

Variante S.S.1 Aurelia – Variante in Comune di Massa 1°Lotto (Canal Magro – Stazione).

PROGETTO DEFINITIVO

COD. FI397

PROGETTAZIONE: RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI		MANDATARIA: 	MANDANTI:  
IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: <i>Ing. Andrea Renso – TECHNITAL</i> <i>Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2413</i>		IL PROGETTISTA: GRUPPO DI PROGETTAZIONE: COORDINAMENTO PROGETTAZIONE, PROGETTAZIONE STRADALE, GEOTECNICA ED OPERE STRUTTURALI: <i>Ing. Marcello Mancone – POLITECNICA</i> <i>ordine ingegneri Provincia di Firenze n.5723</i>	
IL GEOLOGO: <i>Geol. Pietro Accolti Gil – POLITECNICA</i> <i>Ordine Geologi Regione Toscana n° 728</i>		STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE: <i>Arch. Paola Gabrielli – POLITECNICA</i> <i>ordine Architetti Provincia di Bologna n. 2921</i>	
IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE: <i>Ing. Marcello Mancone – POLITECNICA</i> <i>ordine ingegneri Provincia di Firenze n.5723</i>		CANTIERIZZAZIONE E FASI ESECUTIVE: <i>Ing. Alessio Gori – POLITECNICA</i> <i>ordine ingegneri Provincia di Firenze n.5969</i>	
VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO: <i>Ing. Raffaele Franco Carso</i>		IDROLOGIA ED IDRAULICA: <i>Ing. Alessandro Cecchelli – POLITECNICA</i> <i>ordine ingegneri Provincia di Grosseto n.760</i>	
PROTOCOLLO:	DATA:	COLLABORATORI DI PROGETTO: <i>Ing. Massimo Palermo – POLITECNICA</i> <i>Ing. Mattia De Caro – POLITECNICA</i> <i>Ing. Giulio Melosi – POLITECNICA</i> <i>Geom. Franco Mariotti – POLITECNICA</i>	

02 – GEOLOGIA GEOTECNICA E SISMICA

Geologia

Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica

CODICE PROGETTO		NOME FILE	PROGR. ELAB.	REV.	SCALA:	
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	02.09_T00_GE00_GEO_RE08_C	02.09		
DPFI10	D	1901	CODICE ELAB. T00GE00GEORE08	C		
D						
C	INTEGRAZIONI MASE REG.UFF. U.0002206.20-02-2024	03/2024	POLITECNICA	P. ACCOLTI	M. MANCONE	A. RENSO
B	REVISIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA ANAS	11/2020	POLITECNICA	P. ACCOLTI	M. MANCONE	A. RENSO
A	EMISSIONE	06/2020	POLITECNICA	P. ACCOLTI	M. MANCONE	A. RENSO
REV.	DESCRIZIONE	DATA	SOCIETA'	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	4
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE	5
4	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	7
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	24
5.1	INQUADRAMENTO GENERALE	24
5.2	SITUAZIONE LOCALE	26
5.3	STRATIGRAFIA	30
6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	35
7	PERICOLOSITA'	40
7.1	REGOLAMENTO URBANISTICO - PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA	40
7.2	DISTRETTO APPENNINO SETTENTRIONALE - PAI - PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA.....	43
7.3	PIANO STRUTTURALE - PERICOLOSITA' IDRAULICA.....	46
7.4	DISTRETTO APPENNINO SETTENTRIONALE - PGRA - PERICOLOSITA' IDRAULICA.....	48
7.5	PIANO STRUTTURALE - PERICOLOSITA' SISMICA	50
8	SISMICA	54
8.1	INTRODUZIONE.....	54
8.2	ASSETTO SISMOTETTONICO	55
8.3	CLASSIFICAZIONE SISMICA	58
8.4	SISMICITA' STORICA	62
8.5	DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA	63
9	LINEE-GUIDA PER LE INDAGINI IN FASE DI PROGETTO ESECUTIVO	67
10	SINTESI	71

1 PREMESSA

La presente Relazione Geologica è parte integrante degli elaborati del Progetto Definitivo della “Variante SS. 1 Aurelia – Opere infrastrutturali per il potenziamento ed il miglioramento degli accessi alla città di Massa” – Lotto 3.

Il tratto di viabilità in progetto ricade interamente nel Comune di Massa.

Nel contesto della Relazione saranno illustrate le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, stratigrafiche e sismiche dell’area di progetto.

Per la caratterizzazione di base dell’area è stato consultato il seguente materiale:

- Progetto Preliminare (ANAS 2013) – Relazione Tecnica Illustrativa (A.01)
- Progetto Preliminare (ANAS 2013) – Relazione Geologica e Geotecnica (I.00)
- Progetto Preliminare (ANAS 2013) – Carta Geologica (I.01)
- Progetto Preliminare (ANAS 2013) – Sezione Geologica (I.02)
- Progetto Preliminare (ANAS 2013) – Carta Idrogeologica (I.03)
- Progetto Preliminare (ANAS 2013) – Carta Geomorfologica (I.04)
- Progetto Preliminare (ANAS 2013) – Planimetria con classificazione sismica del territorio (I.05)
- Database Geologico Regionale (<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/geologia.html>)
- Carta Geologica Regionale (<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html>)
- Strumenti Urbanistici del Comune di Massa (Piano Strutturale e Regolamento Urbanistico)
- PTC Massa
- PGRA e PAI Distretto Appennino Settentrionale

Il quadro conoscitivo di base è stato poi implementato sia mediante rilievi in sito sia attraverso i risultati della campagna di indagini predisposta da ANAS nel mese di Dicembre 2019.

Normativa di riferimento:

- **Decreto Ministeriale 17.01.2018**
Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**
Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n°36 del 27.07.2007
- **Eurocodice8 (1998) Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture**
Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- **Eurocodice 7.1 (2005)**
Progettazione tecnica parte1
- **Eurocodice 7.2 (2002)**
Progettazione geotecnica – Parte 2: progettazione assistita da prove geotecniche.
- **Eurocodice 7.3 (2002)**
Progettazione geotecnica – Parte 2
- **L.R. 24/07/2018 N. 41** “Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d’acqua in attuazione del Dlgs 23/02/2010n 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione ed alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla L.R. 80/2015 e alla L.R. 65/2014”.
- **DPGR n. 36/R del 09/07/2009** “Regolamento di attuazione dell’articolo 117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico.”

- **DGR n. 878 del 8 ottobre 2012** “Aggiornamento della classificazione sismica Regionale in attuazione dell’OPCM 3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14/01/2008 – Revoca della DGRT 431/2006”
- **DPGR n. 58/R 22/10/2012** “Regolamento di attuazione dell’articolo 117, comma 2, lettera g) della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio). Verifiche nelle zone a bassa sismicità. Determinazione del campione da assoggettare a verifica
- **DGR n. 421 del 26/05/2014** “Aggiornamento dell’Allegato 1 e dell’allegato 2 della DGR n. 878 dell’8 Ottobre 2012 recante “Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell’O.P.C.M. 3519 /2006 ed ai sensi del D.M. 14.01.2008 - Revoca della DGRT 431/2006” e cessazione di efficacia dell’elenco dei Comuni a Maggior Rischio Sismico della Toscana (DGRT 841/2007)
- **PGRA e PAI Distretto Appennino Settentrionale**
- **Piano Regolatore Generale del Comune di Massa**

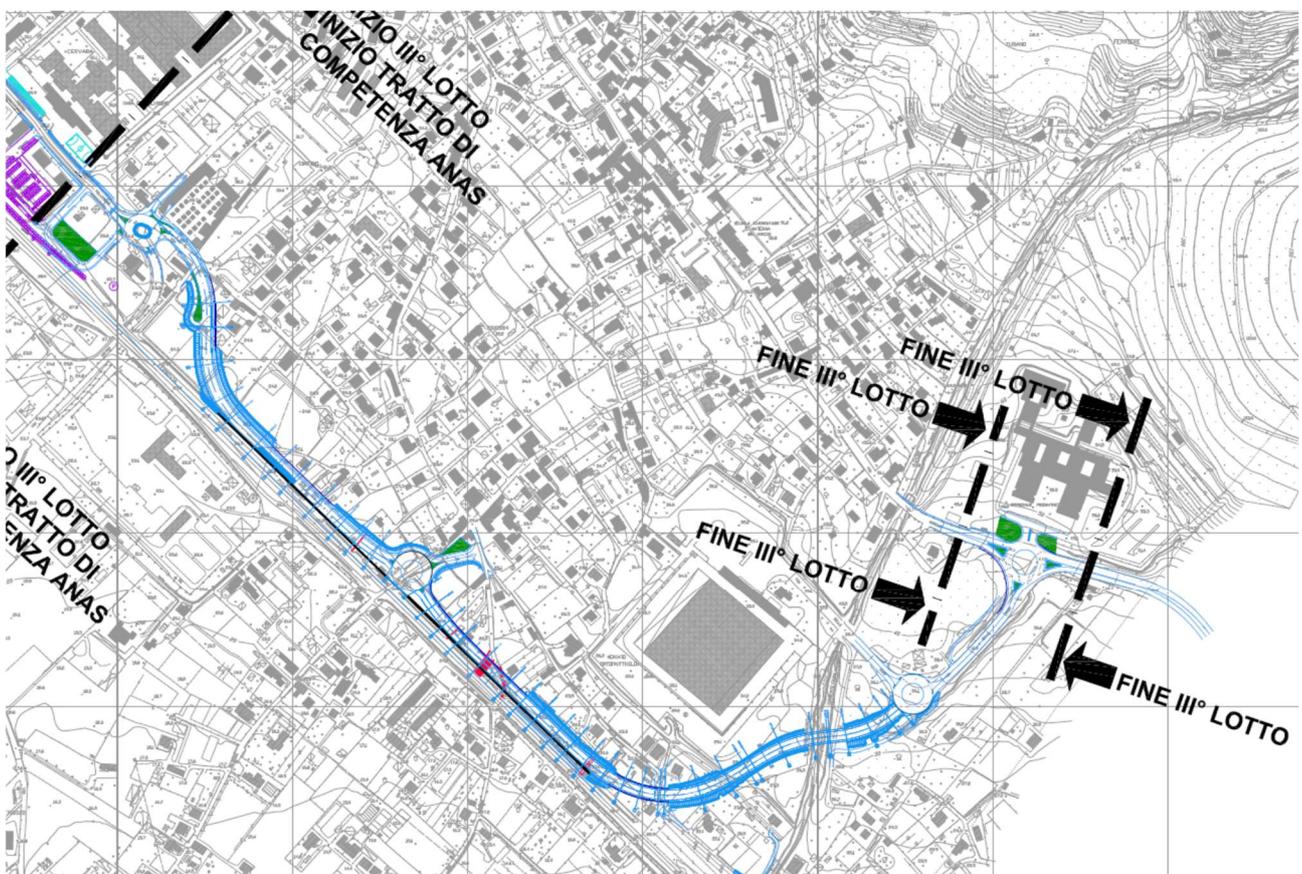


Fig. 1.1. Area di intervento su CTR

2 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il tracciato di Variante ha inizio in corrispondenza del limite del centro abitato dove sarà realizzata la rotatoria R01 nel piazzale dell'attuale distributore di carburante. Il relativo Ramo 01 permetterà il raccordo con Via Pellegrini verso il centro di Massa, mentre il Ramo 02 è rappresentato da un raccordo stradale con circolazione rotatoria che permetterà di innestarsi sia sulle viabilità di monte (Via del Papino e Via delle Gorine) sia su Viale della Repubblica per sottopassare il rilevato ferroviario attuale (ed il futuro rilevato stradale in affiancamento) in direzione mare. La viabilità in Variante prosegue invece dalla R01 in direzione sud-est per circa 100m per avvicinarsi alla ferrovia Genova – Pisa, in affiancamento alla quale la nuova viabilità prosegue per circa 450 m fino a giungere alla rotatoria R02. In questo tratto, denominato Asse A, è previsto il prolungamento del sottopasso ferroviario esistente di Viale della Repubblica come introdotto precedentemente. Dalla R02 si sviluppano, procedendo in senso orario, prima il Ramo 01 di raccordo con la viabilità esistente Via delle Gorine, e successivamente il nuovo tratto di viabilità principale denominato Asse B. Questo tratto continua a svilupparsi in parallelismo con la linea ferroviaria per circa 300m per poi virare in direzione nord-est. L'Asse B prosegue in questa direzione per circa 150m fino al Canal Magro; sull'intersezione sarà realizzato il ponte stradale denominato OP.01, dalla sponda est del Canal Magro il tracciato continua per circa 100m fino alla rotatoria R03. Da questa rotatoria si sviluppa il Ramo 01 di innesto su Via del Jare per dare accesso al Mercato Ortofrutticolo, mentre in direzione nord-est continua il tracciato principale con il tratto denominato Asse C. Questo tratto rappresenta in sostanza un risezionamento/riqualifica della sede viaria esistente per uno sviluppo di circa 170m fino alla rotatoria R04 all'altezza dell'ospedale pediatrico a est di Turano. Questa rotatoria sarà realizzata nella zona dell'attuali intersezioni con la strada Aurelia permettendo di raccordare la Variante in progetto al vecchio tracciato, sia in direzione est che ovest, e dare accesso al polo ospedaliero.

Si riporta di seguito una schematizzazione del tracciato appena descritto:

In linea del tutto generale il nuovo tracciato stradale di Variante risulta sempre in rilevato rispetto al piano campagna, le sezioni stradali sono delimitate da scarpate a pendenza naturale e, nei tratti in cui il percorso attraversa zone abitate dove si ha poco spazio a disposizione, da muri di sottoscarpa in c.a.

Il progetto è completato dalla realizzazione di quattro brevi tratti di viabilità secondarie necessarie per dare continuità al sistema viario attuale che viene "tagliato" dalla realizzazione del nuovo tracciato di Variante. La viabilità secondaria più importante è sicuramente il proseguimento del tratto sud di Via delle Gorine (denominato VS.01). Dal sottopasso ferroviario esistente sarà risezionata l'attuale strada per circa 100m per poi procedere alla realizzazione di un nuovo tracciato che si "alza" altimetricamente per superare il Canal Magro con un ponte stradale di progetto (denominato OP.02) e poi scende nuovamente per raccordarsi con la strada esistente. Quest'ultima sarà poi ripavimentata per circa 110m prima di svoltare in direzione nord-est, prima dell'ostruzione rappresentata dal nuovo rilevato dell'Asse B, formando una nuova viabilità di collegamento (VS.02) per raggiungere un fondo altrimenti intercluso. Le altre viabilità secondarie VS.03 e VS.04 rappresentano anch'esse viabilità poderali di accesso a fondi interclusi dalla realizzazione della nuova Variante. La VS.03 si sviluppa a nord da Via del Jare parallelamente al Canal Magro, con sezioni in sterro contenute da muri di sostegno, per sottopassare l'Asse B attraverso l'apposito scatolare che affianca la spalla est del ponte OP.01. Anche la VS.04 si sviluppa da Via del Jare in direzione est affiancando il rilevato esistente dell'Asse C.

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

In fase di Progetto Preliminare la caratterizzazione stratigrafica si è basata su sondaggi e prove in situ di bibliografia:

- n.1 sondaggio geognostico proveniente dal Genio Civile di Massa e pubblicato in data 01/02/2009 per il Piano Strutturale del Comune di Massa (Identificativo regionale dell'ubicazione dell'indagine 28700114);
- n.1 prova penetrometrica statica CPT eseguita il 11/04/2000 e pubblicato il 01/02/2009 per il Piano Strutturale del Comune di Massa (Ident. Reg. 28700111);
- n.1 prova penetrometrica dinamica pesante DP realizzata nel 1992 a supporto del Piano Regolatore del Comune di Montignoso (Ident.Reg. 288400167);
- Indagine geognostica eseguita a supporto della progettazione definitiva ed esecutiva (RFI) per la realizzazione dei sottopassi al km 139+248 (Massa); nel dettaglio sono stati acquisiti i risultati dei sondaggi S1 ed S2.

Campagna 2019

Nel mese di Dicembre 2019 è stata eseguita, su indicazioni ANAS, una campagna di indagini geognostiche da parte della ditta TECNOIN Geosolutions SPA.

La campagna è stata articolata come di seguito indicato:

- n. 4 sondaggi a carotaggio continuo di cui n. 3 condizionati con tubi piezometrici Norton
- n. 22 prove SPT
- prelievo di n. 25 campioni di cui n. 3 indisturbati e n. 22 rimaneggiati
- n. 3 pozzetti spinti fino alla profondità max di 2,0m da p.c.
- n. 3 prelievi di campioni rimaneggiati dai pozzetti esplorativi
- n. 3. prove di carico su piastra a doppio ciclo
- n. 1 profilo sismico MASW

I punti di indagine sono riportati nella planimetria 02.02_T00GE00_GEO_RE01_A

Nella seguente Tab. 3.1. sono riportate le caratteristiche dei sondaggi, le profondità di prelievo dei campioni e la profondità di esecuzione delle prove SPT.

SONDAGGIO	PROFONDITA' m da p.c.	SPT n/prof.	CAMPIONI RIMANEGGIATI n/prof.	CAMPIONI INDISTURBATI n/prof.	CONDIZIONAMENTO FORO
SA01_PZ	30	SPT1/2,20 SPT2/6,55 SPT3/9,20 SPT4/13,50 SPT5/16,55 SPT6/19,00 SPT7/22,50	CR1/3,50-4,00 CR2/7,00-7,50 CR3/10,50-11,00 CR4/18,00-18,50 CR5/20,50-11,00 CR6/23,50-24,00 CR7/26,50-27,000	CI1/12,00-12,50	piezometro Norton 2"
SA02_PZ	20	SPT1/3,00 SPT2/8,55 SPT3/11,30 SPT4/13,00 SPT5/17,55	CR1/2,00-2,50 CR2/8,00-8,50 CR3/11,00-11,30 CR4/14,50-15,00 CR5/18,00-18,50	CI1/5,00-5,50	piezometro Norton 2"
SA03_PZ	30	SPT1/3,00 SPT2/6,00 SPT3/9,00 SPT4/18,00	CR1/2,50-3,00 CR2/4,50-5,00 CR3/10,50-11,00 CR4/13,50-14,00 CR5/16,00-16,50 CR6/21,50-22,00 CR7/26,50-27,00	CI1/12,00-12,50	piezometro Norton 2"

SONDAGGIO	PROFONDITA' m da p.c.	SPT n/prof.	CAMPIONI RIMANEGGIATI n/prof.	CAMPIONI INDISTURBATI n/prof.	CONDIZIONAMENTO FORO
SA04	15	SPT1/1,30 SPT2/3,20 SPT3/5,30 SPT4/9,50 SPT5/11,50 SPT6/13,80	CR1/7,00-7,50 CR2/9,00-9,50 CR3/13,00-13,50		

Tab. 3.1. Caratteristiche sondaggi campagna 2019

I pozzetti esplorativi (PT) sono stati condotti fino alla profondità di 2m da piano campagna allo scopo di:

- verificare in dettaglio la stratigrafia degli strati più superficiali
- eseguire prove di carico su piastra al disotto dello spessore di terreno di scotico di 0,3m
- prelievo di campioni rimaneggiati sui quali eseguire prove di laboratorio

Le modalità di esecuzione dei pozzetti e delle prove di carico nonché i risultati delle stesse sono illustrati nel rapporto di prova (02.01_T00GE00_GEO_RE01_A e 02.04_T00GE00_GEO_RE03_A).

La prova MASW è stata eseguita con strumentazione a 24 canali e geofoni da 4,5Hz. Le modalità di esecuzione della prove sismica MASW sono riportate nel rapporto di prova 02.05_P00_GE00_GEO_RE04_A.

Per quanto concerne le prove di laboratorio, nella seguente Tab. 3.2 sono riassunte le prove eseguite sui campioni prelevati nei sondaggi geognostici (RIF. elaborato 02.06_P00_GE00_GEO_RE05_A).

SONDAGGIO	CAMPIONE	PROF. m. da p.c.	APERTURA E DESCRIZIONE	GRANULOMETRIA COMPLETA	PESO DI VOLUME NATURALE	CONTENUTO D'ACQUA	PESO SPECIFICO DEI GRANI	LIMITI DI ATTERBERG	PROVA TRASSIALE CIU	PROVA PROCTOR	PROVA CBR	CLASSIFICAZIONE STRADALE
SA01-PZ	CR01	3,50-4,00										
	CR02	7,00-7,50										
	CR03	10,50-11,00										
	CI01	12,00-12,50										
	CR05	20,50-21,00										
	CR07	26,50-27,00										
SA02-PZ	CR01	2,00-2,50										
	CI01	5,00-5,50										
	CR02	8,00-8,50										
	CR04	14,50-15,00										
	CR05	18,00-18,50										
SA03-PZ	CR01	2,50-3,00										
	CI01	12,00-12,50										
	CR03	10,50-11,00										
	CR05	16,00-16,50										
	CR06	21,50-22,00										
	CR07	26,50-27,00										
SA04	CR01	7,00-7,50										
	CR03	13,00-13,50										
PT01	CR01	0,30-0,50										
PT02	CR01	0,30-0,50										
PT04	CR01	0,30-0,50										

Tab. 3.2. Prove di laboratorio sui campioni prelevati nei sondaggi e nei pozzetti della Campagna 2019

4 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'inquadramento geomorfologico dell'area di progetto deriva sia dall'esame del materiale disponibile, sia da specifici rilievi in sito sia, infine, dall'esame di immagini aeree storiche. L'elevata antropizzazione dell'area nonché le caratteristiche morfologiche dell'area, poco acclive e caratterizzata da forme generate da deposizione di sedimenti, sono tali da non consentire un riconoscimento in campagna. Il rilievo di campo si è necessariamente limitato alla ricerca ed identificazione di eventuali situazioni puntuali potenzialmente o direttamente interferenti con il progetto. La carta geomorfologica prodotta è quella del Piano Strutturale del 2014 (elaborato 0214.T00GE00GEOCT02B), che illustra in maniera corretta e dettagliata il quadro geomorfologico dell'area; nella carta è inserito uno stralcio in scala 1:2000 relativo ad una zona in cui il rilievo di campo ha consentito di identificare elementi morfologici significativi a livello progettuale.

Inquadramento generale

L'area di intervento è localizzata in prossimità del limite orientale del territorio comunale di Massa. L'area è urbanizzata ed è interessata dalla presenza di servizi importanti (Ospedale Pediatrico e Mercato ortofrutticolo) e di infrastrutture SS 1 Aurelia e FS Pisa-Genova. Si tratta di una porzione di territorio inserita nella della pianura di Massa, coronata dagli aspri versanti delle Alpi Apuane.

Dal punto di vista geomorfologico la pianura di Massa è un sistema complesso costituito da un insieme di forme ben definite e distinte. A partire dalla linea di costa e procedendo in direzione NE si riconoscono i seguenti elementi:

- Fascia costiera in senso stretto. E' costituita da una sottile striscia di territorio compresa grosso modo tra la linea di costa ed il lungomare
- Pianura costiera. La fascia costiera sfuma nella pianura costiera il cui limite morfologico verso monte corre a cavallo dell'autostrada Genova-Livorno; originariamente caratterizzata dalla presenza di cordoni litoranei e dune, la piana costiera ingloba aree ex-palustri retrodunali e interdunali, alcune delle quali ormai colmate, che nella maggior parte dei casi si estendono parallelamente alla costa
- Sistema delle conoidi. All'altezza dell'autostrada le quote del piano campagna subiscono un repentino aumento che marca la presenza della paleoripa marina formatasi per l'erosione marina della conoide del Frigido. A monte del gradino morfologico le quote vanno via via crescendo formando una superficie inizialmente subpianeggiante ma la cui acclività subisce progressivi aumenti fino al contatto con i versanti montani. La forma più rappresentata è quella della conoide alluvionale del F. Frigido oggi solo parzialmente conservata ed osservabile a causa sia dei processi di rielaborazione superficiale sia della forte antropizzazione. Tuttavia, la zona apicale presenta una pendenza maggiore che diminuisce gradualmente nella parte mediana e distale. Nella parte distale la conoide è caratterizzata dalla presenza di una scarpata alta fino a 7-8 m con andamento sub parallelo alla costa che costituisce i resti della falesia associabile con la massima trasgressione marina olocenica e i depositi si rinvengono in discordanza al di sotto delle successioni marine ed eoliche oloceniche. La deposizione della conoide è legata alle fasi fredde del Pleistocene superiore e ad un livello marino più basso dell'attuale. Le condizioni fredde ed aride durante l'Ultima Glaciazione hanno favorito la produzione di notevoli quantità di detrito all'interno del bacino del Frigido e la loro ridistribuzione allo sbocco nella pianura e lungo parte della piattaforma continentale. La deposizione e il modellamento della conoide si è fermata in corrispondenza del miglioramento climatico olocenico quando la risalita del livello marino e la diminuzione di carico solido del corso d'acqua ha favorito la sua incisione nella porzione apicale. I depositi sono prevalentemente ghiaiosi con spessori che possono superare gli 80 metri osservati nei sondaggi più profondi effettuati nell'ambito della pianura. Lungo la fascia al piede dei versanti i vari corsi d'acqua hanno prodotto una serie di conoidi alluvionali di età olocenica. La forma delle conoidi pedemontane è ben riconoscibile anche se i processi responsabili

della loro formazione sono oggi inattivi a causa della regimazione dei corsi d'acqua e dell'intensa antropizzazione. Le dimensioni così come la pendenza delle conoidi è variabile e funzione sia dell'importanza dei corsi d'acqua che li alimentano sia dell'intensità dei processi di messa in posto dei depositi. Le conoidi con minor pendenza sono quelle alimentate dai corsi d'acqua con bacino di alimentazione più esteso e con minor energia del rilievo provenienti da NO (ad es. Canale della Foce, Fosso Castagnara) mentre le più pendenti sono quelle i cui bacini di alimentazione presentano minor estensione e maggior pendenza dei versanti (Fosso Colombera che diventa poi Canale del Rotino, Fosso di San Remigio e Torrente Canal Magro). Le conoidi sono in gran parte coalescenti, ovvero unite tra loro, anche se ancora in gran parte distinguibili. Nello specifico l'area di progetto di trova in parte sulla conoide del T. Canal Magro ed in parte sulla conoide del Fiume Frigido. La pendenza aumenta sensibilmente procedendo dalla ferrovia verso l'apice della conoide, a NE dell'area di progetto. La Carta delle Pendenze del Piano Strutturale (Fig. 4.1a,b.), basata sul DTM, evidenzia in modo abbastanza chiaro il limite morfologico della conoide del T. Canal Magro.



Fig. 4.1a. Carta delle Pendenze – Piano Strutturale del Comune di Massa

Classi di acclività dei versanti

	0 - 5%	(<2° 86')
	5 - 10%	(2° 86' - 5° 71')
	10 - 15%	(5° 71' - 8° 53')
	15- 25%	(8° 53' - 14° 04')
	25 - 40%	(14° 04' - 21° 80')

Fig. 4.1b. Legenda della Carta delle Pendenze – Piano Strutturale del Comune di Massa

Situazione locale

Il tratto di viabilità in progetto ha inizio all'intersezione tra via Pellegrini, Viale della Repubblica e via Papino, presso il cimitero di Turano e la Ferrovia Genova-Pisa. Il primo tratto corre in direzione SE in situazione pianeggiante ed in fregio alla ferrovia lato monte fino all'altezza del mercato ortofrutticolo. Questo primo tratto, collocato dal punto di vista morfologico sulla conoide del F. Frigido, attraversa aree residuali caratterizzate dalla presenza di case sparse, aree a verde pertinenziale, piccoli orti, ed aree incolte. Non sono da segnalare, in questo tratto, elementi morfologici significativi oltre al rilevato ferroviario. Il reticolo idrografico è rappresentato dal Fosso Magliano che recepisce le acque del Fosso San Remigio poco a monte della ferrovia e scorre in situazione tombata in direzione SW (Fig. 4.2.).



Fig. 4.2. Fosso Magliano. In verde il tratto tombato, in blu il tratto non tombato a valle della ferrovia (https://geoportale.lamma.rete.toscana.it/difesa_suolo/#/viewer/openlayers/265)

All'altezza del mercato ortofrutticolo coperto il tracciato di progetto devia verso NE, attraversa il T. Canal Magro e termina sulla SS Aurelia di fronte all'Ospedale Pediatrico. Analogamente al tratto precedente il territorio è caratterizzato da case sparse, aree a verde pertinenziali, aree marginali (a fianco del mercato ortofrutticolo) e terreni incolti. Dal punto di vista geomorfologico questo tratto si colloca sulla conoide del T. Canal Magro; il passaggio dall'ambito della conoide del F. Frigido è marcata da un gradino morfologico piuttosto evidente in campagna e da un lieve aumento dell'acclività (Fig. 4.3.). Il T. Canal Magro e la sua conoide rappresentano l'elemento morfologico principale. Il corso d'acqua scorre incassato tra ripide sponde e, in corrispondenza della ferrovia, confluisce con il Fosso della Tomba e prosegue oltre la ferrovia in direzione SW (Fig. 4.4.).



Fig. 4.3. Gradino morfologico che marca il passaggio dalla conoide del F. Frigido alla conoide del Canal Magro (immagine e profilo altimetrico da Google Earth).



Fig. 4.4. Canalmagro e Fosso della Tomba (https://geoportale.lamma.rete.toscana.it/difesa_suolo/#/viewer/openlayers/265)

La consultazione delle immagini aeree storiche, con particolare riferimento all'Ortofotocarta 1:10.000 del del 1954 e del 1965 (<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/fototeca.html>), quest'ultima molto nitida e ingrandibile senza sgranare, ha consentito di vedere lo stato dell'alveo del Canal Magro nel tratto compreso tra la SS1 Aurelia e la ferrovia prima che venissero realizzati gli argini. Le immagini del 1954 e del 1965 (Fig. 4.5 e 4.6) mostrano che il Canal Magro scorreva in un letto piuttosto ampio (circa 16m di larghezza) e che periodicamente era soggetto a esondazione, come si evince dalla presenza di evidenti tracce di divagazione (nell'immagine del 1954 si era probabilmente verificato da poco un episodio di esondazione). Un'altra informazione, deducibile dall'assenza di vegetazione in corrispondenza dell'alveo e dall'assenza evidente di una linea di scorrimento preferenziale, è che in quell'intervallo di tempo prevalevano i fenomeni di deposizione (peraltro molto abbondanti) rispetto ai fenomeni erosivi.



Fig. 4.5. Canal Magro nel tratto compreso tra la SS1 Aurelia e la ferrovia. Ben evidente, anche a monte della SS1 Aurelia, l'alveo del Canal Magro a seguito di un evento che ha comportato abbondante deposizione ed a parziale a esondazione. Immagine OFC 10K del 1954.
(<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/fototeca.html>).



Fig. 4.6. Canal Magro nel tratto compreso tra la SS1 Aurelia e la ferrovia, evidenziati gli alvei di divagazione delle esondazioni. Immagine OFC 10K del 1965 (<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/fototeca.html>).

In Fig. 4.7, appartenente alle immagini della OFC 10K del 1954, è mostrato un tratto del Canal Magro a monte della SS1 Aurelia. Come si può osservare, il versante in destra idrografica è evidentemente soggetto a severi fenomeni erosivi, i cui effetti sono verosimilmente la fonte principale dei sedimenti depositatisi in alveo e visibili in Fig. 4.5; inoltre nell'immagine sono ben visibili importanti dissesti avvenuti più a monte e nella vallecola. In Fig. 4.8, appartenente alla OFC del 1965, è mostrata la stessa area: si può osservare che gran parte dell'area precedentemente interessata dai dissesti è vegetata e che i fenomeni erosivi sono meno evidenti, tuttavia è presente un'attività antropica (probabile cava di inerti) che verosimilmente genera, per erosione, molti sedimenti, ben visibili nell'alveo del Canal Magro immediatamente a valle dell'area stessa e nel tratto tra la SS1 Aurelia e la Ferrovia (Fig. 4.6). L'esame delle immagini storiche degli anni successivi mostra che le attività antropiche sono terminate tra il 1978 ed il 1988, dopodiché l'area si è progressivamente rinaturalizzata. Nella Fig. 4.9 è rappresentata la stessa area ai giorni nostri (immagine Google Earth del 08/07/2017): il versante risulta pressoché interamente coperto da vegetazione ed esente da tracce di erosione e non sono più evidenti i depositi di sedimenti nell'alveo del Canal Magro.

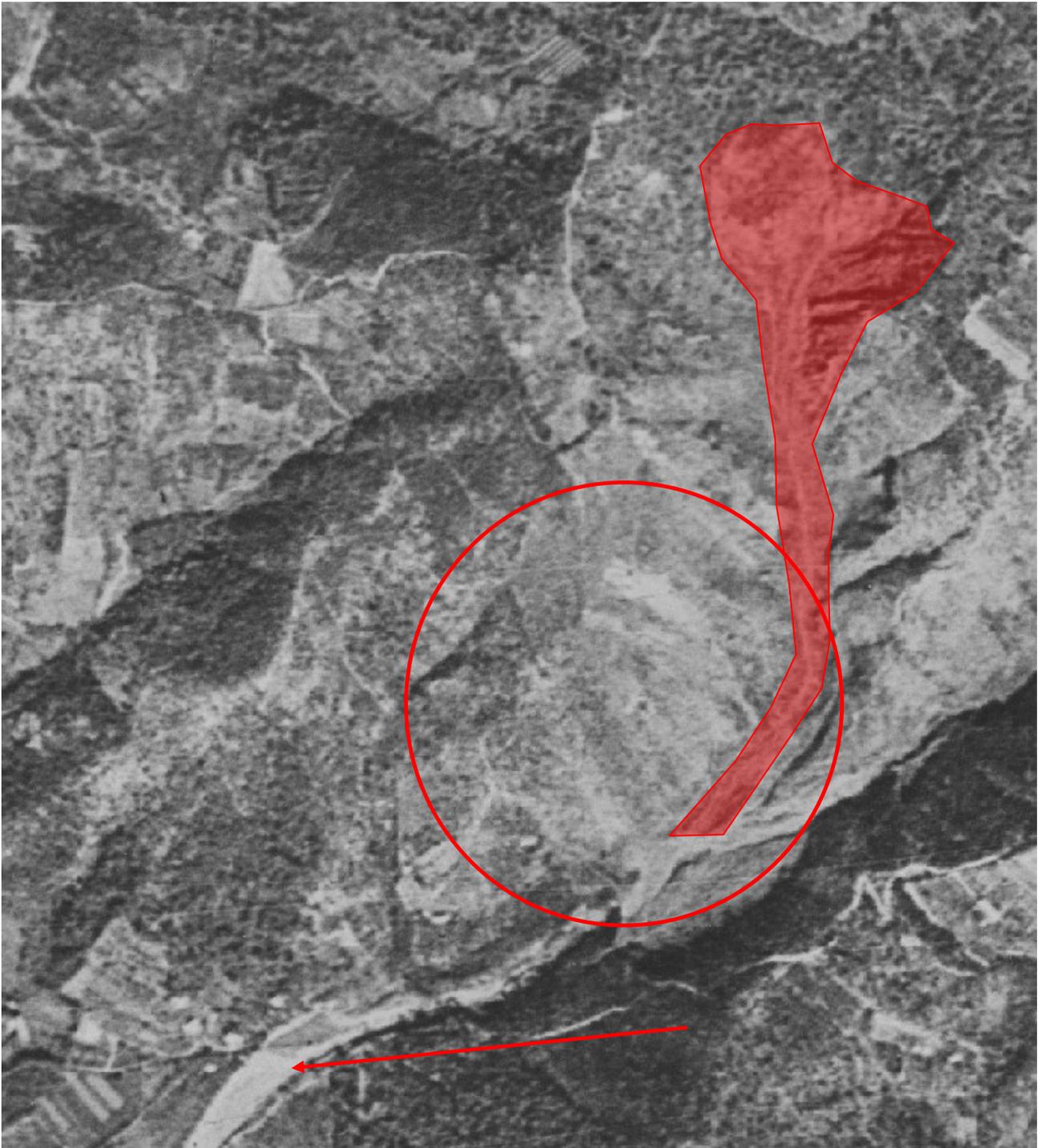


Fig. 4.7. Tratto del Canalmagro a monte della SS1 Aurelia. Evidenti le tracce di erosione sul versante in destra idraulica. La freccia rossa indica le evidenze di depositi in alveo che sono particolarmente sviluppati a valle dell'area in erosione. Immagine OFC 10K del 1954 (<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/fototeca.html>)

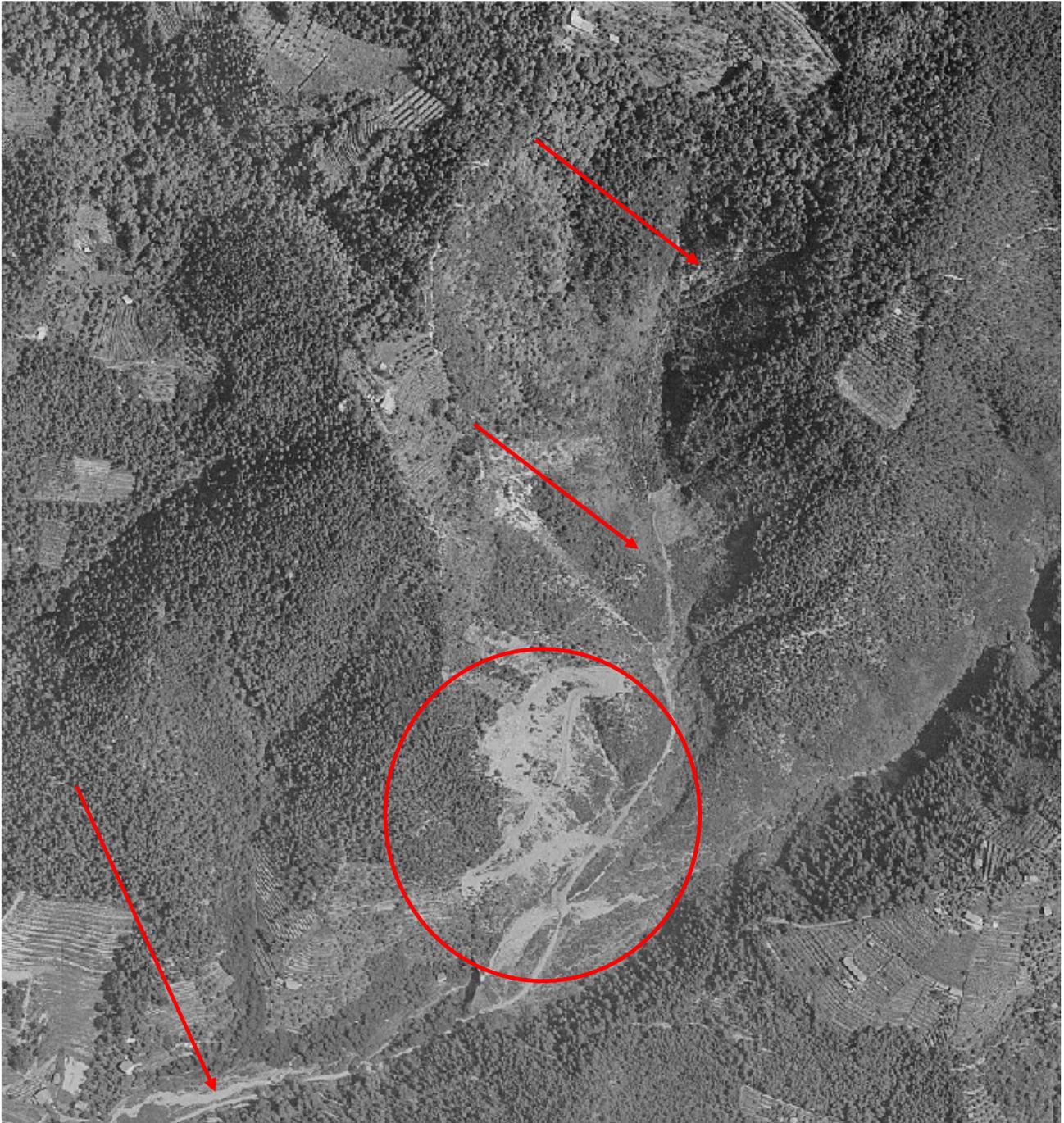


Fig. 4.8. Tratto del Canalmagro a monte della SS1 Aurelia. Evidenti le tracce di erosione, anche se ridotte rispetto all'immagine del 1954, sul versante in destra idraulica, probabilmente dovute ad attività antropiche (cave di inerti?). La freccia rossa indica le evidenze di depositi in alveo che sono particolarmente sviluppati a valle dell'area in erosione. Immagine OFC 10K del 1965. (<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/fototeca.html>)



Fig. 4.9. Stessa area delle Figg. 4.7-4.8 ai giorni nostri: il versante è coperto da vegetazione e non vi sono evidenze di fenomeni erosivi. Assenti le evidenze di depositi in alveo. Immagine Google Earth del 08/07/2017.

Allo stato attuale lungo il T. Canal Magro nel tratto compreso tra via delle Jare e la ferrovia, in cui ricadono i due nuovi attraversamenti OP01 e OP02, sembrerebbero essere prevalenti i fenomeni erosivi. Il corso d'acqua, caratterizzato da regime torrentizio, scorre tra argini riprofilati e le sponde sono interessate (Fig. 4.10 e 4.11.) da piccoli crolli innescati da erosione al piede. Il fenomeno riveste carattere puntuale, tanto che le cartografie del Piano Strutturale "Tratti soggetti a rottura arginale" per $Tr=30$ anni e $Tr=200$ anni (Figg. 4.12. e 4.13.) mostrano che gli argini nel loro complesso non mostrano problematiche di instabilità tali da determinarne la rottura. Sempre dalle fotografie nelle Figg. 4.10 e 4.11 si può osservare come l'intero alveo sia inerbito e che non vi sono tracce di recenti fenomeni di deposito di sedimenti.



Fig. 4.10. Crolli lungo le sponde del T. Canal Magro innescati da erosione



Fig. 4.11. Crollo lungo la sponda del T. Canal Magro

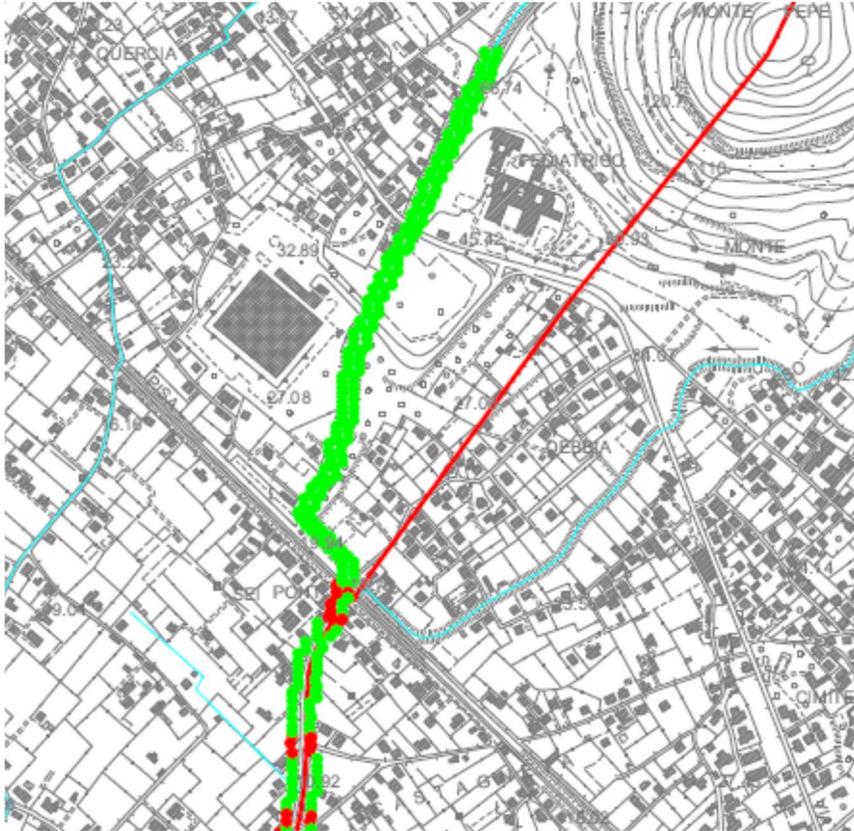


Fig. 4.12. Tratti soggetti a rottura arginale” per $Tr=30$ anni

LEGENDA

- Tratti soggetti a rotture arginali
- Tratto senza rottura
 - Tratto con rottura

□ Limite comunale

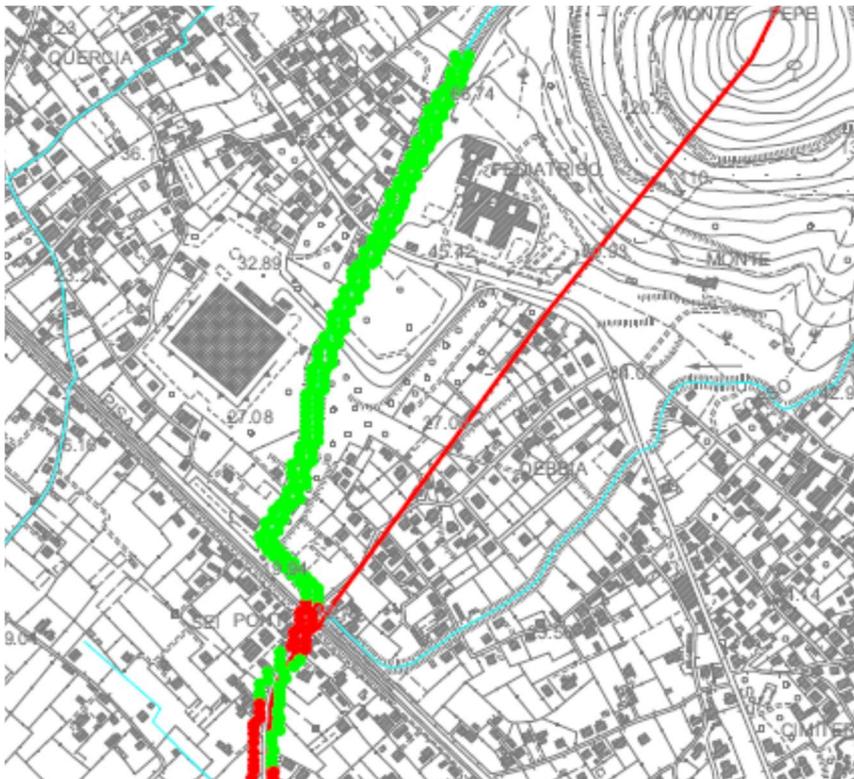


Fig. 4.13. Tratti soggetti a rottura arginale” per $Tr=200$ anni

LEGENDA

- Tratti soggetti a rotture arginali
- Tratto senza rottura
 - Tratto con rottura

□ Limite comunale

La Carta Geomorfologica del Piano Strutturale di Massa illustra in modo chiaro (pur con alcuni limiti imposti dalla scala di restituzione) il contesto in cui è collocata l’area di progetto.

Con riferimento all'area compresa tra la SS1 Aurelia e la ferrovia l'elaborato riporta che l'alveo del Canal Magro è cartografato come "Tratto di corsi d'acqua e impluvi interessati e/o soggetti a fenomeni di sovralluvionamento" (**dis**), classificato nell'ambito delle "Forme fluviali, processi e depositi dovuti ad acque correnti superficiali". Molto probabilmente l'attribuzione del tematismo all'alveo del Canal Magro è dovuta alla storia pregressa che, come già descritto, contempla episodi di sovralluvionamento. Rilevante però è anche il fatto che il Canal Magro non è stato oggetto di episodi di trasporto detritico nemmeno in concomitanza dei numerosi eventi che, a partire dal 2008, a seguito di eventi pluviometrici significativi hanno prodotto nel territorio comunale un numero molto elevato di frane. Nello specifico il rilievo effettuato non ha messo in evidenza la presenza di tracce ricollegabili a recenti fenomeni di deposizione di detrito di tipologia analoga a quella già descritta avvenuta negli anni 1954-1965. L'esame di immagini aeree (sia della RT che di Google Earth) a partire dal 1988 ha fatto inoltre rilevare che a monte della SS1 Aurelia i versanti afferenti al Canal Magro non mostrano elementi macroscopici riconducibili ad importanti fenomeni erosivi. I versanti presentano una copertura vegetale eterogenea (macchia, arbusteto e bosco per la massima parte) e nella serie storica di immagini non sono individuabili aree denudate.

Nell'area lungo il Canal Magro a monte della SS1, la Carta Geomorfologica del Piano Strutturale riporta la presenza di alcuni elementi che potrebbero essere all'origine del motivo per il quale l'alveo del torrente è classificato come soggetto a fenomeni di sovralluvionamento. Si fa riferimento (Fig. 4.14) ad un corpo di frana per colamento segnalata come attiva (**a1coa**), a quattro corpi di frana complessa anch'essi segnalati come attivi (**a1cma**), ed a tre piccoli corpi di frana di scorrimento attivi (**a1sa**).

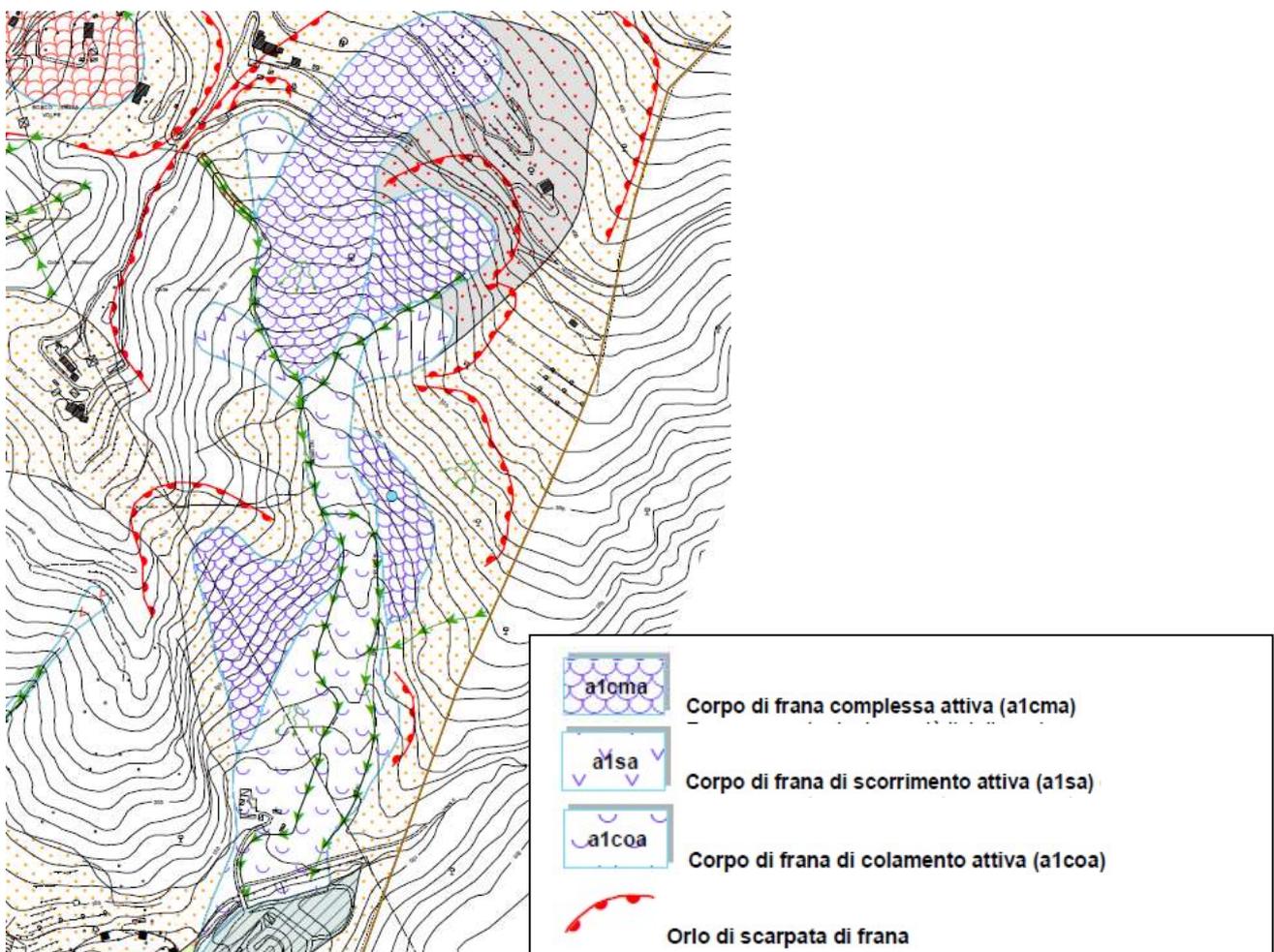


Fig. 4.14. Stralcio da Carta Geomorfologica del Piano Strutturale, Tav. 9, agg. 2014.

Come è evidente si tratta di elementi derivati dai dissesti individuati nelle precedenti immagini del 1954-1965; ciò che non si condivide è lo stato di attività indicato nella Carta Geomorfologica. L'esame della serie di immagini storiche, comprese quelle satellitari più recenti, non fa rilevare infatti elementi riconducibili ad attività recente o sub recente degli elementi morfologici individuati nella cartografia, con particolare riferimento al "corpo di frana per colamento" che, negli anni successivi alla situazione del 1954, non ha più mostrato segni di attività.

Le immagini PS consultabili sul sito del Lamma e riferite a dati interferometrici degli ultimi 5 anni (https://geoportale.lamma.rete.toscana.it/difesa_suolo/#/viewer/openlayers/326) non fanno rilevare segni di attività nell'ambito delle suddette aree o sui manufatti (strade, fabbricati) ricadenti nelle aree di influenza o all'interno di esse (Fig. 4.15).



Fig. 4.15. Immagine PS con dati interferometrici degli ultimi 5 anni.

https://geoportale.lamma.rete.toscana.it/difesa_suolo/#/viewer/openlayers/326

Infine, in Fig. 4.16 è riportato uno stralcio del DB Geomorfologico della Regione Toscana, consultabile sul sito istituzionale <http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/geomorfologia.html#>, nel quale il dissesto principale è classificato come indicato nella seguente tabella:

Layer	FR - Frane
Feature	9053
pk_uid	9053
COD_ENT	FR_000084042
COD_IFFI	0453405000
STATO	Stabilizzata, artificialmente o naturalmente; frana relitta
MOVIMENTO	Colamento (velocita' indeterminata)
DIREZIO	190
FONTE	Contributo specifico da DBgeologico di aprile 2014
FONTE_MOD	Non applicabile perché il dato non è stato aggiornato dopo il primo inserimento
ORAUT	Si: frana esistente nell'Originale d'Autore
P_STR	La frana ha diversa geometria e diverso stato di attivita' di quella nel PS
SIGLA_CART	a1s
DES_SIGLA_CART	Stabilizzata, artificialmente o naturalmente; frana relitta
GENESI	Forme, processi e depositi di versante dovuti alla gravita'
TIPO_OPERA	Indeterminato

Come si può osservare nella nota viene fatto presente che “la frana ha diversa geometria e diverso stato di attività rispetto a quella nel PS”.

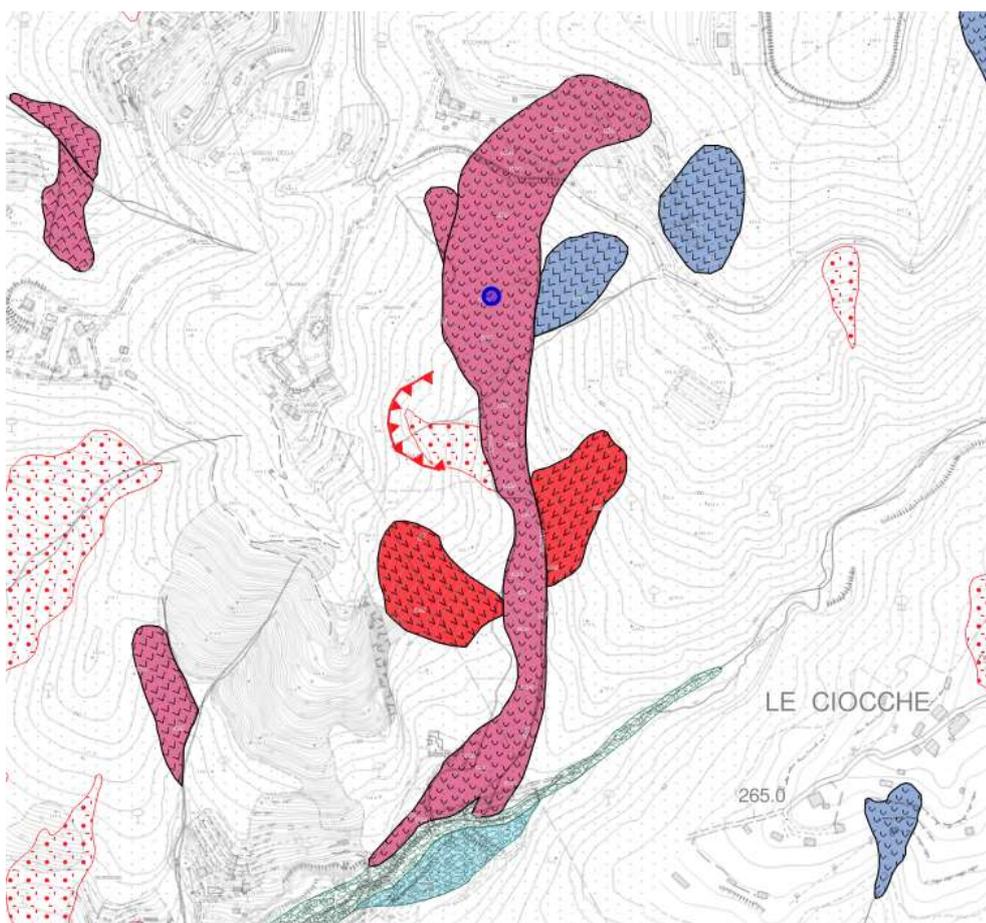


Fig. 4.16a. Stralcio da DB Geomorfologico regionale. <http://www502.regione.toscana.it/geoscopia/geomorfologia.html#>

Stato di attività dei corpi di frana

-  Attiva continua, stagionale, con tempo di ritorno pluriennale o pluridecennale?
-  Quiescente¹⁰
-  Stabilizzata, artificialmente o naturalmente; frana relitta¹¹

Tipologia del movimento franoso

-  Movimento indeterminato
-  Scorrimento (velocità indeterminata)
-  Colamento (velocità indeterminata)

Forme di accumulo e relativi depositi

- Deposito di versante
 Deposito a clasti angolosi e subangolosi eterometrici con contenuto variabile di matrice sabbiosa o limosa, massivo o stratificato.

Forme di denudazione

-  Orlo di scarpata di degradazione
altezza indeterminata

Fig. 4.16b. Legenda del DB Geomorfologico regionale

In base a quanto rilevato, all'esame della serie storica di immagini aeree e satellitari, all'esame delle cartografie geomorfologiche (che presentano alcune incongruenze fondamentali) è dunque ipotizzabile che il tematismo in corrispondenza dell'alveo del Canal Magro sia stato inserito a titolo prudenziale per segnalare la possibilità che l'evento indicato si manifesti. Non è dato di sapere il periodo di ricorrenza dell'evento stesso.

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La presenza, nell'area di progetto, di depositi di conoide riferibili a periodi differenti ma litologicamente analoghi, nonché l'elevata antropizzazione dell'area e l'assenza di sezioni naturali, hanno reso poco efficace il rilievo di campagna. Non è stato possibile infatti osservare i litotipi in posto in affioramento e il riconoscimento superficiale è pressoché impossibile. Ai fini progettuali è stato pertanto ritenuto corretto, dal punto di vista dei contenuti necessari al quadro conoscitivo, di utilizzare la Carta Geologica Regionale (CARG) sezione 249140 riportata alla scala 1:5000 come cartografia di riferimento. Sempre per le ragioni di cui sopra non è stato possibile procedere con stralci a scala maggiore. Il quadro geologico esposto dal CARG è tuttavia confermato dalle stratigrafie dei sondaggi che hanno consentito di delineare i caratteri litologici dei depositi di conoide.

5.1 INQUADRAMENTO GENERALE

L'area in esame appartiene alla fascia centrale della catena orogenica dell'Appennino settentrionale ed è parte integrante della fascia di deformazione perimediterranea, sviluppatasi prevalentemente in tempi neogenici e costituita da una struttura complessa di falde e thrust formatasi in relazione a più fasi tettoniche (Figura 5.1).

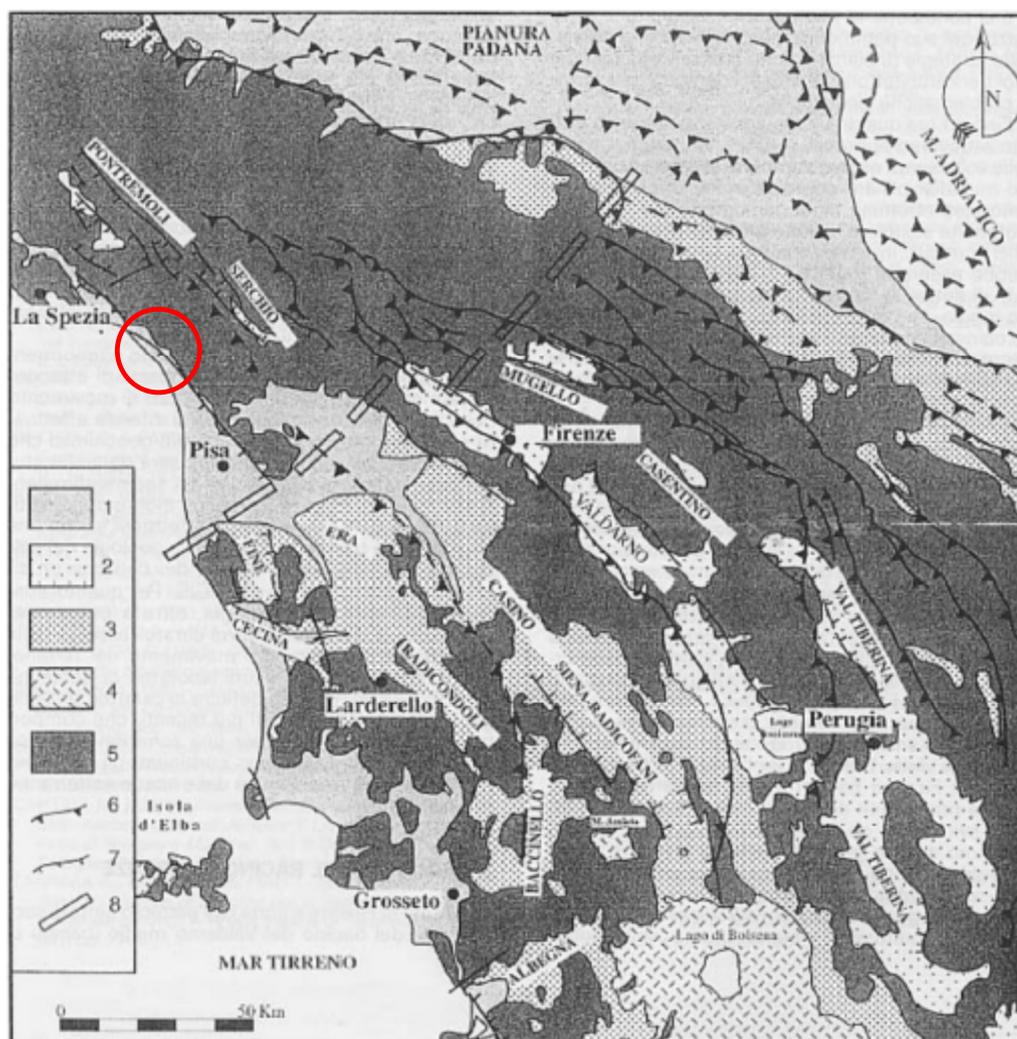


Fig. 5.1. Carta schematica strutturale dell'Appennino settentrionale: 1. depositi alluvionali; 2. depositi continentali plio-pleistocenici dei bacini intermontani; 3. depositi neogenico quaternari dei bacini interni e del bordo padano adriatico; 4. rocce ignee; 5. substrato; 6. principali fronti di accavallamento; 7. principali faglie normali; 8. linea tettonica trasversale Livorno – Sillaro. (Boccaletti et al. 1997).

L'Appennino Settentrionale è una catena a falde e thrust, formatasi a partire dal Cretaceo superiore in relazione a più fasi tettoniche legate alla chiusura dell'Oceano Ligure –Piemontese ed alla conseguente collisione continentale tra le placche europea ed adriatica (Boccaletti & Coli, 1983).

La storia tettonica che ha portato alla sua formazione si è sviluppata in modo continuo ed è tuttora in atto. Durante la sua evoluzione è comunque possibile distinguere alcuni periodi (fasi tettoniche) in cui l'intensità delle deformazioni è risultata particolarmente elevata e tale da lasciare una registrazione stratigrafica degli eventi:

- dal Cretaceo all'Eocene medio (fase oceanica) si verifica la progressiva chiusura del paleo Oceano Ligure - Piemontese con la conseguente formazione di un prisma di accrezione che coinvolge successioni Liguri e Subliguri. La fase tettonica principale è databile Eocene medio e viene denominata "Fase Ligure"; tale fase è testimoniata dall'importante discordanza fra la Successione Epiligure e le sottostanti Liguridi precedentemente deformate;
- le fasi deformative succedutesi dall'Oligocene in poi, si sono verificate in un quadro geodinamico molto differente (fase continentale), rappresentato da un regime collisionale e post - collisionale in cui sono state progressivamente coinvolte nella deformazione le successioni dell'Avampaese Toscano e Umbro con i sovrastanti depositi di Avanfossa (Macigno, Modino, Cervarola, Marnoso Arenacea). La migrazione continua del fronte deformativo per tutto il Miocene ed il Pliocene ha coinvolto successivamente i domini più esterni dell'Avampaese Appenninico (Dominio Umbro - Marchigiano e Padano) fino a determinare la configurazione attuale della catena nord - appenninica.
- In questo quadro tettonico si pone l'evoluzione dell'area in esame che vede, durante il Miocene medio, il sovrascorrimento della Falda Toscana sull'Unità Cervarola – Falterona; successivamente durante il Miocene superiore, le Unità Liguridi avanzano ulteriormente verso l'esterno della catena, sovrascorrendo sia sulla Falda Toscana che sull'Unità Cervarola Falterona già impilate (Coli & Fazzuoli, 1983). Durante queste fasi la dorsale nord-appenninica si solleva ed assume l'aspetto di un'ampia catena montuosa. A partire dal Miocene superiore, il fronte compressivo è seguito da un fronte distensivo, legato all'apertura del Bacino Tirrenico (Elte et al., 1975; Bartolini et al., 1983; Boccaletti et al., 1985; 1995).
- Attualmente i due regimi tettonici coesistono in due fasce longitudinalmente contigue della catena (Coli, 1992): sul versante tirrenico è attivo il regime distensivo, su quello adriatico quello compressivo. Il regime tettonico distensivo ha portato alla smembramento della catena attraverso una gradinata di faglie normali immergenti verso il Tirreno, ed allo sviluppo di depressioni tettoniche via via più giovani da ovest verso est.

Dal Tortoniano proseguono i processi di estensione che coinvolgono il settore interno della catena. Questa fase distensiva, che si manifesta con la creazione di faglie dirette con direzione appenninica, è legata all'apertura del Mar Tirreno, ed è la causa della formazione dei graben del Serchio, della Versilia e dei bacini neogenici della Toscana meridionale. Questo processo è contemporaneo alla apertura del Tirreno meridionale (Kastens e Mascle, 1990). A nord la tettonica distensiva a basso angolo è riferibile ad almeno 14 Ma, in base alle datazioni K/Ar nel complesso metamorfico (Kligfield *et al.*, 1986), mentre quella ad alto angolo è databile solo in base a dati stratigrafici al Villafranchiano per la presenza dei depositi continentali dei graben della Garfagnana e del Magra.



Fig. 5.2. Distribuzione dei principali bacini neogenici e quaternari dell'Appennino Settentrionale. 1=principali fronti di accavallamento; 2=faglie principali ai bordi dei bacini; 3=linee tettoniche trasversali; 4=faglie minori al bordo dei bacini. (BOSSIO et alii 1992).

5.2 SITUAZIONE LOCALE

Il tratto di viabilità in progetto, come accennato in precedenza, si trova nell'ambito della zona interna della pianura di Massa, formata dai depositi alluvionali pleistocenici del Fiume Frigido e secondariamente del Torrente Ricortola e parte del Torrente Carrione; tale zona si raccorda ai rilievi apuani tramite i depositi di conoide pedemontani costituiti principalmente dalle aste idriche che solcano le colline del Candia ad occidente e da quelle discendenti dal M. Belvedere ad oriente (Canale delle Grondini, Fosso di S. Remigio e T. Canal Magro).

I depositi alluvionali pleistocenici sono costituiti da un'associazione eterogenea di ciottoli e ghiaie derivanti dallo smantellamento dei rilievi collinari e montani che bordano la pianura di Massa tra i quali predominano i litotipi di composizione calcarea (marmi, grezzoni) provenienti dalle Unità Metamorfiche oltre a ciottoli calcarei ed arenacei non metamorfici appartenenti alla Falda Toscana ed alle Liguridi. I depositi alluvionali inoltre si presentano con variazioni granulometriche notevoli sia orizzontalmente che verticalmente ed a partire da alcuni metri dal piano campagna risultano a tratti caratterizzati da livelli di ghiaia cementata che si sono formati in condizioni climatiche e morfologiche diverse dalle attuali (clima più freddo e più piovoso) (Salvatori e Spandre, 1995) in seguito alla percolazione di acque ricche di carbonato di calcio.

Lo spessore di tali depositi alluvionali, per la subsidenza che interessa il litorale Apuano, è molto elevato e si stima possa essere superiore ai 200 m. Nella parte distale la conoide del Fiume Frigido risulta erosa da una scarpata che corre parallela alla costa e rappresenta il limite raggiunto dal mare durante la trasgressione Versiliana, prima che la progradazione della linea di costa riprendesse verso Sud/Ovest con la conseguente formazione della pianura attuale. Il cono del Fiume Frigido è il più esteso, ha una pendenza modesta, dato che il suo apice è posto a quota

65 m s.l.m. circa in località Santa Lucia e il bordo più esterno (lungo l'asse della conoide), attualmente visibile, si trova a circa 4 km dalla zona apicale ad una distanza di circa 2 Km dalla linea di riva attuale. La formazione della conoide alluvionale è da ricondurre alle azioni di diverso tipo esercitate in diversi momenti e fasi dalle acque del Fiume Frigido. Infatti se consideriamo l'evoluzione della zona apuana a partire dal Pliocene, si nota che, in quel periodo, il mare lambiva le Apuane fino ad arrivare a bagnare, più a sud, le pendici dell'Appennino, formando un ampio golfo. Successivamente, durante il Quaternario, questo golfo andava a poco a poco interrandosi, per il graduale depositarsi dei materiali terrigeni che il Fiume Frigido prendeva in carico erodendo, oltre che i rilievi, anche i recenti terreni pliocenici e determinando così il graduale trasformarsi dell'ambiente marino in ambiente litorale di delta e di laguna.

In periodi più recenti, in relazione a cambiamenti climatici, il Fiume Frigido è entrato in una fase erosiva causando l'incisione dei depositi di conoide che hanno così assunto l'attuale morfologia terrazzata. Tutta la pianura ha visto un rapido aumento di superficie durante gli ultimi 4.000 anni, come conseguenza della deforestazione e dell'introduzione dell'agricoltura, che hanno causato un aumento dell'erosione delle terre e un forte incremento della portata solida dei corsi d'acqua: ciò ha portato ad una regressione marina nonostante che il livello marino abbia continuato ad alzarsi (circa un metro negli ultimi 3.000 anni). La progradazione della linea di costa si è arrestata con la costruzione del porto di Marina di Carrara negli anni '20, che ha provocato l'interruzione del trasporto litoraneo dei sedimenti da nord verso sud: le conseguenze sono state l'aumento della spiaggia posta a nord del porto (+44,6 m dal 1938 al 1998) e l'erosione di quella meridionale (-106 m nello stesso periodo di tempo) (Cipriani *et al.*, 2001).

La situazione geologica è ben illustrata, come già anticipato, nella Carta Geologica Regionale (CARG) in scala 1:10.000, sezione 249140, che viene adottata come cartografia geologica di riferimento (elaborato 0213_T00GE00GEOCT01B). In Fig. 5.3 è riportato uno stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 – Foglio 249 in cui è rappresentata l'area di progetto.

Da notare che l'area a monte della SS1 Aurelia, indicata nella Carta Geomorfologica del Piano Strutturale come "Corpo di frana per colamento attiva" sia qui indicata come "Accumuli gravitativi caotici antichi di materiali eterogenei ed eterometrici attualmente stabilizzati", in evidente contrasto con la definizione della citata Carta Geomorfologica.

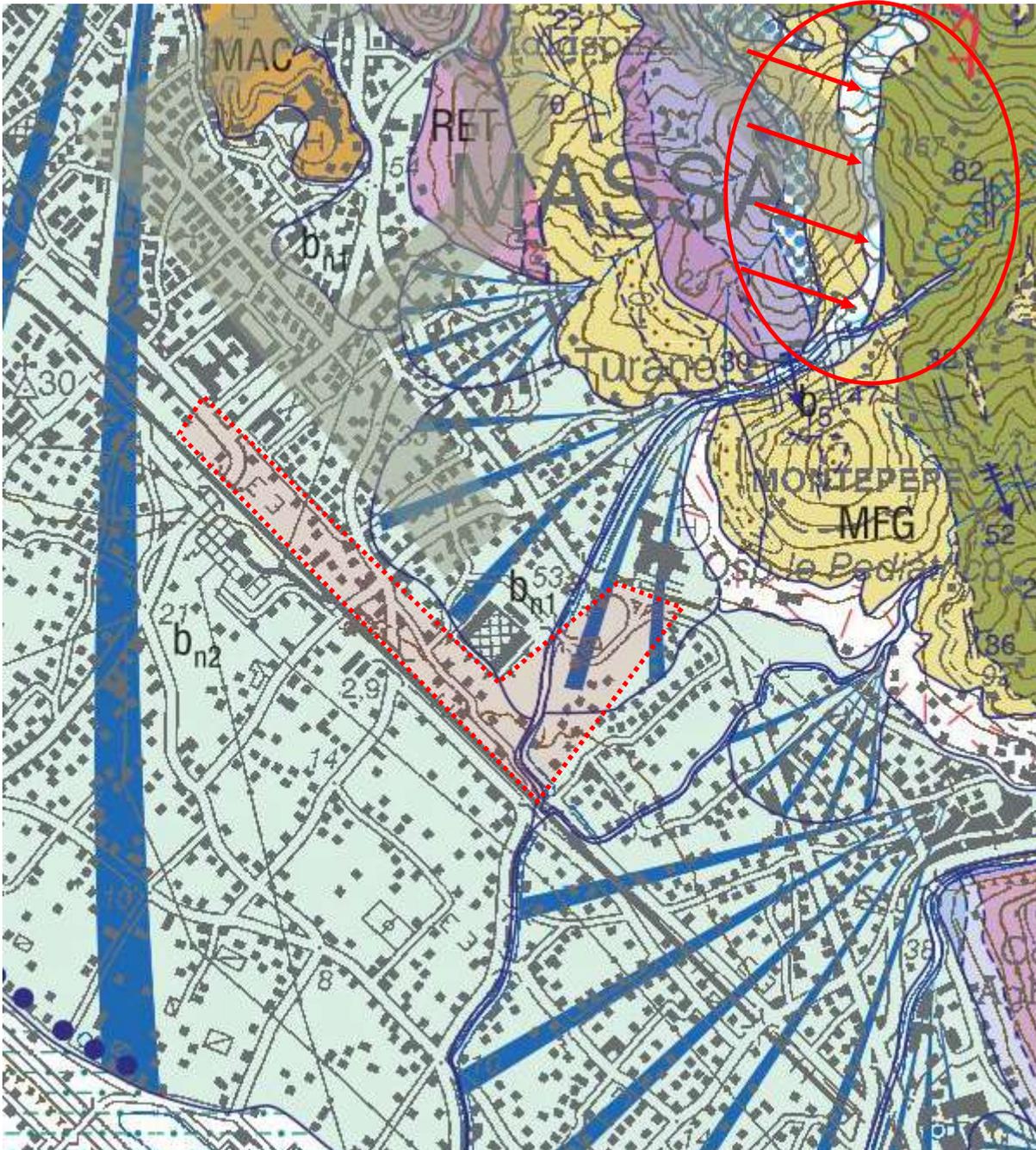


Fig. 5.3a. Estratto da Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, foglio 249 MASSA.

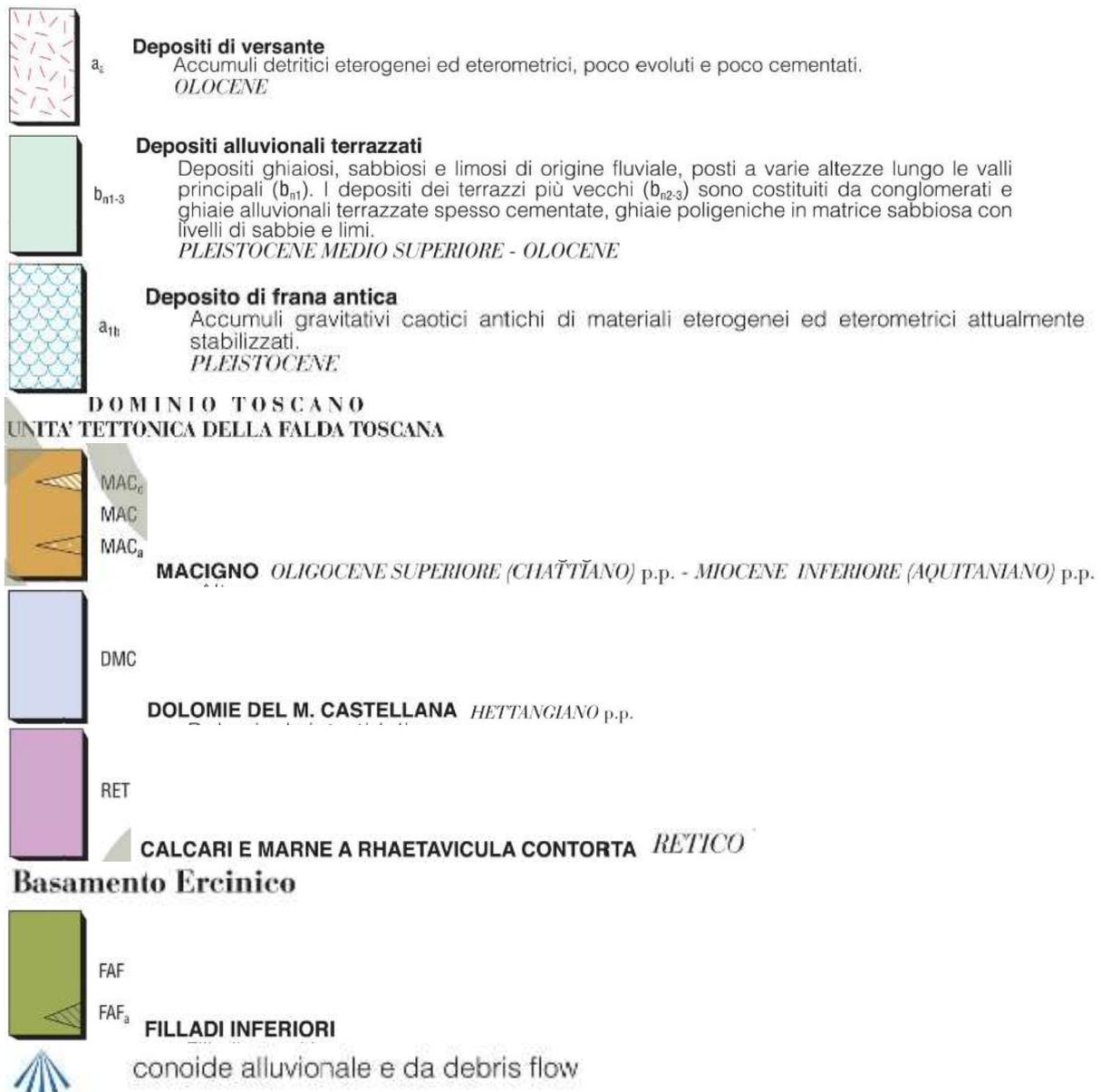


Fig. 5.3b. Legenda della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, foglio 249 MASSA.

5.3 STRATIGRAFIA

Per la stratigrafia dell'area di progetto si fa riferimento in questa sede esclusivamente ai sondaggi effettuati nel Dicembre 2019 da Tecnoin. Si tratta in tutto di 4 sondaggi realizzati lungo il tracciato stradale in progetto. Le stratigrafie dei sondaggi sono riportate qui di seguito.

S01_PZ

PROFONDITA' m da p.c.	LITOLOGIA	SPT/Prof. (m da p.c.)	CAMPIONI N/prof. (m da p.c.)	ATTRIBUZIONE LITOLOGIA PROFILO
0-0,40	Terreno vegetale costituito da sabbia limosa di colore marrone, rara ghiaia eterometrica, da sub-arrotondata a sub-angolare, presenza di apparati radicali			TV
0,40-1,20	Limo sabbioso debolmente argilloso, colore marrone, passante all'aumentare della profondità ad una sabbia limosa debolmente argillosa con clasti poligenici, dimensioni da subcentimetriche a pluricentimetriche, dmax=3,50cm, sub-arrotondati. Proporzioni clasti/matrice: 25%/75%.			bn2 LSG (a)
1,20-3,00	Ghiaia grossolana e ciottoli in matrice sabbiosa, debolmente limosa, colore beige; i clasti sono poligenici, di dimensioni da subcentimetriche a pluricentimetriche, dmax=4cm, sub-arrotondati, appiattiti. Proporzioni clasti/matrice: 70%/30%. Da 1.40m a 1.50m, trovante roccioso	SPT1/2,20m		bn2 GSL
3,00-11,70	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa, da debolmente limosa a limosa, colore beige; i clasti sono poligenici, dimensioni da subcentimetriche a pluricentimetriche, dmax=6cm, da spigolosi a sub-arrotondati, superfici dei clasti per lo più appiattiti. Proporzioni clasti/matrice: 70%/30%. Si evidenziano tratti dove la matrice è maggiore (da 3,45m a 3,60m ; da 7,20m a 7,60m ; 10,10m a 10,50m).	SPT2/6,55m SPT3/9,20m	CR1 3,50-4,00 CR2 7,00-7,50 CR3 10,50-11,00	bn2 GSL
11,70-13,10	Limo sabbioso argilloso con ghiaia eterometrica e ciottoli sub-arrotondati, dmax=3cm, colore marrone-rossastro, passante all'aumentare della profondità ad un limo argilloso sabbioso. Proporzioni clasti/matrice: 20%/80%.		C11 12,00-12,50	bn2 LSG
13,10-17,00	Ghiaia in matrice limosa sabbiosa debolmente argillosa, di colore marrone-marrone rossastro; clasti poligenici, dimensioni subcentimetriche a pluricentimetriche, dmax=4-5cm, da spigolosi a sub-arrotondati, superfici dei clasti maggiormente appiattiti. Proporzioni clasti/matrice: 60%/40%	SPT4/13,50m SPT5/16,55m		bn2 GSL
17,00-30,00	Ghiaia grossolana e ciottoli in matrice limosa sabbiosa, di colore beige; clasti poligenici, dimensioni subcentimetriche a pluricentimetriche, dmax=5-6cm, da spigolosi a sub-arrotondati, superfici dei clasti principalmente appiattiti. Proporzioni clasti/matrice: 70%/30%. Si evidenziano vari livelli dove la matrice è maggiore. Livello di sabbia medio-fine limosa debolmente argillosa, colore grigio, da 27.30m a 27.60m.	SPT6/19,00m SPT7/22,50m	CR4 18,00-18,50 CR5 20,50-21,00 CR6 23,50-24,00 CR7 26,50-27,00	bn2 GSL

S02-PZ

PROFONDITA' m da p.c.	LITOLOGIA	SPT	CAMPIONI	ATTRIBUZIONE LITOLOGIA PROFILO
0-1,70	Terreno di riporto costituito da sabbia ghiaiosa da debolmente limosa a limosa; passaggio graduale di colore da bruno-nerastro a marrone; dimensioni dei clasti poligenici da centimetriche a			h6

PROFONDITA' m da p.c.	LITOLOGIA	SPT	CAMPIONI	ATTRIBUZIONE LITOLOGIA PROFILO
	pluricentriche, dmax=2cm, da sub-arrotondati a sub-angolari. Presenza di frammenti laterizi.			
1,60-3,50	Sabbia limosa debolmente argillosa, passante a limo sabbioso debolmente argilloso, all'aumentare della profondità, colore marrone/marrone-rossastro. Sono presenti clasti poligenici, di dimensioni da subcentimetriche a pluricentriche, dmax=2cm, da spigolosi a sub-arrotondati. Proporzioni clasti/matrice: 25%/75%.	SPT1/3,00m	CR1 2,00-2,50	bn2 SLG
3,50-4,50	Ghiaia grossolana e ciottoli in matrice limosa sabbiosa, colore marrone rossastro; i clasti sono poligenici, di dimensioni da subcentimetriche a pluricentriche, dmax=4 cm, sub-arrotondati, appiattiti. Proporzioni clasti/matrice: 70%/30%.			bn2 GSL
4,50-6,10	Sabbia limosa, debolmente argillosa, con ghiaia eterometrica e ciottoli a spigoli smussati, passante all'aumentare della profondità a limo sabbioso argilloso con clasti poligenici, di dimensioni da subcentimetriche a pluricentriche, sub-arrotondati. Proporzioni clasti/matrice: 20%/80%.	SPT1 3,30m	CI1 5,00-5,50	bn2 SLG
6,10-7,50	Ghiaia eterometrica, da spigolosa a sub-arrotondata, con sabbia debolmente limosa, colore marrone/marrone rossastro, presenza di ciottoli a spigoli vivi e smussati, dmax=3-4cm. Proporzioni clasti/matrice: 60%/40%.			bn2 GSL
7,50-20,00	Alternanza di livelli di sabbia limosa con ghiaia, a tratti debolmente argillosa, intervallate da livelli di limo sabbioso argilloso / limo argilloso sabbioso. Presenza di clasti poligenici, di dimensioni da subcentimetriche a pluricentriche, dmax=4cm, da spigolosi a sub-arrotondati, molto appiattiti. Proporzioni clasti/matrice: 30%/70%. Livello di ghiaia e ciottoli in matrice limosa sabbiosa da 15.70m a 16.30m, colore marrone rossastro.	SPT2/8,55m SPT3/11,30m SPT4/13,00m SPT5/17,55m	CR2 8,00-8,50 CR3 11,00-11,30 CR4 14,50-15,00 CR5 18,00-18,50	bn2 SLG

S03-PZ

PROFONDITA' m da p.c.	LITOLOGIA	SPT	CAMPIONI	ATTRIBUZIONE LITOLOGIA PROFILO
0-0,50	Terreno vegetale costituito da sabbia limosa di colore marrone, rara ghiaia eterometrica, da sub-arrotondata a sub-angolare; presenza di apparati radicali			TV
0,50-10,20	Ghiaia grossolana e ciottoli in matrice sabbiosa, a tratti limosa, di colore variabile da marrone a grigio; i clasti sono poligenici, di dimensioni da subcentimetriche a pluricentriche, dmax=5cm, da spigolosi a sub-arrotondati, appiattiti. Proporzioni clasti/matrice: 70%/30%.	SPT1/3,00m SPT2/6,00m SPT3/9,00m	CR1 2,50-3,00 CR2 4,50-5,00	bn1 GSL
10,20-17,00	Limo sabbioso debolmente argilloso con ghiaia fine di colore marrone-rossastro; i clasti sono poligenici, di dimensioni da subcentimetriche a centimetriche, dmax=2cm, da spigolosi a sub-arrotondati, appiattiti. Proporzioni clasti/matrice: 20%/80%.		CR3 10,50-11,00 CI1 12,00-12,50 CR4 13,50-14,00 CR5 16,00-16,50	bn2 LSG
17,00-19,60	Ghiaia grossolana e ciottoli in matrice limosa sabbiosa, di colore variabile da marrone-rossastro a grigio; i clasti sono poligenici, di dimensioni da subcentimetriche a pluricentriche, dmax=5cm, da spigolosi a sub-arrotondati, appiattiti. Proporzioni clasti/matrice: 60%/40%.	SPT4/18,00m		bn2 GSL
19,60-20,00	Limo sabbioso di colore marrone-rossiccio			bn2 LS

PROFONDITA' m da p.c.	LITOLOGIA	SPT	CAMPIONI	ATTRIBUZIONE LITOLOGIA PROFILO
20,00-30,00	Ghiaia grossolana e ciottoli in matrice limosa sabbiosa, di colore variabile da marrone-rossastro a tratti grigio; i clasti sono poligenici, di dimensioni da subcentimetriche a pluricentriche, dmax=6cm, da spigolosi a sub-arrotondati, appiattiti. Proporzioni clasti/matrice: 70%/30%.		CR6 21,50-22,00 CR7 26,50-27,00	bn2 GSL

S04

PROFONDITA' m da p.c.	LITOLOGIA	SPT	CAMPIONI	ATTRIBUZIONE LITOLOGIA PROFILO
0,00-0,10	Terreno vegetale costituito da sabbia debolmente limosa di colore marrone, rara ghiaia eterometrica, da sub-arrotondata a sub-angolare			TV
0,10-5,10	Ghiaia grossolana in matrice sabbiosa, di colore marrone; i clasti sono poligenici, di dimensioni da subcentimetriche a pluricentriche, dmax=3cm, da spigolosi a sub-arrotondati, appiattiti. Proporzioni clasti/matrice: 40%/60%.	SPT1/1,30m SPT2/3,20m		bn1 GSL
5,10-6,80	Sabbia fine limosa con ghiaia di colore marrone-rossiccio; i clasti sono poligenici, di dimensioni da subcentimetriche a centimetriche, dmax=3cm, da spigolosi a sub-arrotondati, appiattiti. Proporzioni clasti/matrice: 20%/80%.	SPT3/5,30m		bn1 LSG
6,80-12,30	Ghiaia grossolana e ciottoli in matrice limosa sabbiosa, di colore variabile da marrone-rossastro a grigio; i clasti sono poligenici, di dimensioni da subcentimetriche a pluricentriche, dmax=4-5cm, da spigolosi a sub-arrotondati, appiattiti. Proporzioni clasti/matrice: 70%/30%.	SPT4/9,50m SPT5/11,50m	CR1 7,00-7,50 CR2 9,00-9,50	bn1 GSL
12,30-13,50	Limo sabbioso debolmente ghiaioso di colore marrone-rossastro con rari clasti poligenici, di dimensioni da subcentimetriche a centimetriche, dmax=2cm, da spigolosi a sub-arrotondati, appiattiti.		CR3 13,00-13,50	bn2 LSG
13,50-15,00	Ghiaia grossolana e ciottoli in matrice limosa sabbiosa con livelli a matrice prevalente, di colore variabile da marrone-rossastro a grigio; i clasti sono poligenici, di dimensioni da subcentimetriche a pluricentriche, dmax=4-5cm, da spigolosi a sub-arrotondati, appiattiti. Proporzioni clasti/matrice: 70%/30%.	SPT6/13,80m		bn2 GSL

Come si può osservare, in linea generale le stratigrafie dei quattro sondaggi concordano nella linea generale ma bisogna ricordare che:

- ci troviamo in ambiente di conoide e dunque i depositi hanno un carattere marcatamente eteropico, con rapidi cambiamenti di facies sia in senso verticale che orizzontale
- i sondaggi sono stati effettuati su due conoidi differenti: S1 e S2 ricadono nella conoide del Frigido, mentre S3 e S4 ricadono, per lo meno nella porzione superiore della stratigrafia, nella conoide del Canal Magro. Tale situazione accentua ulteriormente le possibili variazioni di facies.

In base all'esame delle carote, alle stratigrafie ed alle prove di laboratorio (granulometrie) eseguite sui campioni prelevati, sono state distinte le seguenti facies, tutte geologicamente appartenenti ai depositi alluvionali terrazzati del Pleistocene attribuibili all'ambito del T. Frigido (**bn2**) ed all'ambito del T. Canal Magro (**bn1**):

- Riporto antropico (**h6**): è costituito da materiale di riporto eterogeneo, presente solo nel sondaggio S2 con spessore pari a 1,7m
- Terreno vegetale (**TV**): è costituito da sabbia limosa con ghiaia, spessore compreso tra 0,1 e 0,4m

- Sabbie limoso-ghiaiose (**bn1 SLG** e **bn2 SLG**): hanno litologia prevalentemente sabbioso-limosa con ghiaia in percentuali variabili ma sempre molto inferiori rispetto alla matrice; in alcuni casi nella matrice è presente una percentuale apprezzabile di argilla
- Limi sabbioso-ghiaiosi (**bn2 LSG**): limo sabbioso prevalente con ghiaia in percentuale nettamente inferiore rispetto alla matrice; talora nella matrice è presente una percentuale apprezzabile di argilla
- Ghiaia e ciottoli in matrice sabbioso limosa (**bn1 GSL** e **bn2 GSL**): ghiaia e ciottoli nettamente prevalenti, matrice sabbioso-limosa in subordine
- Limi sabbiosi (**bn2 LS**): limo sabbioso con rara ghiaia, localizzati in lenti di spessore ed estensione contenuti

Nel grafico in Fig. 5.4. è riportata la distribuzione delle litofacies individuate lungo le verticali di indagine.

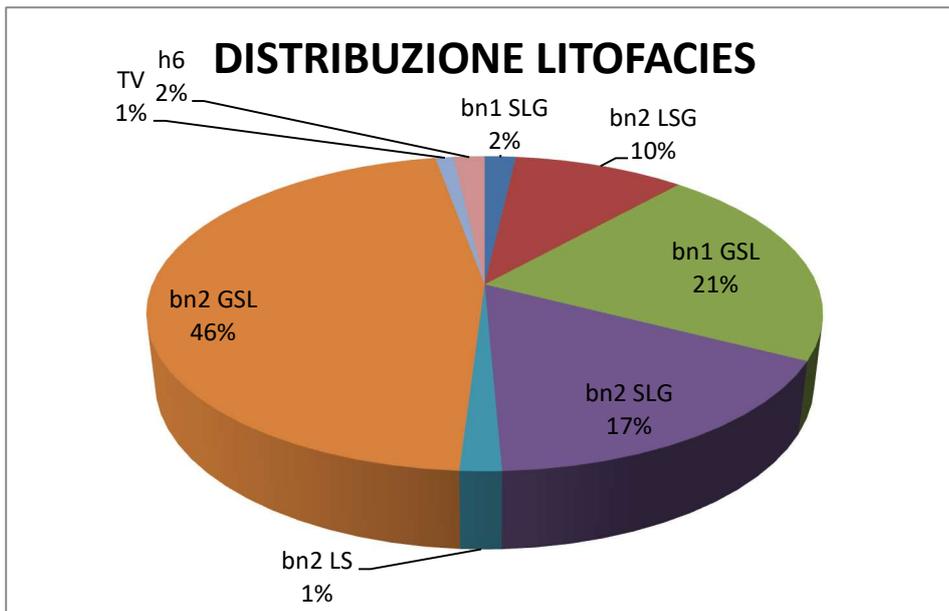


Fig. 5.4. Distribuzione delle litofacies.

Come si può osservare, risulta nettamente prevalente la litofacies GSL, a litologia ghiaioso-ciottolosa in matrice sabbioso limosa, seguono le litofacies SLG e LSG caratterizzate da matrice prevalente in cui è anche presente anche una apprezzabile percentuale di argilla. Le altre litofacies sono in netto subordine e sono da considerarsi inclusioni nel litotipo principale. I rapporti stratigrafici tra le facies individuate sono illustrati nel profilo geologico e nelle sezioni (elaborati 02.11_P00_GEO0_GEO_FG01_A e 02.12_P00_GEO0_FG02_A 02.12_P00_GEO0_SV01_B) che illustrano il modello geologico nell'area di progetto in base ai risultati delle indagini.

In Fig. 5.5 è riportata la distribuzione delle prove SPT effettuate in tutti i sondaggi. Con riferimento alla tabella in Fig. 5.6., che riporta alcune correlazioni tra NSPT e il grado di addensamento/densità relativa dei materiali, nel grafico sono riportati i limiti che separano i vari stati di addensamento.

Dal grafico si possono desumere le seguenti osservazioni:

- in generale i valori di NSPT oscillano entro intervalli piuttosto ristretti procedendo con la profondità
- c'è una evidente tendenza all'aumento di NSPT con la profondità
- i valori di NSPT nei primi 10m di profondità risultano essere più dispersi forse a causa della più giovane età dei sedimenti
- oltre i 10m di profondità i valori di NSPT si stabilizzano mediamente entro intervalli meno ampi
- la maggior parte dei valori è collocata negli ambiti "denso" e "molto denso".

La situazione derivata sia dalle stratigrafie che dalle prove in situ è tipica dell'ambiente alluvionale di conoide: il marcato carattere eteropico delle facies che compongono i depositi di conoide, si riflette anche nello stato di addensamento che può variare lungo le verticali indagate indipendentemente dalla profondità.

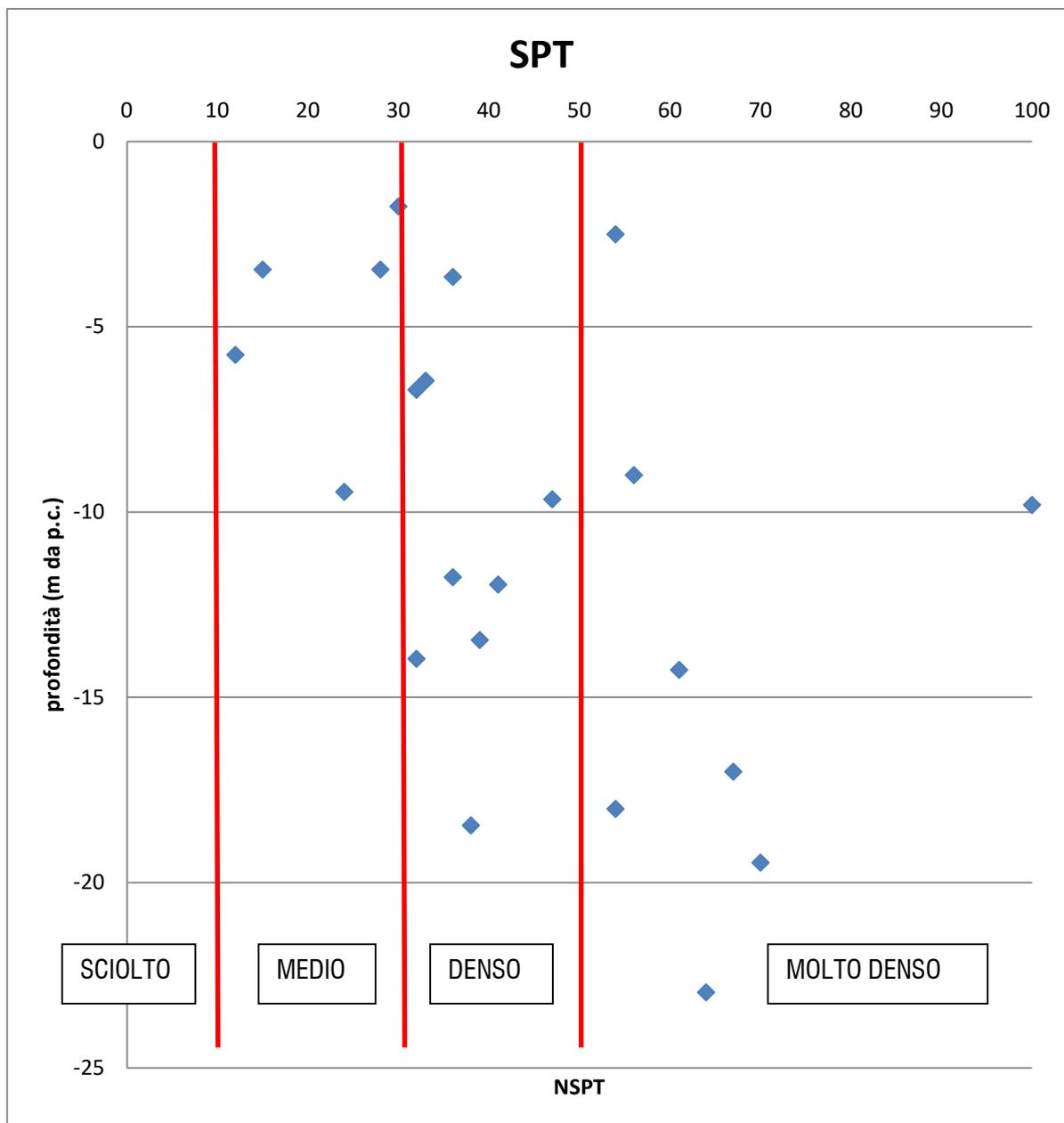


Fig. 5.5. Distribuzione di NSPT in funzione della profondità. Campagne 2012 e 2018

N _{SPT}	DENSITÀ RELATIVA	
	Terzaghi-Peck (1948)	Gibbs-Holtz (1957)
0-4	molto sciolta	0-15%
4-10	sciolta	15-35%
10-30	media	35-65%
30-50	densa	65-85%
> 50	molto densa	85-100%

Fig. 5.6. Correlazioni tra NSPT e stato di addensamento/densità relativa

6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Come già descritto, l'area di progetto ricade nell'ambito della pianura di Massa, caratterizzata in senso lato dalla presenza di depositi alluvionali e marini. Le litostratigrafie disponibili, che non vanno di solito oltre i 60 metri di profondità, mostrano le seguenti successioni:

- a) Depositi alluvionali costituiti da ghiaie, sabbie e ciottoli, con intercalazioni di limi argillosi, che arrivano fino in superficie nella fascia interna.
- b) Sabbie marine, presenti solo nella metà esterna della pianura, che raggiungono uno spessore massimo di 30 m circa in prossimità del mare.
- c) In una ristretta fascia alla base dei conoidi alluvionali si trovano sedimenti argillosi e limosi di colmata, solo localmente torbosi.

In base ai dati disponibili sembrerebbe che nella pianura apuana non siano presenti i sedimenti marini delle fasi trasgressive precedenti la fase versiliana presenti invece nella pianura versiliese, ma, almeno fino alle profondità raggiunte dai sondaggi, solo sedimenti continentali. Ciò può dipendere da due fattori:

1. minore subsidenza di questa parte settentrionale del graben della Versilia rispetto a quella meridionale, in accordo con il modello tettonico che descrive la depressione tettonica separata da faglie trasversali, con gradinata a scendere verso sud;
2. maggiore trasporto solido dei corsi d'acqua provenienti dalle Apuane, in relazione alla maggiore energia del rilievo nel tratto settentrionale della catena.

La stratigrafia dei terreni nel sottosuolo della pianura di Massa determina la presenza di acquiferi (ciottoli, ghiaie e sabbie), di acquitardi (limi) mentre scarsi o assenti sono gli acquicludi (argille).

I depositi alluvionali dei conoidi e della piana sottostante sono composti in prevalenza da ghiaie e ciottoli calcarei (Marmi e Grezzoni) e solo in quantità minore da macroclastiti derivate da rocce filladiche più facilmente sfaldabili e quindi meno predisposte a formare ciottoli. Le ghiaie calcaree sono talora trasformate in conglomerato da un cemento carbonatico. Tale conglomerato si trova più frequentemente al tetto dei sedimenti continentali al passaggio con le sabbie marine: infatti si ritiene che la cementazione sia favorita dal miscelamento di acque dolci e salate in prossimità della riva. Come visto nel paragrafo precedente, le ghiaie presentano poche intercalazioni di materiale fine nella parte alta delle conoidi, mentre sottili lenti di limo sabbioso si trovano ai lati e nella parte distale.

Questo potente corpo sedimentario è un acquifero a buona permeabilità dotato, per il suo spessore, di elevata trasmissività. Si tratta di un acquifero libero in cui si localizza **una falda praticamente unica**, poiché i livelli impermeabili non hanno mai una continuità tale da separare più falde. L'acquifero è ampiamente sfruttato da numerosi pozzi, sia dell'acquedotto pubblico che delle industrie.

L'acquifero presenta una permeabilità primaria per porosità, tipica dei depositi sciolti o scarsamente coerenti, che contengono numerosi piccoli vuoti intergranulari in comunicazione tra loro. Tale permeabilità è anche detta primaria in quanto è insita nella genesi del deposito. In questo caso la permeabilità è direttamente proporzionale alla porosità efficace, che corrisponde a quella parte della porosità totale in grado di far circolare l'acqua gravifica.

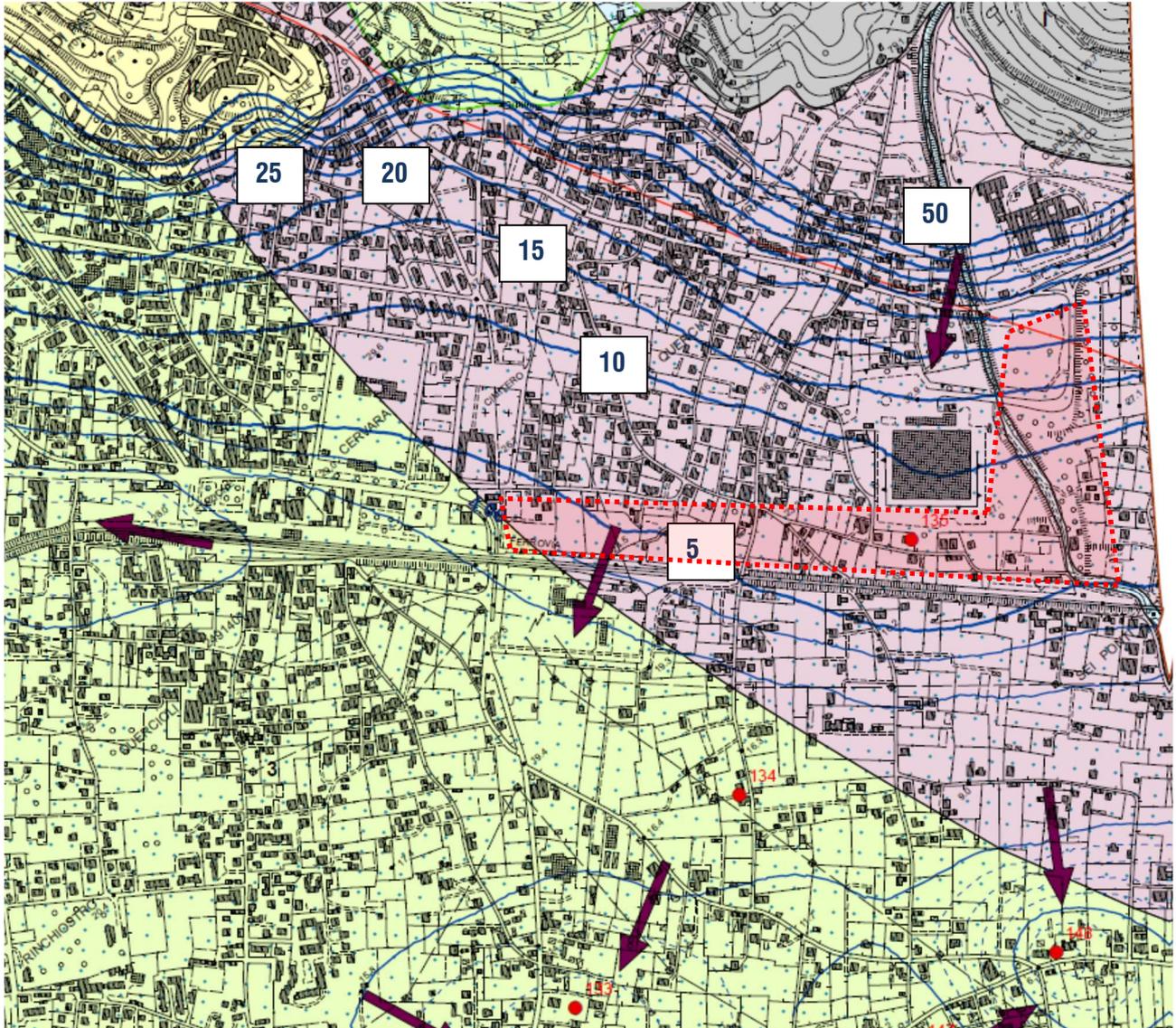
In una ristretta fascia alla base dei rilievi, sono presenti dei depositi detritico-colluviali (depositi di conoide pedemontana) in cui la frazione fine prevale su quella grossolana, per cui la permeabilità è complessivamente bassa.

Scendendo verso il litorale i depositi ciottolosi di conoide s'immergono al di sotto di un complesso di sedimenti marini, che possiedono una copertura alluvionale limo-sabbiosa di qualche metro di spessore, al cui interno si possono trovare livelli di ghiaia ma anche depositi torbosi. Questa copertura e lo stesso conglomerato che, dove presente, rappresenta un orizzonte impermeabile, fanno sì che la falda in ghiaia, libera nella fascia pedemontana, divenga confinata o semi-confinata nella fascia costiera.

In corrispondenza della scarpata di erosione marina, che coincide all'incirca con l'autostrada, c'erano un tempo alcune risorgive, causate dal salto morfologico e dalla diminuzione di permeabilità.

Le sabbie marine ed eoliche della fascia costiera rappresentano un acquifero libero di buona permeabilità, sovrastante quello costituito dai depositi alluvionali, che si trovano ad una profondità massima di 30-35 metri presso la costa. In alcune zone, dove non ci sono né il conglomerato di tetto delle ghiaie continentali né i livelli limosi, c'è un unico acquifero monostrato potente sicuramente oltre 100 metri (ovviamente con variazioni di permeabilità dovuta alla granulometria). Le sabbie marine rappresentano l'acquifero sfruttato soprattutto da pozzi ad uso agricolo o domestico.

La Carta Idrogeologica del Piano Strutturale, che viene assunta come elaborato di riferimento (0215_T00GE00GEOCT03B), e di cui si riporta uno stralcio in Fig. 6.1., mostra che l'area di progetto ricadrebbe in massima parte su materiali con permeabilità da bassa a molto bassa. La ragione dell'attribuzione di tale classe di permeabilità non è spiegata nelle note di corredo agli elaborati geologici del Piano Strutturale; probabilmente è stato ipotizzata una maggiore percentuale di materiale fine nella matrice dei depositi del Canal Magro, anche se in base alle indagini effettuate (sondaggi S3 ed S4) non sembra che ci sia una sostanziale differenza rispetto ai materiali della conoide del F. Frigido (sondaggi S1 e S2). Le isopiezometriche (relative, in questo caso al mese di Aprile) mostrano che il tetto della falda si colloca, nell'area di progetto, a **quote assolute** comprese tra 3,50mslm (zona ferrovia) e 50,00mslm (zona ospedale pediatrico) con direttrice di flusso SSW. Il tratto più a monte, tra l'ospedale pediatrico ed il mercato ortofrutticolo, è caratterizzato da un gradiente maggiore molto probabilmente a causa del minore spessore dei depositi di conoide e, conseguentemente, della vicinanza del substrato impermeabile. Le isopiezometriche relative al mese di Settembre non fanno rilevare, per l'area di progetto, sostanziali differenze.



Permeabilità primaria per porosità

Grado di permeabilità	Depositi quaternari
alta	5
medio-alta	4
media	3
medio-bassa	2
da bassa a molto bassa	1

IM	impermeabile		
			Isofreatiche, equidistanza 5m
			Isofreatiche, equidistanza 1m
			Isofreatiche, equidistanza 0,2m
			Linee di flusso della falda

Fig. 6.1. Estratto da Carta Idrogeologica di Piano Strutturale. Isofreatiche relative al mese di Aprile (dati 1999).

Nella seguente Tab. 6.1. sono riportate le misure effettuate nei tre piezometri installati nel corso della campagna di indagini del Novembre-Dicembre 2019.

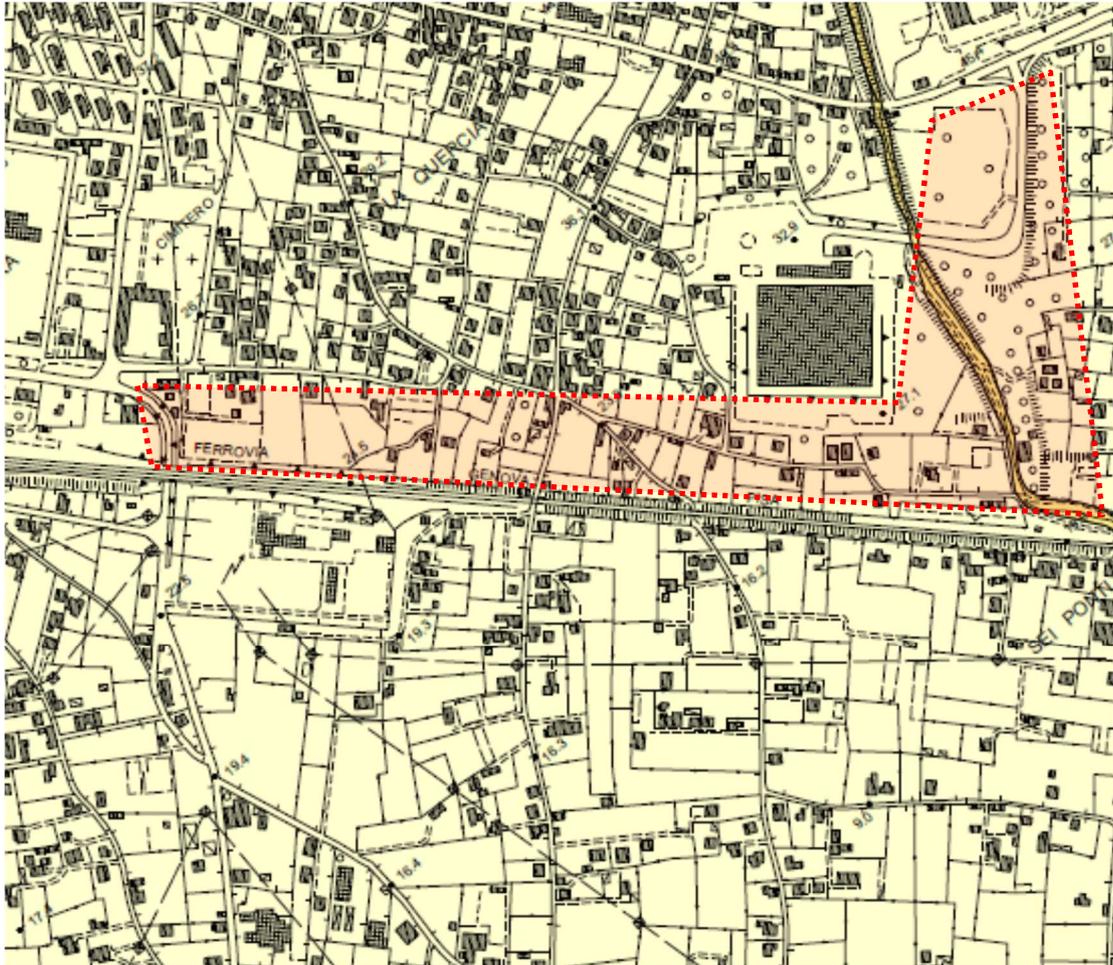
Sondaggio	Quota p.c. sondaggio m.s.l.m.	Data misura	Quota falda da p.c. m da p.c.	Quota falda assoluta m.s.l.m.
S01_PZ	24,363	28/11/2019	22,83	1,53
		26/02/2020	22,90	1,46
S02_PZ	22,871	28/11/2019	11,20	11,67
		26/02/2020	11,70	11,17
S03_PZ	34,639	13/11/2019	24,71	9,93
		26/02/2020	25,60	9,039

Tab. 6.1. Letture piezometriche nell'area di progetto

Come si può osservare, i dati piezometrici sono grosso modo allineati con quelli della Carta Idrogeologica del Piano Strutturale, in cui le isofreatiche sono basate sulle misure effettuate nel 1999 nell'ambito dello studio della Regione Toscana a cura del Prof. Giovanni Pranzini e pubblicato nel 2004 ("Studio Idrogeologico del Bacino Regionale Toscana Nord"). La misura effettuata nel piezometro installato nel sondaggio S3 (zona ponte sul T. Canal Magro) corrisponde alla quota indicata in cartografia (10m.s.l.m.). Lievemente discordante è la misura effettuata nel piezometro installato nel sondaggio S1, che fa registrare una quota assoluta del tetto della falda a circa 1,5m.s.l.m. con una differenza di circa 2m (in meno) rispetto a quanto indicato nella Carta Idrogeologica. In tal senso va fatto presente che 1) le isofreatiche cartografate sono riferite a misure del 1999, 2) si tratta di uno studio di area vasta e dunque i valori piezometrici possono, in alcune aree con minore densità di punti di misura, essere interpolati con minore precisione.

Decisamente fuori dal coro sono le misure effettuate nel piezometro installato nel foro di sondaggio S2 che, nonostante la breve distanza dal sondaggio S1, ha fatto rilevare il tetto della falda ad una quota maggiore di circa 10m. Considerato il contesto geologico e litostratigrafico è ipotizzabile che questa differenza della quota della falda possa essere attribuita a fattori di tipo stratigrafico a carattere locale, tipo lenti di materiali meno permeabili che potrebbero aver causato un innalzamento della falda in un'area poco estesa.

La Carta delle Problematiche Idrogeologiche del Piano Strutturale (Fig. 6.2) non mostra, per l'area di progetto, elementi significativi. L'area è classificata come "area con grado di protezione della falda medio".



GRADO DI PROTEZIONE DELLA FALDA

-  Aree con grado di protezione della falda molto basso
-  Aree con grado di protezione della falda basso
-  Aree con grado di protezione della falda medio

Fig. 6.2. Estratto da Carta delle Problematiche Idrogeologiche di Piano Strutturale.

7 PERICOLOSITA'

In questo capitolo vengono illustrate le condizioni di pericolosità geomorfologica, idraulica e sismica così come individuate nel Regolamento Urbanistico (2014) e nel PGRA e nel PAI dell'Autorità di Bacino Distretto Appennino Settentrionale.

7.1 REGOLAMENTO URBANISTICO - PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

Secondo la Carta della Pericolosità Geologica del Regolamento Urbanistico (Fig. 7.1.) l'area di progetto, salvo che per un brevissimo tratto iniziale in classe G1 (pericolosità geomorfologica bassa) ricade in classe di **pericolosità geomorfologica G3-Pericolosità medio-elevata per caratteristiche geotecniche**. La definizione di queste aree è la seguente: "Aree potenzialmente soggette a cedimenti differenziali per la presenza di terreni compressibili con caratteristiche geotecniche variabili da mediocri a scadenti. Aree caratterizzate da situazioni geologiche apparentemente stabili sulle quali occorrono degli approfondimenti da effettuarsi a livello di indagine geognostica a supporto della progettazione edilizia".

L'alveo del Canal Magro ricade in classe di **pericolosità geomorfologica G4-Pericolosità molto elevata**, la cui definizione è la seguente: "Aree in cui sono presenti fenomeni franosi attivi e relative aree di influenza, nonché le aree che possono essere coinvolte dai suddetti fenomeni. Corrispondono alle aree con dissesto in atto al momento del rilevamento quanto a fenomeni inattivi che presentano però indicatori geomorfologici precursori di fenomeni di instabilità che fanno prevedere attivazioni o riattivazioni di movimenti di massa di elevata intensità. Tale classe include le aree che possono essere coinvolte da **processi a cinematica rapida e veloce quali quelle soggette a colate rapide incanalate di detrito e terra**, le aree esposte a fenomeni accertati di caduta massi e quelle interessate da soliflussi". Risulta evidente che l'attribuzione a questa classe di pericolosità è dovuta alla mappatura della Carta Geomorfologica, che, si ricorda, in corrispondenza dell'alveo del Canal Magro riporta il tematismo "Tratti di corsi d'acqua e impluvi interessati e/o soggetti a fenomeni di sovralluvionamento" evidentemente a tutti gli effetti assimilati ai processi a cinematica rapida.

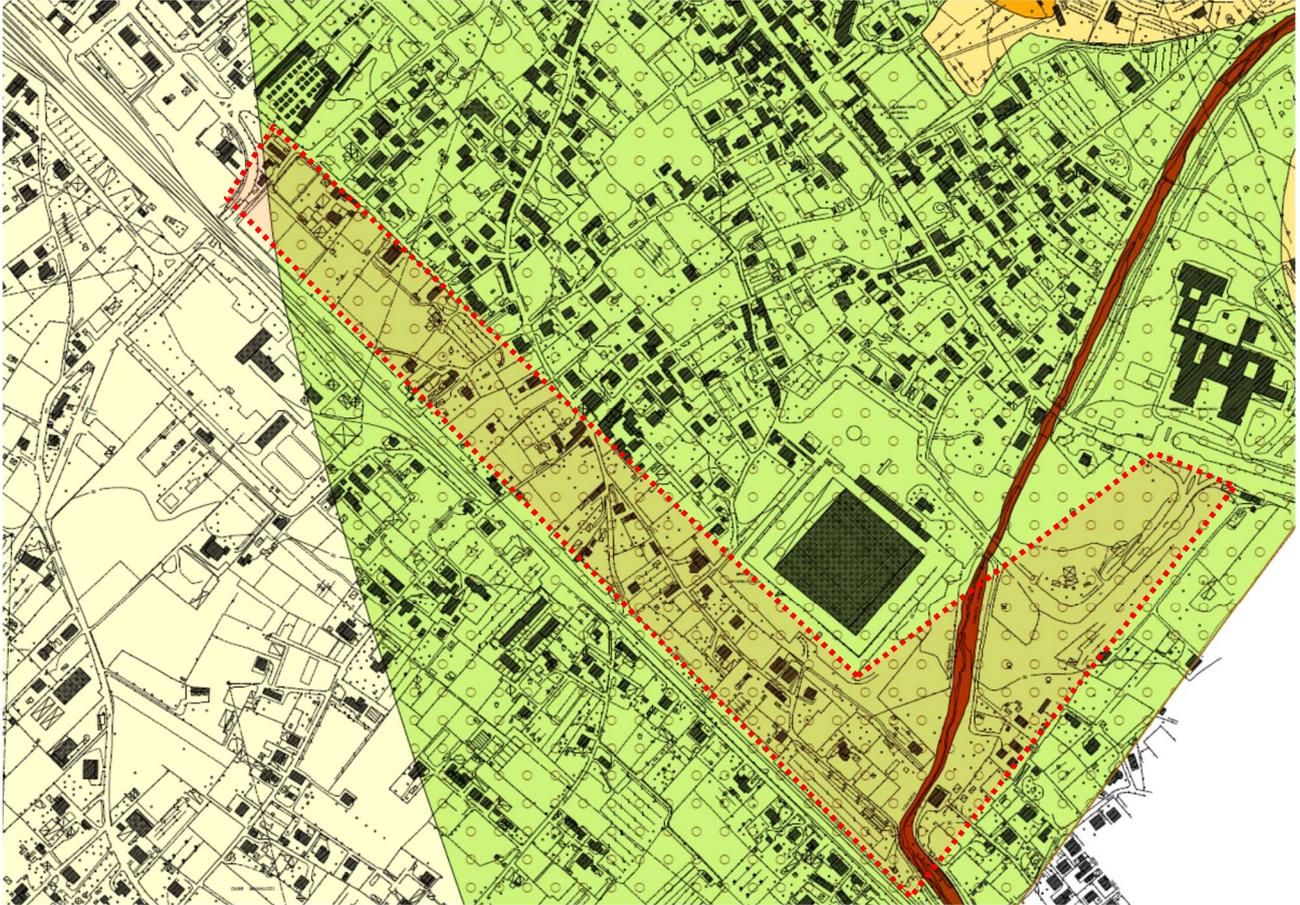


Fig. 7.1a. Estratto da Carta della Pericolosità Geomorfológica – Regolamento Urbanistico del Comune di Massa

G.1	Classe G.1: Pericolosità bassa	Aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche e giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi. Aree di conoide del F. Frigido senza condizionamenti d'ordine geologico in senso lato.
G.3I	Classe G.3I: Pericolosità medio-elevata per caratteristiche geotecniche	Aree potenzialmente soggette a cedimenti differenziali per la presenza di terreni compressibili con caratteristiche geotecniche variabili da mediocri a scadenti. Aree caratterizzate da situazioni geologiche apparentemente stabili sulle quali occorrono degli approfondimenti da effettuarsi a livello di indagine geognostica di supporto alla progettazione edilizia.
G.4	Classe G.4: Pericolosità molto elevata corrispondente alla classe P.F.M.E. del P.A.I. dell'Autorità di Bacino Toscana Nord	Aree in cui sono presenti fenomeni franosi attivi e relative aree di influenza, nonché le aree che possono essere coinvolte dai suddetti fenomeni. Corrispondono alle aree con dissesto in atto al momento del rilevamento quanto a fenomeni inattivi che presentano però indicatori geomorfologici precursori di fenomeni di instabilità che fanno prevedere attivazioni o riattivazioni di movimenti di massa di elevata intensità. Tale classe include le aree che possono essere coinvolte da processi a cinematica rapida e veloce quali quelle soggette a colate rapide incanalate di detrito e terra, le aree esposte a fenomeni accertati di caduta massi e quelle interessate da soliflussi.

Fig. 7.1b. Legenda della Carta della Pericolosità Geomorfologica – Regolamento Urbanistico del Comune di Massa

Per queste classi la Disciplina di Piano prevede quanto segue:

Art. 63. Disciplina delle aree a pericolosità geomorfologica molto elevata (classe G.4)

Le aree a pericolosità geomorfologica molto elevata, così come indicate nelle Tavv. 1-13 pgm, A22.a e A22.b sono quelle in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza, nonché quelle che possono essere coinvolte dai suddetti fenomeni. Corrispondono alle aree con dissesto in atto al momento del rilevamento quanto a fenomeni inattivi che presentano però indicatori geomorfologici precursori di fenomeni di instabilità che fanno prevedere attivazioni o riattivazioni di movimenti di massa di elevata intensità. Tale classe include le aree che possono essere coinvolte da processi a cinematica rapida e veloce quali quelle soggette a colate rapide incanalate di detrito e terra nonché quelle aree esposte a fenomeni accertati di caduta massi.

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità geomorfologica molto elevata (Classe G.4) si applicano le disposizioni di cui all'art. 13 delle norme del PAI ed è necessario rispettare i seguenti criteri generali:

- non sono da prevedersi interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture che non siano subordinati alla preventiva esecuzione di interventi di consolidamento, bonifica, protezione e sistemazione;
- gli interventi di messa in sicurezza, definiti sulla base di studi geologici, idrogeologici e geotecnici, devono essere comunque tali da non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti, da non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni franosi, da consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza;
- in presenza di interventi di messa in sicurezza dovranno essere predisposti ed attivati gli opportuni sistemi di monitoraggio in relazione alla tipologia del dissesto;
- l'avvenuta messa in sicurezza conseguente la realizzazione ed il collaudo delle opere di consolidamento, gli esiti positivi di eventuali sistemi di monitoraggio attivati e la delimitazione delle aree risultanti in sicurezza devono essere certificati;
- relativamente agli interventi per i quali sia dimostrato il non aggravio delle condizioni di instabilità dell'area, purché siano previsti, ove necessario, interventi mirati a tutelare la pubblica incolumità, a ridurre la vulnerabilità delle opere esposte mediante consolidamento o misure di protezione delle strutture per ridurre l'entità di danneggiamento, nonché l'installazione di sistemi di monitoraggio per tenere sotto controllo l'evoluzione del fenomeno; della sussistenza delle condizioni di cui sopra deve essere dato atto nel procedimento amministrativo relativo al titolo abilitativo all'attività edilizia.

Art. 64. Disciplina delle aree a pericolosità geomorfologica elevata (classe G.3)
(omissis)

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità geomorfologia medio-elevata (G.3l) per caratteristiche geotecniche e da pericolosità medio-elevata (G.3s) per subsidenza sono necessari degli approfondimenti da effettuarsi a livello di indagine geognostica di supporto alla progettazione edilizia.

Art. 66. Disciplina delle aree a pericolosità geomorfologica bassa (classe G.1)

Le aree a pericolosità geomorfologica bassa, così come indicate nelle Tavv. 1-13 pgm, sono quelle in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche e giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di movimenti di massa. Aree di conoide del F. Frigido senza condizionamenti d'ordine geologico in senso lato.

In tale aree si ritiene che i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche e giaciture non costituiscano fattori predisponenti al verificarsi di movimenti di massa. Per opere edilizie di un certo rilievo, devono essere eseguite delle indagini geognostiche che confermino la bassa propensione al dissesto dell'area e che escludano la presenza di eventuali livelli fini (limosi o limo sabbiosi) in corrispondenza di orizzonti rilevanti per la portanza dei terreni.

7.2 DISTRETTO APPENNINO SETTENTRIONALE - PAI - PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

La Mappa della pericolosità da dissesti di natura geomorfologica del PAI del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale (Fig. 7.2) consultabile sul sito mostra che l'area di progetto non rientra in nessuna classe di pericolosità da frana, fatta eccezione per l'alveo del Canal Magro che ricade in classe P4 – Pericolosità molto elevata "aree instabili interessate da fenomeni di dissesto attivi di tipo gravitativo, erosivo e/o dovuti all'azione delle acque incanalate negli alvei naturali /artificiali o lungo le pendici" (art. 6 Disciplina di Piano – 2020). Tale classe deriva dalla classe G4 del Regolamento urbanistico: il PAI ha recepito la classificazione comunale.

La cartografia è consultabile su: <https://geodata.appenninoseptentrionale.it/mapstore/#/viewer/openlayers/1072>.

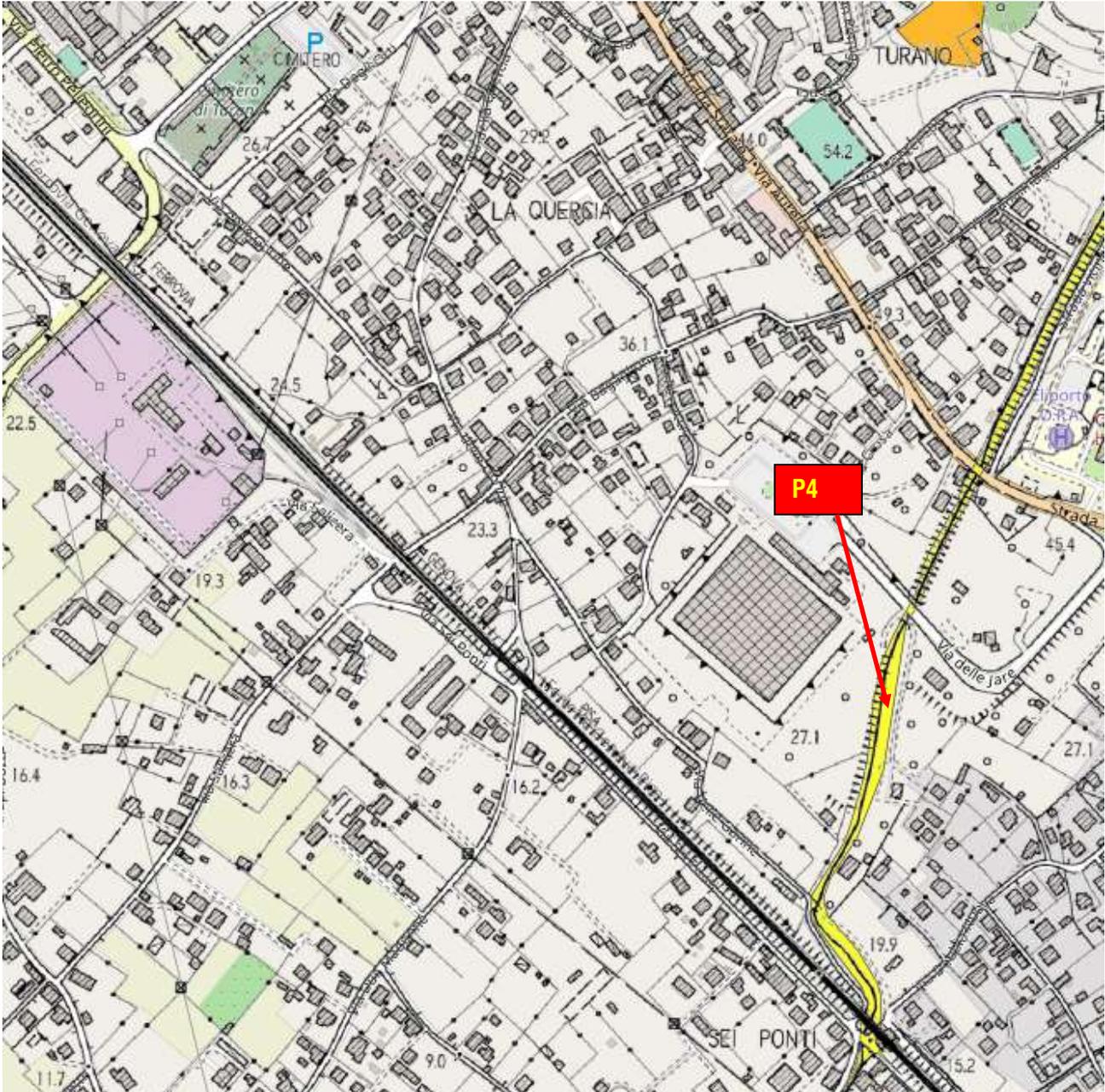


Fig. 7.2. Carta della Pericolosità da frana del PAI – Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale

<https://geodata.appenninoseptentrionale.it/mapstore/#/viewer/openlayers/1072>

Per le aree P4 la disciplina di Piano riporta quanto segue:

Capo 2 – Dissesti di natura geomorfologica e naturale evoluzione del rilievo

Sezione I – Pericolosità da dissesti di natura geomorfologica

Art. 7 – Aree a pericolosità molto elevata (P4) - Norme

1. Nelle aree P4, per le finalità di cui all'art.1, sono consentiti i seguenti interventi.

a) Le misure di protezione tese alla riduzione della pericolosità e/o alla mitigazione del rischio per gli insediamenti esistenti, nonché le attività di manutenzione ordinaria, straordinaria, di monitoraggio e di indagine ad esse relative. L'Autorità di bacino si esprime sugli interventi di seguito elencati, in merito alla compatibilità degli stessi con le finalità di cui all'art. 1:

- misure di protezione tese alla riduzione della pericolosità e alla mitigazione del rischio per gli insediamenti esistenti, che comportino la riduzione della classe di pericolosità con conseguente revisione del quadro conoscitivo secondo le indicazioni di cui all'art. 15;
- misure di protezione riferite al programma di misure di cui al successivo art. 21.

b) Le opere e le infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico, non riferite a servizi essenziali e non altrimenti localizzabili, nonché gli ampliamenti e le ristrutturazioni di quelle esistenti, che possano essere realizzate in condizioni di gestione del rischio da ottenersi attraverso misure di protezione finalizzate alla riduzione della classe di pericolosità con revisione, contestuale alla realizzazione delle opere, del quadro conoscitivo secondo le indicazioni di cui all'art. 15; le opere pubbliche o di interesse pubblico di cui alla presente lettera devono in ogni caso essere realizzate senza aggravare le condizioni di stabilità delle aree contermini e in modo da consentire la manutenzione delle misure di protezione. L'Autorità di bacino si esprime sugli interventi di seguito elencati, in merito alla compatibilità degli stessi con le finalità di cui all'art. 1:

- interventi di ampliamento e ristrutturazione delle opere e infrastrutture pubbliche esistenti riferite ai servizi essenziali, nonché inerenti la rete infrastrutturale primaria e la rete dei servizi lineari e puntuali;
- interventi di ampliamento e ristrutturazione degli impianti pubblici o di interesse pubblico di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo n. 152/2006;
- nuovi interventi relativi alla rete infrastrutturale viaria e ferroviaria primaria;
- nuovi interventi relativi ai servizi a rete lineari e puntuali.

c) Gli interventi inerenti la coltivazione, il trattamento e il ripristino di aree destinate all'estrazione di materiali da cava e da miniera relativi alle aree a valenza estrattiva e mineraria incluse nei piani regionali. Su tali interventi l'Autorità di bacino si esprime in merito alla compatibilità degli stessi con le finalità di cui all'art. 1.

2. Nelle aree P4 non sono consentite:

- a) le nuove previsioni residenziali, commerciali, ricettive e produttive;
- b) le previsioni di nuove opere pubbliche e di interesse pubblico, riferite ai servizi essenziali;
- c) le previsioni di nuove aree destinate alla realizzazione di impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo n. 152/2006;
- d) i nuovi impianti di contenimento delle acque, quali dighe, invasi, laghi artificiali, oltre a quelli connessi con la gestione della risorsa idrica a scopi idropotabili ed irrigui.

3. Le Regioni disciplinano le condizioni di gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica nelle aree P4 per il patrimonio edilizio esistente e per tutti i casi non espressamente richiamati ai precedenti commi. A tal fine emanano le disposizioni concernenti l'attuazione del Piano nel settore urbanistico, con la possibilità di adottare, ove necessario, disposizioni più restrittive rispetto a quanto previsto dal presente articolo.

6 Art. 8 – Aree a pericolosità molto elevata (P4) – Indirizzi per gli strumenti di governo del territorio

1. Fermo restando quanto previsto all'art. 7, nelle aree P4 per le finalità di cui all'art. 1 le Regioni, le Città metropolitane, le Province e i Comuni nell'ambito dei propri strumenti di governo del territorio, si attengono ai seguenti indirizzi:

- a) sono da privilegiare le azioni tese al mantenimento della naturale evoluzione morfodinamica dei rilievi, del paesaggio e del reticolo idrografico, a condizione che tale morfodinamica non sia causa o possa essere causa di rischio per il patrimonio ambientale, culturale, abitativo, infrastrutturale e produttivo esistente;
- b) sono da privilegiare le trasformazioni urbanistiche tese alla delocalizzazione degli insediamenti e delle infrastrutture nelle aree in dissesto, in particolare per quelle porzioni di territorio per le quali le misure di

protezione e di mitigazione del rischio non risultino sostenibili, in quanto economicamente e socialmente non convenienti in termini di costi/benefici;

2. Nelle aree oggetto di insediamenti ed opere esistenti, in funzione del livello di rischio connesso con il tipo di dissesto e la tipologia di elemento a rischio presente, deve essere incentivata l'attivazione di procedure di monitoraggio e di protezione civile, connesse con la pianificazione di protezione civile comunale e sovracomunale, tali da gestire il rischio per la difesa della vita umana, del patrimonio ambientale, culturale, infrastrutturale ed insediativo in fase di evento.

7.3 PIANO STRUTTURALE - PERICOLOSITA' IDRAULICA

La Carta della Pericolosità Idraulica del Piano Strutturale (Fig. 7.3), consultabile sul webgis del Comune di Massa all'indirizzo <http://map.portalecomuni.net/mapguide/wgis/ddd.html?Cfg=f094d6e2-7235-4d71-a077-c8ca9a3fbc67>

mostra che l'area di progetto ricade nel tratto iniziale nelle seguenti classi di pericolosità:

- I4 Pericolosità Idraulica molto elevata: aree interessate da allagamenti per eventi con $Tr \leq 30$ anni
- I3 Pericolosità idraulica elevata: aree interessate da allagamenti per eventi con $30 < Tr \leq 200$ anni
- I2 Pericolosità idraulica media: aree interessate da allagamenti per eventi con $Tr > 200$ anni

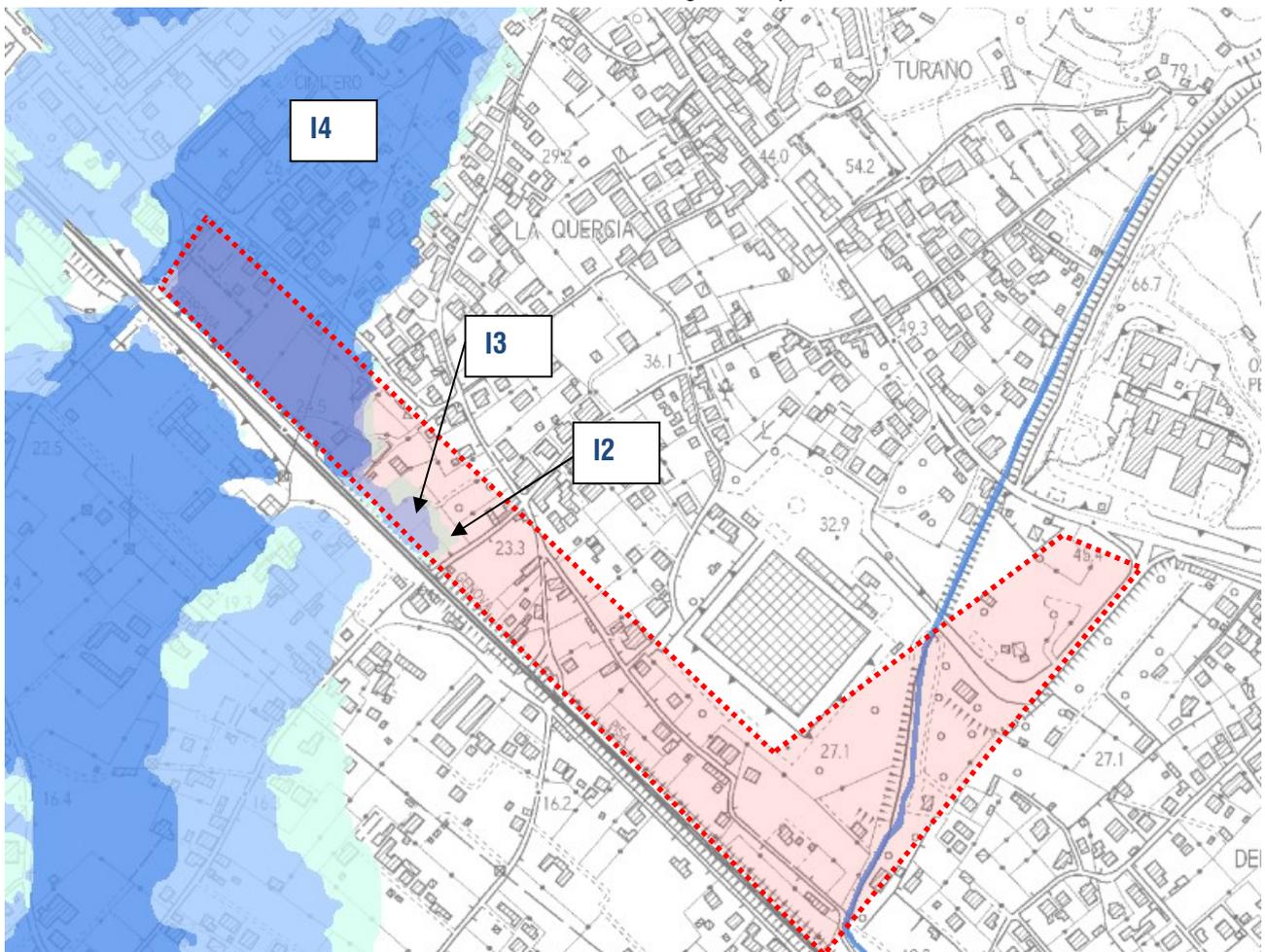


Fig. 7.3. Carta della Pericolosità Idraulica. <http://map.portalecomuni.net/mapguide/wgis/ddd.html?Cfg=f094d6e2-7235-4d71-a077-c8ca9a3fbc67>. Piano Strutturale Comune di Massa

Nella Disciplina di Piano, per le aree I4 ed I3 si fa riferimento ai seguenti articoli (non vi sono riferimenti normativi specifici per le aree I2):

Art. 59. Disciplina del rischio idraulico: Pericolosità idraulica molto elevata (I.4)

Le aree con pericolosità idraulica molto elevata, indicate nelle Tavv. B.pi, A22.a e A22.b sono quelle interessate da allagamenti per eventi con $Tr \leq 30$ anni.

Nelle parti del territorio caratterizzate da pericolosità idraulica molto elevata (I.4) devono essere rispettati i seguenti criteri generali:

- gli atti di governo del territorio non possono prevedere interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture per i quali non sia dimostrabile il rispetto di condizioni di sicurezza o non sia prevista la preventiva o contestuale realizzazione di interventi di messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno di 200 anni.
- gli atti di governo del territorio, nelle aree che risultino soggette a inondazioni con tempi di ritorno inferiori a 20 anni, possono prevedere solo infrastrutture a rete non diversamente localizzabili, per le quali sarà comunque necessario attuare tutte le dovute precauzioni per la riduzione del rischio a livello compatibile con le caratteristiche dell'infrastruttura; la realizzazione degli interventi di messa in sicurezza idraulica, o di riduzione del rischio, consentirà la riclassificazione di tali aree e la revisione delle relative previsioni.
- gli interventi di messa in sicurezza, definiti sulla base di studi idrologici e idraulici, non devono aumentare il livello di rischio in altre aree con riferimento anche agli effetti dell'eventuale incremento dei picchi di piena a valle;
- gli interventi di nuova edificazione previsti nel tessuto insediativo esistente, in attesa della messa in sicurezza complessiva del territorio comunale rispetto ad eventi con tempo di ritorno di 200 anni, sono consentiti nel rispetto delle norme del PAI, con particolare riferimento alle seguenti condizioni:
 - dimostrazioni dell'assenza o dell'eliminazione di pericolo per le persone e i beni, anche tramite sistemi di autosicurezza, compatibilmente con la natura dell'intervento ed il contesto territoriale;
 - dimostrazione che gli interventi non determinano aumento delle pericolosità a monte e a valle;
- della sussistenza delle condizioni di cui sopra deve essere dato atto anche nel procedimento amministrativo relativo al titolo abilitativo all'attività edilizia;
- possono essere previsti interventi per i quali venga dimostrato che la loro natura è tale da non determinare pericolo per persone e beni, da non aumentare la pericolosità in altre aree e purché siano adottate, ove necessario, idonee misure atte a ridurre la vulnerabilità;
- fino alla certificazione dell'avvenuta messa in sicurezza conseguente la realizzazione ed il collaudo delle opere idrauliche accompagnata dalla delimitazione delle aree risultanti in sicurezza, non può essere rilasciata dichiarazione di abitabilità e di agibilità;
- deve essere garantita la gestione di quanto in essere tenendo conto della necessità di raggiungimento anche graduale di condizioni di sicurezza idraulica fino a $Tr = 200$ per il patrimonio edilizio e infrastrutturale esistente e per tutte le funzioni connesse.

Art. 60. Disciplina del rischio idraulico: Pericolosità idraulica elevata (I.3)

Le aree con pericolosità idraulica elevata, indicate nelle Tavv. B.pi, A22.a e A22.b sono quelle interessate da allagamenti per eventi compresi tra $30 < Tr \leq 200$ anni.

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica elevata (I.3) devono essere rispettati i criteri generali indicati nelle aree a pericolosità idraulica molto elevata (I.4).

I soggetti interessati possono dimostrare la non sussistenza delle condizioni di pericolosità attraverso uno specifico ulteriore studio di dettaglio contenente un rilievo planoaltimetrico.

7.4 DISTRETTO APPENNINO SETTENTRIONALE - PGRA - PERICOLOSITA' IDRAULICA

La Carta della Pericolosità da alluvioni del Piano di Gestione del Rischio da Alluvioni (PGRA) dell'AdB Distretto Appennino Settentrionale (Fig. 7.4.), consultabile sul sito istituzionale con webgis <https://geodata.appenninosettentrionale.it/mapstore/#/viewer/openlayers/988>, mostra che la maggior parte dell'area di progetto ricade in P1 e, nel tratto iniziale, in P2 e P3. Le definizioni per le suddette classi sono le seguenti (art. 6 Disciplina di Piano):

P1 pericolosità da alluvione bassa (P1) corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale.

P2 pericolosità da alluvione media (P2), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore/uguale a 200 anni

P3 pericolosità da alluvione elevata (P3), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore/uguale a 30 anni

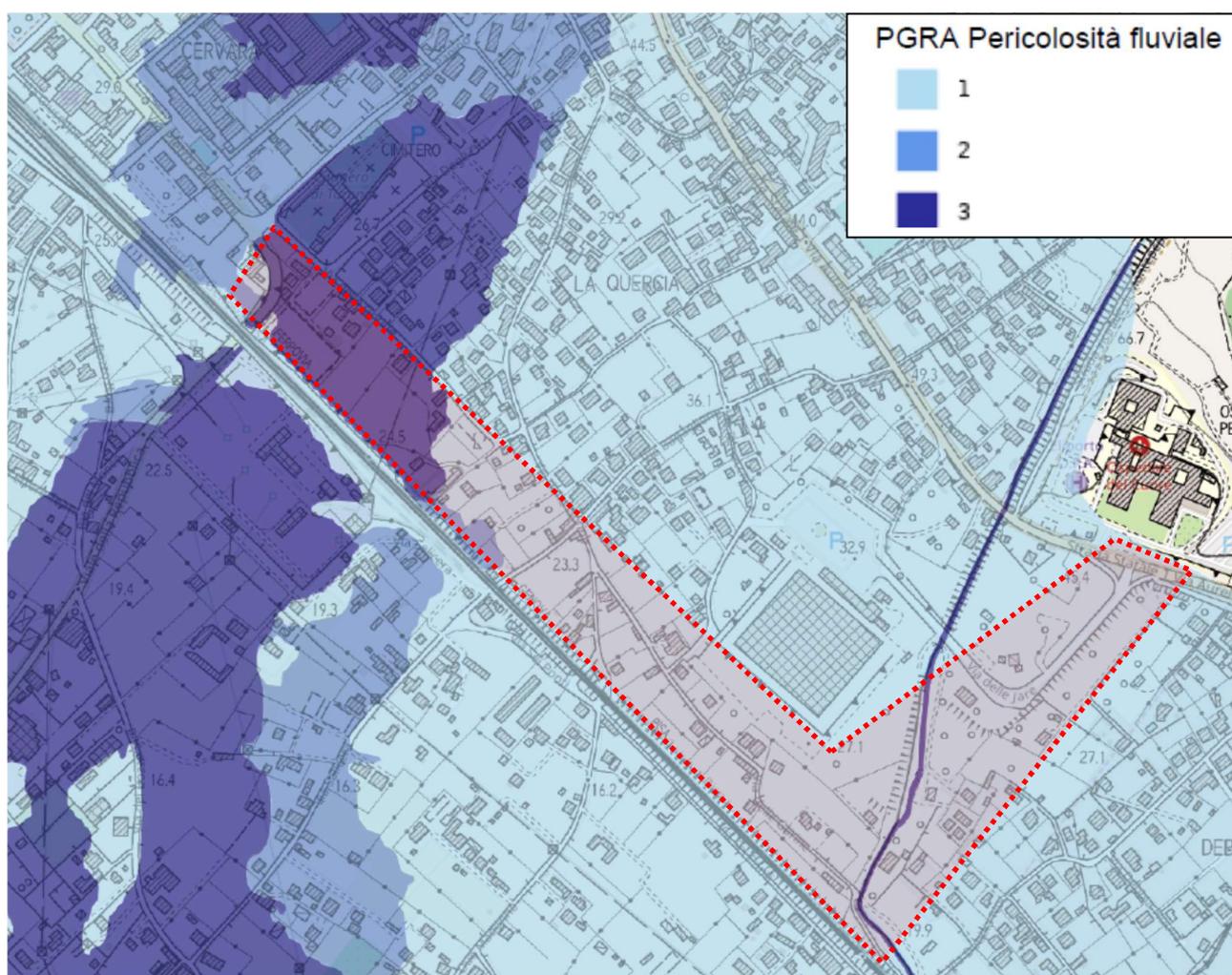


Fig. 7.4. Estratto da Carta della Pericolosità da alluvioni – PGRA AdB Distretto Appennino Settentrionale
<https://geodata.appenninosettentrionale.it/mapstore/#/viewer/openlayers/988>

Gli artt. 7, 9, 11 al Capo II Sezione I della Disciplina di Piano forniscono le norme per le suddette classi di pericolosità:

Art. 7. Aree a pericolosità da alluvione elevata (P3) – Norme

1. Nelle aree P3, per le finalità di cui all'art. 1 sono da consentire gli interventi che possano essere realizzati in condizioni di gestione del rischio idraulico, con riferimento agli obiettivi di cui all'art. 1 comma 4, fatto salvo quanto previsto ai commi 2 e 3.
2. Nelle aree P3 per le finalità di cui all'art. 1, l'Autorità di bacino si esprime sugli interventi di seguito elencati, in merito alla compatibilità degli stessi con il raggiungimento degli obiettivi di PGRA delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone:
 - a) misure di protezione previste dal PGRA delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone e misure previste dal PGA;
 - b) interventi di sistemazione idraulica e geomorfologica, ad eccezione delle manutenzioni ordinarie, straordinarie e dei ripristini;
 - c) interventi di ampliamento e ristrutturazione delle opere pubbliche o di interesse pubblico esistenti, riferite ai servizi essenziali, e della rete infrastrutturale primaria, nonché degli impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo n. 152/2006 dichiarati di interesse pubblico;
 - d) nuovi interventi relativi alla rete infrastrutturale primaria, se non diversamente localizzabili;
 - e) nuovi impianti di potabilizzazione e depurazione, compresi i servizi a rete e le infrastrutture a questi connessi; nonché interventi di ampliamento, di ristrutturazione di tali impianti e infrastrutture.
3. Fatto salvo quanto previsto all'art. 14 comma 8, nelle aree P3 non sono consentite:
 - a) previsioni di nuove opere pubbliche e di interesse pubblico riferite a servizi essenziali;
 - b) previsioni di nuove aree destinate alla realizzazione di impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo n. 152/2006;
 - c) previsioni che comportano la realizzazione di sottopassi e volumi interrati;
4. Le Regioni disciplinano le condizioni di gestione del rischio idraulico per la realizzazione degli interventi nelle aree P3.

Art. 9 – Aree a pericolosità da alluvione media (P 2) – Norme

1. Nelle aree P2 per le finalità di cui all'art. 1 sono da consentire gli interventi che possano essere realizzati in condizioni di gestione del rischio idraulico, con riferimento agli obiettivi di cui all'art. 1 comma 4, fatto salvo quanto previsto ai commi seguenti del presente articolo e al successivo art. 10.
2. Nelle aree P2 per le finalità di cui all'art. 1, l'Autorità di bacino si esprime sugli interventi di seguito elencati, in merito alla compatibilità degli stessi con il raggiungimento degli obiettivi di PGRA delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone:
 - a) misure di protezione previste dal PGRA delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone e misure previste dal PGA;
 - b) interventi di sistemazione idraulica e geomorfologica, ad eccezione delle manutenzioni ordinarie, straordinarie e dei ripristini;
 - c) interventi di ampliamento e ristrutturazione delle opere pubbliche o di interesse pubblico esistenti, riferite ai servizi essenziali, e della rete infrastrutturale primaria, nonché degli impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo n. 152/2006 dichiarati di interesse pubblico;
 - d) nuovi interventi relativi alle opere pubbliche o di interesse pubblico riferite ai servizi essenziali e alla rete infrastrutturale primaria;
 - e) interventi di ampliamento, di ristrutturazione e nuovi impianti di potabilizzazione e depurazione compresi i servizi a rete e le infrastrutture a questi connessi nonché gli impianti dichiarati di interesse pubblico di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo n. 152/2006, compresi i servizi a rete e le infrastrutture a questi connessi.
3. Le Regioni disciplinano le condizioni di gestione del rischio idraulico per la realizzazione degli interventi nelle aree P2.

Art. 11 – Aree a pericolosità da alluvione bassa (P1) – Indirizzi per gli strumenti di governo del territorio

1. Nelle aree P1 sono consentiti gli interventi previsti dagli strumenti urbanistici garantendo il rispetto delle condizioni di mitigazione e gestione del rischio idraulico.
2. La Regione disciplina le condizioni di gestione del rischio idraulico per la realizzazione degli interventi nelle aree P.1

Per quanto riguarda gli aspetti idraulici sia connessi alle classi di pericolosità del PGRA sia connessi alla LR 41/2018 si rimanda alla Relazione Idraulica (elaborato 03.01_T00_ID00_IDR_RE01_A).

7.5 PIANO STRUTTURALE - PERICOLOSITA' SISMICA

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) del PS/RU comunale, riportata in Fig. 7.5a,b, mostra che l'area di progetto ricade principalmente nelle zone 6 e 10, e, limitatamente al tratto in rilevato ed all'alveo del T. Canal Magro rispettivamente in zona 11 ed in zona 2. La definizione di dette zone è la seguente:

Zona 2. Corrisponde alle aree dove sono presenti i depositi alluvionali attuali della zona di pianura (alveo del F. Frigido) in contatto diretto sui depositi di conoide alluvionale antichi (FRGbn). Si tratta di blocchi e ghiaie da angolose ad arrotondate, ghiaie eterometriche, da arrotondate a subangolose, e sabbie da grossolane a fini che costituiscono barre laterali e longitudinali all'interno del letto di piena ordinaria e depositi eterometrici con granulometrie dai blocchi, alle ghiaie alle sabbie grossolane. Depositi granulari sciolti, non cementati. Lo spessore massimo si aggira sui 5 metri.

Zona 6. Corrisponde all'area di pianura più distale rispetto ai versanti collinari e montani occupata dai depositi alluvionali del Pleistocene superiore della conoide del F. Frigido dove, sulla base delle indagini esistenti, raggiungono uno spessore massimo di circa 80 metri e comunque sempre superiore a 40. Sono ghiaie e blocchi eterometriche, da subangolose ad arrotondate, con matrice sabbiosa, con stratigrafie complesse e frequenti passaggi verticali e laterali di facies. Nei dati di sondaggio è segnalata la presenza a profondità variabile di livelli sabbiosi, limosi e argillosi di spessore raramente superiore al metro. Sono addensati, generalmente debolmente cementati anche se localmente sia l'addensamento sia la cementazione risulta essere accentuata anche in relazione alla profondità. Il contatto inferiore è discordante sul substrato con geometria planare.

Zona 10. Corrisponde ai depositi alluvionali sabbioso-ghiaiosi olocenici che costituiscono le conoidi alluvionali nella fascia di contatto tra la pianura e i rilievi (parte del Centro di Massa, Turano, Lavacchio, Miretto, Castagnara, Codupino). Sono sabbie e ghiaie eterometriche, subangolose ad arrotondate, con livelli argillosi e siltosi localmente monogenici. Sono anche caratterizzati dalla presenza di paleosuoli bruni o bruno-rossastri, argillificati di spessore irregolare. Le superfici delle conoidi sono generalmente a debole pendenza. Si tratta di depositi granulari da poco a moderatamente addensati, non cementati. Il contatto inferiore è discordante sui depositi alluvionali della conoide del F. Frigido (FRGbn1) nei settori mediani e distali. Lo spessore è molto variabile e dipende dalle dimensioni e dalla morfologia della conoide. Può raggiungere i 50 metri

Zona 11. Ravaneti, discariche per inerti e rifiuti, rilevati stradali. I ravaneti sono gli accumuli degli scarti di lavorazione presenti al piede delle aree estrattive. Le loro dimensioni dipendono dalle dimensioni e dall'età dell'attività estrattiva. Possono costituire estese coperture con angoli di riposo molto elevati costituiti da ammassi caotici di ghiaie e blocchi con dimensioni fino a plurimetriche. Il contenuto in matrice è variabile. Sono depositi da sciolti fino a molto addensati, non cementati. Lo spessore può raggiungere i 20 metri nei settori dove l'angolo di riposo è minore (base dei versanti) e sono a contatto sul substrato.

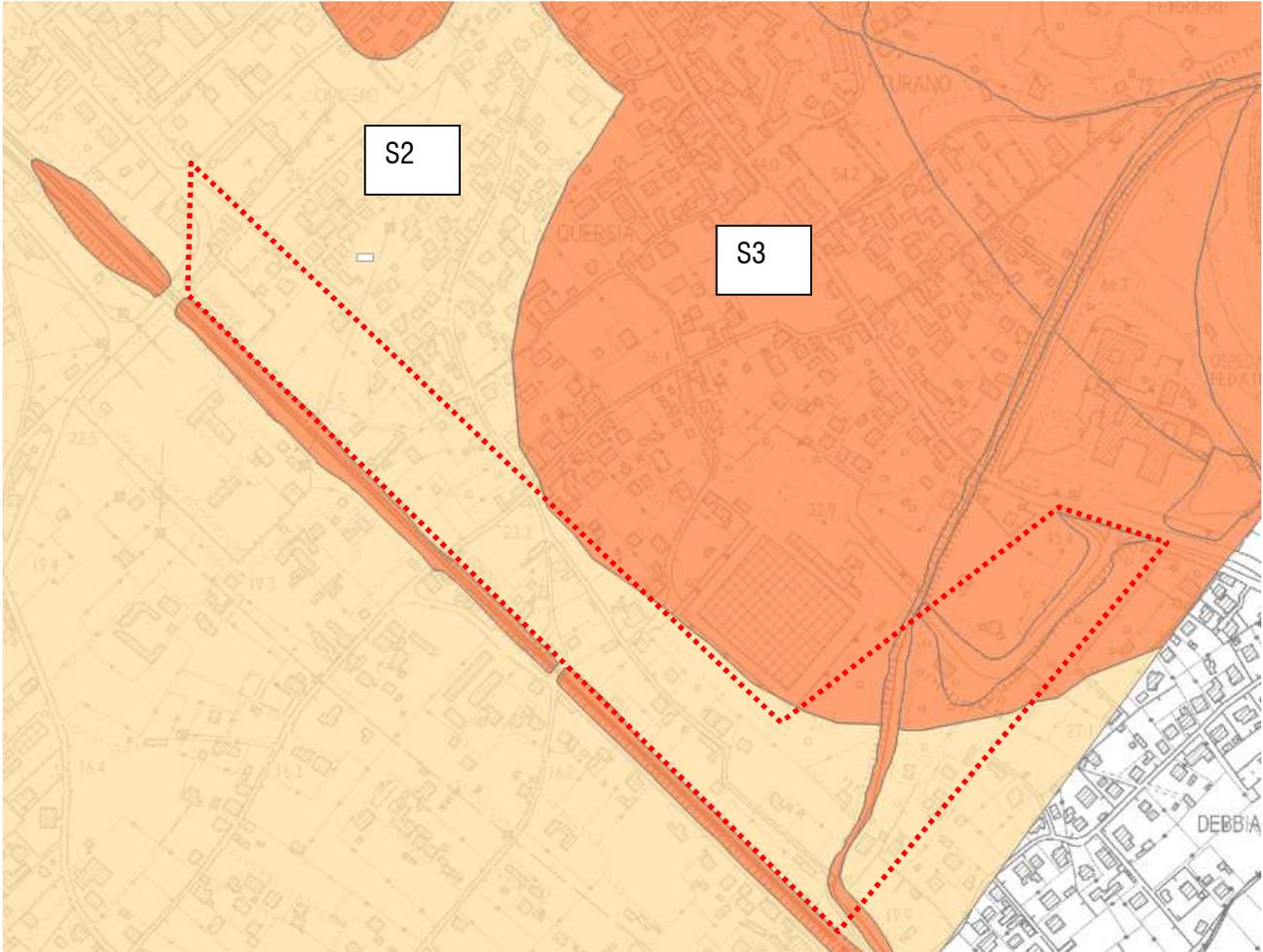


Fig. 7.6. Estratto da Carta della Pericolosità Sismica – Piano Strutturale del Comune di Massa - <http://map.portalecomuni.net/mapguide/wgjs/ddd.html?Cfg=f094d6e2-7235-4d71-a077-c8ca9a3fbc67>

Per la Pericolosità sismica si fa riferimento all'art. 68 della Disciplina di Piano, anche se va puntualizzato che l'articolo cita la carta ZMPSL sostituita dalla carta delle MOPS:

Art. 68. Rischio sismico

Di seguito si riportano i criteri generali da rispettare e le condizioni di attuazione di fattibilità per le previsioni edificatorie limitatamente alle aree per cui è stata redatta una cartografia della Zona a Maggior Pericolosità Sismica Locale (ZMPSL) ed effettuata l'individuazione delle differenti situazioni di pericolosità sismica.

Le valutazioni relative alla stabilità dei versanti devono necessariamente prendere in considerazione gli aspetti dinamici relativi alla definizione dell'azione sismica.

(omissis)

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità sismica locale elevata (S3), in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi dovranno essere valutati i seguenti aspetti:

- nel caso di aree caratterizzate da movimenti franosi quiescenti (2A) e da zone potenzialmente franose (2B1) devono essere realizzate opportune indagini geofisiche e geotecniche per la corretta definizione dell'azione sismica;
- nel caso di terreni di fondazione particolarmente scadenti (4) e per i terreni soggetti a liquefazione dinamica (5) devono prevedersi adeguate indagini geognostiche e geotecniche finalizzate al calcolo del coefficiente di sicurezza relativo alla liquefazione dei terreni;

- nelle zone con possibile amplificazione sismica connesse al bordo della valle e/o aree di raccordo con il versante (8) deve prevedersi una campagna di indagini geofisiche, opportunamente estesa ad un intorno significativo, che definisca in termini di geometrie la morfologia sepolta del bedrock sismico ed i contrasti di rigidità sismica (rapporti tra velocità sismiche in termini di Vsh delle coperture e del substrato);
- nelle zone con possibile amplificazione stratigrafica (9-10-11), deve prevedersi una campagna di indagini geofisica e geotecnica che definisca spessori, geometrie e velocità sismiche dei litotipi sepolti al fine di valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica dei terreni tra alluvioni e bedrock sismico;
- in presenza di zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse (12) e in presenza di faglie e/o contatti tettonici (13), tali situazioni devono essere opportunamente chiarite e definite attraverso una campagna di indagini geofisica che definisca la variazione di velocità delle Vsh relative ai litotipi presenti e la presenza di strutture tettoniche anche sepolte.

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità sismica media (S2) e da pericolosità sismica bassa (S1) non è necessario indicare condizioni di fattibilità specifiche.

(omissis)

8 SISMICA

8.1 INTRODUZIONE

Il territorio toscano è caratterizzato da una sismicità storica distribuita nel tempo in modo irregolare, con pochi eventi sismici di magnitudo superiore a 5.5 della scala Richter e nessun terremoto di magnitudo superiore a 7. Dall'analisi statistica dei terremoti dopo l'anno 1000, la Toscana non risulta tra le regioni più sismiche d'Italia, nonostante ciò, nei primi decenni del Novecento, in particolare nel periodo 1917-1920, si verificò una concentrazione di forti scosse seguita e preceduta da attività sismica minore: ciò ad evidenza che qualsiasi previsione sull'attività sismica unicamente basata sull'analisi statistica della storia conosciuta è associata ad incertezze estremamente elevate.

La sismicità toscana è legata necessariamente all'assetto geologico e sismotettonico generale dell'Appennino Settentrionale; quest'ultimo, per effetto del regime compressivo longitudinale che si è sviluppato a partire dal tardo Pliocene indotto dalla spinta della placca africana, ha provocato significativi raccorciamenti della catena. Tale deformazione si sviluppa mediante un complesso di processi tettonici che coinvolgono l'estrusione, il sollevamento e la deformazione interna di cunei, prevalentemente costituiti dalla copertura sedimentaria. Per semplificare la descrizione del contesto tettonico proposto, l'Appennino settentrionale può essere suddiviso in due parti principali: il cuneo Romagna-Marche-Umbria (RMU) e il cuneo TE (Fig. 8.1.).

Le evidenze attualmente disponibili indicano che questo meccanismo è ancora attivo e che può essere responsabile per l'attività sismotettonica nella Toscana interna. In particolare, la spinta dei settori tirrenici dell'Appennino meridionale e centrale sollecita in senso longitudinale le strutture più rigide della zona toscana interna, che sono costituite da una serie di dorsali collinari e montuose, formate da unità tettoniche pre-neogeniche (provenienti dai domini ligure e toscano e dal basamento metamorfico), come la dorsale Medio Toscana, che si prolunga a nord fino al Monte Pisano e alle Alpi Apuane, la dorsale Chianti-Cetona, che si prolunga a nord nel Monte Albano, e la dorsale Montalcino-Monte Amiata. Queste dorsali sono separate da depressioni riempite con sedimenti neogenici e quaternari (Mantovani E. *et alii*, 2011).

Nella figura 8.2. si può invece notare come la sismicità appaia connessa con le deformazioni e fratturazioni delle dorsali sopra citate e con le fosse tra esse comprese.

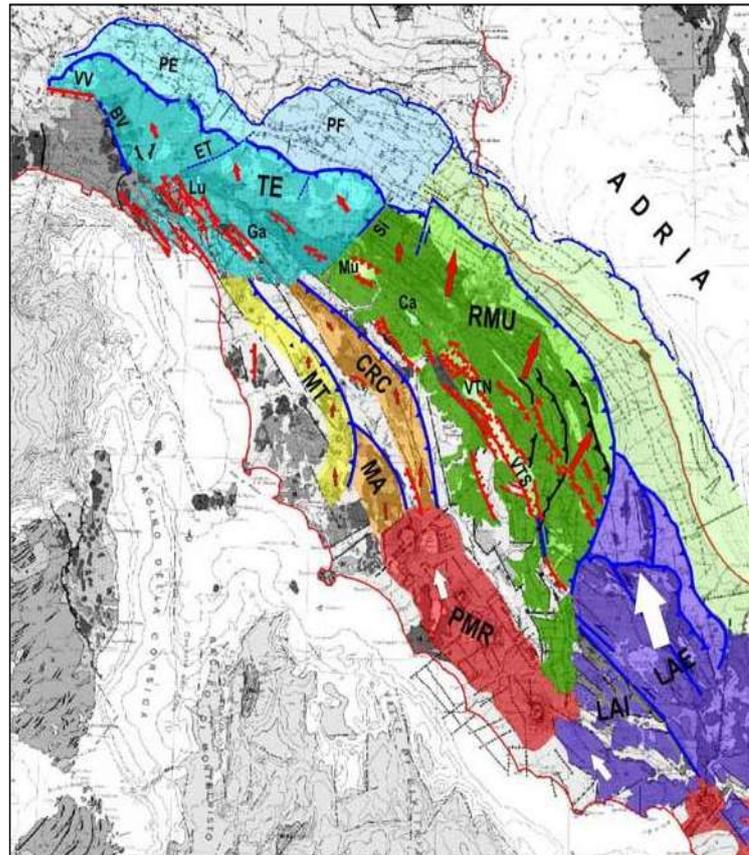


Fig. 8.1. Schema tettonico/cinematico dell'Appennino settentrionale. In colore sono evidenziati i due settori principali in cui l'Appennino settentrionale è suddiviso: cuneo Romagna-Umbria-Marche (RMU, verde) e cuneo Toscana-Emilia (TE, blu). Il raccorciamento longitudinale della catena appenninica è causato dal contesto geodinamico a larga scala (Mantovani et alii, 2009a). L'estrusione laterale dell'Appennino settentrionale (cunei RMU e TE) è causato dalla spinta (freccia grande) della parte esterna della piattaforma Laziale-Abruzzese (LAE). Una spinta longitudinale, ma meno intensa (freccie piccole), trasmessa dalla parte interna della piattaforma Laziale-Abruzzese (LAI), agisce sulle dorsali presenti nella Toscana occidentale (Chianti-Rapolano-Cetona=CRC, Medio Toscana=MT e Montalcino-Amiata=MA) e le fosse tra esse comprese, producendo deformazioni e attività sismica minori. Gli elementi tettonici estensionali sono in rosso, quelli compressionali e trascorrenti in blu. BV=zona sismica Bedonia-Varzi, Ca=Casentino, ET=sistema di faglie Enza-Taro, Ga=Garfagnana, Lu=Lunigiana, Mu=Mugello, PE,PF=Complessi sepolti delle Pieghe Emiliane e Ferraresi, PMR=Provincia Magmatica Romana, Si=Linea del Sillaro, VTN,VTS=Nord e Sud, VV=Zona sismica Villalvernia-Varzi (Mantovani et alii, 2011).

8.2 ASSETTO SISMOTETTONICO

Considerando i blocchi crostali attualmente implicati nel quadro tettonico, la loro presunta cinematica (Fig. 8.1.) e la distribuzione dei terremoti principali, sono state riconosciute le principali zone sismiche della Toscana. La geometria delle 5 zone così individuate (Lunigiana-Garfagnana, Mugello, Appennino Forlivese, Alta Valtiberina e Chianti-Montagnola Senese) è mostrata nelle Figg. 8.3. e 8.4. dove sono anche rispettivamente riportati i terremoti storici e la sismicità strumentale (Mantovani E. et alii, 2012b).

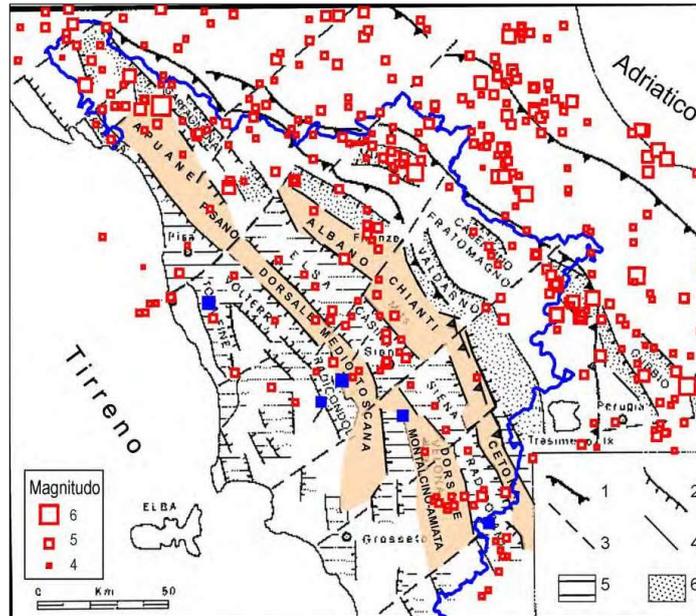


Fig. 8.2. Principali dorsali (nocciola) e bacini interposti nella Toscana interna e terremoti storici con $M > 4$ (simboli rossi). I 4 terremoti storici più intensi sono in blu. 1) fronti di sovrascorrimento, 2) faglie normali, 3) lineamenti tettonici trasversali, 4) faglie normali secondarie, 5) bacini formati dal tardo Miocene al Pliocene inferiore, 6) bacini intermontani Plio-Pleistocenici. Confine della Toscana in blu (Da Martini e Sagri, 1993, modificato).

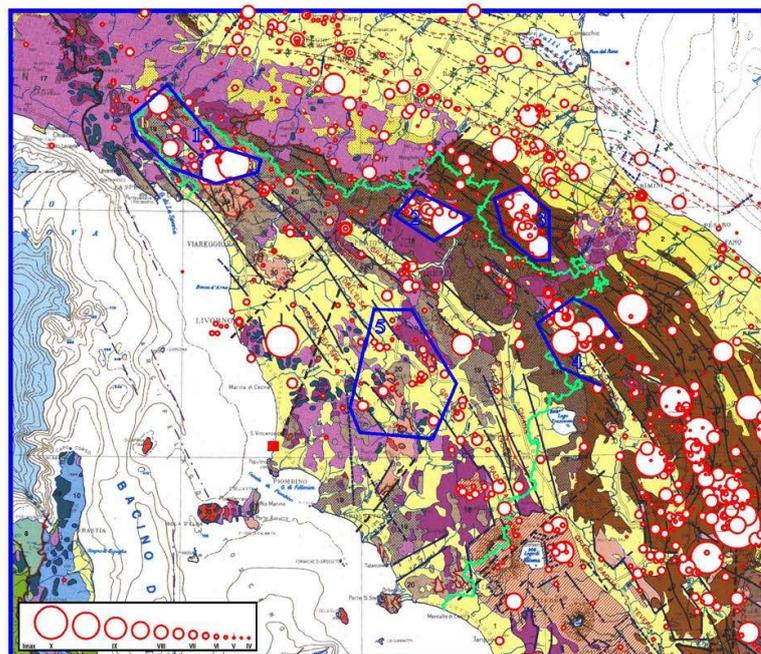


Fig. 8.3. Geometria delle zone sismiche (contorni in blu) e sismicità storica dall'anno 1000 in Toscana e dintorni (Guidoboni e Comastri 2005; Mariotti e Guidoboni 2006; Rovida et alii, 2011). 1) Lunigiana-Garfagnana 2) Mugello 3) Appennino forlivese 4) Alta Valtiberina 5) Chianti-Montagnola senese. In verde il confine amministrativo della Toscana. Lo sfondo è rappresentato dalla Carta Tettonica d'Italia (Funicello et alii, 1981).

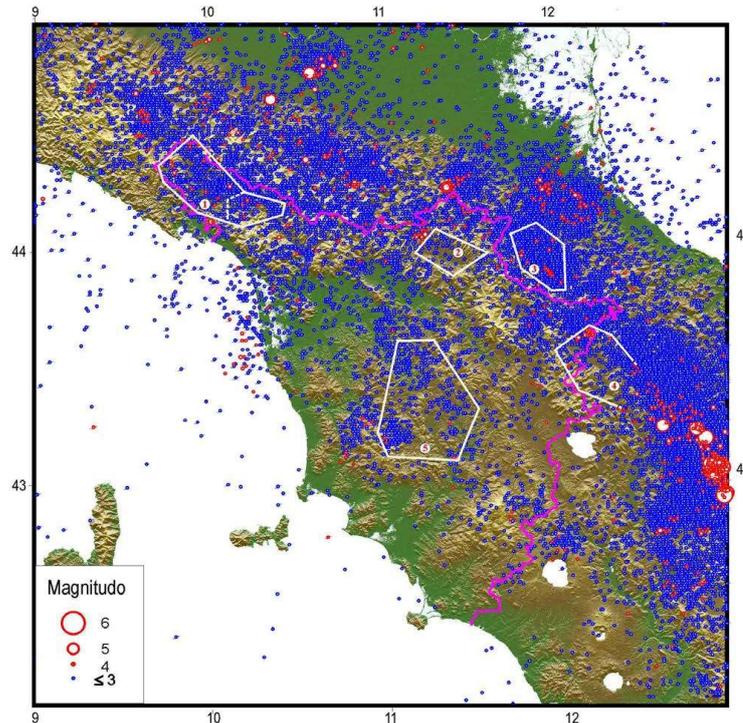


Fig. 8.4. Geometria delle 5 zone sismiche adottate e sismicità strumentale (1981-2010) da Castello et alii, (2006), dal Bollettino della Sismicità strumentale INGV (<http://bollettinosismico.rm.ingv.it/>) e da ISIDE Working Group (<http://iside.rm.ingv.it/iside/>). Lo sfondo è costituito da un modello topografico digitale (<http://gmt.soest.hawaii.edu/>). In rosa il confine amministrativo della Toscana.

Tutta l'area del territorio di Massa risente principalmente dell'attività sismica della zona sismica 1 “Lunigiana-Garfagnana” individuate nel DISS 2018 (Database of Individual Seismogenetic Sources) in Fig. 8.5.

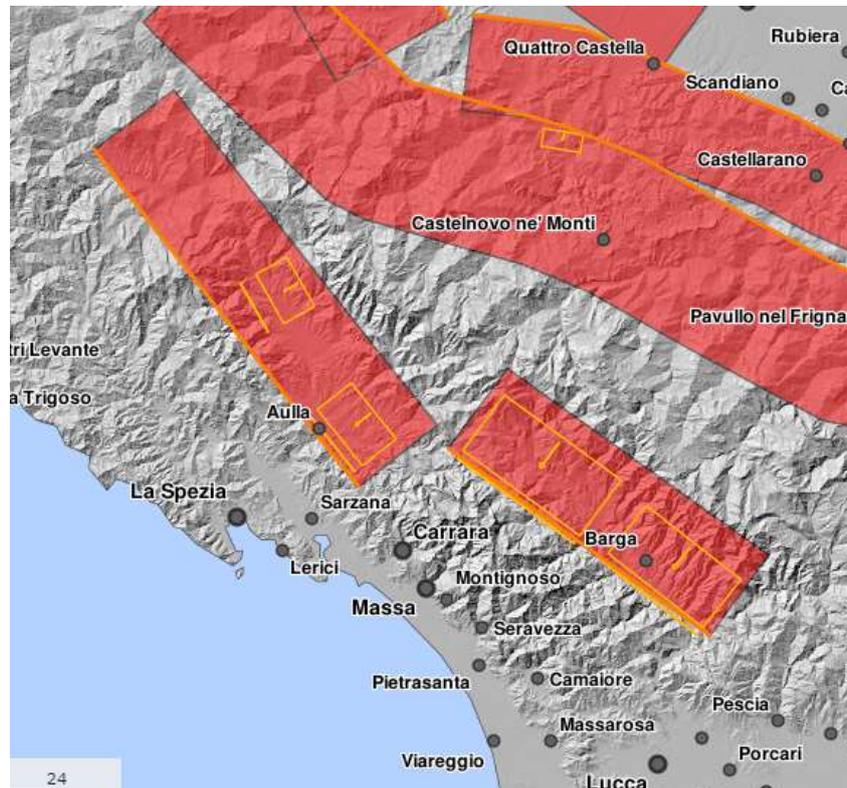


Fig. 8.5. Zone sismogenetiche Lunigiana e Garfagnana – DISS 2018 (<http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>)

8.3 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Sino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità, che coprivano però circa il 45% della superficie nazionale (Decreti ministeriali del Ministero dei Lavori Pubblici emanati dal 1981 al 1984). L'emanazione dell'Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003 ha stabilito la nuova classificazione sismica di tutto il territorio nazionale sulla base di studi più recenti, e disciplinato la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche. Il provvedimento detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio, hanno compilato l'elenco dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale. A ciascuna zona, inoltre, viene attribuito un valore dell'azione sismica utile per la progettazione, espresso in termini di accelerazione massima su roccia (zona 1=0.35 g, zona 2=0.25 g, zona 3=0.15 g, zona 4=0.05 g).

Un aggiornamento dello studio di pericolosità di riferimento nazionale, realizzato con il supporto di centri di competenza quali l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Gruppo di Lavoro 2004), è stato adottato successivamente con l'Ordinanza del P.C.M. n. 3519 del 28 aprile 2006. Il nuovo studio di pericolosità introduce degli intervalli di accelerazione (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche:

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

Tab. 8.1. Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06).

Dalla Mappa di Pericolosità Sismica di Fig. 8.6. elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia si evince che il territorio interessato dal progetto ricade in un areale caratterizzato da valori di a_{max} che variano da 0.125 a 0.150g.

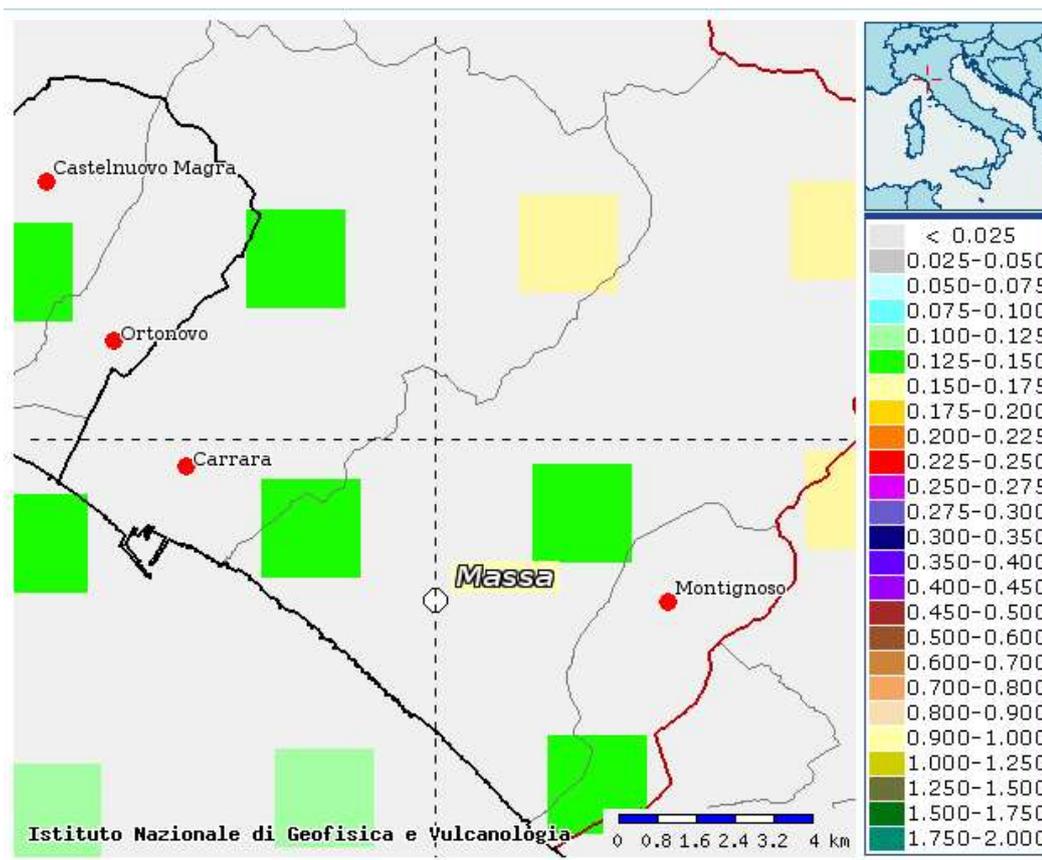


Fig. 8.6. *Mapa di Pericolosità Sismica* (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Con l'aggiornamento delle NTC del D.M. 14 gennaio 2008 e, successivamente, con le NTC 2018, la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente" (secondo il quale l'accelerazione di base a_g derivava direttamente dalla Zona sismica di appartenenza del comune senza considerare l'incremento dovuto ad effetti locali dei terreni).

Secondo le NTC 2008 e, analogamente, le NTC 2018, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della "vita nominale" dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali. La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).

Le caratteristiche sismiche di un'area dipendono dalle sorgenti sismogenetiche, dall'energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti (pericolosità sismica di base); tuttavia il moto sismico in superficie può essere modificato dalle condizioni geologiche e morfologiche locali (accumuli di detriti, versanti acclivi, depositi suscettibili di liquefazione etc....). La Microzonazione Sismica ha lo scopo di individuare, a scala comunale, le zone in cui le condizioni locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso oppure possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni, per le infrastrutture e per l'ambiente.

A livello nazionale, il 13 novembre 2008 è stato approvato il documento relativo agli "Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica", dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza Unificata delle Regioni e delle Province autonome. Gli indirizzi e i criteri costituiscono un utile documento di interesse nazionale di

riferimento per gli studi e le analisi relative alla microzonazione sismica, applicabile ai settori della programmazione territoriale, della pianificazione urbanistica e della normativa tecnica per la progettazione.

In Toscana la classificazione sismica regionale ha subito vari aggiornamenti nel tempo. A sei anni di distanza dall'entrata in vigore dell'Ordinanza del 2006 è stata approvata una nuova classificazione sismica con la DGRT n. 878 del 8 ottobre 2012, resasi necessaria per recepire le novità introdotte dall'entrata in vigore delle NTC 2008 e di rendere la classificazione sismica maggiormente aderente all'approccio "sito-dipendente". La classificazione ha riunificato nuovamente in un'unica **zona 3** le precedenti zone 3 e 3s (a cui apparteneva il Comune di Massa).

Inoltre, contestualmente all'entrata in vigore della nuova classificazione sismica, è stato approvato Delibera n° 886 del 08/10/2012 e pubblicato sul BURT n. 57 parte I del 26 ottobre 2012 il regolamento 58/R, nel quale si prevede inoltre che la zona 3 a bassa sismicità sia suddivisa in fasce di pericolosità che tengano conto del "valore di accelerazione sismica su suolo rigido e pianeggiante, allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), riferito al periodo di ritorno (TR) di 475 anni, corrispondente in termini progettuali ad una vita nominale (Vn) di 50 anni e categoria d'uso (Cu) pari ad 1 (classe d'uso II)", di seguito indicato "ag" come segue:

- a) **fascia A**, contraddistinta da valori di $ag > 0.15g$;
- b) **fascia B**, contraddistinta da valori di $0.125 < ag \leq 0.15g$;
- c) **fascia C**, contraddistinta da valori di $ag \leq 0.125g$;

Più recentemente, con la DGRT n. 421 del 26/05/2014, pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014, con cui è stato approvato un aggiornamento della classificazione sismica regionale, relativo all'aggiornamento dell'allegato 1 (elenco dei comuni) e dell'allegato 2 (mappa) della DGRT n. 878 dell'8 ottobre 2012 (Fig. 8.7.). Tale aggiornamento dell'elenco di classificazione sismica è divenuto necessario a seguito della fusione di 14 comuni toscani, con conseguente istituzione dal 1 gennaio 2014 di 7 nuove amministrazioni comunali.

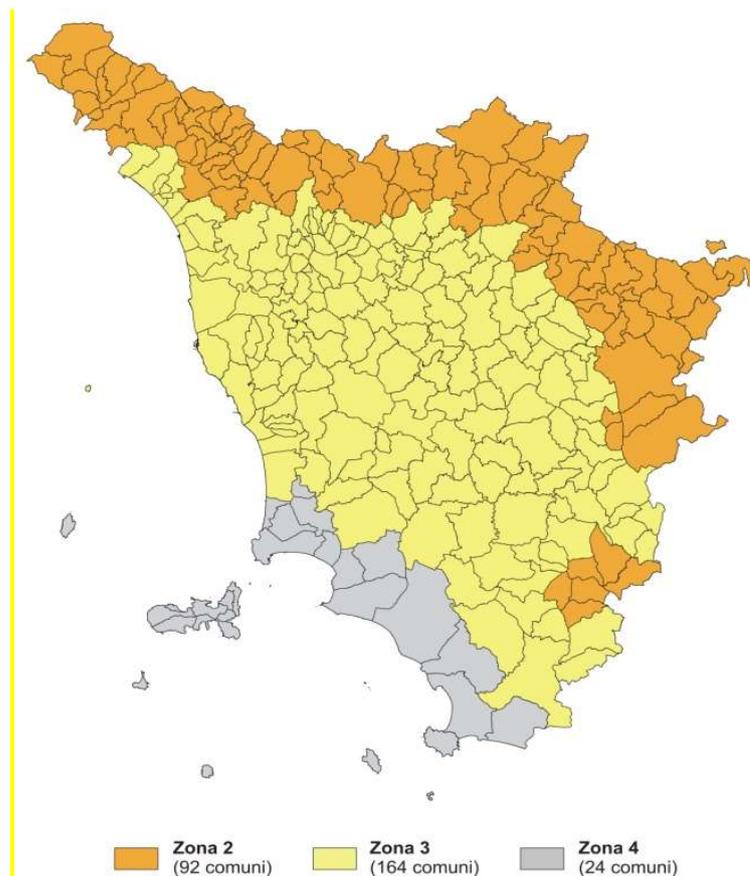


Fig. 8.7. Mappa di aggiornamento della classificazione sismica della Regione Toscana – 2014 ai sensi della DGRT 421/2014 (Allegato 2).

A livello comunale e subcomunale, in base a quanto definito dall'O.P.C.M. 3907/2010 e dalle specifiche tecniche definite negli *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS)* è stato necessario individuare le zone in cui le condizioni locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni, per le infrastrutture e per l'ambiente.

Gli ICMS individuano, in funzione dei diversi contesti e dei diversi obiettivi, vari livelli di approfondimento degli studi di Microzonazione Sismica (MS), con complessità ed impegno crescenti, passando dal livello 1 fino al livello 3.

Poiché in base alla nuova classificazione sismica regionale del 2012, come già descritta nei paragrafi precedenti, **il Comune di Massa rientra in zona 3** (valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, compresi fra 0.05 e 0.15), i nuovi SU devono essere dotati di studi di MS di livello 1. Lo studio di Microzonazione primo livello è stato effettuato nel 2013 ed ha portato alla realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) ed alla Carta della Pericolosità Sismica già esposte nel precedente paragrafo 7. Lo studio comprende anche la Carta delle frequenze Fondamentali dei terreni (Fig. 8.8) da cui si deriva che l'area di progetto è caratterizzata da frequenze comprese tra 1,0 e 2,5Hz.



Fig. 8.8. Carta delle Frequenze Fondamentali dei terreni. Da Studio di MS Livello 1 del Comune di Massa

8.4 SISMICITA' STORICA

Nella Fig. 8.9 è riportata la storia sismica del Comune di Massa così come dedotta dal DataBase Macrosismico Italiano DBMI15 (https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/). Si può osservare che le informazioni disponibili riguardano solo il periodo successivo al 1700 e individuano almeno tre eventi caratterizzati al sito da effetti di VII grado MCS analoghi quindi a quelli recentemente osservati nel corso dell'ultimo terremoto che ha colpito le province di Modena e Ferrara nel 2012.

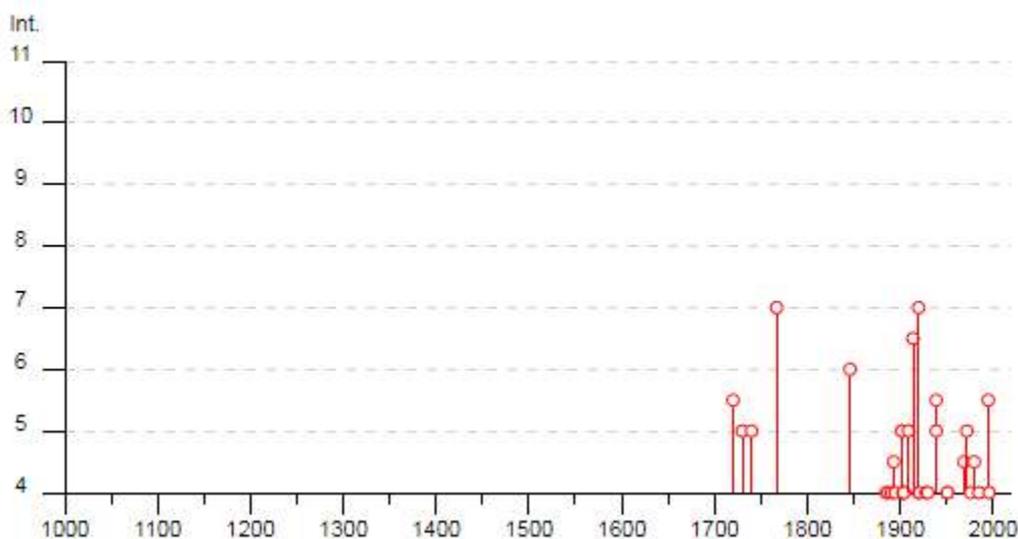


Fig. 8.9. Storia sismica del Comune di Massa dedotta dal DBMI15 (https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/).

Nella Tab. 8.2. sono invece riportate le indicazioni di dettaglio riguardo ai principali terremoti riportati nella figure precedente. Come si vede, dei quattro eventi principali, tre sono caratterizzati da sorgenti sismiche poste nell'area della Garfagnana (eventi del 1914 e 1920) e della Lunigiana (evento del 1767). Solo un evento è legato a sorgenti non appenniniche (terremoto di Orciano Pisano del 1846). La geometria e la collocazione delle faglie sismogeniche potenzialmente responsabili di questi eventi è riportata nella precedente Fig. 8.5 da cui si evince, come detto, che la zona sismogenica potenzialmente più pericolosa sia quella associata ai due graben appenninici della Garfagnana e della Lunigiana posti rispettivamente a Est e a Nord del capoluogo e capaci di generare eventi con magnitudo relativamente elevata (attorno a 6.0 Mw).

Intensità al sito	Tempo di occorrenza	Località epicentrale	Intensità Massima all'epicentro	Magnitudo stimata
VII	1767 01 21 07:45	Fivizzano	VII	5.4
VI	1846 08 14 12:00	Toscana settentrionale	IX	5.9
VI-VII	1914 10 27 09:22:36	Garfagnana	VII	5.8
VII	1920 09 07 05:55:40	Garfagnana	X	6.5

Tab. 8.2. *Dettagli relativi agli eventi sismici principali che hanno interessato il Comune di Massa.*

8.5 DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

La determinazione dell'azione sismica di progetto si effettua a partire dalla pericolosità sismica di base del sito d'intervento, descritta dalla probabilità (P_{VR}) che, in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento V_R), nel sito prescelto si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. La pericolosità è definita in termini di accelerazione orizzontale attesa a_g in condizioni di campo libero (assenza di edifici) su sito di riferimento rigido (sottosuolo A) con superficie topografica orizzontale (categoria T1) e di ordinate del corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$, con riferimento a determinate P_{VR} (probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento). Le forme spettrali sono definite per ciascuna P_{VR} a partire dai valori di a_g di F_0 (valore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e di T^*c (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale), riportati nell'Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008 (poi ripresi pedissequamente nelle NTC 2018) e rappresentati in termini di andamento medio in funzione del periodo di ritorno T_R per l'intero territorio nazionale. Il valore di a_g è desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento fornita dall'INGV mentre F_0 e T^*c sono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici forniti dal D.M. 14 gennaio 2008, anch'essi ripresi nelle NTC 2018, approssimino al meglio quelli derivanti dalla pericolosità di riferimento.

La vigente normativa (NTC 2008 e NTC 2018) definisce quattro stati limite di riferimento, ordinati per azione sismica crescente (SLO, SLD, SLV e SLC), ai quali sono stati attribuiti valori specifici di P_{VR} (pari rispettivamente a 81%, 63%, 10% e 5%); tali probabilità di eccedenza, valutate nel periodo di riferimento proprio della costruzione considerata, consentono di individuare, per ciascuno stato limite, l'azione sismica di progetto corrispondente. In assenza di determinazioni derivanti da analisi di risposta sismica locale, per le componenti orizzontali del moto la forma spettrale di riferimento per il sito prescelto, quale che sia la P_{VR} , è modificata attraverso il coefficiente S (dato dal prodotto di S_s , coefficiente di amplificazione stratigrafica che tiene conto della categoria di sottosuolo, con S_T , coefficiente di amplificazione topografica) ed il coefficiente C_c (funzione della categoria di sottosuolo) che modifica il valore del periodo T_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di riferimento.

Come detto, a partire dalle NTC 2008 e successivamente con le NTC 2018, la stima della pericolosità viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione, viene definita partendo dalla pericolosità di base del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa **ag**, in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

ag accelerazione orizzontale massima al sito

Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T*c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alla norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di ag, F e TC necessari per la determinazione delle azioni sismiche di riferimento. Nella Relazione di Progetto saranno indicati periodo di riferimento, coordinate del sito, vita nominale, tipo di costruzione TR, PVR etc. nonché sarà definita l'azione sismica del sito.

Categoria di Sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 8.3.).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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 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 delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>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.</i>

Tab. 8.3. Categorie di sottosuolo NTC 2018

In funzione della categoria di sottosuolo del sito in esame è possibile poi determinare attraverso la Tab. 8.4. le espressioni per il calcolo di Ss e di CC.

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tab. 8.4.

Ai fini della caratterizzazione del sottosuolo è stata effettuata una stesa sismica con metodologia MASW per la quale è stato calcolato il valore di V_{seq} secondo la formula:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove

h_i è lo spessore dell'i-esimo strato

$V_{S,i}$ è la velocità delle onde di taglio dell'i-esimo strato

N è il numero di strati

H è la profondità del substrato, definito come la formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzato da valori di V_s non inferiore a 800m/s.

Per depositi con H del substrato superiore a 30m, la velocità equivalente delle onde di taglio V_{seq} è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30m$ nell'espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Il calcolo della V_{seq} per la prova MASW eseguita fa rilevare il valore di 369m/s, i terreni apparrebbero dunque alla categoria B di sottosuolo secondo le definizioni di cui alle NTC 2018 (Tab. 8.3.). **In considerazione della vicinanza di questo valore con il limite tra categoria B e categoria C (360m/s) e della natura eteropica dei terreni a cui sono associate variazioni litologiche e/o dello stato di addensamento, ai fini progettuali il suolo sarà trattato come categoria C.**

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 8.5.):

Categoria	Descrizione
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15 \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 8.5. Categorie topografiche

Le categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m. Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 8.6, in funzione delle categorie topografiche definite nella tabella precedente e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	pianeggiante o poco inclinato	1,00
T2	pendii con inclinazione $i > 15^\circ$	1,20
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media tra 15° e 30°	1,20
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione superiore a 30°	1,40

Tabella 8.6. Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Nel caso in esame, in relazione all'orografia del sito si ricade in **categoria T1** cui corrisponde un coefficiente di amplificazione topografica **$S_T = 1,0$** .

Per quanto concerne i parametri sismici di progetto si rimanda alla Relazione Geotecnica e Sismica (02.13_T00_GE00_GET_RE01_A).

9 LINEE-GUIDA PER LE INDAGINI IN FASE DI PROGETTO ESECUTIVO

Per porzione di area di progetto ricadente in classe di Pericolosità Sismica S3 che, nel caso specifico ingloba le aree 10 e 11 della Carta delle MOPS (Fig. 9.1-9.2) l'art. 68 della Disciplina del Piano Strutturale prevede quanto segue:

Art. 68. Rischio sismico

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità sismica locale elevata (S3), in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi dovranno essere valutati i seguenti aspetti:

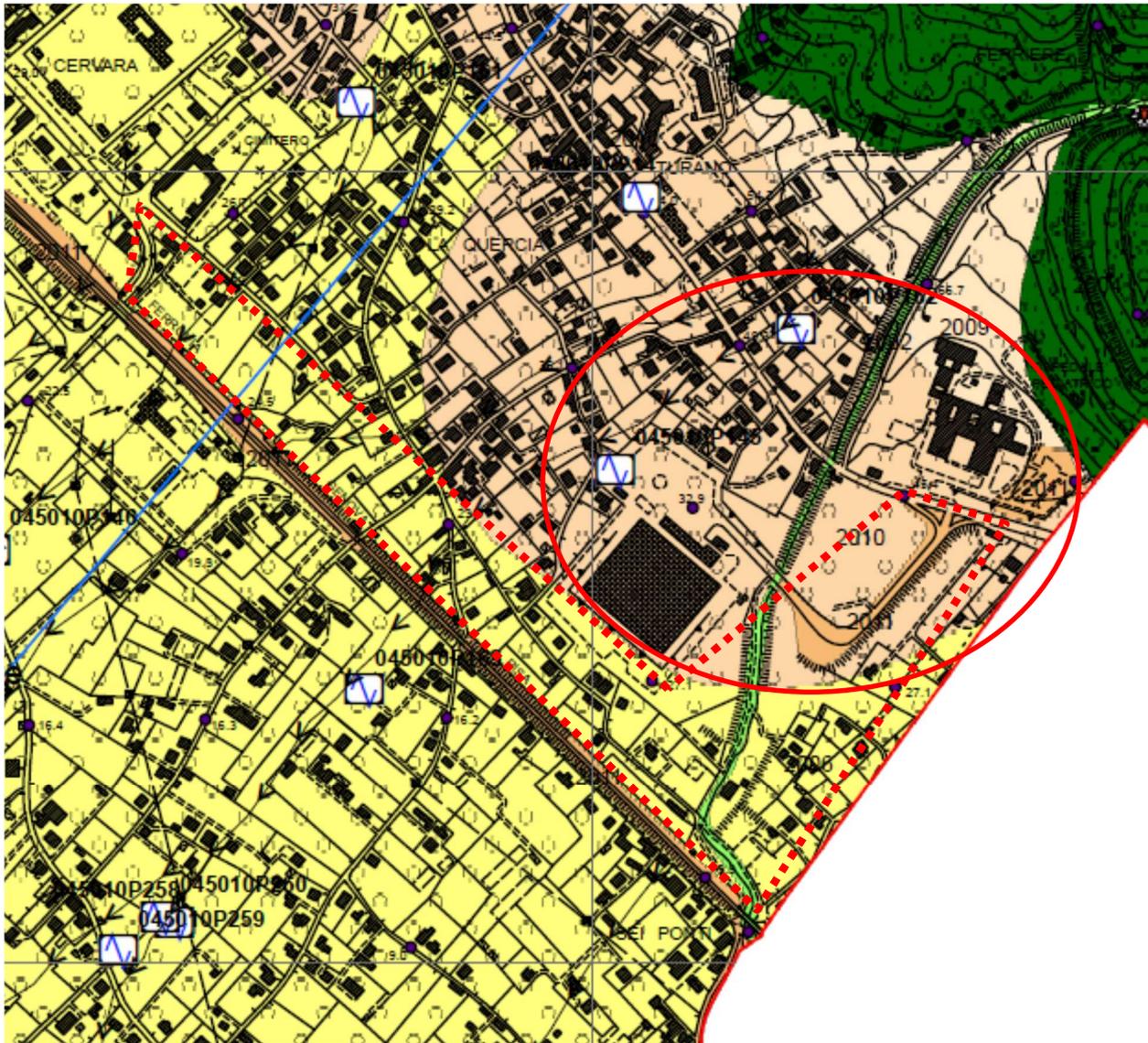
- nelle zone con possibile amplificazione stratigrafica (9-10-11), deve prevedersi una campagna di indagini geofisica e geotecnica che definisca spessori, geometrie e velocità sismiche dei litotipi sepolti al fine di valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica dei terreni tra alluvioni e bedrock sismico

La campagna di indagini condotta a supporto della presente fase progettuale ha compreso, in questa area, l'esecuzione di una prova sismica MASW (Fig. 9.3), di due sondaggi a carotaggio continuo di cui uno condizionato con piezometro TA, e un pozzetto esplorativo.

Per integrare il quadro conoscitivo sismico, in fase esecutiva possono essere eseguite le seguenti indagini geofisiche, finalizzate a valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica tra i terreni di copertura e il bedrock sismico:

- n. 2 misure HVSR
- n. 1 prova ESAC
- n. 1 MASW di verifica

La posizione dei punti di prova sarà a cura del Progettista in PE.



Zone stabili suscettibili di
amplificazioni locali



Fig. 9.1. Legenda della Carta delle MOPS del Comune di Massa

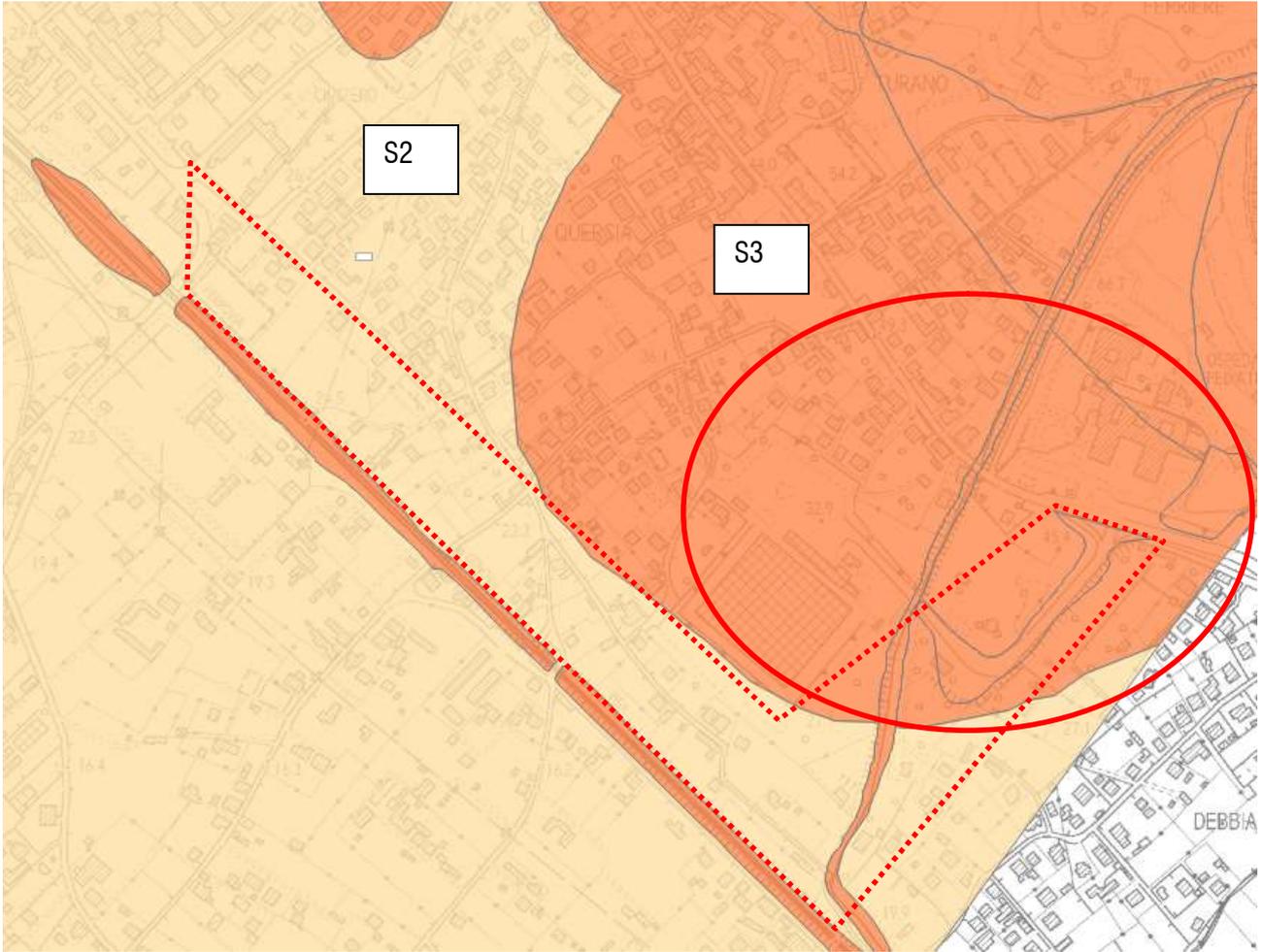
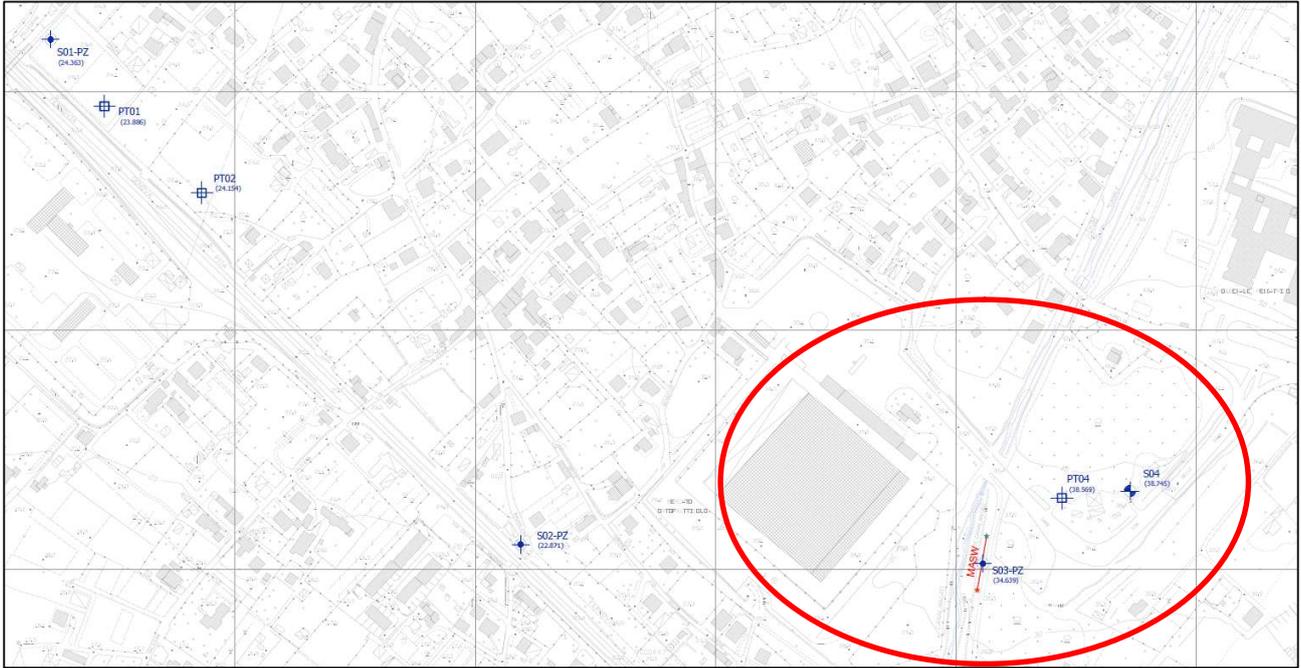


Fig. 9.2. Estratto da Carta della Pericolosità Sismica – Piano Strutturale del Comune di Massa - <http://map.portalecomuni.net/mapguide/wgis/ddd.html?Cfg=f094d6e2-7235-4d71-a077-c8ca9a3fbc67>



INDAGINI GEONOSTICHE, SISMICHE DICEMBRE 2019

- Sn (00.00) Sondaggio a carotaggio continuo
Quota rilevata (s.l.m.)
- Sn-PZ (00.00) Sondaggio a c.c. con Piezometro
Quota rilevata (s.l.m.)
- PTn (00.00) Pozzetto geonostico
Quota rilevata (s.l.m.)
- MASW Prova Masw
- * Stesa Sismica Inizio
- * Stesa Sismica Fine

Fig. 9.3. Ubicazione indagini

10 SINTESI

In base a quanto rilevato, ai risultati delle indagini effettuate, in base alla disamina del materiale consultato, la situazione geologica, geomorfologica, idrogeologica dell'area di progetto è sintetizzata come segue:

- l'area è impostata su depositi di conoide a litologia grossolana in facies prevalentemente ghiaioso sabbiosa e sabbioso-ghiaiosa; sono presenti strati e livelli in cui compare una apprezzabile percentuale fine nella matrice
- i depositi appartengono a due conoidi ben distinte: la conoide del F. Frigido che occupa gran parte della pianura di Massa e la più modesta conoide del T. Canal Magro, che nella sua porzione distale si fonde con quella principale
- i depositi di conoide sono caratterizzati da un marcato carattere eteropico
- l'area, a bassa pendenza, è fortemente antropizzata ed è esente da elementi geomorfologici tali da rappresentare una criticità a livello progettuale; va segnalata una situazione di attenzione lungo le sponde del T. Canal Magro in prossimità dell'area in cui verrà realizzato il nuovo attraversamento: si tratta di piccoli crolli localizzati dovuti ad erosione al piede
- la falda è libera ed è ospitata nei materiali di conoide, con quota assoluta del tetto della falda variabile tra 1,5 e 11,50m.s.l.m. e soggiacenza compresa tra 11,20 e 22,60m da piano campagna; da segnalare un'anomalia in corrispondenza del piezometro installato nel sondaggio S2 che, probabilmente per cause litostratigrafiche, ha fatto rilevare una quota di falda sensibilmente differente rispetto alle altre misure
- l'area ricade a cavallo delle seguenti classi di pericolosità:
 - o G1-Pericolosità geomorfologica bassa e G3I-Pericolosità geomorfologica medio-elevata per motivi litostratigrafici, l'alveo del Canal Magro ricade in classe G4-Pericolosità geomorfologica molto elevata e P4 nel PAI
 - o I4 (P3PGRA)-Pericolosità Idraulica molto elevata I3(P2PGRA)-Pericolosità idraulica elevata, I2-Pericolosità idraulica media,
 - o S3-Pericolosità sismica elevata, S2-Pericolosità sismica media
- le indagini sismiche hanno fatto rilevare terreni di categoria B con valori di Vs molto prossimi al limite con la categoria C e per tale ragione ai fini progettuali si considerano i suoli come appartenenti alla categoria C.



DOTT. GEOL. PIETRO ACCOLTI GIL