura 17 - Estratto della Tavola S2 "Fattori di amplificazione" del PSC di San Felice s/p.

4. CARATTERIZZAZIONE AREA SELEZIONATA

4.1. Inquadramento geografico

L'area individuata in prossimità di Via Piave e Via Galeazza verrà utilizzata per la localizzazione del nuovo magazzino comunale, in sostituzione di quello esistente, già parzialmente crollato a seguito del sisma del maggio-giugno 2012, e da demolire.

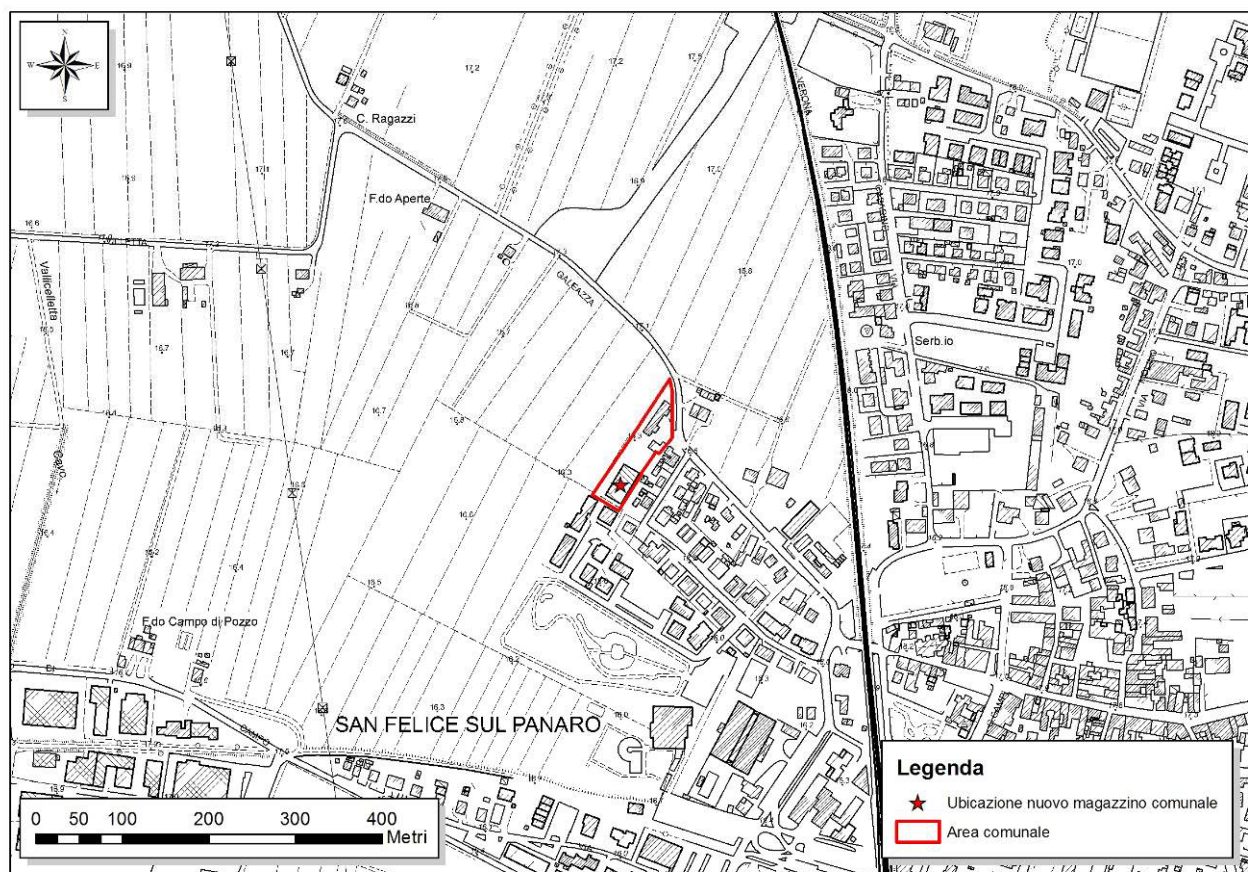


Figura 18 - Ubicazione dell'area prossima a Via Galeazza. (CTR, edizione 2008 Elemento a scala 1:5.000 nr. 184141 "San Felice sul Panaro")

L'area si trova alla periferia nord-occidentale di San Felice s/P (MO), circa 600 m a ovest del centro del Capoluogo e circa 600 m a nord-est del polo industriale comunale.

Dal punto di vista topografico si trova in corrispondenza di un'ampia area pianeggiante di bassa pianura, a debolissima pendenza in direzione SE, e con quote che, in corrispondenza dell'area d'intervento sono prossime a circa 17 m s.l.m.

Il sistema idrografico ha nel Cavo Canalino e nel cavo Vallicelletta gli elementi principali; il primo, ad uso promiscuo (scolo ed irriguo) ed appartiene al bacino idrografico che porta il suo stesso nome, scorre 500 m a nord-est dell'area con direzione NO-SE e prosegue oltre il confine orientale del territorio comunale; il secondo, ad uso promiscuo (scolo ed irriguo) ed appartiene al bacino idrografico del Cavo Rusco Primo, scorre 600 m ad ovest dell'area con direzione S-N.

Nella cartografia regionale, l'area è compresa nella Tavola alla scala 1:25.000 nr. 18450 denominata "Mirandola", nella Sezione alla scala 1:10.000 nr. 184140 denominata "San Felice sul Panaro" e nell'Elemento alla scala 1:5.000 nr. 184141 denominato "San Felice sul Panaro" (Figura 18).



Figura 19 - Ubicazione dell'area di studio su ortofoto satellitare (fonte: Ortofoto multifunzione EMILIA-ROMAGNA - AGEA 2011 - RGB).

4.2. Litologia di superficie e geomorfologia

Per la caratterizzazione litologica dell'area si è fatto riferimento agli elaborati prodotti dallo scrivente a corredo del QC del PSC del comune di San Felice sul Panaro (2009) ed in particolare alla Carta della Litologia (elaborato QC.5/t1), di cui un estratto è riportato in Figura 20, mentre per la definizione delle caratteristiche geomorfologiche si è fatto riferimento alla Carta Geomorfologica (elaborato QC.5/t2 del PSC - Figura 21).

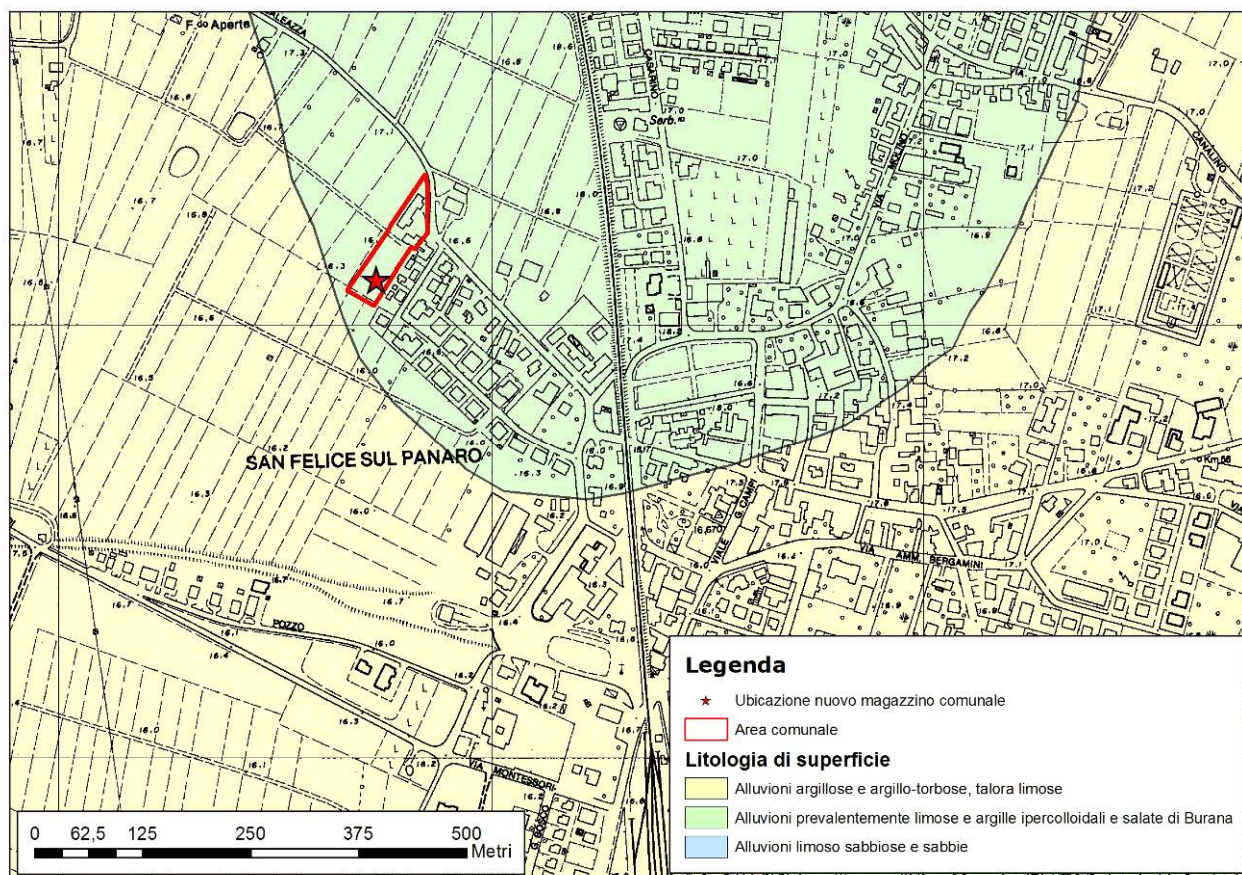


Figura 20 - Estratto della Tavola "Carta della litologia", QC del PSC di San Felice s/P.

Dal punto di vista geologico la zona è caratterizzata dalla presenza di coperture quaternarie riconducibili al Subsistema di Ravenna (AES). Come si evince dalla Carta della Litologia, la litologia di superficie dell'area di studio è caratterizzata dalla presenza di alluvioni prevalentemente limose e di argille ipercolloidali e salate di Burana; in prossimità dell'area è presente un passaggio litologico ad alluvioni argillose e argillo-torbose, talora limose.

Dal punto di vista geomorfologico l'area è compresa nella piana alluvionale propriamente detta, caratterizzata da una morfologia pianeggiante, in corrispondenza di un paleodosso di modesta rilevanza, possibile diramazione secondaria del paleoalveo del Fiume Secchia.

COMUNE DI SAN FELICE S/P (MO)
 RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA
 RELATIVA AD AREA SELEZIONATA PER LOCALIZZAZIONE STRUTTURA MAGAZZINO COMUNALE

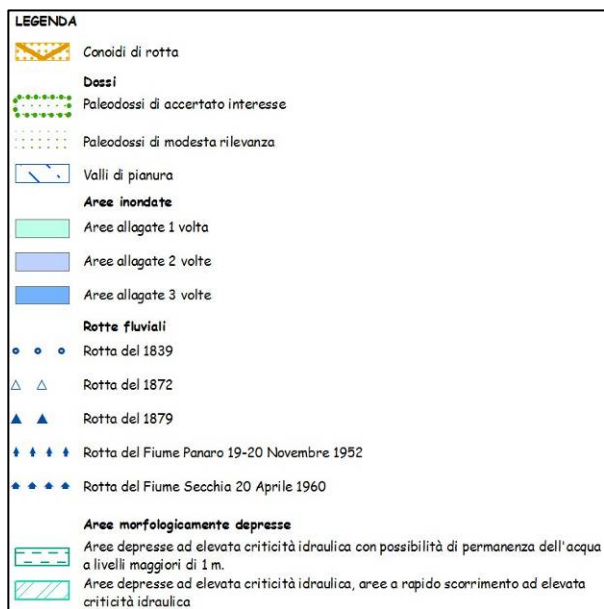
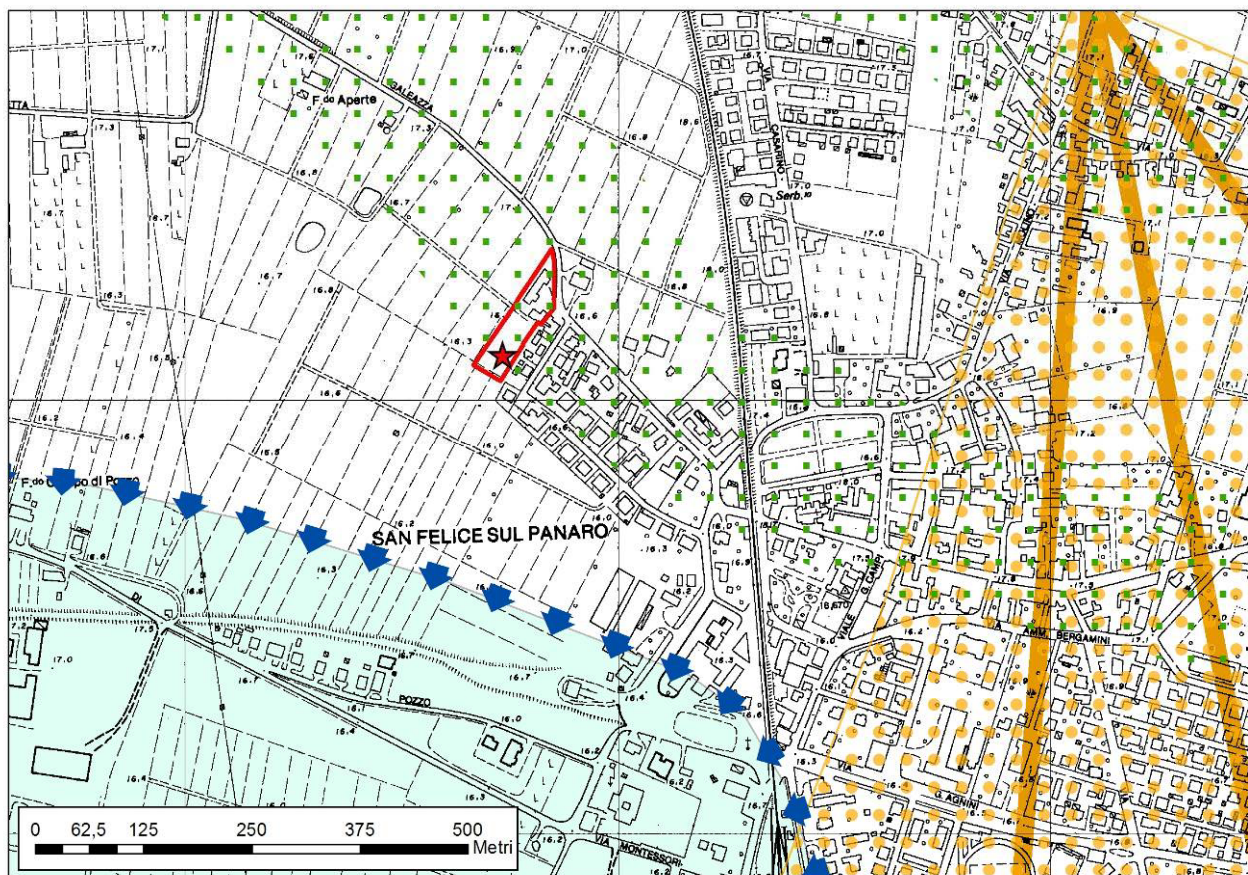


Figura 21 - Estratto della Tavola "Geomorfologia", QC del PSC di San Felice s/P.

4.3. Idrografia di superficie, rischio idraulico e idrogeologia

Anche per la caratterizzazione idraulica ed idrogeologica dell'area in esame ci si è avvalsi degli studi e degli elaborati prodotti dallo scrivente a corredo del QC del PSC di San Felice sul Panaro (2009); con riferimento alla carta della "Idrografia" (tavola QC.5/t3 del PSC di San Felice s/P), si osserva come l'area, pur essendo prossima ai Cavi Canalino e Vallicelletta (il primo, asse drenante principale per il territorio comunale), appartenga al bacino idrografico del Cavo Rusco Primo, intermedio rispetto ai bacini idrografici di pertinenza dei due canali principali.

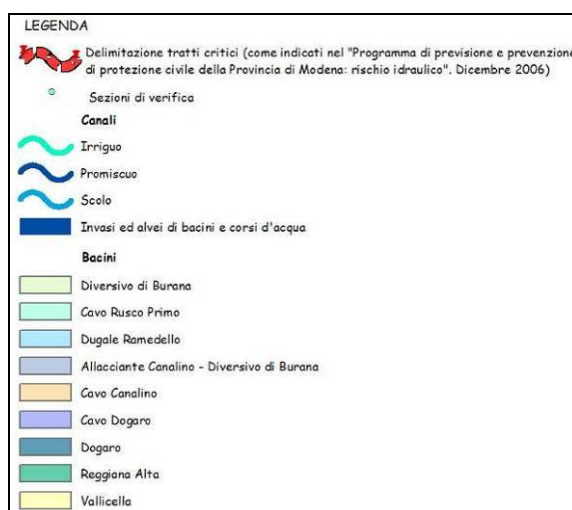
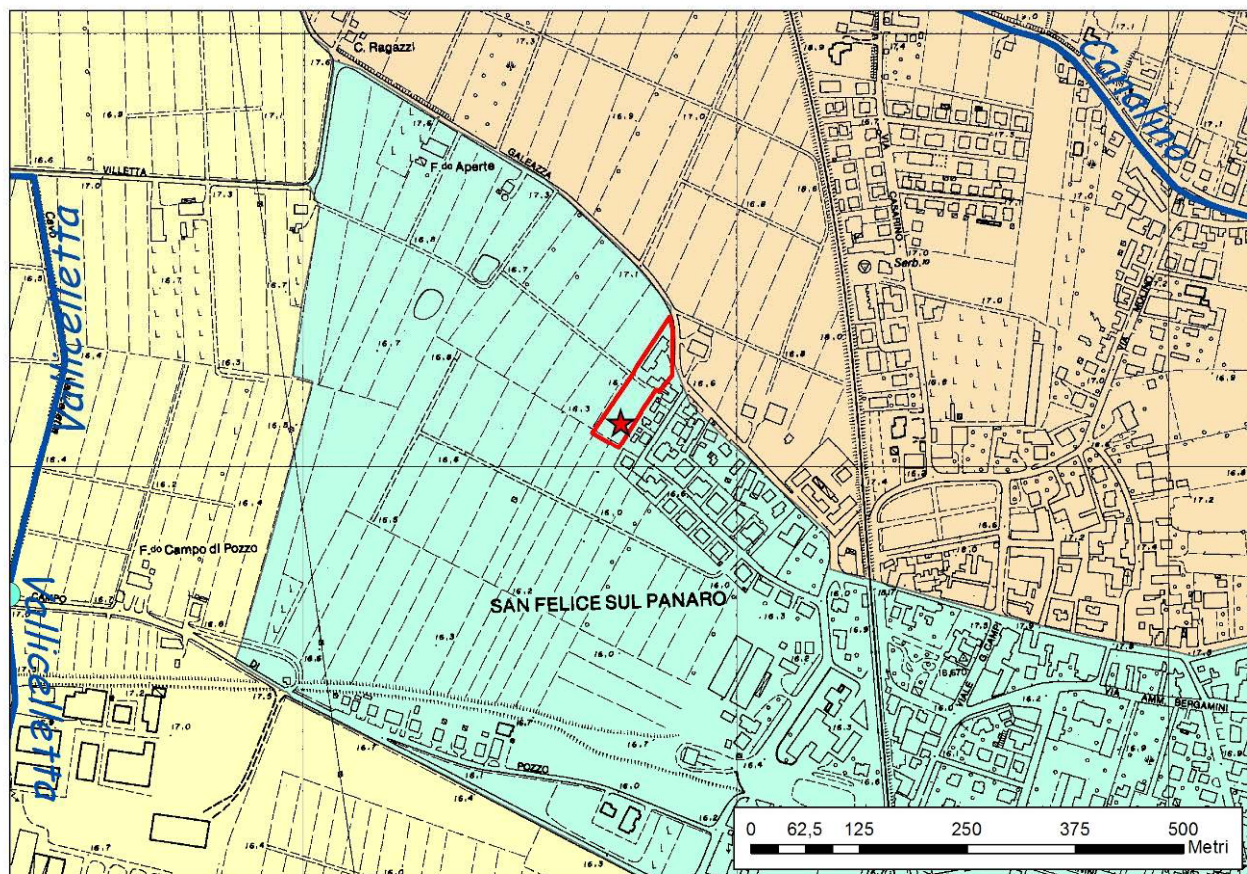


Figura 22 - Estratto della Tavola "Idrografia", QC del PSC di San Felice s/P.

Dal punto di vista del funzionamento della rete idrica superficiale, a livello comunale, il PSC riscontrava una generale insufficienza della rete di scolo, legata ad un generale sottodimensionamento delle dimensioni e delle sezioni dei cavi e canali, a causa dell'utilizzo di parametri di calcolo riferiti a gradi di urbanizzazione del territorio sensibilmente diversi da quelli odierni. Si segnalava pertanto la necessità di un generale adeguamento del sistema di scolo superficiale, che doveva essere adeguato alle necessità odierne, in relazione ai mutati coefficienti idrometrici e tempi di corrivazione.

In sede di QC, per il Cavo Canalino venivano identificate problematiche derivanti da tratti tombinati in corrispondenza e/o a valle dei centri urbani di San Felice e Rivara, che ne riducono la portata di scolo in relazione alle variate condizioni di urbanizzazione. Per il Cavo Vallicelletta venivano identificati problemi di scolo nel tratto iniziale, tombinato (dall'origine alla S.P. 468), in corrispondenza della zona industriale, in relazione alle variate condizioni di urbanizzazione.

La perimetrazione delle aree interessate da criticità idraulica, riportata nella Tavola QC.5/t2 "Geomorfologia" (Figura 21), tratta dalla "Carta di criticità idraulica di pianura" allegata al PTCP della Provincia di Modena, individua zone critiche solamente nelle aree meridionali del territorio comunale, più prossime al fiume Panaro. In particolare, l'area in esame risulta parzialmente rilevata rispetto alla topografia circostante grazie alla presenza del paleodosso, non è prossima ad alcuna area depressa e risulta sufficientemente distante da aree storicamente inondate.

Per quanto riguarda i caratteri idrogeologici di questo settore di pianura, gli studi eseguiti dallo scrivente a corredo del QC del PSC e, più recentemente a corredo del Piano delle Attività Estrattive (PAE) del comune di San Felice sul Panaro, hanno consentito di ricostruire in modo sufficientemente dettagliato la stratigrafia dell'area comunale, evidenziando una discreta uniformità litologica con alternanze di argille e limi argillosi fino a profondità di circa 8.0 m, a volte anche 10.0 m; oltre tale profondità s'individua il tetto dei depositi sabbiosi che costituiscono il primo acquifero confinato e che si mostrano continui e con spessori variabili da poco meno di 10.0 m fino anche a 15.0 - 20.0 m, corrispondenti al Gruppo Acquifero A, secondo lo schema delle unità idrostratigrafiche riconosciute a scala regionale (Da: *Regione Emilia Romagna & Eni-Agip - 1998*). Entro tale acquifero la direzione di flusso delle acque sotterranee segue le direttrici dei paleodrenaggi con andamento preferenziale Ovest-Est; modeste risultano le ricariche degli acquiferi per infiltrazione superficiale, che si verificano principalmente in corrispondenza dei dossi.

All'interno del materasso alluvionale limo-argilloso si rinviene la falda freatica superficiale, alimentata per infiltrazione meteorica e generalmente presente nei periodi invernali entro i primi quattro metri di profondità; la circolazione risulta molto limitata a causa della bassa permeabilità dei depositi fini in cui si muove. L'alimentazione del fiume Panaro risulta trascurabile in quanto l'alveo attivo è collocato in depositi argillosi pressoché impermeabili.

Per la ricostruzione della soggiacenza e della piezometria in corrispondenza dell'area, si è fatto riferimento alla caratterizzazione piezometrica del territorio comunale, eseguita attraverso l'esecuzione di una campagna piezometrica specifica effettuata nell'ottobre 2006, volta alla ricostruzione delle carte della "Piezometria della falda acquifera superficiale" (tav. QC.5/t6) e della "Soggiacenza della falda acquifera superficiale" (tav. QC.5/t7). La soggiacenza individua, per l'area d'indagine, **valori compresi fra -3.0 e -4.0 m dal p.d.c.** (Figura 23). La piezometria, in corrispondenza dell'area, assume una direzione di flusso pressoché da NO a SE.

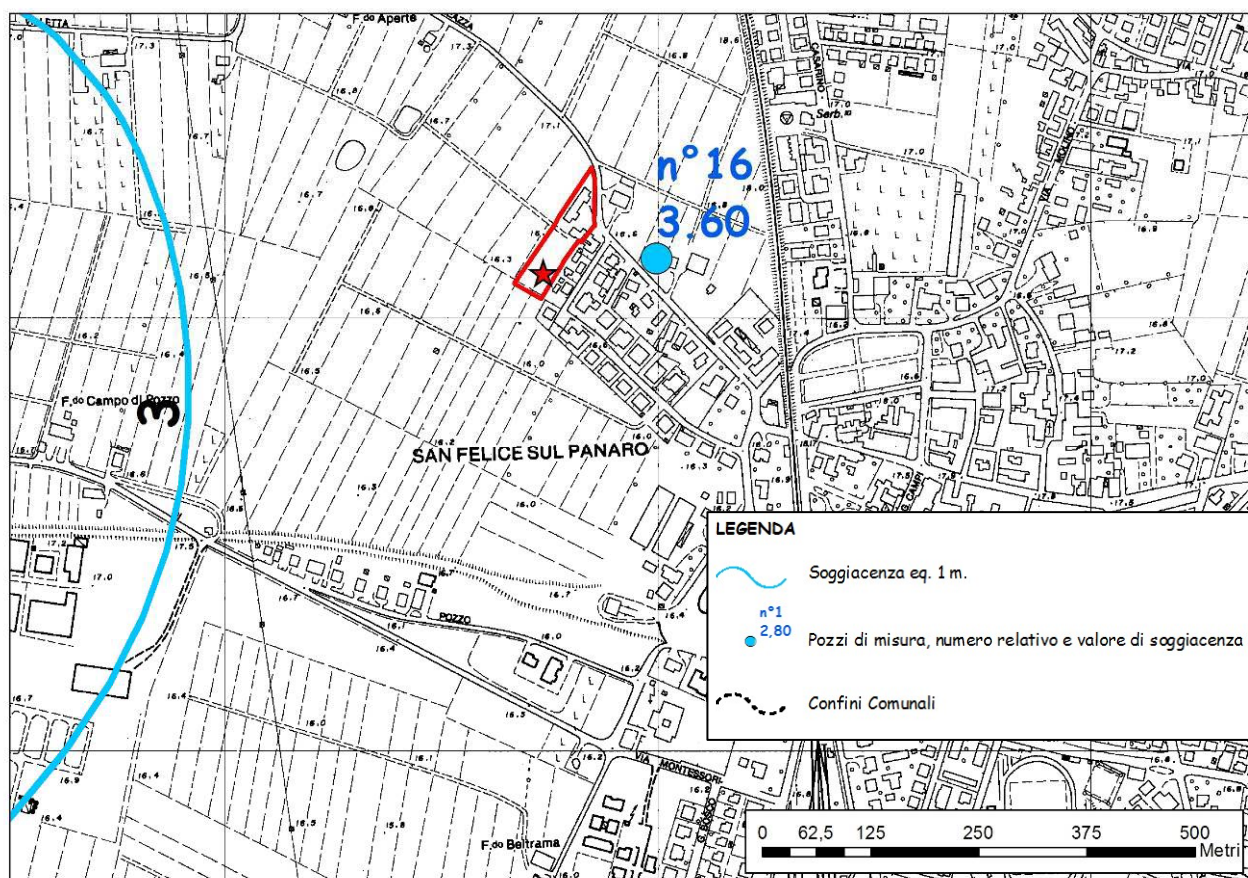


Figura 23 - Estratto della Tavola "Soggiacenza della falda acquifera superficiale", QC del PSC di San Felice s/P.

4.4. Stratigrafia e parametri geotecnici del terreno

Per la caratterizzazione geotecnica dell'area in oggetto si è fatto riferimento ai risultati di una campagna geognostica eseguita appositamente per il presente studio e costituita da una prova penetrometrica statica spinta fino alla profondità di 19,4 m dal p.d.c.

Le caratteristiche del penetrometri utilizzato vengo di seguito riportate:

Penetrometro PAGANI 100 kN

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35,7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

Dalla prova penetrometrica statica eseguita per questo studio (CPT 1 di Figura 24), i cui tabulato e grafico sono inseriti in Allegato 1, è stato possibile interpretare il modello stratigrafico e geotecnico dell'area. Di seguito si riportano l'interpretazione stratigrafica ed i parametri geotecnici caratteristici per i vari strati riscontrati nella sequenza litologica:

COMUNE DI SAN FELICE S/P (MO)
 RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA
 RELATIVA AD AREA SELEZIONATA PER LOCALIZZAZIONE STRUTTURA MAGAZZINO COMUNALE

Prof. Strato (m)/spessore strato	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,20	0,1	0,9	1,6	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
1,20	35,4	2,2	2,1	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
4,00	14,0	1,1	1,9	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
7,40	26,7	1,6	2,0	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
9,80/2,4	43,4	2,2	2,1	Incoerente/ Coesivo	Argille sabbiose e limose
12,00/2,2	123,8	1,7	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
18,60	35,0	1,8	2,0	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
19,40/0,8	139,7	1,8	2,1	Incoerente	Sabbie addensate o cementate

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0,20	C	0,0	3,2	0,3	6,9	>9	1,1	1,1	--	--	--	84,14
2	1,20	C	1,8	1322,4	106,2	247,5	>9	2,1	2,1	--	--	--	270,56
3	4,00	C	0,7	506,0	42,0	140,4	>9	1,9	2,0	--	--	--	224,95
4	7,40	C	1,3	959,5	80,1	208,3	>9	2,0	2,1	--	--	--	255,79
5	9,80	CI	2,2	1563,5	130,2	280,3	<0.5	2,1	2,2	34,6	31,6	86,8	338,72
6	12,00	I	--	--	185,7	531,9	2,1	1,9	2,2	60,9	36,1	247,6	433,33
7	18,60	C	1,8	1197,8	105,0	245,8	4,0	2,1	2,1	--	--	--	269,95
8	19,40	I	--	--	209,6	572,6	<0.5	1,9	2,2	56,4	34,6	279,4	445,81

Nr: Numero progressivo strato
 Prof: Profondità strato (m)
 Tipo: C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo - Incoerente
Cu: Coesione non drenata (Kg/cm²)
 Eu: Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm²)
 Mo: Modulo Edometrico (Kg/cm²)
 G: Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
 OCR: Grado di sovraconsolidazione
 Puv: Peso unità di volume (t/m³)
 PuvS: Peso unità di volume saturo (t/m³)
 Dr: Densità relativa (%)
Fi: Angolo di resistenza al taglio (°)
 Ey: Modulo di Young (Kg/cm²)
 Vs: Velocità onde di taglio (m/s)

La sequenza vede uno spessore di 7,4 m di argille, seguito da uno spessore di 2,4 m di argille sabbiose e limose e da 2,2 m di sabbie addensate. L'intervallo incoerente è seguito da 6,6 m di argille. La stratigrafia indagata si chiude con uno spessore di 0,8 m di sabbie addensate.

Sia la coesione non drenata per gli spessori coesivi, sia l'angolo di resistenza al taglio per i livelli a prevalente componente sabbiosa mostrano valori buoni.

Durante l'esecuzione delle indagini è stata rilevata la **presenza di acqua nei fori di prova alla profondità di-3,2 m dal p.c.** Il confronto con il PSC rende comunque ragionevole attendersi, per l'area, una soggiacenza (cautelativa) della falda superficiale circa pari, in media, a - **3 m dal p.d.c.**

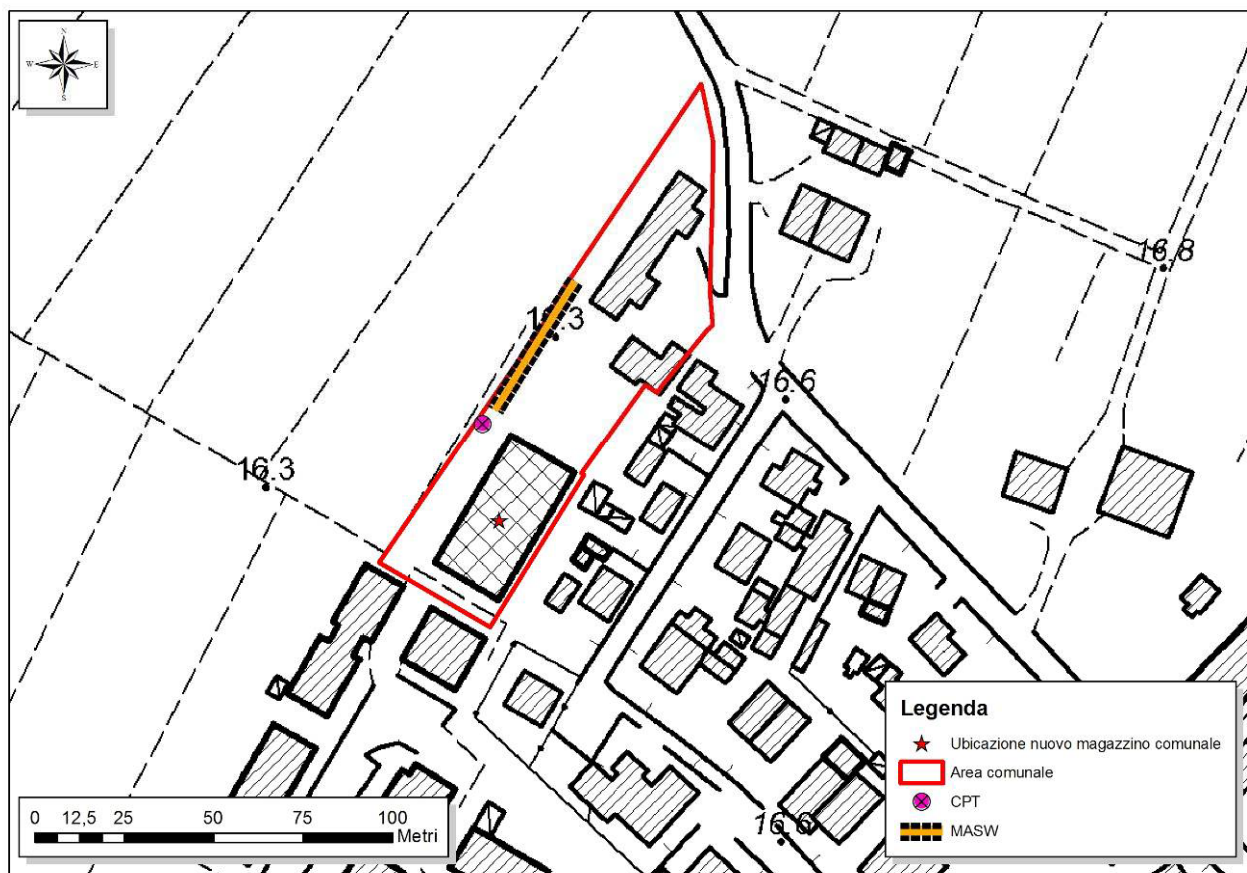


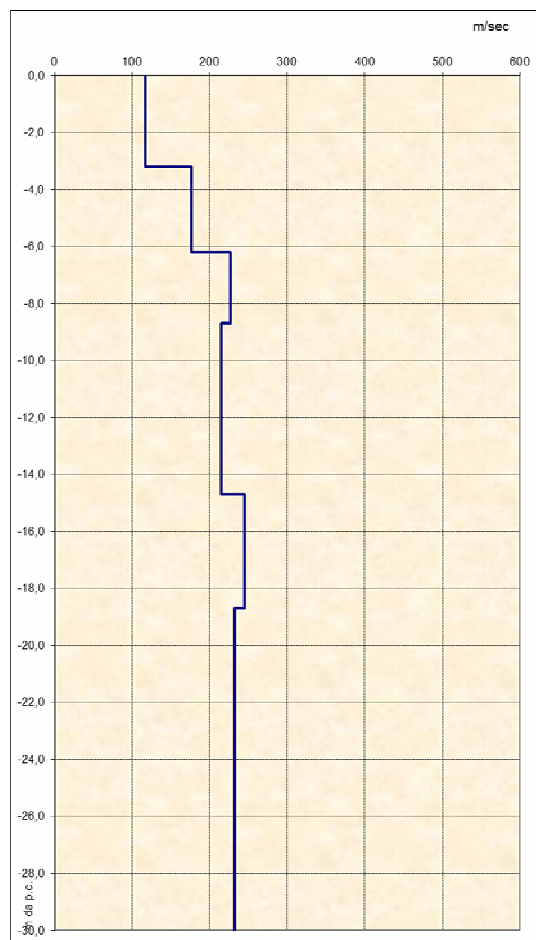
Figura 24 - Ubicazione indagini geognostiche effettuate in occasione del presente studio.

4.5. Caratteristiche sismiche del terreno

Per la caratterizzazione sismica dei terreni dell'area in oggetto si è fatto riferimento all'interpolazione ragionata dei risultati delle indagini Re.Mi. eseguite per il PSC e ad una indagine MASW realizzata appositamente per il presente studio.

L'indagine sismica, eseguita per questo studio con tecnica passiva MASW (Figura 24), ha restituito un valore di V_{S30} pari a **202 m/s** che, secondo normativa, attribuisce al terreno di fondazione la **categoria C**: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu30 < 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
-3,2	3,2	117
-6,2	3,0	176
-8,7	2,5	227
-14,7	6,0	215
-18,7	4,0	245
-30,0	11,3	232



- diagramma velocità Vs/profondità -

L'interpolazione ragionata dei risultati delle indagini sismiche realizzate per il PSC con tecnica Re.Mi. (Figura 17), ipotizza, per l'area, fattori di amplificazione per la PGA e per i due intervalli di tempo dell'intensità di Housner considerati dalla DAL RER 112/2007 pari, rispettivamente, a 1,5, 1,7 e 2,3. Utilizzando, invece, il valore di V_{s30} ricavato dall'indagine MASW effettuata in corrispondenza dell'area di studio, i fattori di amplificazione, ricavati dalle tabelle della DAL RER112/2007 risultano pari a: **1,5**, **1,8** e **2,5**, risultando, pertanto, maggiormente cautelativi rispetto all'estrapolazione presente nella cartografia di PSC, ovvero:

da PSC:

F.A. PGA = 1,5
 F.A. IS $0,1 < T_0 < 0,5$ = 1,7
 F.A. IS $0,5 < T_0 < 1$ = 2,3

da indagine specifica sul sito:

F.A. PGA = 1,5
 F.A. IS $0,1 < T_0 < 0,5$ = 1,8
 F.A. IS $0,5 < T_0 < 1$ = 2,5

Effetti topografici

Gli effetti topografici possono essere trascurati in quanto, trattandosi di un'area di pianura, la superficie topografica può essere classificata come appartenente alla:

categoria T1: *"Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ".* Per tale categoria si assume quale valore del coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,0$.

In seguito ai recenti eventi sismici (maggio - giugno 2012) che hanno interessato anche il territorio comunale di San Felice s/P, nell'area specifica in esame non sono stati evidenziati fenomeni di liquefazione.

Modena 01/08/2012

Dott. Geol. Valeriano Franchi

ALLEGATO 1

TABULATI E GRAFICI PROVA PENETROMETRICA

PROVA PENETROMETRICA STATICA

Committente: Amm.ne comunale San Felice San Felice Cantiere: Magazzino Comunale Località: San Felice s/P	
--	--

Caratteristiche Strumentali PAGANI 100 kN

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35,7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

COMUNE DI SAN FELICE S/P (MO)
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA
 RELATIVA AD AREA SELEZIONATA PER LOCALIZZAZIONE STRUTTURA MAGAZZINO COMUNALE

PROVA ... Nr.1

Committente: Amm.ne comunale San Felice San Felice

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

Prova eseguita in data: 29/07/2012

Profondità prova: 19,40 mt

Località: San Felice s/P

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,1	0,9	0,1	676,1
0,40	38,00	52,0	38,1	1,4	27,2	3,7
0,60	24,00	45,0	24,1	1,9	12,9	7,7
0,80	34,00	62,0	34,1	1,9	17,7	5,7
1,00	41,00	70,0	41,1	2,7	15,1	6,6
1,20	39,00	80,0	39,3	3,3	12,0	8,3
1,40	25,00	74,0	25,3	2,5	10,0	10,0
1,60	20,00	58,0	20,3	2,1	9,8	10,2
1,80	13,00	44,0	13,3	1,5	9,0	11,1
2,00	13,00	35,0	13,3	1,3	10,5	9,5
2,20	16,00	35,0	16,4	1,3	12,3	8,1
2,40	15,00	35,0	15,4	1,3	12,2	8,2
2,60	16,00	35,0	16,4	1,0	16,4	6,1
2,80	14,00	29,0	14,4	1,1	12,7	7,9
3,00	10,00	27,0	10,4	0,8	13,0	7,7
3,20	11,00	23,0	11,6	0,6	19,3	5,2
3,40	11,00	20,0	11,6	0,7	17,3	5,8
3,60	7,00	17,0	7,6	0,5	16,2	6,2
3,80	9,00	16,0	9,6	0,4	23,9	4,2
4,00	10,00	16,0	10,6	0,7	15,8	6,3
4,20	20,00	30,0	20,7	1,1	18,3	5,5
4,40	22,00	39,0	22,7	1,3	17,9	5,6
4,60	22,00	41,0	22,7	1,2	18,9	5,3
4,80	22,00	40,0	22,7	1,4	16,2	6,2
5,00	24,00	45,0	24,7	1,5	16,1	6,2
5,20	23,00	46,0	23,8	1,5	16,2	6,2
5,40	22,00	44,0	22,8	1,5	15,6	6,4
5,60	22,00	44,0	22,8	1,5	15,6	6,4
5,80	25,00	47,0	25,8	1,3	19,4	5,2
6,00	26,00	46,0	26,8	1,5	17,5	5,7
6,20	28,00	51,0	29,0	1,7	17,4	5,8
6,40	32,00	57,0	33,0	1,8	18,3	5,5
6,60	30,00	57,0	31,0	1,9	16,0	6,2
6,80	28,00	57,0	29,0	2,0	14,5	6,9
7,00	27,00	57,0	28,0	2,4	11,7	8,6
7,20	30,00	66,0	31,1	1,7	17,9	5,6
7,40	36,00	62,0	37,1	1,7	21,4	4,7
7,60	48,00	74,0	49,1	2,3	21,0	4,8
7,80	45,00	80,0	46,1	2,9	15,7	6,4
8,00	52,00	96,0	53,1	3,5	15,3	6,5
8,20	50,00	102,0	51,2	2,9	17,5	5,7
8,40	46,00	90,0	47,2	2,8	16,9	5,9
8,60	36,00	78,0	37,2	1,4	26,6	3,8
8,80	35,00	56,0	36,2	1,1	32,0	3,1
9,00	34,00	51,0	35,2	1,2	29,4	3,4
9,20	48,00	66,0	49,4	1,5	32,2	3,1
9,40	40,00	63,0	41,4	1,7	24,8	4,0
9,60	34,00	59,0	35,4	1,9	19,0	5,3
9,80	38,00	66,0	39,4	3,7	10,7	9,3
10,00	65,00	120,0	66,4	0,7	90,6	1,1
10,20	130,00	141,0	131,5	3,4	38,7	2,6

COMUNE DI SAN FELICE S/P (MO)
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA
 RELATIVA AD AREA SELEZIONATA PER LOCALIZZAZIONE STRUTTURA MAGAZZINO COMUNALE

10,40	99,00	150,0	100,5	2,3	44,3	2,3
10,60	170,00	204,0	171,5	2,2	78,0	1,3
10,80	139,00	172,0	140,5	0,9	150,6	0,7
11,00	185,00	199,0	186,5	1,7	111,9	0,9
11,20	142,00	167,0	143,7	1,8	79,8	1,3
11,40	119,00	146,0	120,7	1,3	95,2	1,1
11,60	97,00	116,0	98,7	1,7	59,2	1,7
11,80	127,00	152,0	128,7	1,8	71,5	1,4
12,00	71,00	98,0	72,7	0,5	155,6	0,6
12,20	48,00	55,0	49,8	1,6	31,1	3,2
12,40	18,00	42,0	19,8	1,7	11,4	8,8
12,60	22,00	48,0	23,8	1,3	17,8	5,6
12,80	28,00	48,0	29,8	1,3	22,4	4,5
13,00	32,00	52,0	33,8	1,5	23,0	4,3
13,20	30,00	52,0	31,9	1,3	25,2	4,0
13,40	31,00	50,0	32,9	2,0	16,5	6,1
13,60	33,00	63,0	34,9	1,8	19,4	5,2
13,80	37,00	64,0	38,9	1,7	22,5	4,5
14,00	33,00	59,0	34,9	1,7	20,2	5,0
14,20	24,00	50,0	26,1	1,3	19,6	5,1
14,40	23,00	43,0	25,1	1,3	19,8	5,1
14,60	19,00	38,0	21,1	1,1	18,6	5,4
14,80	23,00	40,0	25,1	1,2	20,9	4,8
15,00	27,00	45,0	29,1	1,6	18,2	5,5
15,20	30,00	54,0	32,2	1,6	20,1	5,0
15,40	32,00	56,0	34,2	1,9	18,3	5,5
15,60	30,00	58,0	32,2	1,9	17,3	5,8
15,80	35,00	63,0	37,2	2,1	17,4	5,7
16,00	38,00	70,0	40,2	2,6	15,5	6,5
16,20	48,00	87,0	50,3	2,3	22,2	4,5
16,40	38,00	72,0	40,3	2,3	17,8	5,6
16,60	31,00	65,0	33,3	1,7	19,2	5,2
16,80	37,00	63,0	39,3	1,9	21,1	4,7
17,00	66,00	94,0	68,3	2,2	31,1	3,2
17,20	33,00	66,0	35,5	2,4	14,8	6,8
17,40	30,00	66,0	32,5	2,6	12,5	8,0
17,60	48,00	87,0	50,5	3,1	16,1	6,2
17,80	40,00	87,0	42,5	2,3	18,2	5,5
18,00	32,00	67,0	34,5	1,1	32,3	3,1
18,20	12,00	28,0	14,6	0,7	21,9	4,6
18,40	32,00	42,0	34,6	2,3	15,3	6,5
18,60	42,00	76,0	44,6	2,6	17,2	5,8
18,80	102,00	141,0	104,6	1,7	60,4	1,7
19,00	143,00	169,0	145,6	1,8	80,9	1,2
19,20	164,00	191,0	166,8	3,6	46,3	2,2
19,40	139,00	193,0	141,8	0,0		0,0

Probe CPT - Cone Penetration Nr.1
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: Amm.ne comunale San Felice San Felice
Cantiere: Magazzino Comunale
Località: San Felice s/P

Data: 29/07/2012

