

autostrada del brennero

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE
DELLA TERZA CORSIA NEL TRATTO COMPRESO
TRA VERONA NORD (KM 223) E L'INTERSEZIONE
CON L'AUTOSTRADA A1 (KM 314)

RICHIESTA DEL COMUNE DI CAMPOGALLIANO

4.1

ELABORATI PER IL POC - STRALCIO DEL COMUNE DI CAMPOGALLIANO
GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA E SISMICA
RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

0	SETT. 2021	RICHIESTA COMUNE CAMPOGALLIANO	ENGEO SRL	M. TAMANINI	C. COSTA
REVISIONE:	DATA:	DESCRIZIONE:	REDAZIONE:	VERIFICA:	APPROVAZIONE:
DATA PROGETTO: LUGLIO 2009			DIREZIONE TECNICA GENERALE		IL DIRETTORE TECNICO GENERALE E PROGETTISTA: 
NUMERO PROGETTO: 31/09					

COMUNE DI CAMPOGALLIANO
PROVINCIA DI MODENA

**Relazione geologica, idrogeologica e
sismica per il POC del Comune di
Campogalliano (MO) nell'ambito del
S.I.A. relativo alla realizzazione
della terza corsia nel tratto
compreso tra Verona nord (km 223)
e l'intersezione con l'autostrada A1
(km 314)**

RELAZIONE GEOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

elaborato:

Rel. 1

I Geologi:

Dr. Carlo Caleffi

Dr. Francesco Cerutti



EN GEO S.r.l.
ENGINEERING GEOLOGY
www.engeo.it


Sede legale: Via Suor Maria Adorni, 2 - 43121 Parma
Uffici: Via Suor Maria Adorni, 2 - 43121 Parma Tel. 0521 233999 - Fax 0521 200181
Via Ferrari 5/G - 46065 Marmirolo (MN) Tel. Fax 0376 467967
E-mail: info@engeo.it

INDICE

1	Premesse	3
1.1	Inquadramento geografico	3
1.2	Principali informazioni pregresse	4
1.2.1	Studio geologico a supporto del Progetto Definitivo per la 3 [^] corsia ..	4
1.2.2	Studio geologico a supporto del Progetto Esecutivo per la 3 [^] corsia ..	5
1.2.3	Studio sismico a supporto del Progetto Esecutivo per la 3 [^] corsia	5
1.2.4	Dati relativi ad altri studi per progetti di opere autostradale	5
1.2.5	Studi a supporto di piani territoriali	5
1.2.6	Altre fonti informative	6
1.3	Elaborati grafici prodotti	7
1.4	Report indagini geognostiche	7
2	Geologia	9
2.1	Quadro geologico di riferimento	9
2.2	Carta geolitologica	13
2.2.1	Depositi prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi	13
2.2.2	Depositi prevalentemente sabbiosi, talora sabbioso limosi	14
2.2.3	Depositi prevalentemente limosi, talora limoso sabbiosi	14
2.2.4	Depositi prevalentemente argillosi e limosi	14
2.2.5	Depositi prevalentemente argillosi o limosi con elevati tenori di sostanza organica, torbe	14
3	Geomorfologia	15
3.1	Quadro geomorfologico di riferimento	15
3.2	Carta geomorfologica	16
3.2.1	Elementi morfologici naturali	16
3.2.2	Idrografia	17
4	Idrogeologia	18
4.1	Inquadramento idrogeologico	18
4.2	Struttura degli acquiferi	21
4.3	Permeabilità dei depositi superficiali	23
4.3.1	Depositi a elevata permeabilità	23
4.3.2	Depositi a permeabilità da elevata a bassa	24
4.3.3	Depositi a bassa permeabilità	24
4.3.4	Depositi a permeabilità da bassa a nulla	24
4.4	Dinamica delle acque sotterranee	24
5	Indagini geognostiche pregresse	27
5.1	Sondaggi a carotaggio continuo	27
5.2	Trincee o pozzetti esplorativi	28
5.3	Prove penetrometriche statiche con punta meccanica	29
5.4	Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono	30
5.5	Indagini sismiche di tipo Down-Hole	31
6	Sezioni litostratimetriche	33
7	Caratteristiche sismotettoniche	36
7.1	Sismicità del territorio	37
7.1.1	Sisma di Mirandola, maggio 2012	39
7.2	Classificazione sismica comunale	42
7.3	Disaggregazione e magnitudo	44



7.4	Categoria di sottosuolo	47
8	Rischio di liquefazione	50
8.1	Metodologia	50
8.2	Parametri di input.....	53
8.3	Analisi dei risultati	53
9	Cenni di geotecnica	56

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	2 di 56

1 PREMESSE

La presente relazione descrive lo studio geologico, idrogeologico e sismico effettuato a supporto della redazione del nuovo Piano Operativo Comunale, di seguito POC, del Comune di Campogalliano (MO) redatto nell'ambito del S.I.A. relativo alla realizzazione della terza corsia nel tratto compreso tra Verona nord (km 223) e l'intersezione con l'autostrada A1 (km 314)

Esso ha comportato lo svolgimento delle seguenti attività:

1. raccolta di tutta la documentazione esistente relativa al territorio oggetto di studio, quali, carte tematiche, dati stratigrafici, studi geologici precedenti, citati nel paragrafo 1.2;
2. definizione delle caratteristiche litostratimetriche mediante analisi critica ed elaborazione della documentazione di cui al punto precedente;
3. definizione geologica e geomorfologica del territorio in esame;
4. definizione idrogeologica dell'area;
5. definizione del modello geologico;
6. definizione della pericolosità sismica di base: caratteristiche sismotettoniche dell'area, sismicità del territorio e classificazione sismica da normativa; scendendo successivamente nel dettaglio: categoria sismica di sottosuolo e definizione della magnitudo massima attesa;
7. stima del rischio di liquefazione lungo le verticali indagate mediante prove penetrometriche statiche di tipo elettrico;
8. valutazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni

1.1 Inquadramento geografico

L'area oggetto di studio è costituita dalla porzione di territorio del Comune di Campogalliano limitrofa al tratto dell'autostrada A22 "del Brennero", che attraversa il comune in direzione Nord-Sud, per quasi tutta la sua estensione, come rappresentato nell'immagine aerea di Fig. 1, dove viene riportato in rosso il confine comunale ed in verde il tratto di autostrada A22 ricadente all'interno del comune.


	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	3 di 56



FIG. 1 – ORTOFOTO CON INDICATO IN ROSSO IL CONFINE COMUNALE ED IN VERDE IL TRATTO AUTOSTRDALE DELLA A22 (DA *GOOGLE EARTH*)


1.2 Principali informazioni pregresse

Come indicato nelle premesse, la prima fase dello studio è consistita nella ricerca e raccolta di tutta la documentazione esistente relativa all'area oggetto d'intervento.

Di seguito sono citate tutte le fonti informative utilizzate.

1.2.1 Studio geologico a supporto del Progetto Definitivo per la 3^a corsia

La Relazione Geologica a supporto del Progetto Definitivo dell'intero intervento di realizzazione della terza corsia tra Verona Nord (km 223) e l'intersezione con l'autostrada A1 (km 314) redatta, nel dicembre 2009, da parte dello Studio Associato Geologia Applicata di Mezzocorona (Tn).

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	4 di 56

1.2.2 Studio geologico a supporto del Progetto Esecutivo per la 3^a corsia

Studio geologico per il progetto esecutivo della terza corsia tra Verona Nord (km 223) e l'intersezione con l'autostrada A1 (km 314), redatto nell'Aprile 2017 dagli scriventi.

1.2.3 Studio sismico a supporto del Progetto Esecutivo per la 3^a corsia

Studio sismico per il progetto esecutivo della terza corsia tra Verona Nord (km 223) e l'intersezione con l'autostrada A1 (km 314), redatto nell'Aprile 2017 dal Dr. Geol. A. Ferrari.

1.2.4 Dati relativi ad altri studi per progetti di opere autostradale

I dati forniti da Autostrada del Brennero S.p.A. sono relativi alla progettazione sia dell'intera autostrada nel territorio comunale, che di interventi locali, come: sottopassi, sovrappassi, svincoli, stazioni di accesso, piazzole, ecc.

Il più delle volte, si tratta di intere relazioni geologiche, relative alla singola opera oggetto di studio, con uno spazio temporale che spazia tra il 1993 e il 2015; dunque, comprendendo anche gli approfondimenti d'indagine effettuati per la realizzazione della terza corsia.


La consultazione e il recepimento di tali dati è stato possibile grazie al lavoro di raccolta, riorganizzazione, analisi, razionalizzazione e georeferenziazione delle stesse informazioni, effettuato dal Dr. Geol. Matteo Baisi, sempre su incarico di Autostrada del Brennero S.p.A..

Per tale motivo la codifica delle indagini adottata nel presente studio riprende quella attribuita dal Dr. Geol. Baisi.

1.2.5 Studi a supporto di piani territoriali

Fonti informative di particolare interesse, in considerazione della scala a cui sono stati redatti, sono gli elaborati appartenenti al Quadro Conoscitivo dei Piani Territoriali di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.) vigente della provincia di Modena, ovvero:

- G. Gasperini (2010) – Studio geologico ambientale a supporto del Piano Strutturale di Campogalliano (Mo)

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	5 di 56

1.2.6 Altre fonti informative

Tra le altre fonti informative va, innanzitutto, considerata la consultazione on-line della cartografia tematica e della documentazione relativa alle banche dati territoriali curate e aggiornate dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna¹.

Di particolare ausilio per la redazione del presente studio è stata, anche, la rilettura della "Relazione geologica, idrogeologica e sismica, parte integrante del progetto preliminare dell'Autostrada Regionale Cispadana dal casello di Reggiolo-Rolo, sulla A22, al casello di Ferrara Sud, sulla A13", datata giugno 2010, a firma del Dr. Geol. Carlo Caleffi di Engeo s.r.l..


Per quanto riguarda le cartografie, oltre a quelle redatte nel corso degli studi precedentemente citati, si è fatto riferimento a:

- AA.VV (1999) - Carta Geomorfologica della Pianura Padana, alla scala 1:250.000. M.U.R.S.T. Ed. Selca, Firenze.
- Regione Emilia Romagna (1999): Carta Geologica di Pianura dell'Emilia Romagna, scala 1:250.000. Ed. Selca, Firenze.
- Servizio Geologico d'Italia - "Foglio 201 - Modena - della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000".

Infine, sono, di seguito, elencati i principali testi scientifici consultati:

- AA.VV. (2004) - Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna 1:250.000. Note illustrative. S.ELCA. Firenze.
- Cremaschi M. & Alii (1980) - Evoluzione della Pianura Padana durante l'età del Bronzo, l'età romana e l'alto Medio Evo: geomorfologia e insediamenti. 16, fasc. 1 - 2 - 3 - 4, pp. 106-135.
- Gasperi G. & Pellegrini M. (1984) - Struttura geologica ed idrografica della bassa pianura modenese. Atti Conv. Mirandola e le terre del basso corso del Secchia, pp. 76-114.
- Martelli L. (2011) - Quadro sismotettonico dell'Appennino emiliano-romagnolo e della Pianura Padana centrale. Atti del 30° convegno nazionale GNGTS, Trieste 14-17 novembre 2011, sessione 1.2, 152-156.
- Panizza M. (1975) - Neotectonic and lithologic implication in the course of the Secchia and Panaro rivers (Northern Italy). St. Geomorph. Carp. Balc., 9, pp. 149-157.
- Panizza M. (1976) - Relazione illustrativa della carta geomorfologica dell'area tra Reggio Emilia e Ferrara. Geoexpert ENEL, rapporto interno, 9.
- Pellegrini M. (1969) - La pianura del Secchia e del Panaro. Atti della Soc. Nat. Mat. di Modena, 100, pp. 51.

¹ Cfr. https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	6 di 56

- Pieri M., Groppi G. (1981): Subsurface geological structure of the Po plain, Italy. Progetto Finalizzato Geodinamica- Agip n. 414.
- Ricci Lucchi F. (1980) – Sedimentologia, parte III, Ambienti Sedimentari e Facies. Ed. CLUEB.

Per quanto riguarda invece informazioni in merito alle zone sismogenetiche (ZS9) e i relativi dati di magnitudo massima attesa, sorgenti sismogenetiche e faglie potenzialmente attive e capaci e storia sismica, si sono consultati:

- Mappa di Pericolosità Sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274) redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia a cura di: *C.Maletti e G.Valensise (2004)*.
- DISS 3.2.1 (Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3), il database delle sorgenti sismogenetiche italiane, potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5.5 nell'area Italiana.
- Database Macrosismico Italiano (M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2016). DBMI15, la versione 2015 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15>. DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI15), versione DBMI15, che contiene informazioni relative a 86.071 osservazioni macrosismiche dall'anno 1000 al 2015, e in cui sono presenti 6806 località con almeno 3 osservazioni.

1.3 Elaborati grafici prodotti


A supporto della presente relazione sono stati redatti gli elaborati grafici indicati di seguito:

- Tav. 1 – Carta geolitologica con ubicazione indagini – Scala 1:5.000
- Tav. 2 – Carta geomorfologica – Scala 1:5.000
- Tav. 3 – Carta idrogeologica – Scala 1:5.000
- Tav. 4 – Sezione litostratimetrica – D=1:5.000 H=1:500
- Tav. 5 – Carta della pericolosità sismica – Scala 1:5.000
- Tav. 6 – Carta dei terremoti – Scala 1:100.000

1.4 Report indagini geognostiche

I risultati delle indagini geognostiche utilizzate nel presente studio sono riportati negli allegati elencati di seguito:


- All. 1 - Stratigrafie sondaggi
- All. 2 - Prove penetrometriche CPTU

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	7 di 56

RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA PER IL POC DEL COMUNE DI CAMPOGALLIANO (MO) NELL'AMBITO DEL S.I.A. RELATIVO ALLA REALIZZAZIONE DELLA TERZA CORSIA NEL TRATTO COMPRESO TRA VERONA NORD (KM 223) E L'INTERSEZIONE CON L'AUTOSTRADA A1 (KM 314)

Progetto esecutivo

- All. 3 - Prove penetrometriche CPT
- All. 4 - Indagini sismiche DH
- All. 5 - Sondaggi con escavatore
- All. 6 - Verifiche a liquefazione

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	8 di 56

2 GEOLOGIA

2.1 Quadro geologico di riferimento

Il settore di territorio in esame ricade nella porzione di Pianura Padana a sud del fiume Po. Si tratta di un esteso bacino subsidente che iniziò a delinarsi quando emersero prima la catena Alpina poi quella Appenninica, di cui la Pianura rappresenta le rispettive avanfosse.

Detto ambiente, dal punto di vista strutturale, risulta strettamente connesso all'Appennino Settentrionale. Infatti, il fronte della catena appenninica non coincide con il margine appenninico-padano (limite morfologico catena-pianura), ma è individuabile negli archi esterni delle Pieghie Emiliane e Ferraresi, sepolte dai sedimenti quaternari. Quindi, il vero fronte appenninico, circa all'altezza del Po, sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta. Si può così schematizzare che l'evoluzione del territorio dell'Emilia-Romagna coincide con l'evoluzione del settore esterno della catena nord-appenninica.

Il quadro stratigrafico del sottosuolo padano (cfr. Fig. 2), ricostruito sulla base di profili sismici e di sondaggi risulta caratterizzato da una potente successione terrigena del Quaternario, suddivisibile, in senso stratigrafico, in un'unità inferiore d'ambiente marino (Qm) e in un'unità superiore, affiorante, d'ambiente continentale (Qc).

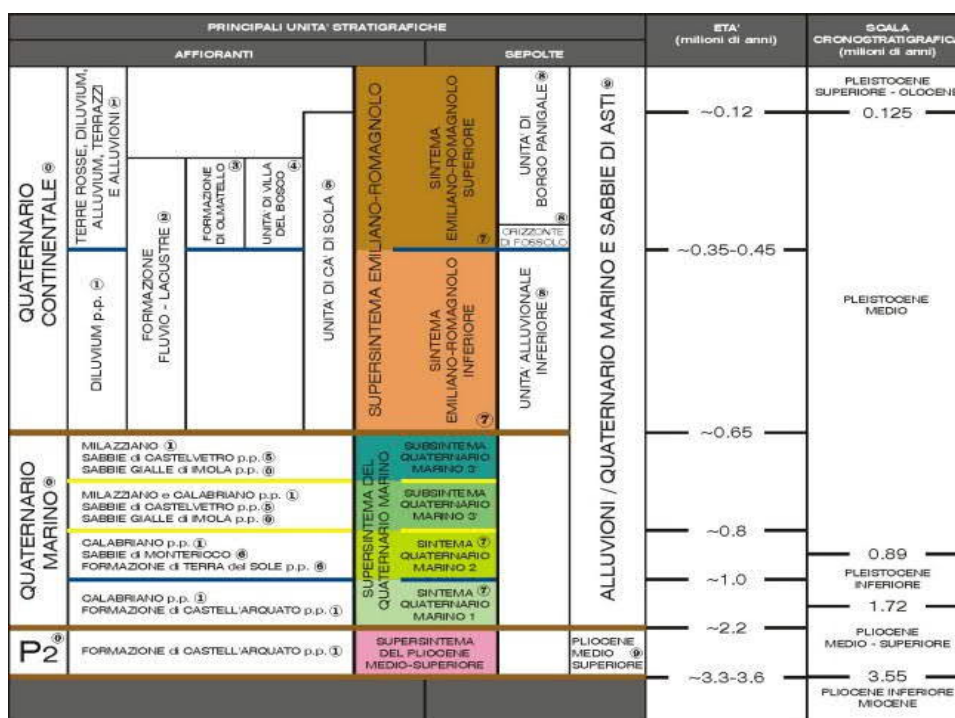


FIG. 2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRATIGRAFICO DELL'AREA DI STUDIO (DAL SITO DEL SERVIZIO GEOLOGICO REGIONALE)

I sedimenti di origine marina (Qm) si sono depositi a partire da poco dopo la fine del Pliocene (1,73 Ma BP), fino a 0,65 Ma BP (Pleistocene medio). In essi sono riconoscibili tre distinti cicli progradazionali (Qm1, Qm2 e Qm3) ben individuabili nei profili sismici AGIP.

Per quanto riguarda i depositi continentali, i tecnici del Servizio cartografico e geologico della Regione Emilia Romagna hanno riconosciuto due unità stratigrafiche principali: Unità Emiliana Inferiore e Unità Emiliana Superiore.

L'Unità Emiliano-Romagnola Inferiore (AEI), depositatasi presumibilmente tra circa 0,65 e 0,45÷0,35 Ma BP (pleistocene medio), rappresenta la fase iniziale della sedimentazione continentale del Quaternario con limite inferiore e superiore di tipo erosivo. L'unità è sedimentata in un ambiente di piana alluvionale durante un periodo di subsidenza regionale, costituita in prevalenza da depositi fini con intercalazioni di corpi ghiaiosi e sabbiosi nastriformi, riferibili ad antichi paleoalvei fluviali, i quali diventano preponderanti in corrispondenza dell'apertura dei principali bacini vallivi sull'antistante pianura alluvionale.

L'unità Emiliana Superiore (AES) ha avuto origine, dopo un'importante fase tettonica di sollevamento regionale, con la quale ebbe inizio la rapida progradazione dei sistemi di conoide alluvionale nella zona antistante ai rilievi appenninici e dei sistemi fluvio-deltizi lungo la fascia del Po.

Nei profili geologici (cfr. Fig. 3) i depositi del AES sono indicati con la sigla a; mentre, con la sigla b sono stati accorpati Sabbie gialle, Sabbie di Imola e depositi del AEI.

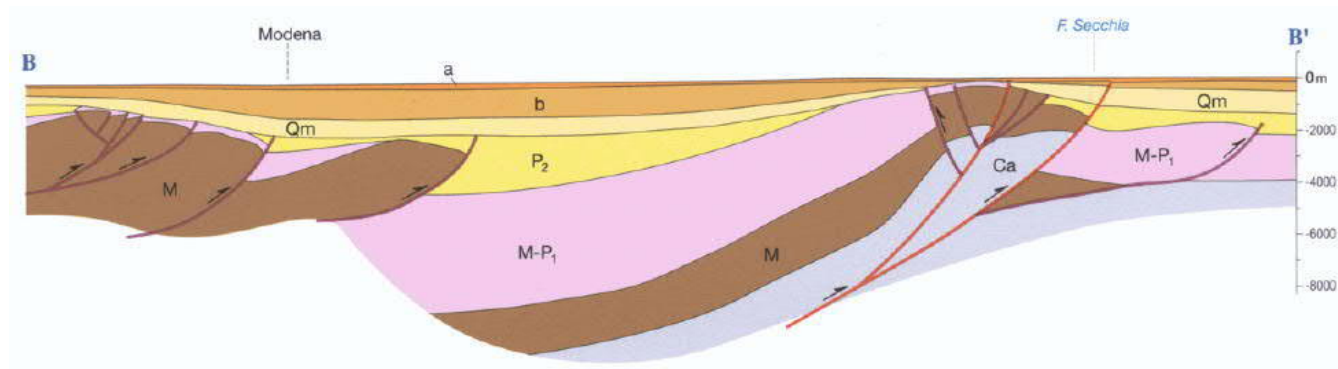



FIG. 3- SEZIONE GEOLOGICA PARALLELA ALL'AUTOSTRADA A22 UNA DECINA DI CHILOMETRI AD EST DELLA STESSA INFRASTRUTTURA (DA AA. VV., 2004, "CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA")

In Fig. 4 è rappresentata la quota della base del AES, con sfumature di colore corrispondenti ad intervalli di 50 metri. Si osserva che, nella porzione di pianura appartenente al territorio comunale in esame, essa passa dagli oltre -250 m del settore più meridionale a quote più superficiali (inferiori a -100) in prossimità del confine settentrionale.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	10 di 56

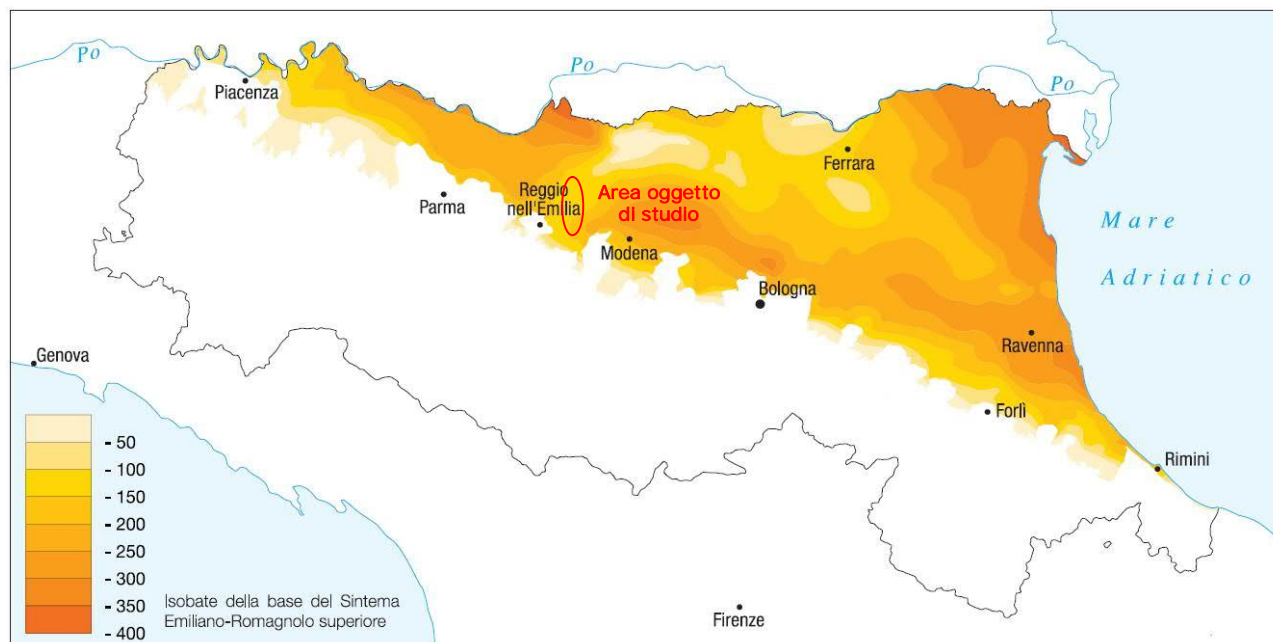



FIG. 4 - RAPPRESENTAZIONE DELLA BASE DEL SITEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (DA "NOTE ALLA CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA")

Tale assetto è dovuto alla presenza delle già citate Pieghe Ferraresi, struttura appartenente al fronte di accavallamento esterno (E.T.F) che definisce il limite settentrionale dell'Appennino sepolto (cfr. Fig. 5).

Le Pieghe Ferraresi sono un sistema di pieghe-faglie che hanno dato origine a due dorsali sepolte che nell'insieme descrivono, in pianta, un arco vergente verso nord, esteso tra Reggio Emilia e la costa adriatica, che si spinge fino ed oltre il Po tra Ferrara e Occhiobello (RO). In particolare, sono distinguibili una dorsale più interna, che ha il massimo sollevamento tra Novi di Modena e Medolla, nota come struttura o alto di Mirandola, e una più esterna che ha il culmine tra Bondeno e Ferrara.

La strutturazione di queste dorsali sepolte è il risultato dell'attività di faglie inverse (*thrust*) la cui attività è iniziata nel Pliocene medio-superiore, con vergenza settentrionale e piano di scorrimento immergente verso sud; di attivazione più recente sono le strutture retrovergenti con piano di scorrimento immergente verso nord (*backthrust*) che interessano soprattutto gli orizzonti più superficiali.

Nelle aree di sinclinale lo spessore delle alluvioni supera i 500 m mentre nelle zone di alto strutturale, si riduce fino a meno di 100 m, con grandi lacune stratigrafiche e, talora, anche il substrato risulta fortemente eroso.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	11 di 56

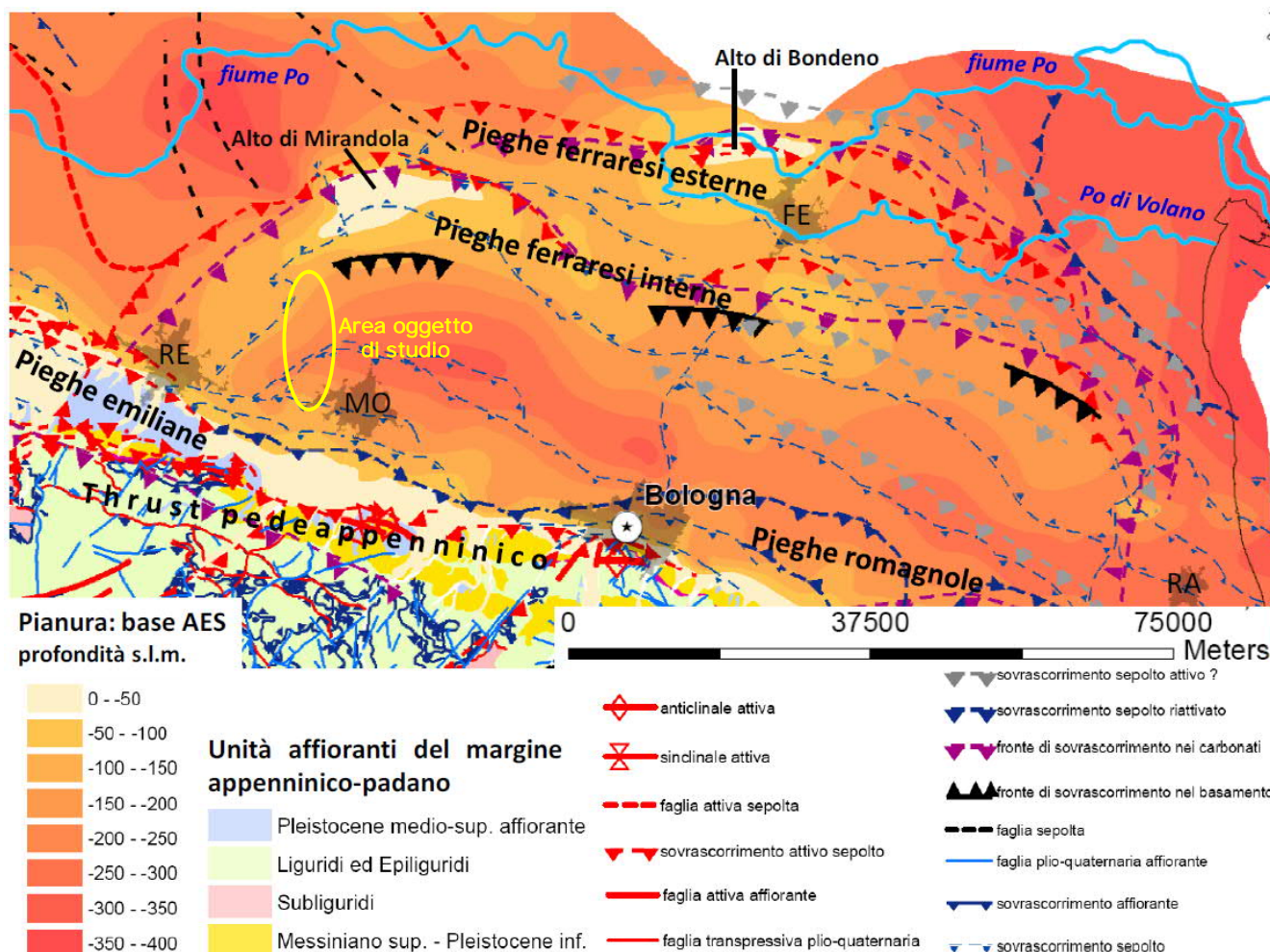



FIG. 5 - SCHEMA TETTONICO DELLA PORZIONE DI PIANURA IN CUI RICADE L'AREA OGGETTO D'INTERVENTO (TRATTO DA "QUADRO SISMOTETTONICO DELL'APPENNINO EMILIANO-ROMAGNOLO E DELLA PIANURA PADANA CENTRALE" DI L. MARTELLI, 2011)

Nel complesso, i depositi affioranti nel territorio in esame sono relativi alla sottounità più recente del Supersistema Emiliano-Romagnolo, definita, in letteratura geologica, come Subsistema di Ravenna, costituita da una successione sedimentaria la cui deposizione è inquadrabile nell'ambito degli eventi alluvionali verificatisi dal Pleistocene superiore ad oggi.

Con l'eccezione dell'estremità meridionale del tratto oggetto di studio, ubicato in corrispondenza dell'unghia della conoide del fiume Secchia, si tratta di depositi di piana alluvionale. Più precisamente, in ordine di tessitura decrescente, si rinvencono depositi di canale, di argine prossimale, di argine distale, di area interfluviale e di palude.

Lo spessore massimo dell'unità è di inferiore a 20 metri. Il profilo di alterazione varia da poche decine di centimetri a 1 metro.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	12 di 56

Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discordante sulle unità più antiche.

2.2 Carta geolitologica

Ai fini del presente studio, riveste particolare interesse l'analisi delle caratteristiche litologiche dei terreni superficiali. La litologia permette, infatti, di dare un primo orientamento per la valutazione delle caratteristiche geotecniche.

A tale scopo, ci si è avvalsi dello studio svolto per il progetto della terza corsia dell'autostrada A22 da Verona Nord all'intersezione con l'autostrada A1, che ha comportato, innanzitutto, la raccolta dei dati disponibili, quali, in particolare, studi geologici a scala comunale e provinciale, stratigrafie d'indagini geognostiche e carte tematiche (cfr. paragrafo 1.2), ed ha previsto inoltre l'acquisizione di nuove informazioni tramite un rilevamento di campagna, con analisi diretta delle litologie affioranti e di quelle messe a giorno dagli scavi.

I risultati di tale studio sono stati riportati, alla scala 1:5.000, nella Tav. 1 - Carta geolitologica con ubicazione indagini.

Esse rappresentano la distribuzione areale dei depositi del primo sottosuolo, fino a -2 m da piano campagna.

Per distinguere adeguatamente i terreni caratterizzanti il territorio comunale di Campogalliano, sono state individuate cinque classi, in grado di fornire una classificazione relativa alla situazione litologica superficiale, in accordo con la suddivisione in ambienti deposizionali e la situazione morfologica del territorio

L'attribuzione di ogni area ad una specifica classe è stata basata sul criterio della prevalenza tessiturale nell'ambito della verticale indagata.


I limiti tra le diverse classi sono stati tracciati a seguito di un'analisi di carattere morfologico e geologico che ha consentito di valutare i processi evolutivi responsabili dalla distribuzione spaziale delle singole unità litologiche.

Di seguito, vengono sinteticamente descritte le cinque classi individuate.

2.2.1 Depositi prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi

Ricadono in questa classe i depositi di conoide, costituiti da ghiaie e sabbie in corpi canalizzati e lenticolari amalgamati, intercalati a sabbie limose, in strati di spessore decimetrico.

Tali depositi sono stati cartografati solo nella porzione più meridionale del territorio in esame.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	13 di 56

2.2.2 Depositi prevalentemente sabbiosi, talora sabbioso limosi

Si tratta di depositi tipici dell'ambiente deposizionale di canale e argine prossimale, costituiti, prevalentemente, da sabbie medie e fini, organizzate in strati di spessore decimetrico, intercalate a sabbie fini e finissime limose; subordinatamente, sono presenti limi argillosi. Localmente si trovano anche sabbie medie e grossolane, in corpi lenticolari e nastriformi.

2.2.3 Depositi prevalentemente limosi, talora limoso sabbiosi

Si presentano come alternanze di sabbie finissime, spesso limose, limi, limi-sabbiosi e limi-argillosi, intercalate in strati di spessore decimetrico.

Sono depositi collocati in corrispondenza degli argini fluviali distali: le condizioni che ne causano la sedimentazione sono legate ad una diminuzione dell'energia di trasporto delle acque, tale da determinare la sedimentazione della frazione limosa, dopo che la frazione sabbiosa, più grossolana, è stata già depositata.


2.2.4 Depositi prevalentemente argillosi e limosi

Appartengono a questa classe i sedimenti di area interfluviale, ubicati nelle aree depresse della piana inondabile, interposte ai depositi di argine. Questi si sedimentano in condizioni di "stanca" quando l'energia del fiume che esonda è quasi totalmente esaurita e l'ultima frazione granulometrica che ancora viene portata in sospensione è quella più fine, argillosa.

Dunque, si tratta di argille, argille limose e limi argillosi laminati, deposti in strati medi e spessi, con rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie limose, in strati da molto sottili a medi.

2.2.5 Depositi prevalentemente argillosi o limosi con elevati tenori di sostanza organica, torbe

Sono depositi con caratteristiche tessiturali analoghe a quelle della classe precedente ma in cui sono presenti anche livelli di argille e limi ricchi in sostanza organica, prevalentemente decomposta, tipici dell'ambiente di palude.

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	14 di 56

3 GEOMORFOLOGIA

3.1 Quadro geomorfologico di riferimento

Il territorio oggetto di studio ricade all'interno della bassa pianura padana, in un contesto territoriale in cui il paesaggio, dal punto di vista morfologico, è caratterizzato dalla presenza di forme poco evidenti con quote comprese tra circa 32 m s.l.m., sul confine settentrionale con il comune di Carpi e circa 40 m s.l.m. nella porzione meridionale, in corrispondenza del confine con il comune di Modena.

Nel complesso il territorio si presenta come una pianura monotona. Le morfologie naturali, che in zona si sviluppano a piccola scala, conferiscono all'area un aspetto molto debolmente ondulato, movimentato da forme allungate talora convesse e talora concave.

Gli agenti morfogenetici che hanno svolto un ruolo predominante nel modellamento della pianura sono i corsi d'acqua: quelli appenninici, che l'attraversano in senso SW-NE, e il fiume Po, che presenta direzione est-ovest.

Altri elementi molto importanti nel modellamento del territorio sono le strutture tettoniche. Infatti, come già descritto nel paragrafo 2.1, questa regione, risulta estremamente attiva dal punto di vista tettonico (cfr. Dorsale Ferrarese); attività che ha fortemente condizionato la dinamica fluviale quaternaria.


Sempre sotto il profilo morfologico l'area in esame è da considerarsi integralmente antropizzata. Infatti, nei secoli, la comunità umana ha compiuto continue modifiche al territorio per renderlo compatibile all'insediamento e all'utilizzo agricolo.

L'aspetto più evidente di tale attività è la suddivisione del territorio attraverso una rete di collettori artificiali, pressoché ortogonali tra di loro, che consentono a periodi alterni lo scolo e la distribuzione irrigua delle acque. Questa rete, in relazione al prevalere di depositi superficiali a bassa permeabilità e alla morfologia pianeggiante della zona, risulta essere molto sviluppata.

Esigenze antropiche hanno portato all'edificazione di argini artificiali a fianco dei corsi d'acqua e dei principali canali presenti sul territorio comunale. Detti argini, per le aree di pianura extragolenali, hanno provocato una sorta di congelamento dello stato di fatto morfologico antecedente la loro realizzazione (con eccezione di quanto possa derivare dall'attività antropica), mentre l'attività morfodinamica fluviale resta attiva all'interno delle golene.

Le diverse forme naturali rilevate nel territorio in esame appaiono strettamente correlate alle caratteristiche litologiche dei depositi che le costituiscono; tanto che, si può parlare di vere e proprie unità morfolitologiche.

Le tracce di argini prossimali e di ventagli di rotta dei percorsi fluviali, attuali e antichi, sono associabili ai depositi più grossolani, prevalentemente sabbiosi. Allontanandosi da essi si

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	15 di 56

individuano sedimenti sempre più fini: a dominanza limosa, in corrispondenza degli argini distali, e argillosa nelle aree interfluviali.

3.2 Carta geomorfologica

Le caratteristiche geomorfologiche individuate per il territorio in esame sono riportate, congiuntamente alle informazioni relative all'idrografia superficiale, nella Carta geomorfologica di Tav. 2, redatta alla scala 1:5.000.

In tali carte è stato rappresentato, innanzitutto l'andamento delle isoipse, distinguendo, quelle principali, con equidistanza di 5 m, da quelle secondarie, con equidistanza di 1 m, e che evidenziano un generale, debole gradiente topografico verso nord, dell'ordine dell'1‰.

Quindi, sono stati riportati i principali elementi idrografici e morfologici identificati, che vengono elencati nei seguenti paragrafi, rispettando la suddivisione adottata nella legenda della Carta geomorfologica.

3.2.1 Elementi morfologici naturali

3.2.1.1 Asse di dosso fluviale

Grazie all'analisi delle carte altimetriche, della documentazione pregressa e dei sopralluoghi di campagna, è stato possibile individuare la presenza dei dossi fluviali.


In carta, le curve di livello, in corrispondenza dei dossi descrivono forme convesse e allungate, delimitate da zone a maggiore pendenza della superficie topografica, in cui le isoipse si ravvicinano. In campagna sono visibili solo quelli più pronunciati che contrastano con il paesaggio circostante, presentandosi come degli "alti" morfologici.

Negli elaborati redatti a corredo del presente studio, per evitare sovrapposizioni di tematismi e rendere più agevole la consultazione degli stessi elaborati, si è optato per rappresentare non l'intero dosso, ma solo il suo asse.

3.2.1.2 Orlo di terrazzo alluvionale

Nel territorio comunale compare una scarpata d'erosione fluviale, in sponda sinistra del fiume Secchia.

Questa rappresenta il limite tra il terrazzo delle alluvioni antiche e la valle in cui scorre attualmente il corso d'acqua.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	16 di 56

3.2.2 Idrografia

Quali elementi idrografici sono stati distinti:

3.2.2.1 Fiume Secchia

E' l'unico corso d'acqua naturale che interessa la zona in esame.

Il suo corso lambisce il territorio comunale nella porzione sud orientale, per poi spostarsi più ad est, fuori dal confine comunale.


3.2.2.2 Corso d'acqua principale

In questa classe sono stati accorpate tutti gli elementi idrografici lineari principali, con eccezione del fiume Secchia già visto nel paragrafo precedente.

Si tratta di una fitta rete di canali, quasi sempre, artificiali, realizzati per assicurare ai terreni agricoli un sufficiente e regolare drenaggio durante i periodi piovosi e un adeguato apporto idrico durante i mesi asciutti.

3.2.2.3 Lago di cava

Nella Carta geomorfologica, sono state rappresentate le aree in cui l'attività estrattiva ha intercettato la falda freatica, che in zona presenta una soggiacenza particolarmente bassa, portando alla formazione di laghetti.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	17 di 56

4 IDROGEOLOGIA

4.1 Inquadramento idrogeologico

In "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna", (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998 – RIS d'ora in poi) viene presentata per la prima volta a scala dell'intera regione una stratigrafia dei depositi quaternari continentali e marino marginali presenti nel margine appenninico e nel sottosuolo padano, che inquadra questi depositi nel quadro evolutivo del sollevamento della catena appenninica e del simultaneo riempimento del bacino padano - adriatico.


Lo studio è stato condotto attraverso l'analisi dei dati della sismica industriale di ENI-AGIP, tarati con le stratigrafie dei pozzi per idrocarburi e dei pozzi per acqua più profondi tra quelli disponibili nella banca dati geognostici del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

Come già indicato nel paragrafo 2.1, nell'inquadramento stratigrafico proposto tutti i depositi quaternari marini affioranti e sepolti presenti nella Regione Emilia-Romagna sono inseriti nel "Supersistema del Quaternario marino", e tutti i depositi continentali affioranti e sepolti vengono inseriti nel "Supersistema emiliano-romagnolo"; quest'ultimo è suddiviso in due unità denominate "Sistema emiliano-romagnolo inferiore" e "Sistema emiliano-romagnolo superiore".

Dette unità sono separate tra loro da superfici di discontinuità stratigrafica, che sui principali fronti di accavallamento della catena corrispondono a discordanze angolari osservabili sia in affioramento (sul margine appenninico) che in sismica (sul margine appenninico, e sui fronti della catena sepolta); i limiti tra le unità corrispondono quindi a fasi di attivazione tettonica.

A queste unità stratigrafiche corrispondono altrettante unità idrostratigrafiche che vengono utilizzate per lo studio del sottosuolo; le corrispondenze tra le unità sono le seguenti (cfr. Fig. 6):

- il "Supersistema del Quaternario marino" corrisponde al "Gruppo acquifero C";
- il "Sistema emiliano-romagnolo inferiore" corrisponde al "Gruppo acquifero B";
- il "Sistema emiliano-romagnolo superiore" corrisponde al "Gruppo acquifero A".

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	18 di 56

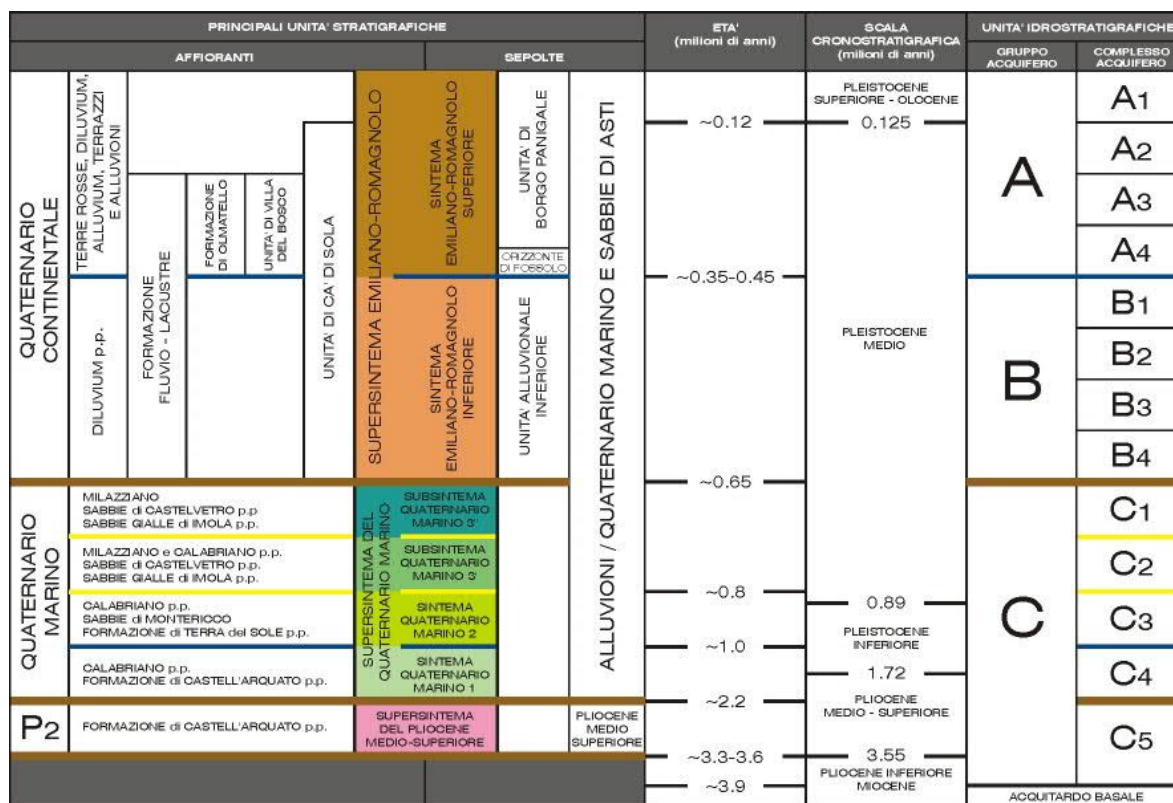


FIG. 6 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO E IDROSTRATIGRAFICO (R.E.R., ENI-AGIP 1998)

Grazie alla gran mole di dati sismici messi a disposizione, in RIS è stato possibile mappare in scala 1.250.000 in tutta la pianura emiliano - romagnola la profondità del limite basale dei tre gruppi acquiferi.

Le carte mostrano come gli andamenti dei limiti basali delle tre unità siano chiaramente influenzati dai principali fronti di accavallamento della catena sepolta, e come, conseguentemente, lo spessore delle unità sia maggiore nelle sinclinali e minore sulle anticlinali. Lo spessore di ciascuno dei gruppi acquiferi è generalmente dell'ordine di alcune centinaia di metri.

Al di sopra dei limiti basali delle unità idrostratigrafiche sopra descritte si individuano dei potenti intervalli argilloso - limosi spessi sino ad alcune decine di metri, caratterizzati da geometria tabulare e da una continuità laterale di estensione regionale, che può essere interrotta solamente nelle zone di alto strutturale.

Questi corpi fini costituiscono delle barriere di permeabilità (acquitardo o acquicludo) realmente continue e fanno sì che i tre gruppi acquiferi siano tra loro isolati idraulicamente, e che

pertanto il flusso idrico rimanga confinato all'interno della medesima unità, ad esclusione delle zone in cui avviene la ricarica diretta dei gruppi acquiferi di cui si dirà più oltre.

In RIS viene anche illustrata attraverso alcune sezioni geologiche l'architettura interna dei tre gruppi acquiferi. Ciascuno di essi è articolato secondo una organizzazione ciclica dei depositi molto marcata; sulla base di questa ciclicità è stato possibile suddividere ciascuno dei gruppi acquiferi in complessi acquiferi.

Sono stati distinti 4 complessi acquiferi nei gruppi acquiferi A e B, e 5 complessi acquiferi nel gruppo acquifero C.

I complessi acquiferi vengono denominati con un numero progressivo dall'alto stratigrafico verso il basso, posto dopo il nome del gruppo acquifero (ovvero A1, A2, A3, ...).


In generale si osserva che ogni complesso acquifero è costituito da una porzione inferiore prevalentemente fine seguita da una superiore prevalentemente grossolana; lo spessore di ogni complesso acquifero è dell'ordine di alcune decine di metri. All'interno di ogni complesso acquifero la porzione grossolana viene denominata sistema acquifero, la porzione fine sistema acquitardo. Questi livelli a bassa permeabilità (acquitardi o acquicludi) causano una ulteriore compartimentazione all'interno dei tre gruppi acquiferi e fanno sì che i diversi complessi acquiferi siano tra loro isolati idraulicamente, ad esclusione delle zone in cui avviene la ricarica diretta di queste unità.

Dal punto di vista genetico, la ciclicità espressa dai complessi acquiferi viene messa in relazione ad eventi climatici che causano l'alternarsi di attivazioni e disattivazioni dei sistemi fluviali e deltizi.

I lavori svolti nell'ambito della realizzazione della Carta Geologica di Pianura, hanno permesso di dettagliare ulteriormente la stratigrafia proposta in RIS. In particolare si è distinta una unità pellicolare denominata A0, posta superiormente ad A1; questa unità corrisponde a depositi di età pleistocenica terminale ed olocenica, sedimentatisi dopo l'ultima glaciazione.

L'unità A0 comprende quindi i depositi presenti nel primo sottosuolo della pianura, nonché gran parte di quelli affioranti.

Le porzioni grossolane di A0 sono costituite da corpi non molto estesi, volumetricamente poco rilevanti, e, quando non sono amalgamate a depositi permeabili dell'unità A1, costituiscono degli acquiferi sfruttati esclusivamente a fini domestici. Ciò si verifica in un'ampia zona della pianura emiliana, interposta tra le conoidi appenniniche e i complessi acquiferi di pertinenza padana, di ampiezza sempre maggiore spostandosi da ovest verso est (cartografata, cautelativamente, considerando amalgamati anche corpi permeabili separati tra loro da uno spessore di argilla potente sino a due metri circa).

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	20 di 56

Alla luce di quanto sopra detto l'intero acquifero regionale è pertanto costituito da un complesso sistema multifalda, caratterizzato dalla gerarchizzazione degli acquiferi e degli acquitardi descritta. Tutte le falde presenti sono in condizioni confinate, ad esclusione delle zone in cui avviene la ricarica diretta degli acquiferi.


Questo inquadramento strutturale sostituisce il modello di acquifero che considerava i livelli impermeabili presenti nel sistema come non continui, e pertanto l'intera pianura emiliano-romagnola veniva assimilata ad un acquifero monostrato con un'unica falda in continuità, libera, parzialmente confinata o in pressione procedendo da ovest verso est.

4.2 Struttura degli acquiferi

In Fig. 7 di seguito, viene riportato lo stralcio della ricostruzione idrostratigrafica denominata Sezione 26, effettuata da Regione Emilia-Romagna e da Eni-Agip, consultabile sul sito del Servizio Geologico Regionale. Da tale sezione, più rappresentativa e prossima al territorio comunale di Campogalliano, si osserva che l'assetto è fortemente condizionato dalle strutture tettoniche presenti in zona.

In particolare, la dorsale ferrarese provoca un forte assottigliamento dello spessore degli acquiferi. Infatti la profondità della base del gruppo acquifero A (in color marrone), che nelle zone circostanti raggiunge i 250 m circa di profondità dal p.c., in corrispondenza dell'asse della dorsale è inferiore ai 100 m (70÷80 m circa); mentre, gli acquiferi sottostanti risultano completamente erosi.

Un altro aspetto molto evidente, soprattutto se si osserva il primo sottosuolo, fino a un centinaio di metri di profondità, è che, nel settore più a nord, la percentuale di strati permeabili è molto alta, mentre, nella media pianura essi tendono ad assottigliarsi, formando lenti di limitato spessore senza continuità laterale. Ancora più a sud, all'estremità meridionale dell'area d'interesse gli acquiferi hanno sede in corpi ghiaiosi, separati da interstrati fini, che rappresentano le diramazioni più avanzate delle conoidi appenniniche.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	21 di 56

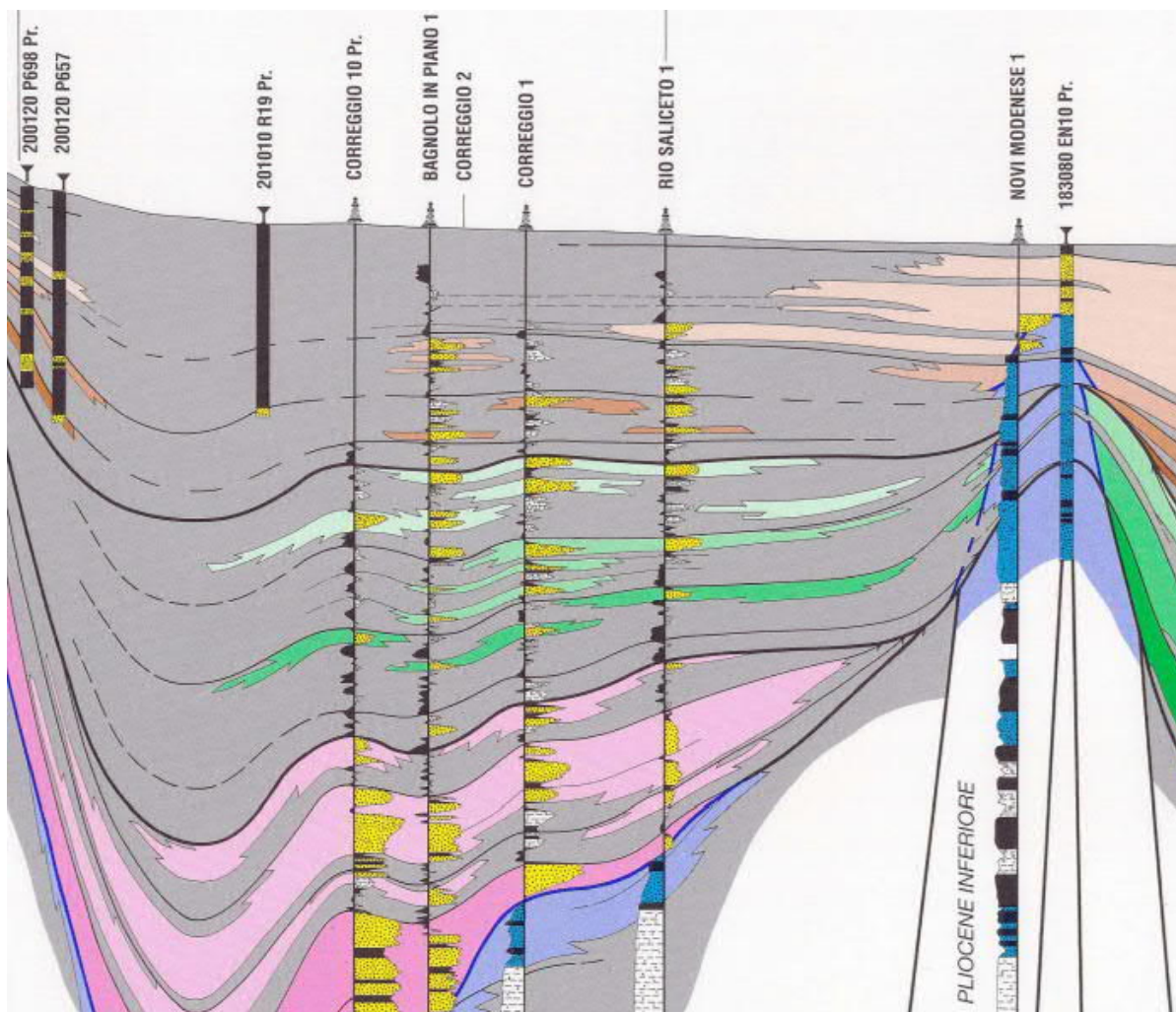



FIG. 7 – STRALCIO DELLA SEZIONE IDROSTRATIGRAFICA N. 26 (TRATTO DAL SITO SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA)

Più in dettaglio, il quadro idrostratigrafico in corrispondenza del territorio in esame, può essere desunto dalle caratteristiche litologiche dei terreni (criterio idrolitologico), rappresentato in L'associazione dei valori numerici alle classi litologiche si basa sul confronto con terreni consimili a permeabilità nota. A riguardo, in Fig. 8 è riportata la tabella che definisce i valori ed i limiti convenzionali fra granulometria, tipo di formazione e grado di permeabilità, utilizzata anche nel presente studio per definire la conducibilità idraulica dei depositi rilevati.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	22 di 56

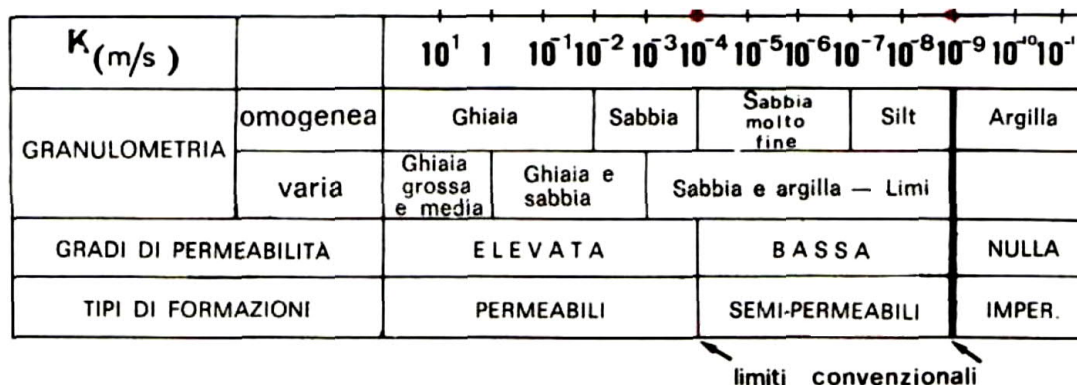


FIG. 8 – VALORI DEL COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ (DA CASTANY, 1982)

In estrema sintesi, dalla lettura della Sezione litostratimetrica si evince che, nel territorio in esame, dominano i depositi a permeabilità da bassa a nulla.

In quest'area, le falde hanno sede nei piccoli corpi acquiferi lentiformi, mentre nei terreni che li circondano, l'acqua si infiltra con tempi estremamente lunghi.

Solo nel settore più meridionale del territorio comunale sono presenti lenti ad elevata conducibilità idraulica, riconducibili a diramazioni più avanzate della conoide del fiume Secchia. Tav. 3 e descritte nel paragrafo 2.2.

4.3 Permeabilità dei depositi superficiali

La determinazione della permeabilità dei depositi superficiali fornisce le informazioni necessarie alla quantificazione dei meccanismi di ricarica legati all'infiltrazione delle acque meteoriche, nonché alla valutazione del grado di protezione degli acquiferi superficiali.

Tale tematismo è stato raffigurato nella Carta idrogeologica di cui all'elaborato di Tav. 3, redatta con criterio idrolitologico come anticipato in precedenza, cioè, attribuendo alle classi litologiche definite nella Carta geolitologica con ubicazione indagini (cfr. elaborato Tav. 1) un determinato valore di conducibilità idraulica.

Sono, così, state definite le 4 classi di permeabilità di seguito descritte:

4.3.1 Depositi a elevata permeabilità

A tale classe sono stati attribuiti i "Depositi prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi", di conoide, presenti solo nel settore più meridionale del territorio in esame.

Questi sedimenti sono associati a un'alta permeabilità, con coefficiente k maggiore di 10^{-4} m/sec.

4.3.2 Depositi a permeabilità da elevata a bassa

Si tratta di "Depositi prevalentemente sabbiosi, talora sabbioso limosi", il cui valore di permeabilità è strettamente legato alla percentuale di matrice fine che, intasando i vuoti presenti tra gli elementi grossolani, determina una netta diminuzione della conducibilità idraulica e una notevole variabilità, sia in senso orizzontale che verticale.

4.3.3 Depositi a bassa permeabilità

Appartengono a questa classe i "Depositi prevalentemente limosi, talora limoso sabbiosi", legati alla sedimentazione del carico solido di correnti con scarsa competenza, caratterizzati da una permeabilità bassa con coefficiente k minore di 10^{-4} m/sec e maggiore di 10^{-9} m/sec.

Questi terreni, generalmente, presentano un differente grado di permeabilità sia in senso orizzontale che verticale in relazione alla variabilità del rapporto sabbia/limo e alla presenza di sottili intercalazioni argillose.

In superficie le caratteristiche di permeabilità possono essere alterate: ad esempio, la conducibilità idraulica può aumentare in seguito al rimaneggiamento dovuto alle normali pratiche agricole. Dal punto di vista idrogeologico sono comunque sede di una infiltrazione lenta.


4.3.4 Depositi a permeabilità da bassa a nulla

A questa classe appartengono "Depositi prevalentemente argillosi e limosi" e i "Depositi prevalentemente argillosi o limosi con elevati tenori di sostanza organica, torbe" che, in relazione alla granulometria fine o estremamente fine, determinano valori del coefficiente di permeabilità k inferiori $1 \cdot 10^{-7}$ m/sec, se non a $1 \cdot 10^{-9}$ m/sec e porosità totale elevata (caso in cui possono immagazzinare notevoli quantità di acqua anche se la circolazione al loro interno è pressoché assente).

La conducibilità idraulica può aumentare, in prossimità della superficie topografica, in conseguenza della fessurazione per essiccamento, frequente nei periodi più aridi. Elemento significativo in questi tipo di depositi è la risalita capillare, che fa sì che questi terreni, anche in assenza di falda possono risultare pressoché saturi.

4.4 Dinamica delle acque sotterranee

Alla luce del quadro idrostratigrafico precedentemente illustrato, per la descrizione della dinamica delle acque sotterranee bisogna distinguere tra la circolazione che avviene nei terreni più superficiali (appartenenti al complesso acquifero A0) e quella relativa gli orizzonti sabbiosi depositati dal fiume Po (appartenenti al complesso acquifero A1).

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	24 di 56

Come indicato nel paragrafo Tav. 1, il primo sottosuolo dell'area oggetto di studio è dominato da depositi prevalentemente fini, a litologia limosa e/o argillosa, caratterizzati da bassi valori di permeabilità. Solo, localmente, sono presenti lenti costituite da materiali, più grossolani, con abbondanti percentuali di sabbie e ghiaie (quest'ultime limitatamente all'estremità meridionale del territorio indagato), e, quindi, più permeabili.

La circolazione idrica, ovviamente, risulta strettamente condizionata da tale assetto litostratimetrico: le falde hanno sede nei piccoli corpi acquiferi lentiformi, mentre, nei terreni che li circondano, l'acqua si infiltra con tempi estremamente lunghi.

Studi e misure effettuate su questi depositi, hanno evidenziato che le falde presentano una soggiacenza variabile, generalmente prossima al piano campagna. Essa risente fortemente di fenomeni locali, quali la presenza di corsi d'acqua superficiali, di emungimenti e delle caratteristiche di permeabilità dei terreni sovrastanti che condizionano i tempi di ricarica degli acquiferi.

Infatti, la ricarica di questi corpi lentiformi avviene per infiltrazione delle acque meteoriche superficiali o grazie a possibili comunicazioni con canali e fiumi, che si trovano nelle vicinanze.

Le escursioni stagionali del livello idrico possono essere molto ampie: in particolare, durante le stagioni caratterizzate da intensi fenomeni piovosi, la quota della falda può salire, in brevissimo tempo, fino a sfiorare il piano campagna. Per i serbatoi in prossimità di corsi d'acqua, si osservano fenomeni analoghi in corrispondenza di innalzamenti del livello dell'acqua all'interno dell'alveo.


L'alimentazione è da attribuire principalmente agli apporti idrici provenienti dalle falde che hanno sede nei corpi acquiferi del settore più occidentale della pianura, mentre, la ricarica per infiltrazione da parte delle acque superficiali, sia meteoriche che dei corsi d'acqua, risulta molto ridotta.

Osservazioni di serie storiche mostrano che la falda presenta un regime piezometrico di tipo unimodale, caratterizzato, normalmente, da un massimo primaverile (marzo-aprile) e un minimo a fine estate.

Le caratteristiche idrodinamiche del territorio in esame sono state rappresentate, nella Carta idrogeologica di Tav. 3.

In essa è stato, innanzitutto, raffigurato l'assetto della superficie della prima falda, mediante rappresentazione di curve isopieze ad ugual livello statico.

Per quanto riguarda la morfologia, si è fatto riferimento a quanto indicato in studi precedenti, in particolare quelli effettuati a supporto di piani territoriali (cfr. paragrafo 1.2); mentre, i livelli sono quelli relativi alla campagna di misure effettuata per lo studio a supporto del progetto definitivo della terza corsia dell'autostrada del Brennero A22 da Verona Nord all'innesto con l'A1, datata 12 giugno 2007.

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	25 di 56

Come si è potuto verificare nel corso di successive indagini, detto rilievo risulta significativo, in quanto, ha riguardato una situazione di alto piezometrico, anche se non può essere assunto come il massimo livello raggiungibile dalla falda.

L'andamento delle isopieze risulta in sostanziale accordo con le caratteristiche generali delle unità idrogeologiche: la direzione del flusso idrico sotterraneo, sempre ortogonale all'andamento delle stesse isopieze, presenta direzione prevalentemente verso nord/nord-est.


È stato individuato anche un asse di drenaggio e uno spartiacque sotterraneo, settori verso cui convergono o divergono le direzioni di flusso.

Il gradiente idraulico si mantiene generalmente su valori bassi, dell'ordine dell'1‰.

Nella Carta idrogeologica di cui all'elaborato Tav. 3 sono rappresentati anche i laghi di cava (aree in cui l'attività estrattiva ha intercettato la falda freatica).

Altre informazioni idrodinamiche interessanti sono raffigurate sulla Sezione litostratimetrica di Tav. 4. In tale elaborato sono, infatti, rappresentati tutti i piezometri a tubo aperto, con indicazione dei relativi tratti ciechi e fenestrati e del massimo livello raggiunto dalla falda. E' stata, inoltre, disegnata la linea d'involuppo di massima falda che rappresenta sempre i livelli più alti tra quelli indicati nello studio a supporto del progetto definitivo e i dati considerati nel presente approfondimento.

Dalla lettura di tali elaborati si evince che la soggiacenza, in tutto il territorio di Campogalliano in esame è modesta e i livelli idrici, in periodi di alto piezometrico, possono raggiungere quote prossime al piano campagna; fatto, del resto, dimostrato dalla presenza dei laghi di cava sopradescritti.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	26 di 56

5 INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE

Per ricostruire le caratteristiche litostratigrafiche dei terreni dell'area oggetto di studio, sono stati considerati i dati pregressi già citati nel paragrafo 1.2.

In particolare, va sottolineata la vasta mole di informazioni fornite dalle campagne geognostiche effettuate dopo la redazione del progetto definitivo della terza corsia dell'autostrada A22 da Verona Nord all'intersezione con l'A1.

Nei successivi paragrafi, sono descritte le varie tipologie di indagini di cui si sono potuti esaminare i risultati.

5.1 Sondaggi a carotaggio continuo

Per la conoscenza delle caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni presenti nel territorio comunale di Campogalliano, ci si è avvalsi delle informazione ottenute dai 15 sondaggi a carotaggio continuo.

In Tab. 1, per ciascun sondaggio sono riportati:

- codice
- quota in m s.l.m.
- progressiva chilometrica
- massima profondità raggiunta in m
- eventuale prova *down-hole* effettuata nel foro di sondaggio
- eventuale piezometro installato nel foro di sondaggio
- latitudine nel sistema WGS84 UTM zona 32 N
- longitudine nel sistema WGS84 UTM zona 32 N

Codice	Quota (m)	Progressiva (km)	Profondità (m)	Down Hole	Piezometro	Latitudine WGS84 UTM zona 32 N	Longitudine WGS84 UTM zona 32 N
MO-SC16-DH	36,0	308+503	55,00	X		4952202,43	646402,29
MO-SC17-PZ	36,0	308+514	55,00		X	4952186,35	646348,94
MO-SC18	36,3	309+019	25,00			4951671,77	646348,92
MO-SC19	36,3	309+044	22,00			4951652,15	646379,12
MO-SC20	36,3	309+102	15,00			4951590,46	646372,44
MO-SC21	41,1	312+030	35,00			4948699,30	646492,09
MO-SC22-DH	42,0	312+611	30,00	X		4948166,89	646291,84
MO-SC27	33,8	307+080	40,30			4953625,90	646172,72
MO-SC28	36,5	309+470	23,70			4951259,57	646521,37
MO-SC29-PZ	35,5	307+333	55,00		X	4953349,53	646167,05

Codice	Quota (m)	Progressiva (km)	Profondità (m)	Down Hole	Piezometro	Latitudine WGS84 UTM zona 32 N	Longitudine WGS84 UTM zona 32 N
MO-SC30-DH	35,1	307+347	55,00	X		4953350,83	646255,51
MO-SC31-DH	40,2	310+467	55,00	X		4950259,70	646682,36
MO-SC32-PZ	40,2	310+505	55,00		X	4950226,40	646617,66
MO-SC33-PZ	40,4	311+205	50,00		X	4949523,85	646609,23
MO-SC34-DH	40,9	311+207	50,00	X		4949529,62	646535,69

TAB. 1 – TABELLA RIEPILOGATIVA DEI SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO PREGRESSI

I report con le stratigrafie rilevate nel corso dei sondaggi e risultati delle prove in foro sono riportati nell'All. 1.

5.2 Trincee o pozzetti esplorativi

Per l'approfondimento delle conoscenze dei soli terreni più superficiali, sono stati utilizzati i dati ottenuti dall'esecuzione di 16 trincee esplorative, eseguite in corrispondenza della fascia di spartitraffico dell'autostrada A22 del Brennero nel territorio comunale di Campogalliano.

In Tab. 2 per ciascun saggio sono riportati:

- codice
- progressiva chilometrica
- massima profondità raggiunta in m
- latitudine nel sistema WGS84 UTM zona 32 N
- longitudine nel sistema WGS84 UTM zona 32 N

Codice	Progressiva (km)	Profondità (m)	Latitudine WGS84 UTM zona 32 N	Longitudine WGS84 UTM zona 32 N
MO-T30	305+700	2,3	4954990,74	646035,95
MO-T31	306+200	2,3	4954492,02	646042,02
MO-T32	306+700	2,4	4953999,52	646119,40
MO-T33	307+200	2,0	4953508,29	646213,98
MO-T34	307+700	2,3	4953016,02	646303,33
MO-T35	308+200	2,4	4952517,92	646358,33
MO-T36	308+700	2,4	4952020,13	646405,49
MO-T37	309+200	2,2	4951528,74	646481,87
MO-T38	309+700	2,0	4951038,75	646582,45
MO-T39	310+200	2,3	4950544,89	646668,88
MO-T40	310+700	2,3	4950041,98	646663,91
MO-T41	311+200	2,4	4949544,82	646600,44
MO-T42	311+700	2,2	4949047,89	646540,82

Codice	Progressiva (km)	Profondità (m)	Latitudine WGS84 UTM zona 32 N	Longitudine WGS84 UTM zona 32 N
MO-T43	312+200	2,2	4948565,54	646408,02
MO-T44	312+700	2,0	4948088,66	646243,71

TAB. 2- TABELLA RIEPILOGATIVA DELLE TRINCEE O POZZETTI ESPLORATIVI PREGRESSI

Le stratigrafie rilevate nel corso dei sondaggi sono riportate nel report di cui all'elaborato All. 5.

5.3 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica

Le prove penetrometriche statiche, o CPT (*Cone Penetration Test*), consistono nell'infissione all'interno del terreno, a velocità standardizzata costante, pari a $2 \text{ cm/s} \pm 0.5 \text{ cm/s}$, di una punta.

Per separare la resistenza alla punta da quella dovuta all'attrito lungo la batteria di aste, si agisce su una serie di aste interne ed indipendenti da quelle principali: esse agiscono direttamente solo sulla punta che può, così, penetrare di qualche centimetro prima di trascinare anche le aste esterne.

Abitualmente si fa uso della punta meccanica "di *Begemann*" (dal nome dell'ingegnere che l'ha progettata e realizzata), dotata di un manicotto cilindrico, posto sopra la punta stessa.

Anche le dimensioni della punta e del manicotto sono standardizzate, come di seguito elencato:


- diametro di base del cono $\phi = 35.7 \text{ mm}$
- area della punta conica $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- angolo apertura del cono $b = 60^\circ$

Spingendo sulle aste interne si fa penetrare dapprima la punta e si effettua la prima lettura; dopo circa 40 mm di penetrazione, viene agganciato anche il manicotto cilindrico e si misura pertanto la resistenza alla punta più quella dovuta all'attrito sul manicotto (seconda lettura). Per differenza si può ottenere, pertanto, anche il valore dell'attrito laterale (adesione terreno-acciaio). Infine spingendo sulle aste esterne, si ricompatta dapprima la punta precedentemente estesa (senza nessuna misura) e, insistendo, si può misurare lo sforzo totale necessario per far avanzare la punta, il manicotto e la batteria di aste esterne.

Nel territorio in esame sono stati utilizzati i dati di 2 prove CPT.

In Tab. 3, per ciascuna prova, sono riportati:

- codice
- quota in m s.l.m.
- progressiva chilometrica

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	29 di 56

- massima profondità raggiunta in m
- latitudine nel sistema WGS84 UTM zona 32 N
- longitudine nel sistema WGS84 UTM zona 32 N

Codice	Quota (m)	Progressiva (km)	Profondità (m)	Latitudine WGS84 UTM zona 32 N	Longitudine WGS84 UTM zona 32 N
MO-CPT6	32,5	305+850	8,80	4954825,48	645985,66
MO-CPT7	35,5	307+372	9,80	4953316,82	646207,09

TAB. 3– TABELLA RIEPILOGATIVA DELLE PROVE CPT PREGRESSE

I report con i risultati delle prove CPT sono riportati nell'All. 3.

5.4 Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono

Queste prove consistono nella misurazione della resistenza alla penetrazione di una punta elettrica dotata di piezocono, di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($V = 2 \text{ cm/s} \pm 0.5 \text{ cm/s}$). La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta, che agisce su una batteria di aste (aste cave con il cavo di trasmissione dati all'interno), alla cui estremità inferiore è collegata la punta con piezocono.

Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura estensimetrico collegato alla punta ed al manicotto dell'attrito laterale, e da un trasduttore di pressione per la misura della pressione interstiziale dei pori, cioè il carico idraulico istantaneo presente nell'intorno della punta, attraverso un setto poroso opportunamente saturato e disareato.

I dati delle resistenze alla punta, al manicotto laterale, della pressione dei pori e dell'inclinazione della punta vengono registrate su supporti magnetici e successivamente elaborati.

Per il territorio di Campogalliano, sono stati utilizzati i dati delle 10 prove CPTU pregresse.

In Tab. 4, per ciascuna prova, sono riportati:

- codice
- quota in m s.l.m.
- progressiva chilometrica
- massima profondità raggiunta in m
- latitudine nel sistema WGS84 UTM zona 32 N
- longitudine nel sistema WGS84 UTM zona 32 N

Codice	Quota (m)	Progressiva (km)	Profondità (m)	Latitudine WGS84 UTM zona 32 N	Longitudine WGS84 UTM zona 32 N
MO-CPTU13	36,0	308+484	45,00	4952216,01	646345,71
MO-CPTU14	36,0	308+503	43,50	4952204,83	646424,23
MO-CPTU15	35,5	307+339	27,96	4953342,31	646163,58
MO-CPTU16	35,1	307+340	29,94	4953358,59	646257,04
MO-CPTU19	40,2	310+455	43,88	4950271,74	646682,86
MO-CPTU20	40,2	310+517	43,30	4950214,68	646619,41
MO-CPTU21	40,4	311+193	32,86	4949535,90	646609,74
MO-CPTU22	40,9	311+195	39,22	4949541,67	646536,19
MO-CPTU23	41,0	311+729	30,00	4949010,37	646494,24
MO-CPTU24	41,8	312+312	10,94	4948183,21	646212,73

TAB. 4 – TABELLA RIEPILOGATIVA DELLE PROVE CPTU PREGRESSE

Analogamente a quanto fatto per le prove CPT, i report con le tabelle e i grafici dei valori di resistenza, rilevati nel corso delle prove CPTU, sono riportati nell'All. 2.

5.5 Indagini sismiche di tipo Down-Hole


Le indagini sismiche a cui si è fatto riferimento per il territorio di Campogalliano, sono caratterizzate dalle 5 indagini sismiche di tipo Down-Hole realizzate nel territorio di comunale lungo il tratto di autostrada A22 di seguito illustrate.

Le prove sismiche in foro di tipo Down-Hole vengono realizzate in fori di sondaggio appositamente predisposti, il tubo viene reso solidale con il terreno mediante cementazione con boiacca di cemento iniettato mediante pompa a bassa pressione, con l'uso di geofoni da pozzo di tipo tridimensionale ed opportuni sistemi di energizzazione.

Il metodo Down-Hole prevede la sorgente energetica in superficie ed i sensori all'interno del foro. Si adoperano geofoni particolarmente assemblati per essere calati e fissati a profondità via via crescenti contro la parete di un foro opportunamente condizionato; energizzando il terreno in superficie e misurando i tempi di arrivo del primo impulso ai geofoni, si ha la possibilità di determinare la velocità dei litotipi riscontrati nella perforazione ed i loro moduli elastici.

Gli impulsi sismici vengono originati con procedure specifiche in modo da generare, oltre alle onde di compressione (Onde P), anche onde a componente di taglio orizzontale (onde SH), essendo queste utilizzabili per la determinazione del Modulo dinamico G_0 , del Modulo di Young E, nonché la velocità delle onde di taglio Vs.

Nel primo caso sono generate prevalentemente onde di compressione (onde P) che si propagano in profondità e vengono registrate al meglio dal geofono verticale (asse z).

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	31 di 56

Nel secondo caso verranno generate prevalentemente onde di taglio (onde S) visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente (assi x e y).

Il sistema di ricezione, costituito da un geofono tridimensionale da foro ad ancoraggio elettromeccanico, viene calato nel foro, sino alla profondità massima di investigazione e progressivamente sollevato dell'interdistanza propria di ciascuna indagine (solitamente 1 m).

L'analisi interpretativa dei dati, prevede un sismogramma per le forme d'onda relative al geofono verticale (asse z) e in un altro sismogramma le forme d'onda relative ai geofoni orizzontali (assi x e y).

L'interpretazione dei dati così acquisiti consente di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde sia di pressione che di taglio in funzione della profondità. La velocità equivalente delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m sotto il piano di posa della fondazione (V_{S30}) è definita come:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i sono lo spessore e la velocità delle onde dello strato i-esimo entro i 30 m dalla fondazione.

In Tab. 5, per ciascuna prova, sono riportati le principali informazioni inerenti l'ubicazione, la quota e la profondità investigata:

Codice	Quota (m)	Progressiva (km)	Profondità (m)	Latitudine WGS84 UTM zona 32 N	Longitudine WGS84 UTM zona 32 N
MO-SC16-DH	36,0	308+503	55,00	4952202,43	646402,29
MO-SC22-DH	42,0	312+611	30,00	4948166,89	646291,84
MO-SC30-DH	35,1	307+347	55,00	4953350,83	646255,51
MO-SC31-DH	40,2	310+467	55,00	4950259,70	646682,36
MO-SC34-DH	40,9	311+207	50,00	4949529,62	646535,69

TAB. 5- TABELLA RIEPILOGATIVA DELLE PROVE DOWN-HOLE

I report con le tabelle e i grafici dei valori di V_s , rilevati nel corso delle prove Down-Hole, sono riportati nell'All. 4.

6 SEZIONI LITOSTRATIMETRICHE

Le indagini pregresse realizzate durante le attività di progetto della terza corsia dell'autostrada A22 del Brennero da Verona nord all'innesto con l'autostrada A1, hanno consentito di ricostruire l'assetto litostratimetrico del territorio comunale di Campogalliano, nell'area limitrofa al tratto di autostrada che lo attraversa.

In particolare, alla luce di quanto emerso nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo e delle prove penetrometriche, si è potuta redigere la sezione, in scala L=1:5.000 H=1:500, raffigurata nell'elaborato di Tav. 4.

In tali elaborati, le singole indagini sono state posizionate in relazione dell'ubicazione planimetrica fornita, determinandone la quota di inizio sulla base dei dati altimetrici al contorno.


Sotto ogni sezione sono rappresentate le distanze, progressive e parziali, e la quota del terreno sul livello del mare (s.l.m.).

Per ogni sondaggio sono indicati:

- il codice
- la profondità in m
- la quota assoluta di bocca foro in m s.l.m.
- l'ubicazione rispetto all'asse del tracciato con distanza espressa in m
- l'anno in cui è stato realizzato
- se è stato o meno traslato dalla posizione originale (ai fini di consentirne la lettura)
- l'eventuale effettuazione di campionamenti, indisturbati, rimaneggiati e/o di prove SPT
- il livello massimo raggiunto dalla falda
- se è stato attrezzato con un piezometro a tubo aperto, rappresentando il tratto fenestrato

Inoltre, è stata raffigurata la successione litostratimetrica incontrata, distinguendo le seguenti classi:

- R = materiale di riporto
- V = terreno vegetale
- C = ciottoli
- G = ghiaia
- S = sabbia
- L = limo
- A = argilla
- T = torba
- ASF = asfalto

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	33 di 56

- O = materiale organico

e seguenti condizioni di copresenza o alternanza:

- XY = deposito misto con parti uguali di X e di Y
- X-Y = deposito misto con X molto più abbondante di Y
- X/Y = alternanze paritetiche di X e Y

e rappresentando, sulla colonna stratigrafica, le profondità (in m) sia dei cambi litologici che dei multipli di 5 m.

Anche per le prove penetrometriche sono stati indicati:

- il codice
- la profondità in m
- la quota assoluta di bocca foro in m s.l.m.
- l'ubicazione rispetto all'asse del tracciato con distanza espressa in m
- l'anno in cui è stata realizzata
- se è stata o meno traslata dalla posizione originale (ai fini di consentirne la lettura)

Inoltre sono rappresentati i grafici, al variare della profondità, rispettivamente:


- del Rapporto di Begemann, R_p/R_I , per le prove penetrometriche statiche con punta meccanica
- del coefficiente di attrito, Fr (), e della pressione interstiziale dei pori, u (MPa), per le prove penetrometriche statiche con punta elettrica dotata piezocono

I dati delle indagini sono stati correlati nelle sezioni utilizzando 7 differenti classi di terreni:

1. Depositi prevalentemente ghiaiosi in matrice sabbiosa, ghiaie con sabbie
2. Depositi prevalentemente sabbioso ghiaiosi, sabbie con ghiaie e ciottoli
3. Depositi prevalentemente sabbiosi, talora sabbioso limosi
4. Depositi prevalentemente limosi o limoso sabbiosi
5. Depositi prevalentemente argillosi, argilloso limosi o limoso argillosi
6. Depositi prevalentemente argillosi o limosi con elevati tenori di sostanza organica, torbe
7. Rilevato autostradale esistente

Dalla lettura di questi elaborati si evince che la classe prevalente nel sottosuolo in esame, considerando uno spessore una cinquantina di metri, è quella dei "Depositi prevalentemente argillosi, argilloso limosi o limoso argillosi" che domina quasi tutta la porzione del territorio di Campogalliano in esame.


Infatti, le altre tipologie di depositi formano solo delle lenti di dimensioni variabili.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	34 di 56

Le lenti di “Depositi prevalentemente ghiaiosi in matrice sabbiosa, ghiaie con sabbie” e di “Depositi prevalentemente sabbioso ghiaiosi, sabbie con ghiaie e ciottoli” si rinvengono principalmente nel settore più meridionale a rappresentare le diramazioni più avanzate della conoide del fiume Secchia.

Per quanto riguarda i “Depositi prevalentemente limosi o limoso sabbiosi” un importante livello, spesso quasi 20 m, è stato rappresentato nella porzione centrale dell’area in esame.

Da segnalare sono anche le lenti di “Depositi prevalentemente argillosi o limosi con elevati tenori di sostanza organica, torbe”, dunque, con caratteristiche geotecniche scadenti, presenti nella porzione settentrionale del comune di Campogalliano, a profondità maggiori di 7 m da piano campagna.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	35 di 56

7 CARATTERISTICHE SISMOTETTONICHE

Ai fini della valutazione del rischio sismico di un'area, è fondamentale identificare le faglie attive.

Infatti, sebbene esistano strutture a scorrimento lento asismico (*faultcreep o tectoniccreep*), molte delle faglie attive sono considerate sorgenti sismiche, in quanto lo scorrimento istantaneo dei due lati delle stesse, che avviene allorché lo stress supera la resistenza delle rocce, genera il rilascio di onde elastiche che si propagano in tutte le direzioni. A tali faglie sismogenetiche è associato il maggior rischio.


Per la definizione di faglia attiva si fa normalmente riferimento alla possibilità che una faglia possa attivarsi in un intervallo di tempo futuro che interessa la nostra società. D'altra parte le faglie che hanno la maggiore probabilità di muoversi in un futuro prossimo sono da ricercarsi tra quelle che si sono mosse nelle fasi più recenti della storia geologica. Una delle definizioni più comunemente accettata è quella della *U.S Nuclear Regulatory Commission* (1982), che definisce attive le faglie che presentano un'attivazione negli ultimi 35.000 anni o almeno due negli ultimi 500.000 anni.

Un elenco delle sorgenti sismogenetiche e delle faglie potenzialmente attive e capaci è contenuto nel DISS 3.2.1 (si veda paragrafo 1.2.6 per riferimenti bibliografici), il database delle sorgenti sismogenetiche italiane, potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5.5 nell'area Italiana.

Con riferimento all'immagine di Fig. 9, le sorgenti sismogenetiche più significative al contorno del tratto emiliano dell'autostrada A22 sono:

- **ITCS049 –Campegine-Correggio**, con magnitudo massima attesa $M_w=5.5$;
- **ITCS051 – Carpi-Poggio Renatico**, con una magnitudo massima attesa $M_w=6.0$, a cui sono associate le faglie:
 - 78 – Mirandola;
 - 79 – Canalazzo di Finale Emilia;
 - 80 – Concordia.

Si noti però che nessuna porzione di territorio comunale ricade all'interno delle zone sismogenetiche indicate.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	36 di 56

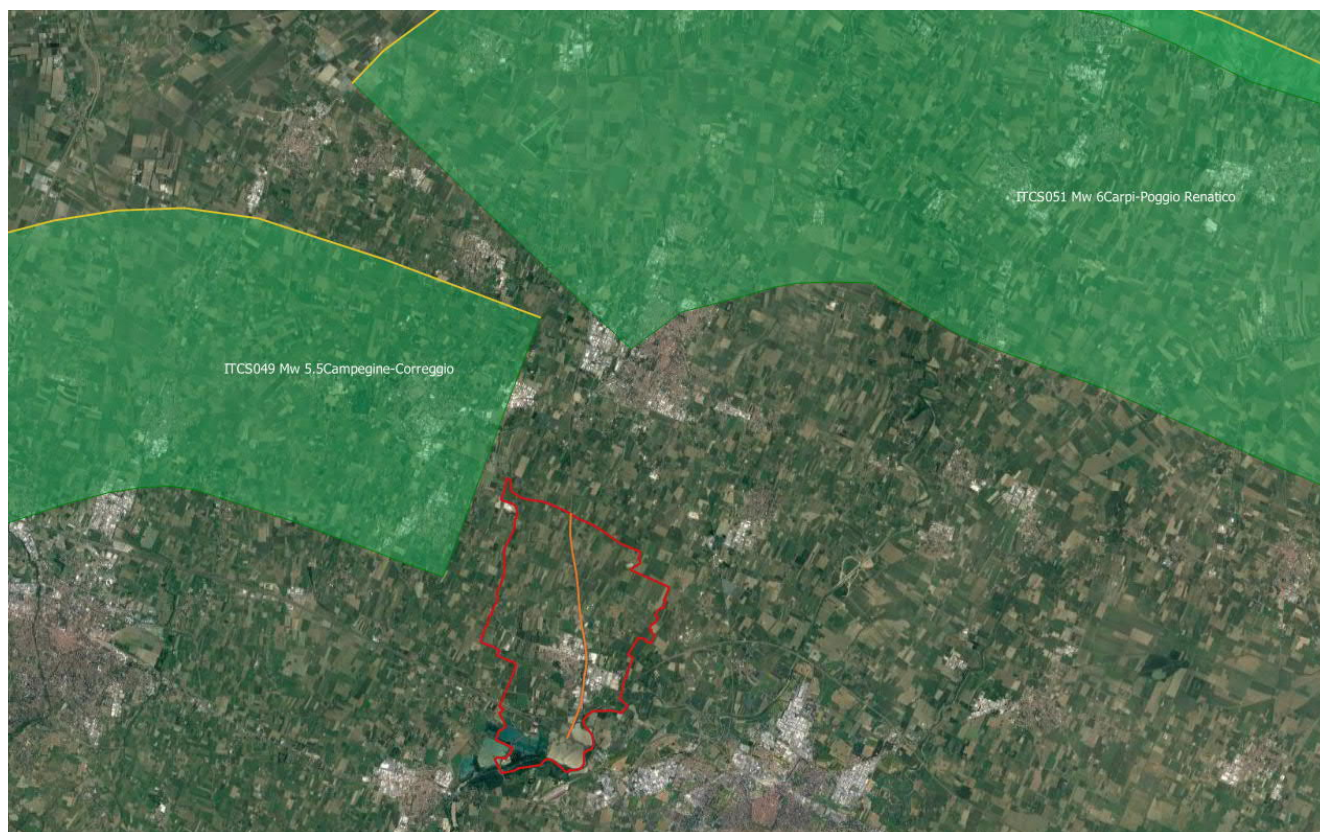



FIG. 9 - UBICAZIONE DELLE SORGENTI SISMOGENETICHE DEL DISS 3.2.1, IN ROSSO IL CONFINE COMUNALE DI CAMPOGALLIANO, MENTRE IN ARANCIO IL TRATTO AUTOSTRADALE ATTORNO AL QUALE SI CONCENTRA LO STUDIO

7.1 Sismicità del territorio

La storia sismica del Comune di Campogalliano (MO), è stata desunta dal Database Macrosismico Italiano, versione DBMI15, che fornisce un set di dati di intensità macrosismica nella finestra temporale 1000-2014, relativo a circa 20'000 località di cui 15'213 in territorio italiano.

Secondo quanto riportato in DBMI15 (si veda paragrafo 1.2.6 per riferimenti bibliografici), la storia sismica del comune è riassunta graficamente e in modo tabellare nelle immagini riportate nei paragrafi successivi, in cui sono elencati gli eventi di maggiore intensità, indicando per ciascuno di essi, oltre agli effetti provocati al sito, espressi come I (MCS), la data e l'ora in cui si è verificato, il numero di località in cui è stato registrato l'evento (Np), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

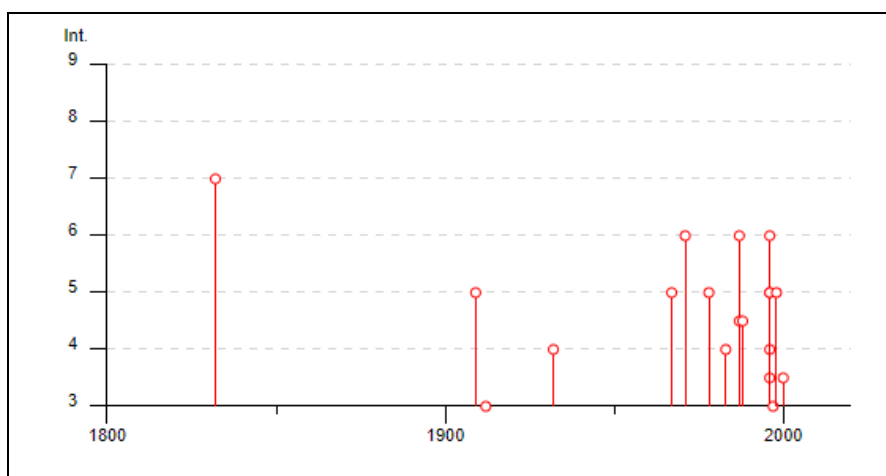
Dalla lettura di Fig. 10 e relativa tabella si deduce che, tra quelli censiti nel DBMI15, ci sono 26 eventi sismici il cui effetto è stato sentito nel territorio comunale di Campogalliano, di questi si

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	37 di 56

segnalano 3 eventi sismici che hanno avuto un risentimento significativo a sul territorio comunale, con effetti pari al VI e VII grado della scala MCS:

- il primo verificatosi il 13/03/1832, con epicentro nel reggiano e caratterizzato da una magnitudo calcolata sulle onde di superficie (Mw) pari a 5.51;
- il secondo verificatosi il 15/07/1971, con epicentro nel parmense e caratterizzato da una magnitudo massima calcolata sulle onde di superficie (Mw) pari a 5.51;
- il terzo verificatosi il 15/10/1996 con epicentro nella pianura emiliana e caratterizzato da una magnitudo massima calcolata sulle onde di superficie (Mw) pari a 5.38.

Tuttavia, si evidenzia che mancano informazioni relative a questa località nel periodo antecedente al 1832. Inoltre, nonostante il database sia aggiornato all'anno 2015, non è riportato l'evento sismico del 20 maggio 2012, con epicentro nella Bassa modenese, in occasione del quale è stata registrata una magnitudo pari a 5.9 della scala Richter. Di tale sisma si riportano ulteriori informazioni nel paragrafo 7.1.1.



Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7	1832	03	13	03	30		Reggiano	97	7-8	5.51
5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
3	1912	09	12	21	15		Carpi	13	4	3.76
4	1932	07	13	03	42		Reggiano	8	4-5	3.86
5	1967	04	03	16	36	1	Reggiano	45	5	4.44
6	1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8	5.51
5	1978	12	25	22	53	4	Bassa modenese	28	5	4.39
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
4-5	1987	04	24	02	30	2	Reggiano	54	6	4.64
6	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
NF	1987	05	08	11	10	2	Bassa modenese	24	6	4.44
4-5	1988	03	15	12	03	1	Reggiano	160	6	4.57
NF	1992	04	17	11	59	0	Appennino bolognese	56	4-5	4.11
NF	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
6	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
5	1996	10	26	04	56	5	Pianura emiliana	63	5-6	3.94
4	1996	10	26	06	50	2	Pianura emiliana	35	5-6	3.63
3-4	1996	11	25	19	47	5	Pianura emiliana	65	5-6	4.29
5	1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
3	1997	05	12	22	13	5	Pianura emiliana	56	4-5	3.68
5	1998	02	21	02	21	1	Pianura emiliana	104	5	3.93
3-4	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23
NF	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciaorta	768	5	4.21

FIG. 10 - EVENTI SISMICI DI MAGGIOR INTERESSE REGISTRATI NEL COMUNE DI CAMPOGALLIANO

7.1.1 Sisma di Mirandola, maggio 2012

Tra i sismi che hanno fatto risentire i propri effetti nel territorio comunale in oggetto, si segnala il terremoto verificatosi il 20 maggio 2012 alle ore 4.03, con epicentro Mirandola (MO), in occasione del quale è stata registrata una magnitudo pari a 5.9 della scala Richter.

Tale sisma è stato seguito da numerosissime altre scosse, (1437 fino al 4 giugno - Fonte INGV) di cui 6 di magnitudo superiore a 5. In Fig. 11 è riportata la distribuzione temporale delle scosse sismiche nel periodo compreso tra il 20 maggio ed il 4 giugno 2012 e la relativa intensità.

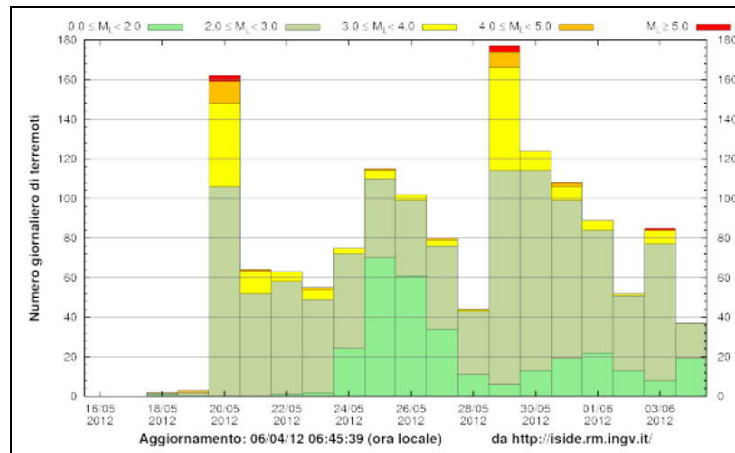


FIG. 11 – SEQUENZA SISMICA DAL 20 MAGGIO AL 4 GIUGNO 2012

In Fig. 12 è riportata la distribuzione spaziale dei sismi con magnitudo maggiore di 4. Come si può notare dalla figura, la profondità degli ipocentri è quasi sempre superficiale (5-10 Km).

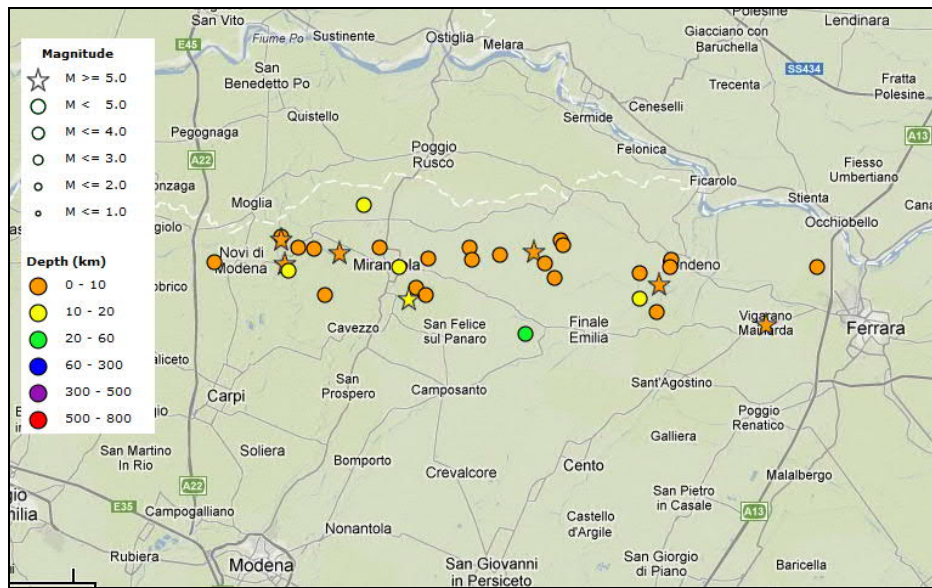


FIG. 12 – DISTRIBUZIONE DEGLI EPICENTRI DEI SISMI CON MAGNITUDO > 4 (DA HTTP://ISIDE.RM.INGV.IT)

L'elaborazione dei dati della rete sismica nazionale ha consentito ad INGV di verificare che il sisma è legato ad un meccanismo di tipo compressivo, con direzione di massima compressione nord-sud. Tale meccanismo è compatibile con la "struttura di Mirandola", faglia già valutata come potenziale sorgente sismogenetica, con magnitudo massima attesa pari a 5.9 della scala Richter.

In effetti il sisma, secondo le interpretazioni di INGV, è imputabile proprio al movimento della faglia di Mirandola, associata al sistema delle Pieghe Ferraresi, di cui si è già trattato nel paragrafo 2.1.

In Fig. 13 è rappresentata una sezione schematica delle strutture sismogenetiche che hanno generato il terremoto.

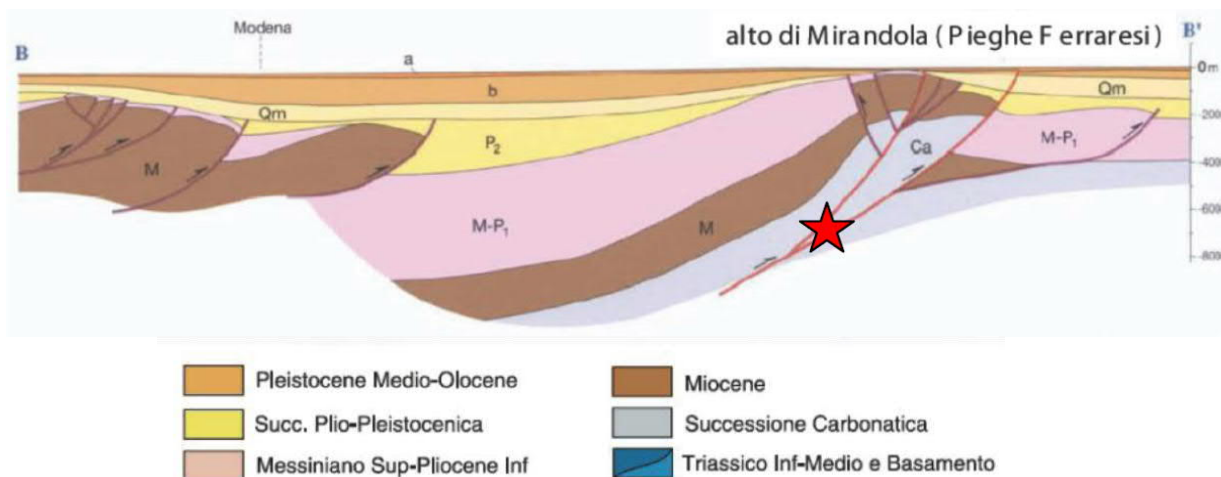



FIG. 13 - SCHEMA DELLE STRUTTURE SISMOGENETICHE (LA STELLA INDICA LA PROBABILE UBICAZIONE DELL'IPOCENTRO) – DA INGV – RELAZIONE SUL TERREMOTO DEL 20 MAGGIO 2012

L'evento di magnitudo $M_w=5.9$ del 20/05/2012 è stato risentito in tutto il nord-Italia e le *shakemap* calcolate subito dopo l'evento confermano queste osservazioni. In particolare, nella zona epicentrale le accelerazioni massime (PGA) sono state stimate fino a 0.3g, ossia il 30% dell'accelerazione di gravità. Analoga accelerazione è stata calcolata per il sisma del 29/05/2012, che ha presentato una magnitudo pari a 5.8 della scala Richter.

Questi valori sono tuttavia stimati in quanto non vi sono dati da stazioni sismiche poste all'epicentro stesso o negli immediati paraggi per cui sono da ritenersi solo indicativi.

La stazione di registrazione più vicina (appartenente alla Rete Accelerometrica Nazionale), ubicata a Mirandola (MRN), si trova ad una distanza di 13.3 km dall'epicentro dell'evento più significativo (20 maggio).

Il picco massimo d'accelerazione registrato, in occasione dell'evento più forte (IA) è di 0.309 g, e, come mostrato in Fig. 14, corrisponde alla componente verticale (UP-DOWN). Inferiori risultano i picchi corrispondenti alle due componenti orizzontali (0.264 in direzione SUD-NORD e 0.261 in direzione OVEST-EST).

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	41 di 56

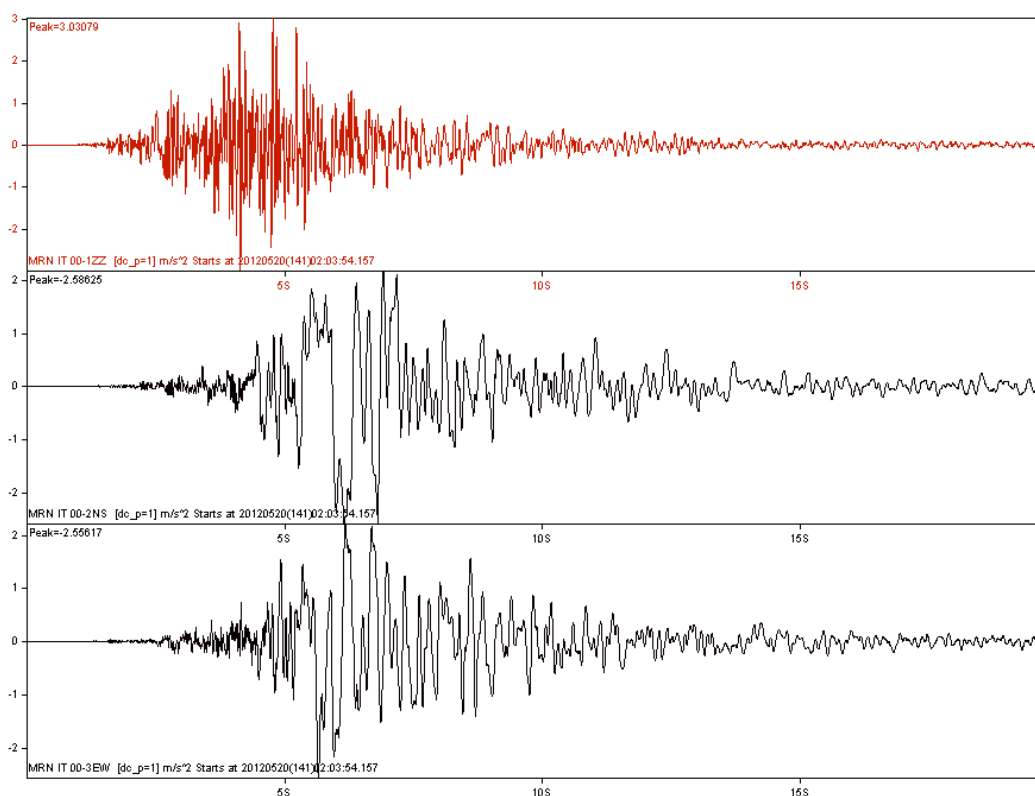



FIG. 14 - SISMA DEL 20/5/2012. ACCELEROGRAMMA DELLE COMPONENTI (DALL'ALTO IN BASSO) VERTICALE, NORD-SUD ED EST-OVEST (ACC. M/S/S, TEMPO S) REGISTRATE DALLA STAZIONE DI MIRANDOLA DELLA RETE ACCELEROMETRICA NAZIONALE (WWW.PROTEZIONECIVILE.GOV.IT)

La sequenza sismica ha prodotto gravi danni in una vasta area delle province di Modena, Ferrara, Mantova e Bologna. In particolare, sono state gravemente danneggiate, in prossimità delle aree epicentrali, le strutture storiche in mattoni ed i capannoni industriali prefabbricati in cemento armato.

7.2 Classificazione sismica comunale

La classificazione sismica dei comuni su tutto il territorio nazionale è stata stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, basandosi sulla precedente proposta del 1998.

La delibera della giunta regionale 23 luglio 2018 n.1164 aggiorna la classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia Romagna, riclassificando il territorio. Secondo tale aggiornamento, come indicato in Fig. 15, la suddivisione è articolata in 2 zone: la zona 2

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	42 di 56

corrisponde a sismicità media (S=9) mentre la 3 è indice di sismicità bassa (S=6), definite come espresso nella Legge 64/74.

Ciascuna zona è contraddistinta da un diverso valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (ag) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (Tab. 6), in questo modo, ad ogni area del territorio nazionale viene attribuito un differente livello di pericolosità sismica.

Zona	Valori massimi di ag
2	0,15 ÷ 0,25
3	0,05 ÷ 0,15

TAB. 6 – VALORI DI ACCELERAZIONE ORIZZONTALE ASSOCIATI A CIASCUNA ZONA SISMICA

La classificazione vigente, identifica il Comune di Campogalliano in zona 3 (Fig. 15), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (ag), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compresi tra 0,05*g e 0,15*g (dove g è l'accelerazione di gravità).

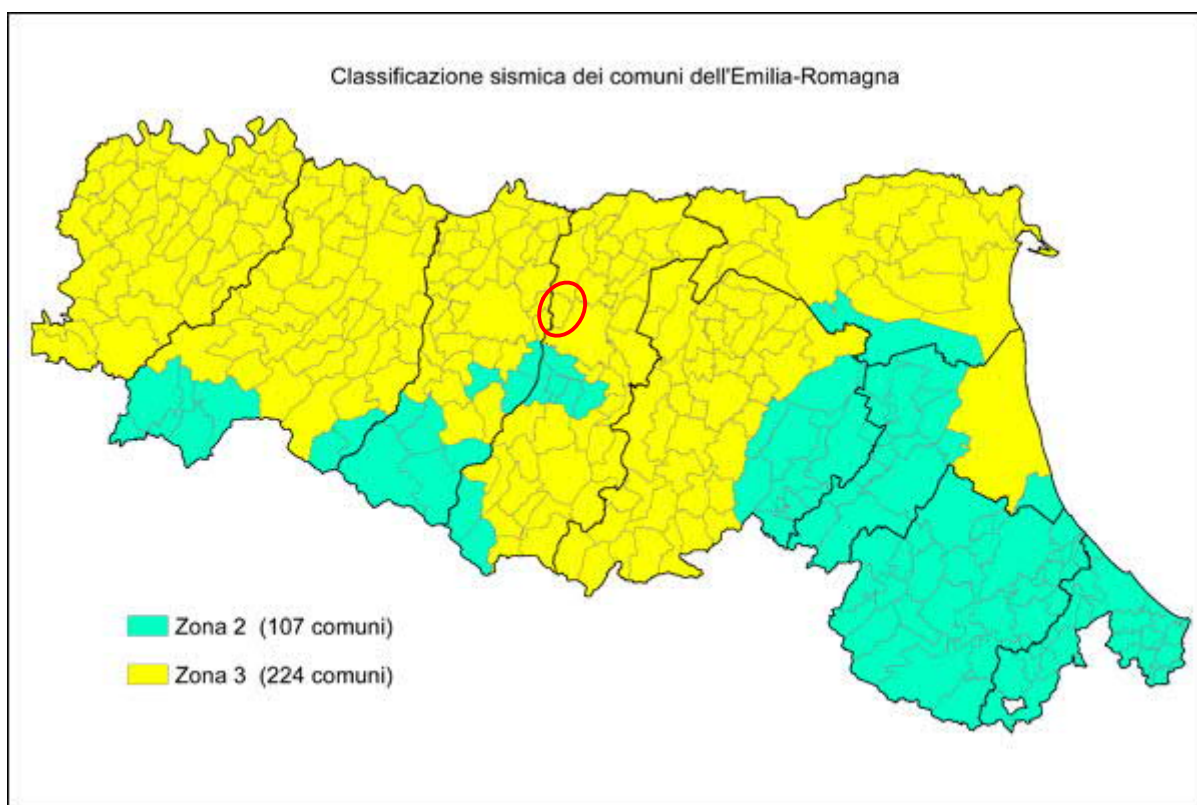


FIG. 15 – NUOVA CLASSIFICAZIONE SISMICA REGIONALE DEI COMUNI DELL'EMILIA ROMAGNA

Risulta opportuno evidenziare che già con l'entrata in vigore del decreto ministeriale 14 gennaio 2008 recante "Norme Tecniche per le Costruzioni" (ad oggi aggiornate con l'introduzione delle NTC 2018), la stima della pericolosità sismica, non è più associata alla zona sismica di appartenenza, ma al valore di accelerazione massima orizzontale attesa su base probabilistica in uno specifico sito.

Ciò ha permesso di superare la differenza tra valori di accelerazione previsti dagli studi di pericolosità sismica a scala nazionale e valori previsti dalla normativa antisismica per un suolo di riferimento.

7.3 Disaggregazione e magnitudo

Per stimare la magnitudo massima attesa necessaria per la valutazione del rischio di liquefazione, è essenziale dapprima definire le caratteristiche sismogenetiche del sito, cioè definire la coppia di dati magnitudo-distanza che meglio caratterizzano il sito stesso. Tale operazione, nota come disaggregazione, consiste nell'individuazione, a partire da uno studio di pericolosità sismica con metodo probabilistico, le coppie di dati (appunto magnitudo e distanza) che maggiormente concorrono alla sismicità di un sito.


A tale scopo, si sono utilizzati i dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) che fornisce i valori disaggregati magnitudo-distanza, ovvero, il contributo percentuale delle diverse coppie di dati magnitudo-distanza alla pericolosità di base con riferimento ai nodi del reticolo di riferimento, individuato dall'Allegato A delle NTC 2008.

Per chiarezza va osservato che secondo le NTC le verifiche SLV (quelle di interesse principale, per esempio, per la liquefazione), prevedrebbero un tempo di ritorno $T_r=949$ anni (cfr. Tab. 3), tuttavia il sito INGV fornisce informazioni solo per 475 e 975 anni (nell'intervallo di interesse). Per motivi prudenziali si è fatto pertanto riferimento alla situazione più critica e cioè 975 anni.

Come si osserva in Fig. 16 il sito fornisce sia direttamente i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon, ma anche i dati che consentono di ricostruire la curva di probabilità di accadimento di un evento che tiene conto di tutte le coppie magnitudo-distanza vicine all'area di interesse.

Per il sito in questione si constata che il massimo contributo percentuale alla pericolosità sismica di base è fornita per terremoti di magnitudo compresa tra 4.5 e 5.0 nel range di distanza tra 0 e 10 Km.

Importanti contributi sono però forniti anche da sismi con magnitudo tra 4.0-4.5 e 5.0-6.0 sempre nel range 0-10 Km, ed in misura leggermente minore da sismi con magnitudo 4.5-5.5 nel range tra 10 e 20 Km.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	44 di 56

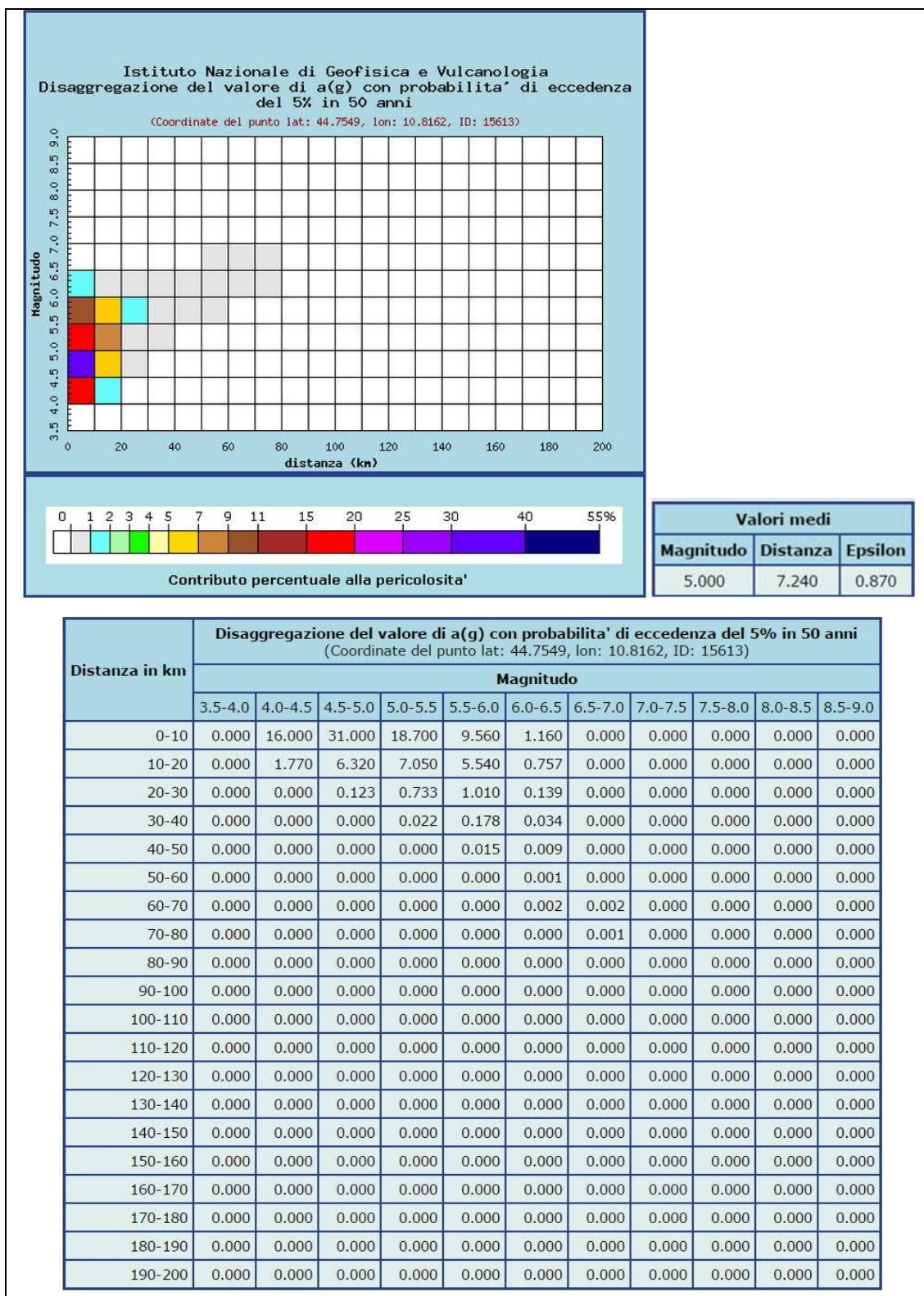


FIG. 16 – DISAGGREGAZIONE MAGNITUDO-DISTANZA PER IL NODO 15613 DA INGV

La disaggregazione, come detto, fornisce la distribuzione magnitudo-distanza, che può essere utilizzata anche per la definizione della magnitudo di riferimento per le verifiche di liquefazione.

Sulla base dei dati disponibili infatti si possono ricostruire le curve di probabilità che consentono di tener conto delle diverse probabilità di accadimento di un evento con diversi tempi di ritorno (Fig. 17). Esaminando questa curva si osserva che il valore di magnitudo (M_w) corrispondente al 90% percentile è pari a circa 5.8.

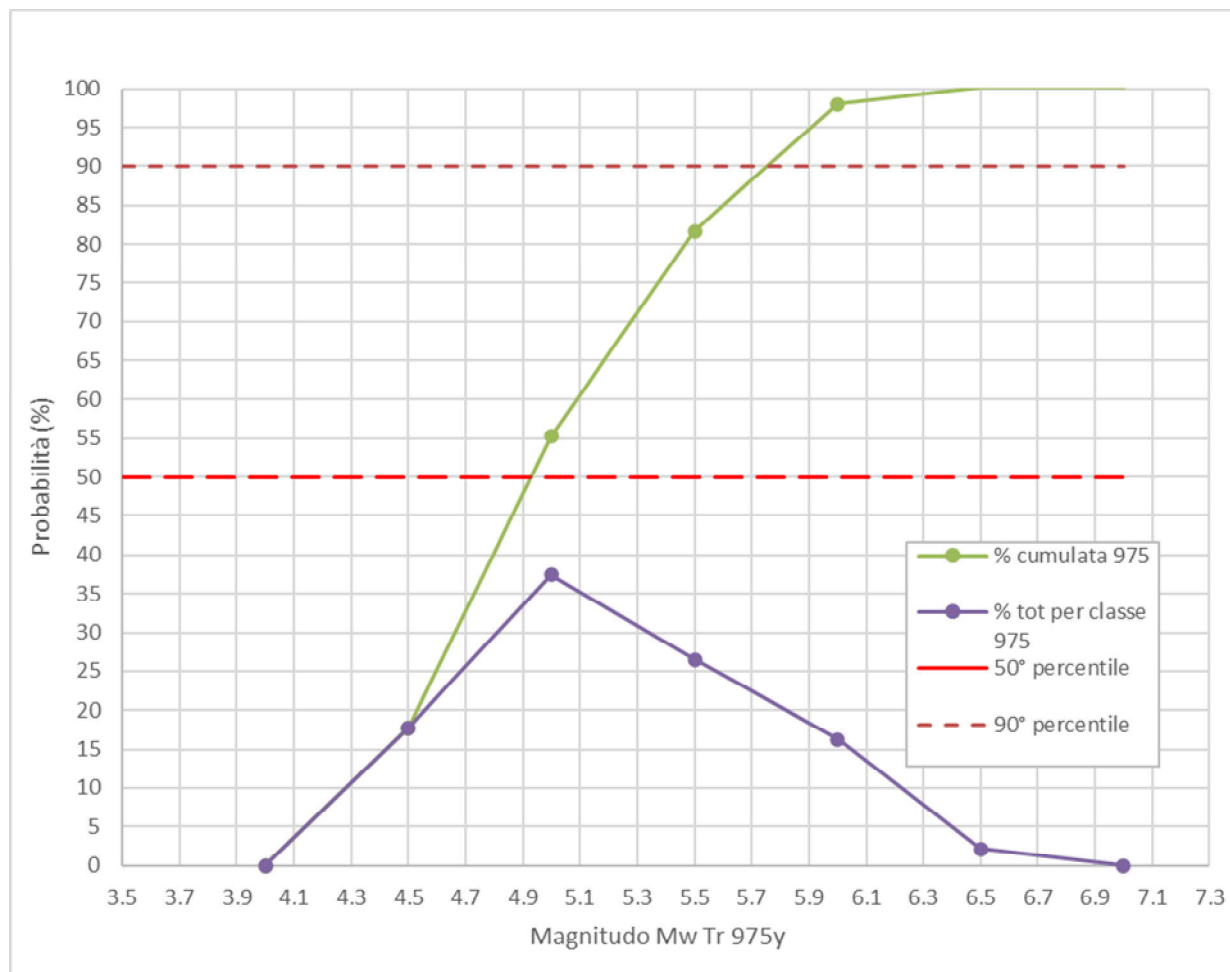



FIG. 17– CALCOLO DELLA MAGNITUDO DI RIFERIMENTO SULLA BASE DEI DATI DI FIG. 16

Quanto appena illustrato rappresenta un esempio di stima della Magnitudo massima attesa ottenuta per un singolo nodo del reticolo sismico, di fatto tale stima è stata eseguita per ogni verticale su cui si è valutato il rischio di liquefazione, in riferimento al relativo nodo più vicino.

Nella sottostante Tab. 7 si riportano i valori di magnitudo massima attesa per ogni verticale indagata mediante prova CPTU, su cui si è eseguita la valutazione del rischio di liquefazione.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	46 di 56

Indagine		Parametri	
Prova	Chilometrica	Nodo	Mw
MO-CPTU13	308+484	15835	5.80
MO-CPTU14	308+503	15835	5.80
MO-CPTU15	307+339	15835	5.80
MO-CPTU16	307+340	15835	5.80
MO-CPTU19	310+455	15835	5.80
MO-CPTU20	310+517	15835	5.80
MO-CPTU21	311+195	15835	5.80
MO-CPTU22	311+193	15835	5.80
MO-CPTU23	311+729	16057	5.70
MO-CPTU24	312+612	16057	5.70

TAB. 7 – MAGNITUDO MASSIMA STIMATA PER OGNI VERTICALE INDAGATA MEDIANTE PROVA CPTU

I valori ottenuti, nel rispetto delle indicazioni delle NTC2018, che prevedono una valutazione probabilistica dai parametri sismici basata sui tempi di ritorno e non l'adozione di parametri "deterministici", risultano di poco differenti dai valori massimi della sorgente sismogenetica di riferimento indicati in DISS 3.2.1 (cfr. paragrafo 7).

7.4 Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, il D.M. 17-01-2018 definisce 5 categorie in cui suddividere i terreni d'imposta in base ai valori di velocità delle onde sismiche trasversali nei primi 30 m sotto il piano di posa della fondazione (V_{S30}).

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento</i>

Categoria	Descrizione
	delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

TAB. 8 - CATEGORIE SISMICHE DEI TERRENI

La velocità equivalente delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m sotto il piano di posa della fondazione (V_{S30}) è definita come:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i sono lo spessore e la velocità delle onde dello strato i -esimo entro i 30 m dalla fondazione.


Come anticipato in precedenza, per determinare il valore delle onde di taglio VS, sono stati utilizzati i valori ottenuti mediante indagini sismiche di tipo Down-Hole. Nella tabella sottostante si riportano i valori di V_{S30} e la classe di suolo per ogni indagine consultata.

Codice	Prov.	Progressiva (km)	Vs30 (m/s)	CLASSE
MO-SC30-DH	MO	307+347	207	C
MO-SC16-DH	MO	308+503	193.3	C
MO-SC31-DH	MO	310+467	184	C
MO-SC34-DH	MO	311+207	188	C
MO-SC22-DH	MO	312+611	212	C

TAB. 9 – CLASSI SISMICHE DI SUOLO OTTENUTE DA INDAGINI SISMICHE DI TIPO DOWN-HOLE

Le indagini consultate hanno fornito valori di V_{S30} compresi tra 184 e 212 m/s e, conseguentemente, che il sottosuolo in esame appartiene sempre alla categoria C: "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*, con

profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.".

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	49 di 56

8 RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

Il rischio di liquefazione è stato valutato prendendo in considerazione le 10 verticali indagate mediante prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTU) realizzate nel territorio comunale di Campogalliano.

8.1 Metodologia

Per liquefazione s'intende un processo d'incremento della pressione del fluido interstiziale che causa, in un terreno non coesivo saturo (sabbia, limo non plastico), la diminuzione della resistenza a taglio a seguito dello scuotimento sismico, dando luogo a deformazioni permanenti significative.

La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità. La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.


Il rischio di liquefazione può essere stimato con metodi semplificati da prove CPT mediante il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione LPI di *Iwasaki et al.* (1982). Le prove CPTU sono preferibili per la migliore ripetibilità delle misure e per la continuità dei profili penetrometrici. L'indice LPI è un parametro di sintesi che, mediante un valore numerico compreso tra 0 e 100, quantifica i possibili effetti della liquefazione in superficie, tenendo conto di severità dell'azione sismica, e di profondità, spessore e valore del fattore di sicurezza degli strati liquefacibili.

Per poter valutare la severità degli effetti viene *Iwasaki* ha proposta la scala riportata in Tab. 10.

Valori di LLI	Rischio di Liquefazione
$I_L = 0$	Molto basso
$0 < I_L \leq 5$	Basso
$5 < I_L \leq 15$	Alto
$15 < I_L$	Molto alto

TAB. 10 – VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE SECONDO IWASAKI

Valutazioni più recenti riportate da *Sonmez* (2003), basate su sismi di magnitudo inferiore a quelli utilizzati da *Iwasaki* consigliano tuttavia di rimodulare le classi di pericolosità come riportato in Tab. 11:

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	50 di 56

<u>LPI</u>
LPI = 0.00 - Liquefaction risk nul
LPI between 0.00 and 2.00 - Liquefaction risk low
LPI between 2.00 and 5.00 - Liquefaction risk moderate
LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high
LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

TAB. 11 – VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE SECONDO SONMEZ

L'indice LPI è calcolato con riferimento ad una verticale di prova. Gli effetti bi- e tri-dimensionali sono trascurati. Tale semplificazione può condurre talora a stime errate. In particolare se la liquefazione in un sito è limitata a lenti isolate, la liquefazione in superficie può non manifestarsi anche per valori significativi di LPI. Viceversa uno strato liquefatto sottile, profondo, molto diffuso ed esteso può determinare rottura del terreno e "lateralspreading" anche per bassi valori di LPI. La variabilità ed eterogeneità naturale delle condizioni stratigrafiche e geotecniche può spiegare la non sempre buona correlazione tra i valori dell'indice LPI e le evidenze di liquefazione.

L'indice LPI è definito nel modo seguente:

$$LPI = \int_0^{20} F W(LPIz) dz$$

Dove:

- F(z) è una variabile con valori compresi tra 0 e 1, definita ad ogni profondità $0 \leq z \leq 20$ in funzione del valore che, a quella profondità, assume il fattore di sicurezza alla liquefazione FSL
- w(z) è un fattore di peso della profondità


In sostanza il rischio di liquefazione tiene conto del fattore di sicurezza calcolato strato per strato, ma ne valuta la significatività su tutto lo spessore del deposito.

Il fattore di sicurezza alla liquefazione è definito nel modo seguente:

$$FSL = \frac{CRR_{7.5} \cdot MSF \cdot k_c}{CSR}$$

dove:

$CRR_{7.5}$ = Rapporto di resistenza ciclica per M=7.5 (Cyclic Resistance Ratio)

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	51 di 56

MSF= fattore di scala della magnitudo (Magnitude Scale Factor)

K_{σ} =Fattore di correzione per la pressione di confinamento

CSR= rapporto di tensione ciclica (Cyclic Stress Ratio) = $CSR = 0.65 \left(\frac{\sigma_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{1/10}}{\sigma'_{1/10}} \right) \cdot r_d$

Nelle verifiche effettuate nel presente studio, per il calcolo del CRR è stato utilizzato il metodo NCEER (modificato da Robertson 2010) implementato dal programma CLIQ della Geologimiki. In Fig. 18 viene presentata, in forma di flow-chart, le procedura di calcolo di CRR utilizzata dal programma.

In tali verifiche come valori di CSR sono stati utilizzati quelli "automatici" stimati dal software stesso.

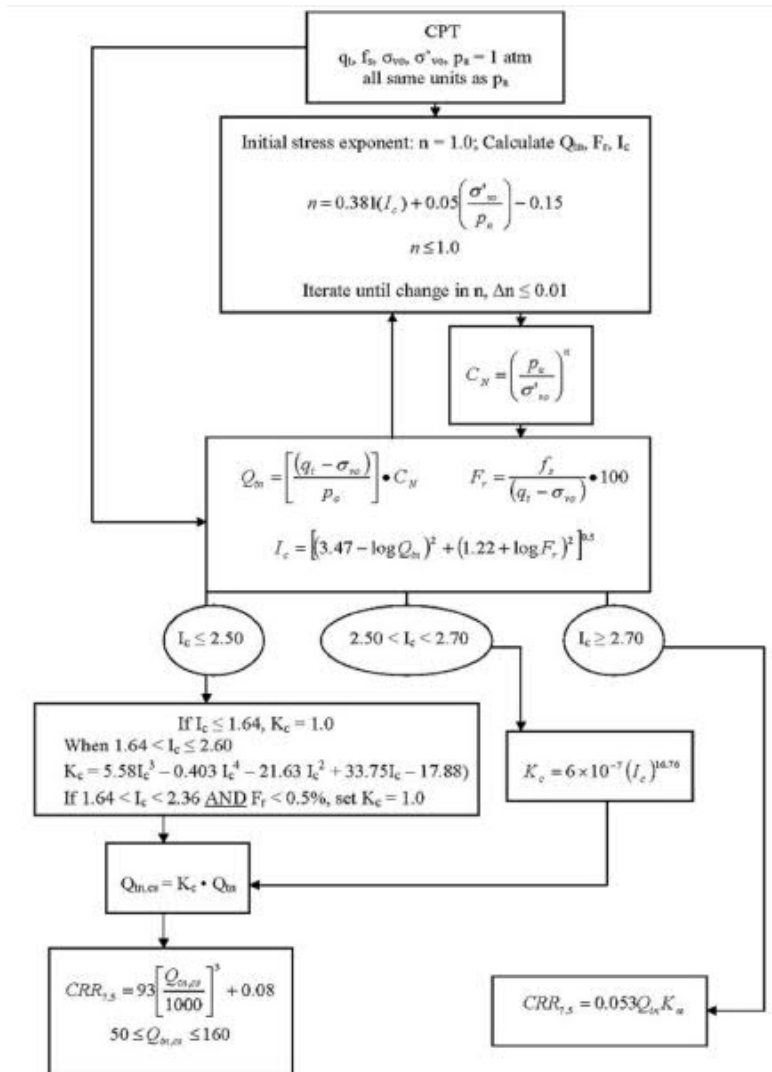


FIG. 18 - FLOW CHART DELLA PROCEDURA DI VERIFICA NCEER MODIFICATA DA ROBERTSON (2010)

8.2 Parametri di input

Per eseguire la verifica a liquefazione, oltre ai dati delle prove CPTU è necessario fornire al programma l'accelerazione e la magnitudo massime attese al sito.

Per l'accelerazione si è partiti dai valori dal reticolo sismico di riferimento che sono poi stati amplificati sulla base della categoria sismica del suolo. Per la magnitudo sono stati utilizzati i valori ottenuti dalla disaggregazione sismica, così come illustrato nel paragrafo 7.3. In Tab. 12 si riportano i parametri di input utilizzati per ogni verticale, vengono inoltre indicati i livelli della falda sia in condizioni statiche che durante il terremoto.

Indagine			Parametri				
Prova	Profondità	Chilometrica	Nodo	Mw	PGA	Falda	Falda durante terremoto
MO-CPTU13	-45.00 m	308+484	15835	5.80	0.28	2.2	0.2
MO-CPTU14	-43.50 m	308+503	15835	5.80	0.28	2.2	0.2
MO-CPTU15	-27.96 m	307+339	15835	5.80	0.28	2.6	0.6
MO-CPTU16	-29.94 m	307+340	15835	5.80	0.28	2.3	0.3
MO-CPTU19	-43.88 m	310+455	15835	5.80	0.29	4.0	2
MO-CPTU20	-43.30 m	310+517	15835	5.80	0.29	4.0	2
MO-CPTU21	-39.22 m	311+195	15835	5.80	0.33	4.2	2.2
MO-CPTU22	-32.86 m	311+193	15835	5.80	0.33	4.3	2.3
MO-CPTU23	-30.00 m	311+729	16057	5.70	0.29	3.85	1.8
MO-CPTU24	-10.94 m	312+612	16057	5.70	0.29	4.2	2.2

TAB. 12 – PARAMETRI IN INPUT UTILIZZATI

8.3 Analisi dei risultati

Per ciascuna prova è stato prodotto un report (si veda All. 6 – Verifiche a liquefazione) che contiene sia i grafici interpretativi della prova stessa (resistenze penetrometriche, litologia, ecc.), sia i grafici relativi alla liquefazione ed in particolare (Fig. 19):

- Il confronto tra CSR e CCR
- La variazione del fattore di sicurezza
- La cumulata del valore di LPI
- Il cedimento post-sismico

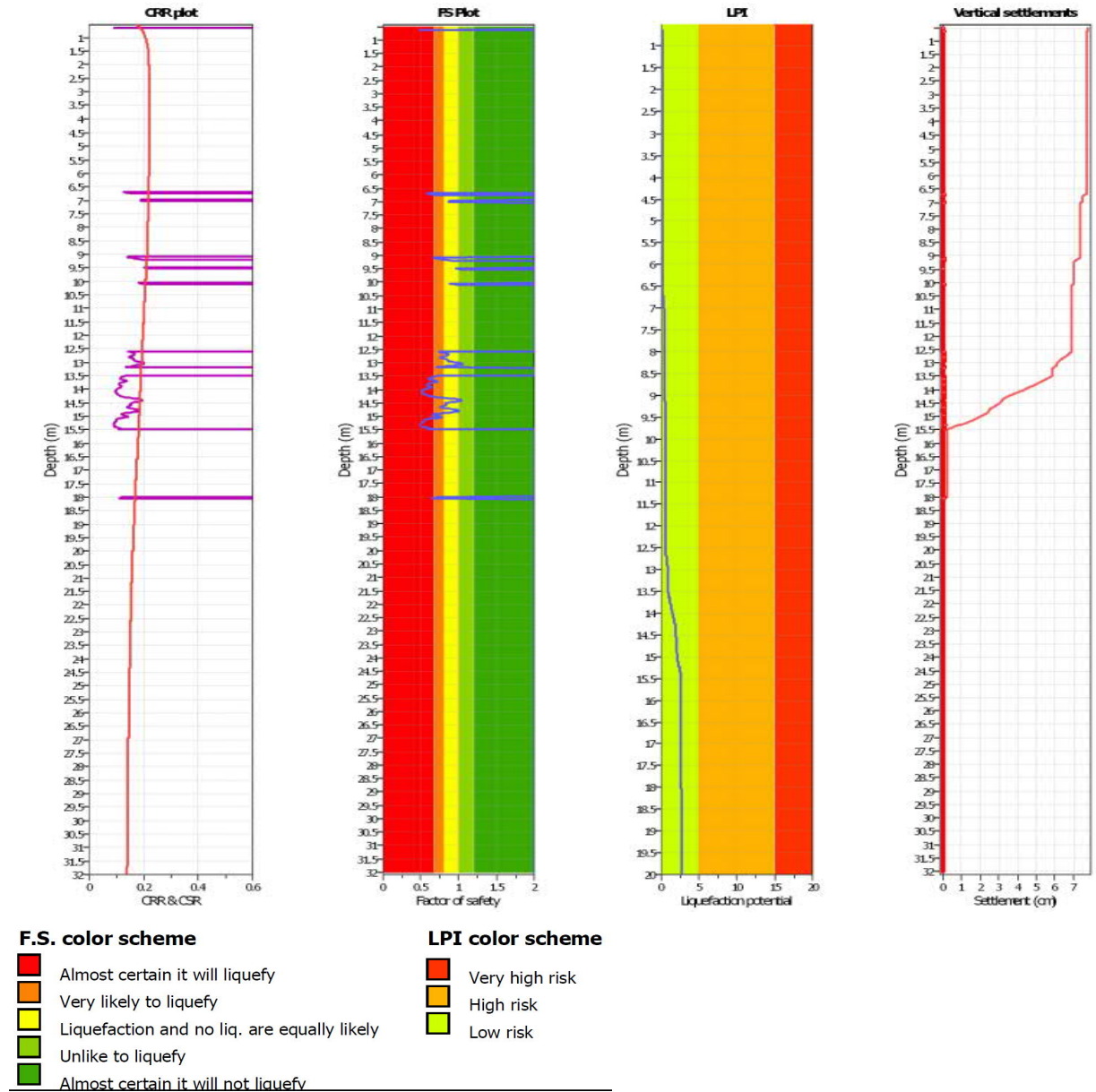


FIG. 19 – ESEMPIO DI GRAFICI DI CSR-CRR, DEI FATTORI DI SICUREZZA FS, DELL'INDICE DI LIQUEFAZIONE (LPI) E DEL CEDIMENTO (SETTLEMENT)

Il software utilizzato riporta i valori di Indice di Potenziale di Liquefazione (LPI) in relazione alla classificazione del rischio di liquefazione proposta da *Iwasaki* e i valori di cedimento stimati. I valori ottenuti vengono riportati in forma tabellare in Tab. 13 – Tabella con indicati i valori di LPI e di cedimento ottenuti.

Indagine	LPI	Cedimenti
MO-CPTU13	0.21	0.41 cm
MO-CPTU14	2.25	2.80 cm
MO-CPTU15	20.29	19.11 cm
MO-CPTU16	2.60	2.52 cm
MO-CPTU19	0.07	0.22 cm
MO-CPTU20	0.01	0.02 cm
MO-CPTU21	0.01	0.38 cm
MO-CPTU22	17.34	27.66 cm
MO-CPTU23	0.00	0.57 cm
MO-CPTU24	0.28	0.69 cm

TAB. 13 – TABELLA CON INDICATI I VALORI DI LPI E DI CEDIMENTO OTTENUTI

Come si nota dai risultati ottenuti, i valori di LPI indicano generalmente un rischio di liquefazione da basso a moderato, fanno eccezione le verticali MO-CPTU15 e MO-CPTU22 (ubicata rispettivamente al Km 307+339 e 311+193) in cui si è ottenuto un rischio di liquefazione molto alto. A tali indagini corrispondono inoltre valori di cedimento rilevanti: pari a rispettivamente 19.11 e 27.66 per le indagini MO-CPTU15 E MO-CPTU22.

9 CENNI DI GEOTECNICA

Nel presente capitolo vengono presentate le principali caratteristiche geotecniche del territorio, desunte dai dati disponibili, correlate con le caratteristiche litostratimetriche descritte nel Cap. 6.

Come già illustrato la classe litologica prevalente nel sottosuolo in esame è quella dei "Depositi prevalentemente argillosi, argilloso limosi o limoso argillosi" che domina quasi tutta la porzione del territorio di Campogalliano in esame.

Dal punti di vista geotecnico si tratta di depositi coesivi con sovraconsolidati con buone caratteristiche geotecniche:


- Coesione non drenata >90 kPa
- Angolo di attrito interno >22°
- Modulo edometrico >5.0 Mpa

Le altre tipologie di depositi formano solo delle lenti di dimensioni variabili.

Le lenti di "Depositi prevalentemente ghiaiosi in matrice sabbiosa, ghiaie con sabbie" e di "Depositi prevalentemente sabbioso ghiaiosi, sabbie con ghiaie e ciottoli" si rinvengono principalmente nel settore più meridionale a rappresentare le diramazioni più avanzate della conoide del fiume Secchia. Si tratta di depositi a comportamento granulare, con ottime caratteristiche geotecniche:

- Angolo di attrito interno >32°
- Modulo elastico >18.0 Mpa

Da segnalare sono anche le lenti di "Depositi prevalentemente argillosi o limosi con elevati tenori di sostanza organica, torbe", dunque, con caratteristiche geotecniche scadenti, presenti nella porzione settentrionale del comune di Campogalliano, a profondità maggiori di 7 m da piano campagna.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica, idrogeologica e sismica	Settembre 2021	0	56 di 56