

Asse stradale di collegamento tra gli svincoli di Prato Est e Prato Ovest – "Declassata di Prato"
Raddoppio di Viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra Via Marx e Via Nenni mediante la realizzazione di un sottopasso

PROGETTO DEFINITIVO

COD. FI463

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

02 – GEOLOGIA GEOTECNICA E SISMICA
02.3 – Geologia geomorfologia e idrogeologia
Relazione geologica geomorfologica e idrogeologica

CODICE PROGETTO PROGETTO LIV. PROG. N. PROG. D P F I 1 0 D 1 9 0 1		NOME FILE 02.08_P00_GEO0_GEO_RE07_A		Progr. ELAB. 02.08	REV. A	SCALA: -
CODICE ELAB. P 0 0 G E 0 0 G E O R E 0 7						
D						
C						
B						
A	EMISSIONE	12/2019	POLITECNICA	P.ACCOLTI GIL	M.MANCONE	A.RENSO
REV.	DESCRIZIONE	DATA	SOCIETA'	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

SOMMARIO

1	PREMESSA	1
2	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	3
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE	6
4	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	11
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	14
5.1	INQUADRAMENTO GENERALE	14
5.2	EVOLUZIONE GEOLOGICA RECENTE	18
5.3	STRATIGRAFIA	27
6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	34
7	PERICOLOSITA' E FATTIBILITA'	52
7.1	PIANO STRUTTURALE - PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA.....	52
7.2	PIANO STRUTTURALE - PERICOLOSITA' IDRAULICA.....	53
7.3	PIANO STRUTTURALE - PERICOLOSITA' SISMICA	54
7.4	PGRA	55
7.5	FATTIBILITA'	57
8	SISMICA	59
8.1	INTRODUZIONE.....	59
8.2	ASSETTO SISMOTETTONICO	60
8.3	CLASSIFICAZIONE SISMICA	63
8.4	DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA	70
9	SINTESI	75

1 PREMESSA

La presente Relazione Geologica è parte integrante degli elaborati del Progetto Definitivo del "Raddoppio di viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra via Marx e via Nenni mediante realizzazione di un sottopasso".

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

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 di Fattibilità Tecnica ed Economica (ANAS 2018) – Relazione Generale (T00_EG00_GEN_RE00_A)
- Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica (ANAS 2018) – Relazione Geologica e Geotecnica (T00_GE00_GEO_RE00_A)
- Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica (ANAS 2018) – Ubicazione indagini in sito (T00_GE00_GEO_PU00_A)
- Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica (ANAS 2018) – Profilo Geologico (T00_GE00_GEO_FG00_A)
- Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica (ANAS 2018) – Carta Geologica (T00_GE00_GEO_CG00_A)
- Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica (ANAS 2018) – Carta Geomorfologica (T00_GE00_GEO_CM00_A)
- Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica (ANAS 2018) – Carta Idrogeologica (T00_GE00_GEO_CIO0_A)
- Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica (ANAS 2018) – Planimetria con macrozonazione sismica (T00_GE00_GEO_PL00_A)
- 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 Prato
- PTC Prato
- PGRA dell'Autorità di Bacino del F. Arno

Il quadro conoscitivo di base è stato poi implementato sia mediante rilievi in sito sia attraverso i risultati della campagna di indagini integrative predisposta da ANAS nei mesi di Ottobre-Dicembre 2018.

Normativa di riferimento:

- **Decreto Ministeriale 17.01.2018**
Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni
- **Decreto Ministeriale 14.01.2008 e s.m.i.**
Testo Unico – Norme Tecniche per le Costruzioni
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**
Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
Circolare 2 febbraio 2009
- **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
- **LR 01/2005 e s.m.i**
- **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 Autorità di Bacino Fiume Arno**
- **Piano Regolatore Generale del Comune di Prato (Piano Strutturale 2019 e POC)**

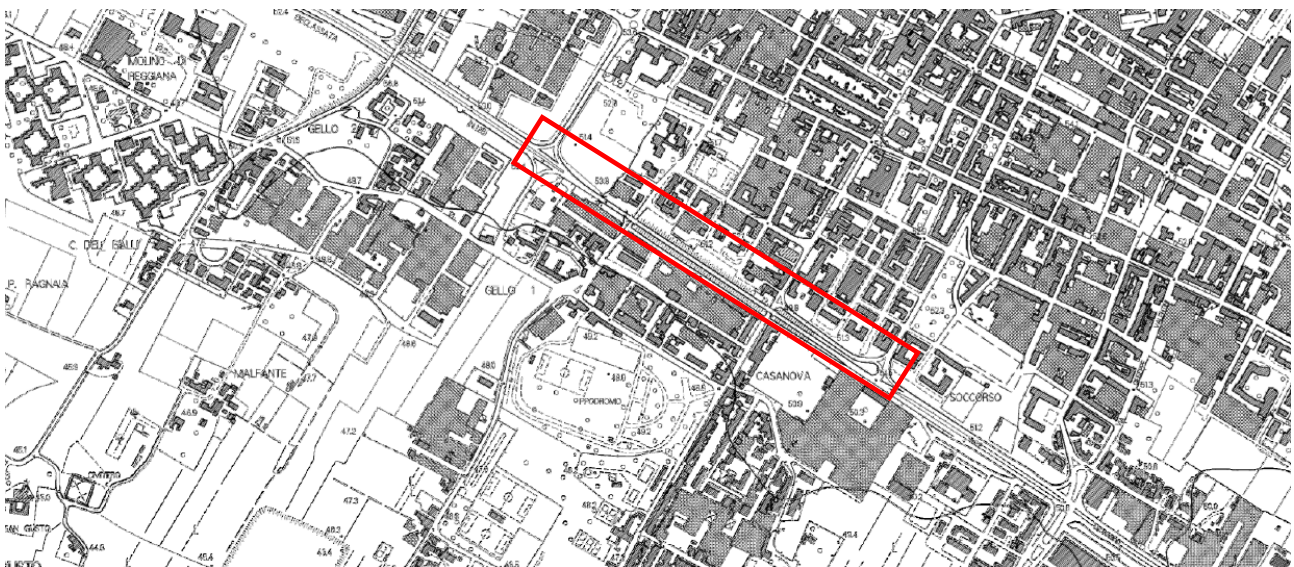


Fig. 1.1. Area di intervento su CTR

2 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Nel tratto oggetto di intervento il Viale Leonardo Da Vinci ("Declassata"), vecchia sede dell'autostrada A11, si trova all'interno del corpo urbano di Prato in una zona residenziale e artigianale e corre in rilevato a quota superiore di circa 6m rispetto al piano campagna originario ed alla quota dell'impianto cittadino limitrofo. L'infrastruttura della Declassata, sin dai tempi della sua realizzazione, ma ancora di più in seguito alle espansioni urbane che si sono sviluppate all'esterno del centro storico, taglia e separa fisicamente la città e sviluppandosi in direzione est-ovest incontra realtà urbane differenti per funzioni, tipologie architettoniche e situazioni socio economiche. In particolare il tratto in oggetto si trova a ridosso della zona del Soccorso (verso nord) e di Grignano (verso sud). La zona del Soccorso individua un'area al limitare meridionale del centro storico di Prato che ha il suo centro fisico e simbolico attorno alla chiesa di S. Maria del Soccorso lungo via Roma ed è costituito dai primi insediamenti di edilizia residenziale esterni al centro storico costruiti all'inizio del '900 ai margini della viabilità esistente. Essa si sviluppa attorno a due assi viari storici come via Roma e via C. Marx che rappresentano perfettamente le due anime del quartiere, quella storica e quella della densificazione residenziale degli anni 60-70. La caratteristica principale della zona è determinata dall'alta densità edilizia e, conseguentemente, da una forte concentrazione abitativa dalla quale discendono altri elementi di criticità come la carenza di aree pubbliche ed in particolare di aree verdi, la scarsa qualità edilizia, il degrado fisico di alcuni insediamenti artigianali di scarso pregio architettonico per lo più inutilizzati e dell'area sportiva abbandonata (Ex-Ambrosiana). La presenza dell'infrastruttura della declassata, che ne costituisce il limite fisico a Sud con un rilevato di circa 6 metri rende ancora più degradata la percezione del quartiere, aumentando il senso di isolamento e di disagio sociale. Per quanto riguarda la zona sud del tratto di declassata in esame essa è costituita dalla propaggine di un altro borgo pratese, Grignano, ma è principalmente caratterizzata dalla presenza servizi di livello urbano (come la sede di Consiag e Sori) e di attività commerciali che attualmente non sono collegate alla zona del Soccorso e che potrebbero essere agevolate da una maggiore permeabilità fisica con il centro città e con il popoloso quartiere del Soccorso.

Sintetizzando si tratta di una viabilità con valenza sovracomunale e con elevati volumi di traffico sia leggero che pesante.

La sezione trasversale presenta una sola corsia per senso di marcia che risulta nettamente insufficiente per smaltire i livelli di traffico oggi presenti. Inoltre il tratto stradale in rilevato comporta un notevole inquinamento acustico, una pessima qualità dell'area ed è anche una barriera sia visiva sia fisica che opprime le zone urbane circostanti e, fondamentalmente, spezza in due parti la zona cittadina che attraversa.

Al fine di risolvere questa significativa problematica il progetto prevede di realizzare la nuova sede stradale in galleria artificiale posta completamente al di sotto della quota del reticolo urbano cittadino limitrofo.

In questo modo si eliminano completamente tutti gli elementi di impatto visivo e tutti i fattori di inquinamento, e si mantiene comunque l'efficace schema di assenza di interferenze sulla viabilità principale est-ovest con le viabilità locali nord-sud. Queste ultime di fatto mantengono la loro giacitura attuale sia planimetrica che altimetrica e vengono semplicemente sottopassate dalla nuova viabilità in galleria artificiale. L'attuale sedime del corpo stradale in rilevato viene completamente recuperato e può essere ridato in uso alla città con significativi e palesi vantaggi sotto vari punti di vista.

Per sfruttare e valorizzare ulteriormente tutto ciò il Comune di Prato ha già in progetto di realizzare un intervento di valorizzazione di tutta l'area con la realizzazione della viabilità locale e la creazione di un'ampia area di parco urbano.

Questi interventi saranno oggetto di un progetto complementare a quello della galleria artificiale che verrà finanziato e gestito dal Comune. Questo progetto comprende la realizzazione di una viabilità di superficie parallela al Viale

Leonardo Da Vinci, che viene accordato alla viabilità nord-sud tramite intersezioni a rotonda e che diventerà elemento fondamentale della viabilità interna al territorio urbano.

Il progetto interessa un tratto del Viale Leonardo Da Vinci di lunghezza pari a 1100m e comprende il tracciato interrato in galleria artificiale di lunghezza circa 400m e i tratti di estremità di risalita e raccordo al tracciato esistente esterno all'area di intervento. Sul lato ovest l'asse stradale principale di progetto si raccorda ad un tratto di strada già posto in posizione interrata dato che esce dal sottovia tramite il quale viale Leonardo Da Vinci sottopassa l'intersezione a rotatoria con via Pietro Nenni. In particolare, il raccordo al tracciato attuale (già a due corsie per senso di marcia) avviene lungo la rampa di risalita del sottovia a quota intermedia tra il piano campagna e la quota del tratto in galleria.

A lato dell'asse principale sono in progetto, in ambi i lati di questo, rampe di risalita e discesa per il raccordo dell'asse principale allo svincolo a rotatoria di superficie di via Nenni. Sull'estremo est il tracciato risale in superficie raccordandosi alla quota del tracciato attuale posizionato pressoché a raso sul piano campagna in prossimità di un raccordo alla viabilità locale della carreggiata con direzione est.

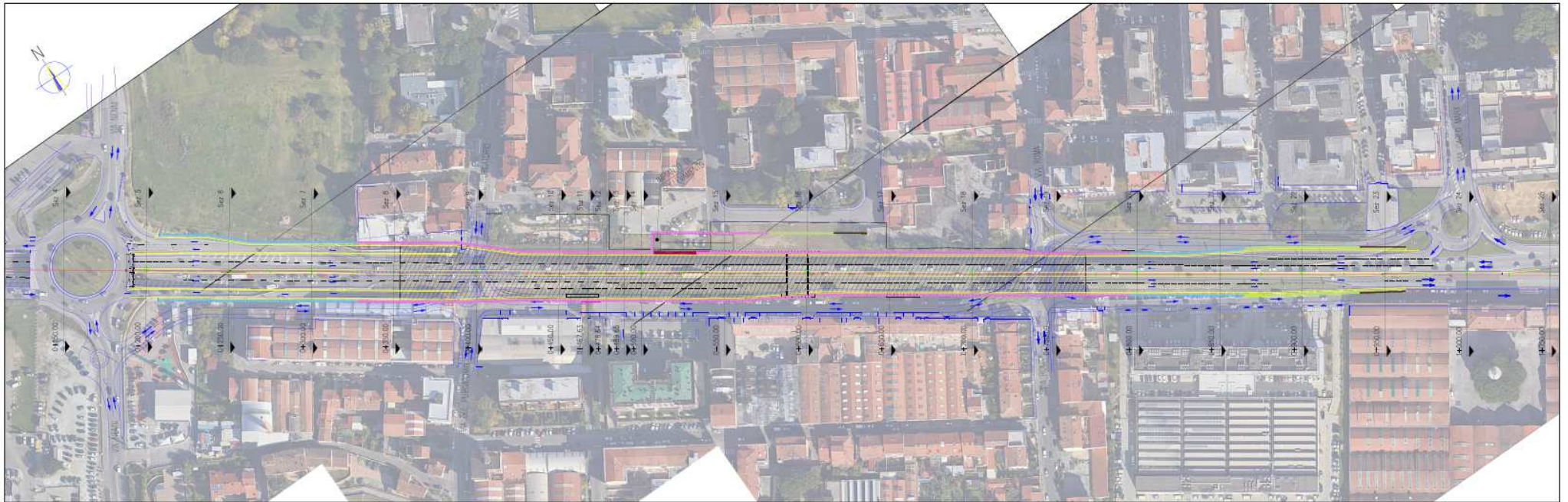


Fig. 2.1. Corografia di progetto su ortofoto

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Nell'area di progetto sono state condotte tre campagne di indagini. Le prime due campagne, risalenti al 2011 ed al 2012, sono relative alla fase di progettazione preliminare (poi PFTE) la cui versione finale è datata Febbraio 2018. La terza campagna è stata effettuata nei mesi di Ottobre-Dicembre 2018.

L'ubicazione di tutti i punti di indagine è riportata nell'elaborato "02.01_P00_GEO0_GEO_PU01_A Planimetria ubicazione indagini geognostiche ed ambientali".

Campagna 2011

La campagna del Novembre 2011, a cura del Dott. Geol. Giancarlo Beggato, è consistita nell'esecuzione di 8 prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DPSH) con le seguenti caratteristiche:

Prova n.	Profondità raggiunta m da p.c.
DPSH1	20,00
DPSH2	6,00
DPSH3	5,20
DPSH4	18,60
DPSH5	23,40
DPSH6	21,20
DPSH7	18,20
DPSH8	6,00

Tab. 3.1. Campagna di indagini 2011

Campagna 2012

La campagna del 2012, sempre seguita dal Dott. Giancarlo Beggato, è consistita nell'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo con prove SPT, indagini sismiche in foro (downhole), sismica a rifrazione e misure HVSR. I sondaggi sono stati eseguiti dalla Ditta Soiltest di Arezzo, la geofisica è stata eseguita da Lp Geognostica di Lando Pacini.

Nella seguente tabella sono riepilogate le caratteristiche delle indagini.

N. Sondaggio	Prof. raggiunta m. da p.c.	SPT/prof. (m. da p.c.)	Attrezzatura
S1	30,00	SPT1/4,50 SPT2/6,80 SPT3/9,50 SPT4/15,50 SPT5/23,00	Tubo Downhole
S2	30,00	SPT1/3,30 SPT2/7,50 SPT3/11,00 SPT4/18,00	Piezometro Norton
S3	20,00	--	Piezometro Norton

Tab. 3.2. Campagna di indagini 2012

Campagna 2018

Tra il mese di Ottobre ed il mese di Dicembre 2018 è stata eseguita, su indicazioni ANAS, una campagna di indagini integrative da parte della ditta TECNOIN Geosolutions SPA.

La campagna è stata articolata come di seguito indicato:

- n. 7 sondaggi a carotaggio continuo di cui n. 2 condizionati per prova down-hole, n. 4 con tubo piezometrico da 3" e 2" e n. 1 alesato a distruzione di nucleo sino al diametro 250mm per il condizionamento a pozzo con tubazione in PVC da 6"
- n. 33 prove SPT
- prelievo di n. 33 campioni di cui n. 8 indisturbati e n. 25 rimaneggiati
- n. 21 prove di permeabilità Lefranc
- n. 3 prove slug test nei fori di sondaggio S04N, S06N, P
- n. 2 prospezioni sismiche in foro down-hole
- n. 1 prelievo di campioni di acqua (PA) dal pozzo (P)

Nella seguente Tab. 3.3. sono riportate le caratteristiche dei sondaggi, le profondità di prelievo dei campioni e la profondità di esecuzione delle prove SPT (RIF. elaborato 02.04_P00_GEO0_GEO_RE03_A).

SONDAGGIO	PROFONDITA' m da p.c.	SPT n/prof.	CAMPIONI RIMANEGGIATI n/prof.	CAMPIONI INDISTURBATI n/prof.	Lefranc n/prof	CONDIZIONAMENTO
S01_DH	35	SPT1/3,55 SPT2/8,20 SPT3/11,80 SPT4/15,00 SPT5/18,55	CR1/3,00-3,50 CR2/9,00-9,50 CR3/23,00-23,50 CR4/30,00-30,50			tubo down-hole
S02_NH	30	SPT1/1,50 SPT2/4,55 SPT3/9,20 SPT4/12,90 SPT5/18,00	CR1/12,00-12,50 CR2/19,50-20,00 CR3/24,50-25,00	CI1/3,00-4,50 CI2/6,00-6,50	L1/7,5-8,5 L2/12,0-13,0 L3/18,0-19,0 L4/22,5-23,5	piezometro Norton 2"
S03_N	30	SPT1/2,00 SPT2/7,55 SPT3/11,00 SPT4/15,00 SPT5/18,55	CR1/19,00-19,50 CR2/24,00-24,50 CR3/27,00-27,50	CI1/4,00-4,50 CI2/13,00-13,50	L1/7,5-8,5 L2/12,0-13,0 L3/18,0-19,0 L4/24,0-25,0	piezometro Norton 2"
S04_N	30	SPT1/5,00 SPT2/8,55 SPT3/12,00 SPT4/17,55 SPT5/19,55	CR1/21,00-21,50 CR2/24,00-25,00 CR3/27,00-27,50	CI1/3,00-3,50 CI2/14,00-14,50	L1/6,0-7,0 L2/10,5-11,5 L3/18,0-19,0 L4/24,0-25,0	piezometro Norton 3"
S05_DH	35	SPT1/4,00 SPT2/6,00 SPT3/11,55 SPT4/14,55 SPT5/18,00 SPT6/21,55	CR1/15,00-15,50 CR2/19,50-20,00 CR3/24,50-25,00 CR4/34,50-35,00	CI1/2,00-2,50 CI2/9,50-10,00		tubo down-hole
S06_N	30	SPT1/3,55 SPT2/5,55 SPT3/7,40 SPT4/10,00 SPT5/12,70 SPT6/16,00 SPT7/19,00	CR1/5,00-5,50 CR2/17,00-18,00 CR3/24,00-25,00 CR4/27,00-28,00		L1/4,5-5,5 L2/10,5-11,5 L3/18,0-19,0 L4/22,5-23,5	piezometro Norton 3"
P	40	--	CR1/11,00-12,00		L1/6,0-7,0	pozzo 6"

Asse stradale di collegamento tra gli svincoli di Prato Est e Prato Ovest "Declassata di Prato"

Raddoppio di Viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra Via Marx e Via Nenni mediante la realizzazione di un sottopasso

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica

SONDAGGIO	PROFONDITA' m da p.c.	SPT n/prof.	CAMPIONI RIMANEGGIATI n/prof.	CAMPIONI INDISTURBATI n/prof.	Lefranc n/prof	CONDIZIONAMENTO
			CR2/22,00-22,70 CR3/34-35 CR4/39-40		L2/12,0-13,0 L3/18,0-19,0 L4/24,0-25,0 L5/28,5-29,5	

Tab. 3.3. Caratteristiche sondaggi campagna 2018

Le prove down-hole sono state eseguite lungo tutta la verticale di indagine.

Le modalità di esecuzione delle prove sismiche down-hole sono riportate nel rapporto di prova 02.05_P00_GE00_GEO_RE04_A.

Per quanto concerne le prove di laboratorio, nella seguente Tab. 3.4 sono riassunte le prove eseguite sui campioni prelevati nei sondaggi geognostici (RIF. elaborato 02.03_P00_GE00_GEO_RE02_A).

Asse stradale di collegamento tra gli svincoli di Prato Est e Prato Ovest "Declassata di Prato"
Raddoppio di Viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra Via Marx e Via Nenni mediante la realizzazione di un sottopasso

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica

SONDAGGIO	CAMPIONE	PROF. m. da p.c.	APERTURA E DESCRIZIONE	GRANULOMETRIA COMPLETA	PESO DI VOLUME NATURALE	PESO DI VOLUME SECCO	CONTENUTO DOACQUA	PESO SPECIFICO DEI GRANI	LIMITI DI ATTERBERG	PROVA DI COMPRESSIBILITA' EDOMETRICA	PROVA DI COMPRESSIONE CON EPSANSIONE LATERALE LIBERA	PROVA TRASSIALE CIU	PROVA TRIASSIALE CID
S01-DH	CR01	3,00-3,50											
	CR02	9,00-9,50											
	CR03	8,50-9,00											
	CR04	30,00-30,50											
S02_N	CI01	3,00-3,50											
	CI02	6,00-6,50											
	CR01	12,00-13,00											
	CR02	19,50-20,00											
	CR03	24,50-25,00											
S03_N	CI01	4,00-4,50											
	CI02	13,00-13,50											
	CR01	19,00-19,50											
	CR02	24,00-24,50											
	CR03	27,00-27,50											
S04_N	CI01	3,00-3,50											
	CI02	14,00-14,50											
	CR01	21,00-21,60											
	CR02	24,00-25,00											
	CR03	27,00-27,50											
S05_DH	CI01	2,00-2,50											
	CI02	9,00-9,50											
	CR01	15,00-15,50											
	CR02	20,00-20,50											
	CR03	24,50-25,00											
	CR04	34,50-35,00											
S06_N	CR01	5,00-5,50											

Asse stradale di collegamento tra gli svincoli di Prato Est e Prato Ovest "Declassata di Prato"

Raddoppio di Viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra Via Marx e Via Nenni mediante la realizzazione di un sottopasso

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica

SONDAGGIO	CAMPIONE	PROF. m. da p.c.	APERTURA E DESCRIZIONE	GRANULOMETRIA COMPLETA	PESO DI VOLIME NATURALE	PESO DI VOLIME SECCO	CONTENUTO DOACQUA	PESO SPECIFICO DEI GRANI	LIMITI DI ATTERBERG	PROVA DI COMPRESSIBILITA' EDOMETRICA	PROVA DI COMPRESIONE CON EPSANSIONE LATERALE LIBERA	PROVA TRASSIALE CIU	PROVA TRIASSIALE CID
	CR02	17,00-18,00											
	CR03	24,00-25,00											
	CR04	27,00-28,00											
P	CR01	11,00-12,00											
	CR02	22,00-22,70											
	CR03	34,00-34,50											
	CR04	39,00-40,00											

Tab. 3.4. Prove di laboratorio sui campioni prelevati nei sondaggi e nei pozzetti della Campagna 2018

4 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Inquadramento generale

L'area di intervento è localizzata nella parte centrale della pianura di Firenze-Prato-Pistoia, che rappresenta l'evoluzione di un bacino lacustre formatosi nel Pliocene inferiore e nel quale si sono accumulati sedimenti per uno spessore massimo di circa 600 metri.

L'unità paleogeografica ha una forma allungata con l'asse maggiore orientato NW-SE ed è costituita da uno spessore variabile di depositi fluvio-lacustri non litificati, sedimentatisi entro una fossa tettonica, la cui formazione è connessa con le fasi distensive post-parossistiche dell'orogenesi appenninica (Pliocene).

Il bacino lacustre presenta la sua profondità massima nella zona tra Campi Bisenzio e Calenzano (500-550 m); minori profondità si sono riscontrate tra Prato e Pistoia (400-450 m); le profondità minime sono invece presenti nella zona di Firenze (50 m nel centro cittadino).

L'emissario di questo antico lago era probabilmente ubicato alla stretta della Gonfolina mentre i principali immissari erano costituiti da un paleo-Ema nella conca di Firenze, dall'Ombrone all'estremo opposto del bacino e dal Bisenzio nella sua parte centrale.

Il progressivo abbassamento del fondo del lago veniva compensato dal forte trasporto solido dei corsi d'acqua grazie al fatto che l'area appenninica di provenienza era in forte sollevamento e quindi in accentuata erosione. Il fondo del bacino risultò di forma asimmetrica, incernierato in corrispondenza del margine meridionale e con maggiore profondità verso il margine settentrionale a causa dell'azione della faglia normale che lo delimitava verso NE.

Ulteriori faglie, trasversali rispetto al suo asse maggiore (localizzate lungo l'asse Castello-Scandicci) interessarono il substrato pre-lacustre, causando il sollevamento (di circa 150-200 m) della conca di Firenze rispetto al resto del bacino.

In questa pianura così prosciugata si instaurò un reticolo idrografico il cui corso principale sfociava nel lago residuo in corrispondenza delle Cascine, formando una pseudo-conoide (argille con inclusioni ghiaiose derivanti dallo smantellamento dei precedenti sedimenti lacustri) che si estendeva verso Osmannoro e Campi Bisenzio. Ciò causò un raccorciamento dell'area occupata dal lago, che veniva così ad essere delimitato a Sud-Est dall'allineamento Castello-Scandicci.

Nella successiva fase alluvionale si instaurò un reticolo idrografico facente capo all'Arno che, con numerosi cicli di erosione e deposizione (che seguirono il ritmo delle glaciazioni quaternarie), rimaneggiò l'originaria superficie depositandovi una spessa coltre di sedimenti sciolti.

Questi ultimi, provenienti in prevalenza dalle sponde appenniniche settentrionali, erano in genere a granulometria grossolana in prossimità dei corsi d'acqua o entro gli alvei, ed a granulometria decisamente più fine nelle zone più distali.

L'ultima fase evolutiva del bacino vide l'instaurarsi di estese zone palustri, specialmente ai margini della pianura neoformata ed in prossimità dei corsi d'acqua principali, alcune delle quali perdurarono fino in epoca storica. In tali ambienti di bassa energia si depositarono sedimenti fini con intercalazioni torbose.

Situazione locale

Il tratto della "Declassata di Prato" oggetto dell'intervento di raddoppio si trova inserita nel tessuto urbano della parte meridionale della città di Prato. L'area, ad assetto subpianeggiante, è caratterizzata da una elevata pressione antropica che non consente di distinguere gli elementi geomorfologici originali, ormai completamente obliterati. A livello macroscopico l'area ricade sull'ampia conoide del F. Bisenzio, che dal suo apice, localizzato allo sbocco del Bisenzio nella pianura, si estende verso S fino a San Giorgio a Colonica-Fontanelle-Iolo. La conoide, che procedendo verso le parti più distali è ricoperta da un crescente spessore di sedimenti alluvionali più recenti, è quasi completamente occupata dall'area metropolitana di Prato, ed è distinguibile unicamente attraverso le curve di livello e dai dati stratigrafici e geofisici.

In Fig. 4.1. è riportato uno schema dell'estensione della conoide nell'ambito del territorio di Prato.

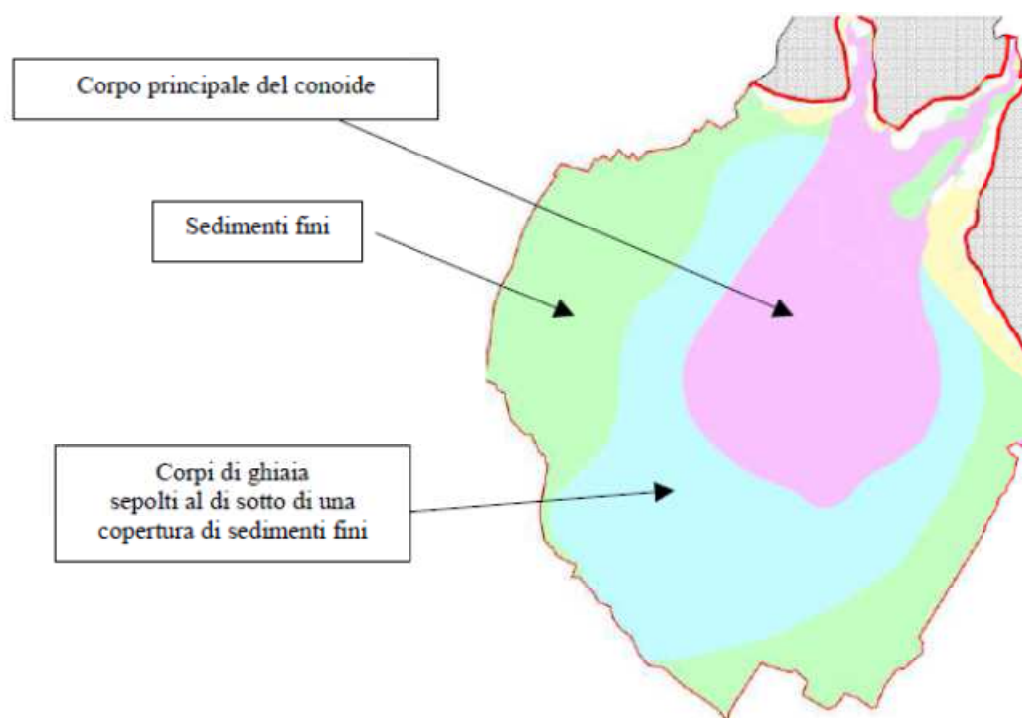


Fig. 4.1. Schema della conoide. Da: *Microzonazione sismica del Comune di Prato-Relazione illustrativa.*

L'assetto subpianeggiante dell'area porta ad escludere fenomeni di tipo gravitativo. L'elevato grado di antropizzazione rende inoltre poco significativi ai fini progettuali i processi geomorfologici. L'area pertanto può essere definita stabile dal punto di vista geomorfologico.

L'ingombro del corpo principale della conoide, seppure indicativo, è riportato nella Carta Geomorfologica di corredo al Piano Strutturale del Comune di Prato, di cui si riporta uno stralcio in Fig. 4.2.

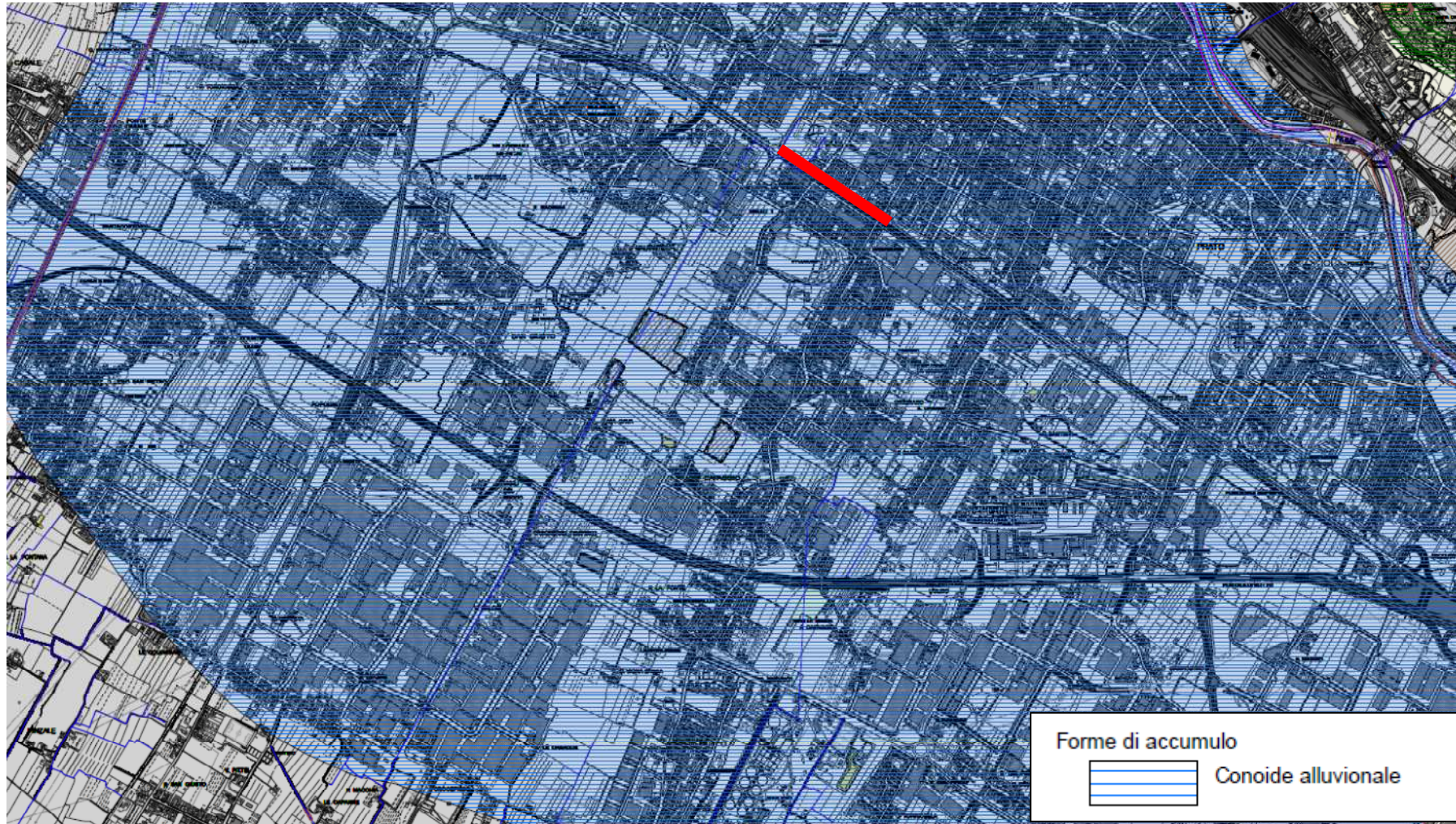


Fig. 4.2. Carta Geomorfologica. Estratto da Carta Geomorfologica del Piano Strutturale di Prato

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

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).

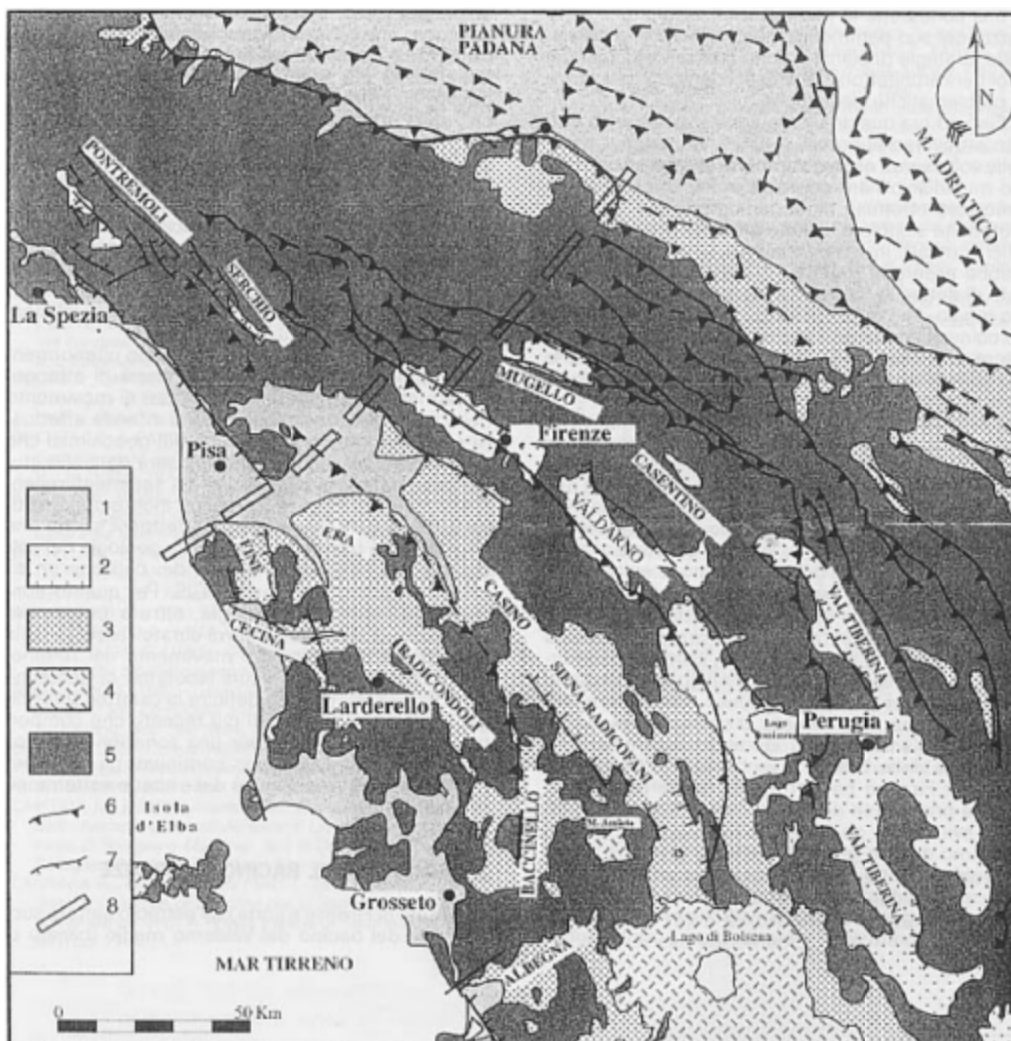


Fig. 5.1. Carta schematica strutturale dell'Appennino settentrionale: 1. depositi alluvionali; 2. depositi continentali plio-pleistocenici dei bacini intermontani; 3. depositi neogenico-quadernari dei bacini interni e del bordo padano adriatico; 4. rocce ignee; 5. substrato; 6. principali fronti di accavallamento; 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 superiore nella parte interna della catena appenninica si sono sviluppati dei bacini fra i quali il Bacino di Firenze-Prato-Pistoia (Figura 5.2), che classicamente sono stati interpretati come generati in regime distensivo. Tale regime infatti era spiegato mediante un modello evolutivo della catena che prevedeva la migrazione del fronte compressivo verso est e l'instaurarsi di un regime di estensione nelle zone più interne. Studi più recenti ipotizzano riattivazioni in compressione dei thrusts durante il tardo Miocene, il Pliocene ed il Pleistocene.

E' possibile affermare che le condizioni tettoniche abbiano fortemente influenzato, se non addirittura regolato nel tempo, la deposizione dei sedimenti lacustri e fluviali della piana di Firenze-Prato-Pistoia.

Solo i depositi alluvionali recenti ed attuali si trovano nella loro posizione originaria.

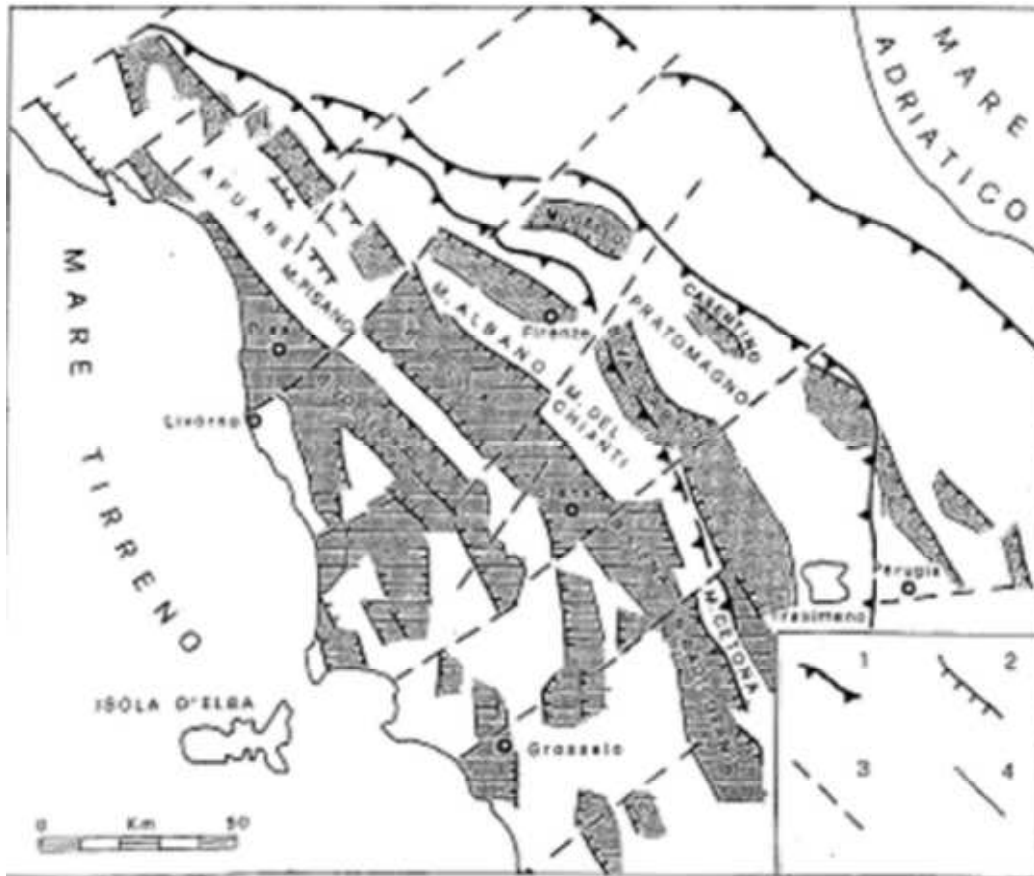


Fig. 5.2. Distribuzione dei principali bacini neogenici e quaternari dell'Appennino Settentrionale. 1=principali fronti di accavallamento; 2=faglie principali ai bordi dei bacini; 3=linee tettoniche trasversali; 4=faglie minori al bordo dei bacini. (BOSSIO et alii 1992).

L'elemento tettonico principale del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia è rappresentato dal sistema di faglie lungo la direttrice Prato – Fiesole, che consiste in un fascio sub-parallelo di faglie normali, disposto a gradini ed orientato circa NO-SE con immersione a SO.

Tale sistema delimita il margine orientale del bacino (Fig. 5.3 e Fig. 5.4) e risulta formato da diverse faglie sub parallele disposte a gradinata, che nell'area di studio sono completamente sepolte al di sotto sedimenti lacustri ed alluvionali.

Asse stradale di collegamento tra gli svincoli di Prato Est e Prato Ovest "Declassata di Prato"

Raddoppio di Viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra Via Marx e Via Nenni mediante la realizzazione di un sottopasso

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica

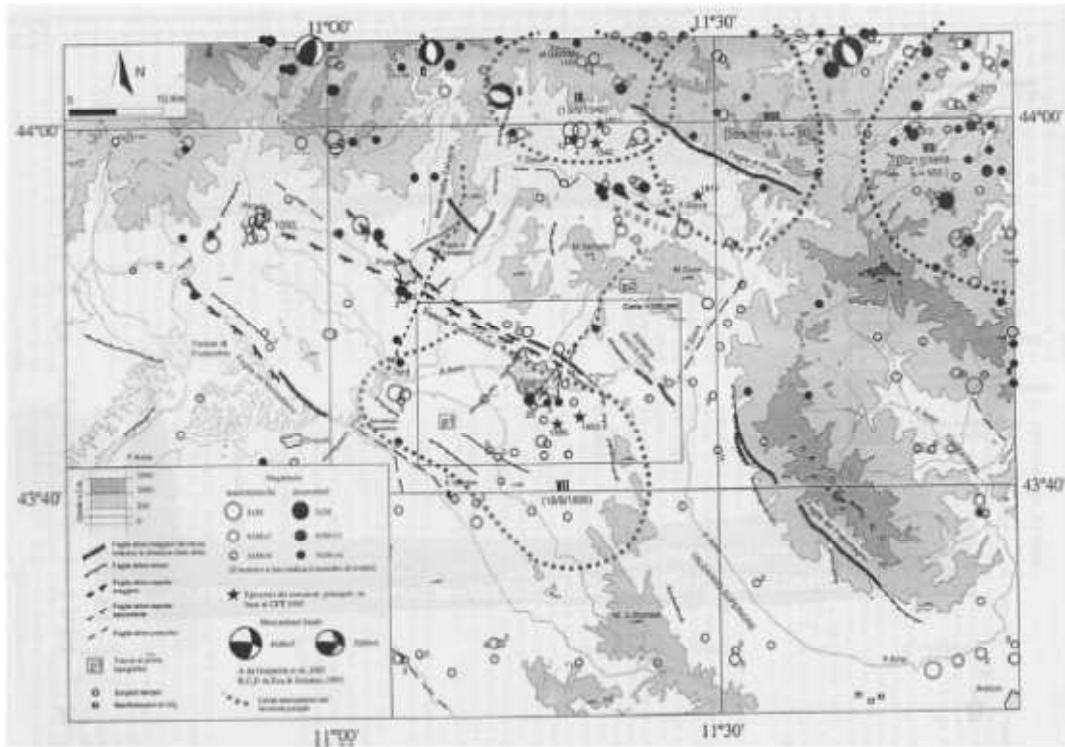


Fig. 5.3. Carta Sismo Tettonica del bacino di Firenze-Prato-Pistoia.

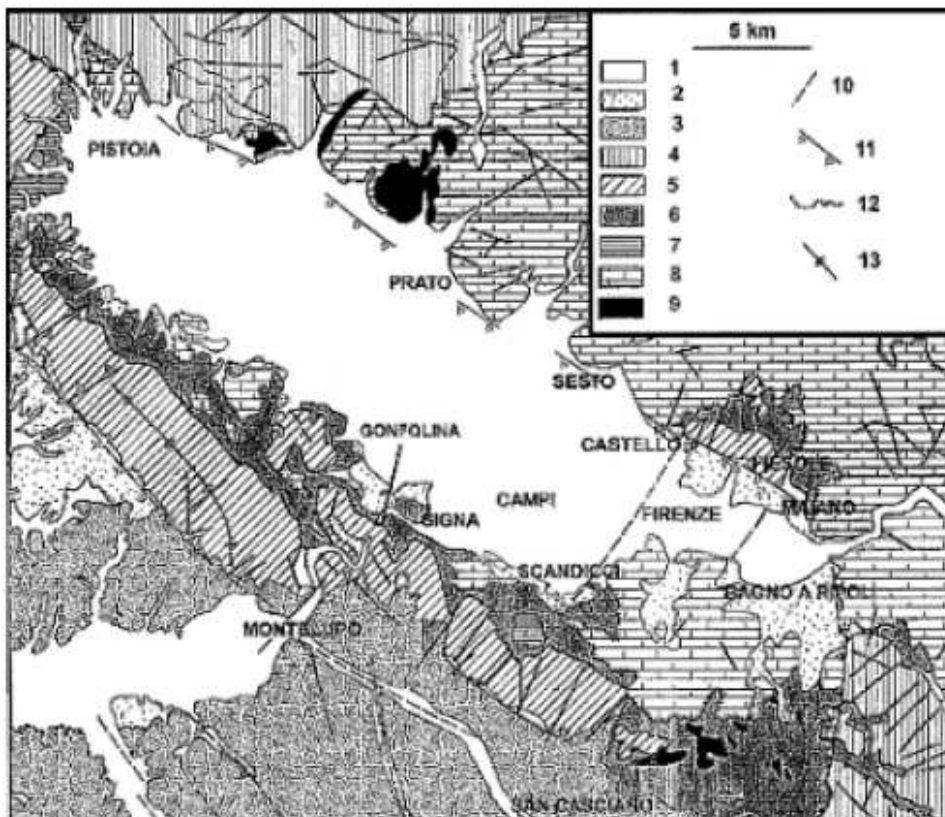


Fig. 5.4. Schema geologico dell'area fiorentina nel quadro geotettonico dell'Appennino. 1=depositi olocenici 2=depositi fluvio-lacustri plio-pleistocenici 3=depositi marini pliocenici 4= unità Cervarola 5= falda Toscana 6=complesso caotico 7=complesso di canetolo 8=unità di monte morello 9=corpi ofiolitici 10=faglie 11= sistema di faglie Prato-Fiesole 12=contatti tettonici 13= assi di anticlinale. (Briganti et alii 2003).

5.2 EVOLUZIONE GEOLOGICA RECENTE

L'evoluzione di dettaglio del Bacino della zona di Firenze è illustrata in una pubblicazione di Briganti et alii (2003) ed in un'altra di Coli e Rubellini (2007) che propongono un aggiornamento sui depositi di tutto questo settore, utilizzando criteri moderni di nomenclatura (UBSU) legati alla ricostruzione delle fasi tettoniche che hanno interessato il bacino. Di seguito si riporta una ricostruzione sintetica dell'evoluzione tettonica del bacino di Firenze schematizzata secondo i principali intervalli di tempo (Figura 5.5) tenendo però presente che la cronologia delle diverse fasi non è sostenuta da elementi certi di datazione.

La formazione della depressione tettonica con carattere endoreico, ha richiamato i principali corsi d'acqua antecedenti/sovrimposti (BARTOLINI, 1992) alla struttura (Torrente Bisenzio, Torrente Mugnone, Torrente Greve), impostati sulla superficie di regressione del Pliocene medio-Superiore presente in gran parte dell'area nord-appenninica (BARTOLINI, 1980; BARTOLINI & PRANZINI, 1979; 1981; 1984), e caratterizzati da un notevole trasporto solido che in precedenza era scaricato nella pianura costiera pliocenica, nelle attuali zone di San Casciano e Montelupo (CANUTI et al., 1966; BARTOLINI & PRANZINI, 1981).

- *Pliocene Inferiore (5,1 – 3,2 Ma) (Fig. 5.5 a, b, c)*

Il Pliocene Inferiore è caratterizzato da un lungo periodo di stasi tettonica con prevalenza di processi erosivi. Gli eventi tettonici tardo Miocenici hanno sviluppato due set di faglie ad alto angolo a prevalente movimento verticale diretto, orientati NNW-SSE e NE-SW, responsabili sia del sollevamento differenziale dell'area di Firenze, rispetto al resto del bacino, sia del sollevamento assoluto dell'area di Fiesole-Monte Rinaldi dove si imposta, in regime di sovrainposizione-antecedenza, l'erosione della valle del Torrente Mugnone, che sfocia poi nella pianura costiera di San Casciano. Si delinea il sistema di faglie Prato – Fiesole (master fault) a direzione appenninica NNW-SSE a movimento prevalentemente verticale con spostamento massimo di 800 metri ed innalzamento dell'area a nord. Tali lineamenti risultano interrotti già in questa fase tettonica da ulteriori faglie trasversali all'area, a direzione antiappenninica NE-SW, caratterizzate sempre da movimenti verticali ma di entità minore (faglie di Castello - Scandicci e faglia Maiano - Bagno a Ripoli). Nell'area meridionale si imposta con direzione appenninica la faglia di Montelupo, responsabile dell'innalzamento dell'area del Montalbano, a sud della quale si instaurano condizioni ambientali di pianura costiera su cui i principali corsi d'acqua, quali il paleo Mugnone ed il paleo Bisenzio, scaricano i loro depositi clastici formando le conoidi alluvionali e i depositi di pianura costiera rispettivamente di San Casciano e di Montelupo (Canuti et al., 1966, Bartolini & Pranzini, 1979; 1981). Il sollevamento dell'area a nord di Firenze innesca nel blocco rialzato un processo di forte incisione in alveo del Torrente Mugnone, con deposizione di materiale detritico grossolano nella paleo – valle presente nella zona dell'attuale pianura fiorentina. Al termine del Pliocene inferiore è documentata una fase di stasi tettonica, successiva all'episodio tettonico a carattere distensivo, attraverso la presenza di una superficie di equilibrio sommitale a bassa energia di rilievo, contemporaneamente nella porzione settentrionale dell'area fiorentina si impostano condizioni palustri.

- *Pliocene Superiore (Villafranchiano inferiore 3,2 – 1,7 Ma) (Fig. 5.5 d)*

L'intera area nord appenninica è soggetta ad un sollevamento generale e nell'area interessata si ha la riattivazione della Faglia di Fiesole con un sollevamento dell'area a nord stimato intorno ai 200 m. L'abbassamento relativo dell'area di Firenze – Prato – Pistoia permette l'instaurarsi di un bacino lacustre caratterizzato dalla sedimentazione prevalente di depositi limoso-argillosi grigio azzurri (Argille Turchine Auctt.); a causa dell'abbassamento generale del livello di base, lungo l'alveo dei principali torrenti si innesca un'enorme regressione nella porzione a monte della zona di faglia, con incisione delle superfici di equilibrio plioceniche e conseguente deposizione di materiale

grossolano nell'area bacinale, intercalato ai depositi più fini. In tale quadro evolutivo si delineano le conoidi dei paleo torrenti Affrico, Mugnone, Terzolle a nord, e quelle dell'Emma-Greve a sud, richiamati verso Bagno a Ripoli per effetto dell'abbassamento del bacino di Firenze e dell'azione della Faglia di Montelupo (Bartolini & Pranzini, 1979; 1981).

- *Pleistocene Inferiore (Villafranchiano inferiore 1,7 – 1,2 Ma) (Fig. 5.5 e)*

Nel corso del Pleistocene inferiore, a causa del formarsi del sistema di faglie trasversali sopraccitate, si verificarono movimenti differenziali che portarono al sollevamento del settore di Firenze rispetto al resto del bacino; tale situazione pose fine alla fase deposizionale lacustre nell'area fiorentina, con il conseguente smantellamento dei sedimenti precedentemente deposti nell'area posta a SE dell'allineamento Castello – Scandicci. Nel settore posto a NW dell'allineamento continuò invece la sedimentazione lacustre. Da questo momento l'evoluzione del bacino si differenzia tra l'area occidentale, in cui le condizioni lacustri-palustri permangono fino ad un'epoca recente (DAINELLI, 1936; GUAZZONE, 1971; CAPECCHI et al., 1975a; 1975b; BARTOLINI & PRANZINI, 1979; BRIGANTI et al., 2003), e l'area fiorentina sollevata, in cui si instaurano condizioni di erosione e deposizione fluviale, ad opera del fiume Arno e dei suoi affluenti.

- *Pleistocene Medio (1,2-0,5 Ma) (Fig. 5.5 f)*

Un'ulteriore riattivazione delle Faglie trasversali di Castello-Scandicci e di Maiano-Bagno a Ripoli provoca un nuovo sollevamento dell'area di Firenze di circa 30 metri ed una conseguente incisione delle superfici appena delineatesi da parte dei torrenti. Nel Pleistocene medio comparve per la prima volta un fiume, che identifichiamo come paleo – Arno, con decorso E - W. Tale fiume creò una profonda valle, confinata proprio dalla scarpata della faglia. In corrispondenza dell'immissione del fiume nel bacino di Prato - Pistoia si formò un esteso delta alluvionale all'altezza di Peretola.

- *Pleistocene Superiore (0,5-0,01 Ma) (Figura 5.5 g)*

Il Bacino di Prato-Pistoia arriva al colmamento nel momento in cui i suoi depositi fluvio-lacustri raggiungono la stessa quota dei depositi fluviali dell'area di Firenze, venendosi così ad impostare condizioni di pianura alluvionale. Quando i depositi fluvio-lacustri eguagliarono come quota i depositi del bacino di Firenze, il bacino di Prato - Pistoia completò il suo processo di sedimentazione; ciò consentì l'instaurarsi di una piana alluvionale e temporaneamente anche di condizioni palustri. Un'ultima fase erosiva venne attribuita all'azione dell'Arno che tagliò i depositi lacustri con i suoi terreni alluvionali. La profondità massima del bacino risulta di 600 m nell'area di Prato e diminuisce progressivamente verso E per raggiungere la minima profondità nell'area di Firenze città, dove si rinvennero circa 50 m di sedimenti. In questo periodo nell'area fiorentina si imposta una fase erosiva che porta l'Arno ed i suoi principali affluenti ad incidere di circa 100 m i depositi fluvio-lacustri Villafranchiani; segue una fase alluvionale con deposizione di sedimenti grossolani in corrispondenza degli alvei dei fiumi principali e di sedimenti più fini nelle zone di esondazione, in relazione all'innalzamento del livello di base del bacino di Prato-Pistoia per sua graduale colmata.

- *Olocene (<0,01 Ma) (Fig. 5.5 h)*

La fase più recente è invece caratterizzata dalla divagazione del corso dell'Arno che meandizzando si è via via spostato da NE verso SW erodendo alla base le colline di San Miniato e di Bellosguardo, con deposizione di materiali prevalentemente grossolani in corrispondenza del suo alveo e di quelli dei suoi principali affluenti (Torrente Affrico, Fosso San Gervasio, Torrente Mugnone, Torrente Lastra, Torrente Terzolle), e con ripetuti impaludamenti di vaste aree, alcuni dei quali documentati in tempi storici (CAPECCHI et al., 1975a; 1975b). Il margine nord-orientale dell'area fiorentina è segnato dalla gradinata delle faglie normali di Fiesole, con rigetto totale valutabile intorno ai 1.000 m, dei quali circa 200 post-smembramento della superficie di regressione pliocenica (M. Coli et al., 2014). Mentre i depositi Villafranchiani delle colline a nord e a sud di Firenze continuano ad essere erosi, l'Arno ed i suoi

affluenti alluvionano la pianura Fiorentina. L'Arno forma un materasso alluvionale essenzialmente ghiaioso (salvo la copertura costituita da limi di esondazione), mentre gli affluenti in destra formano conoidi e corpi d'alveo minori, che vanno ad integrarsi con le alluvioni dell'Arno.

- *Attuale (Fig. 5.5 h)*

Nei tempi preistorici si completa ed assume la forma attuale la superficie topografica, in cui si individuano, soprattutto in destra orografica dell'Arno, le piccole conoidi dei suoi affluenti, tipici depositi clastici grossolani che i corsi d'acqua minori a regime torrentizio lasciano al loro sbocco in pianura, in seguito alla diminuita pendenza dell'alveo. Nel periodo storico il reticolo idrografico della pianura fiorentina subisce importanti modifiche artificiali (Losacco, 1962). L'Arno, che presentava un andamento ramificato nel centro città e meandriforme a valle viene rettificato e quindi approfondisce l'alveo nelle proprie alluvioni ghiaiose a causa dell'aumento di pendenza. Nella piana fiorentina in epoca storica erano presenti aree paludose delle quali rimane traccia nei toponimi quali Pantano e Palude. Bonifiche si sono succedute a partire dagli Etruschi fino ai primi del 1900 (Pranzini et al., 2012).

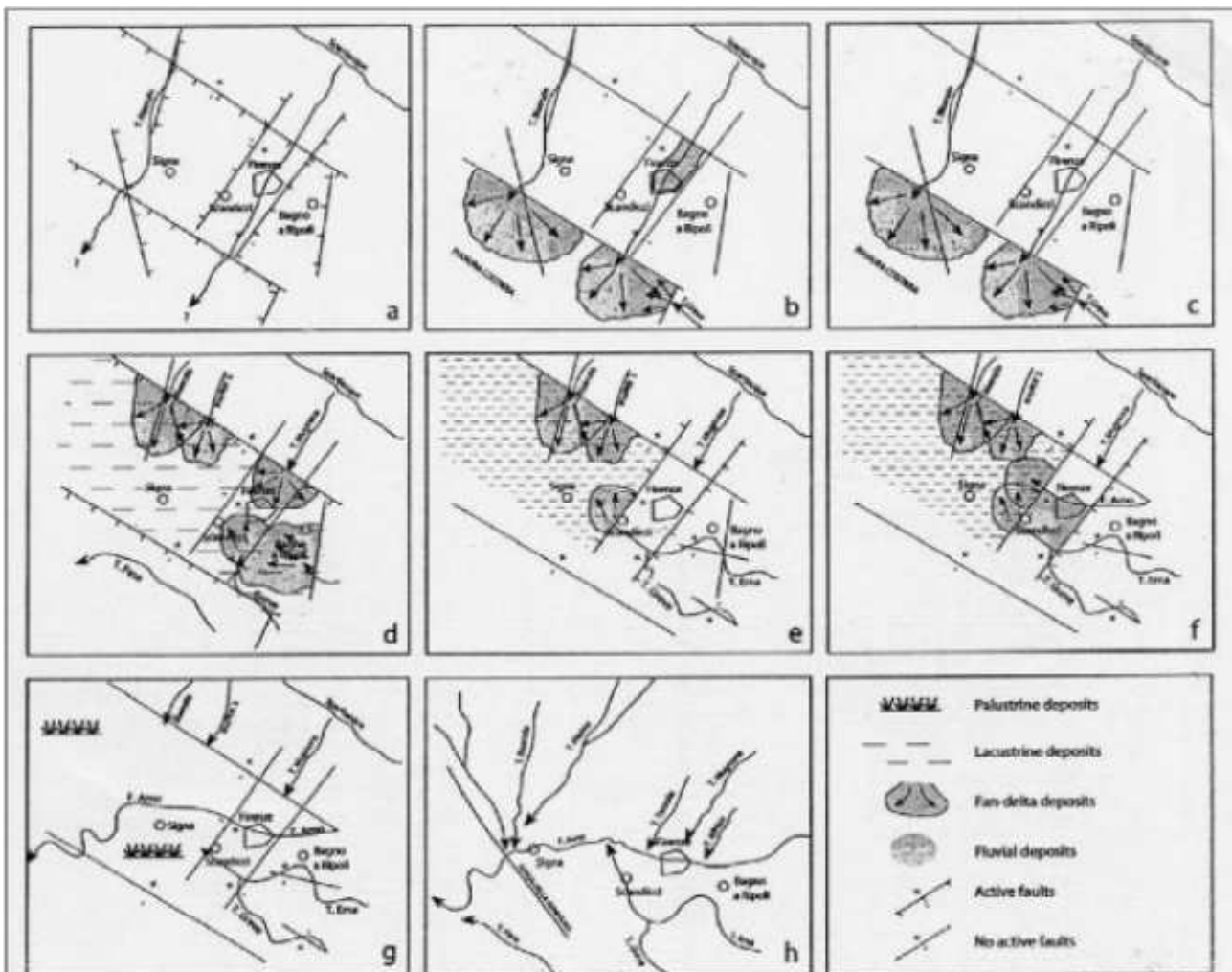


Fig. 5.5. Schema dell'evoluzione geologica e geomorfologia dell'area di Firenze dal Pliocene (da BRIGANTI et al., 2003): a ÷ c) Pliocene Inferiore; d) Pliocene Superiore; e) Pleistocene Inferiore; f) Pleistocene medio; g) Pleistocene Superiore; h) Olocene.

Più in dettaglio, nell'area pratese i depositi fluvio-lacustri che hanno riempito il bacino possono essere divisi in tre unità (dal basso verso l'alto):

- *depositi lacustri*
- *depositi di delta conoide del Bisenzio*
- *depositi recenti di esondazione*

I depositi lacustri sono costituiti da argille limose, talvolta leggermente sabbiose, con livelli di lignite e torba; alle argille si intercalano strati di ghiaie, generalmente in matrice limosa, il cui spessore diminuisce procedendo dai margini verso il centro della pianura.

Tutto ciò è da mettere in relazione con il fatto che l'area di Prato corrispondeva già in questa fase a quella di un delta conoide. Il progressivo abbassamento del bacino veniva compensato dal notevole trasporto solido dei corsi d'acqua, fra i quali il Bisenzio rivestiva un ruolo preminente, dato che, in conseguenza dell'area appenninica di provenienza in forte sollevamento e quindi in accentuata erosione, si determinava un'evoluzione sedimentaria tendente ad un aumento dell'apporto macroclastico: nell'area di Prato le ghiaie diventavano prevalenti via via che il conoide avanzava nella pianura, fin quasi al margine opposto. Terminata nell'Olocene questa fase sedimentaria, il Bisenzio ha cominciato a incidere la sua conoide.

La successione sedimentaria termina con la deposizione di materiali limoso-argillosi più o meno sabbiosi corrispondenti agli episodi alluvionali recenti.

Alla base dell'intera unità deposizionale è presente il substrato roccioso che nella zona di Prato è rappresentato dalle Arenarie del Monte Cervarola, dalle formazioni del complesso Ofiolitico e dalla Formazione di Monte Morello (Fig. 5.6.).

Come già accennato, il tetto del substrato nell'area pratese è collocato alla profondità massima di 450-500m; nell'area di progetto il substrato si trova, in base agli studi disponibili, alla profondità di 350m (Fig. 5.7.).

Asse stradale di collegamento tra gli svincoli di Prato Est e Prato Ovest "Declassata di Prato"

Raddoppio di Viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra Via Marx e Via Nenni mediante la realizzazione di un sottopasso

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica

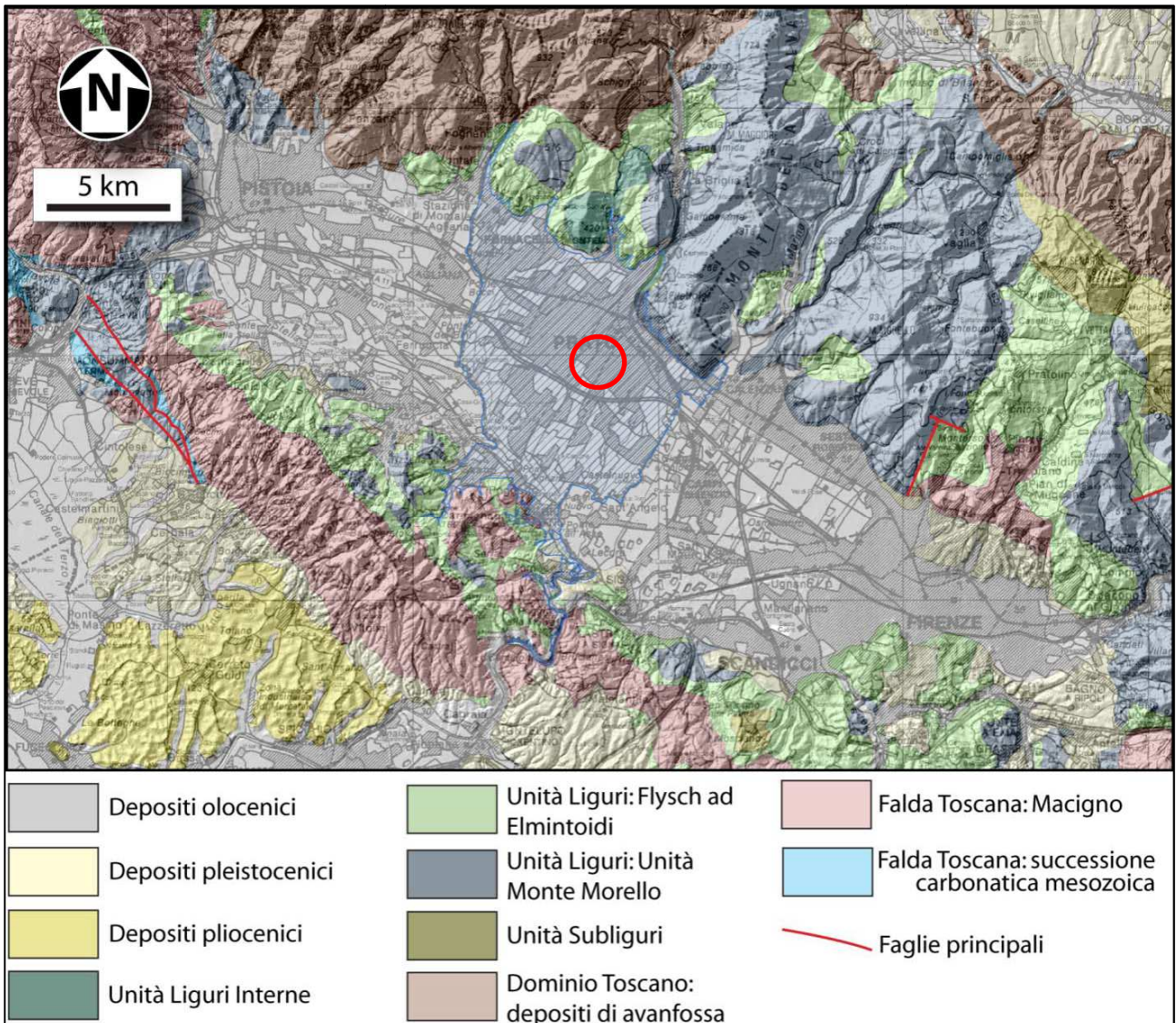


Fig. 5.6. Schema geologico semplificato dell'area oggetto di studio (da Cerrina Feroni et al., 2010)

Asse stradale di collegamento tra gli svincoli di Prato Est e Prato Ovest "Declassata di Prato"

Raddoppio di Viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra Via Marx e Via Nenni mediante la realizzazione di un sottopasso

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica

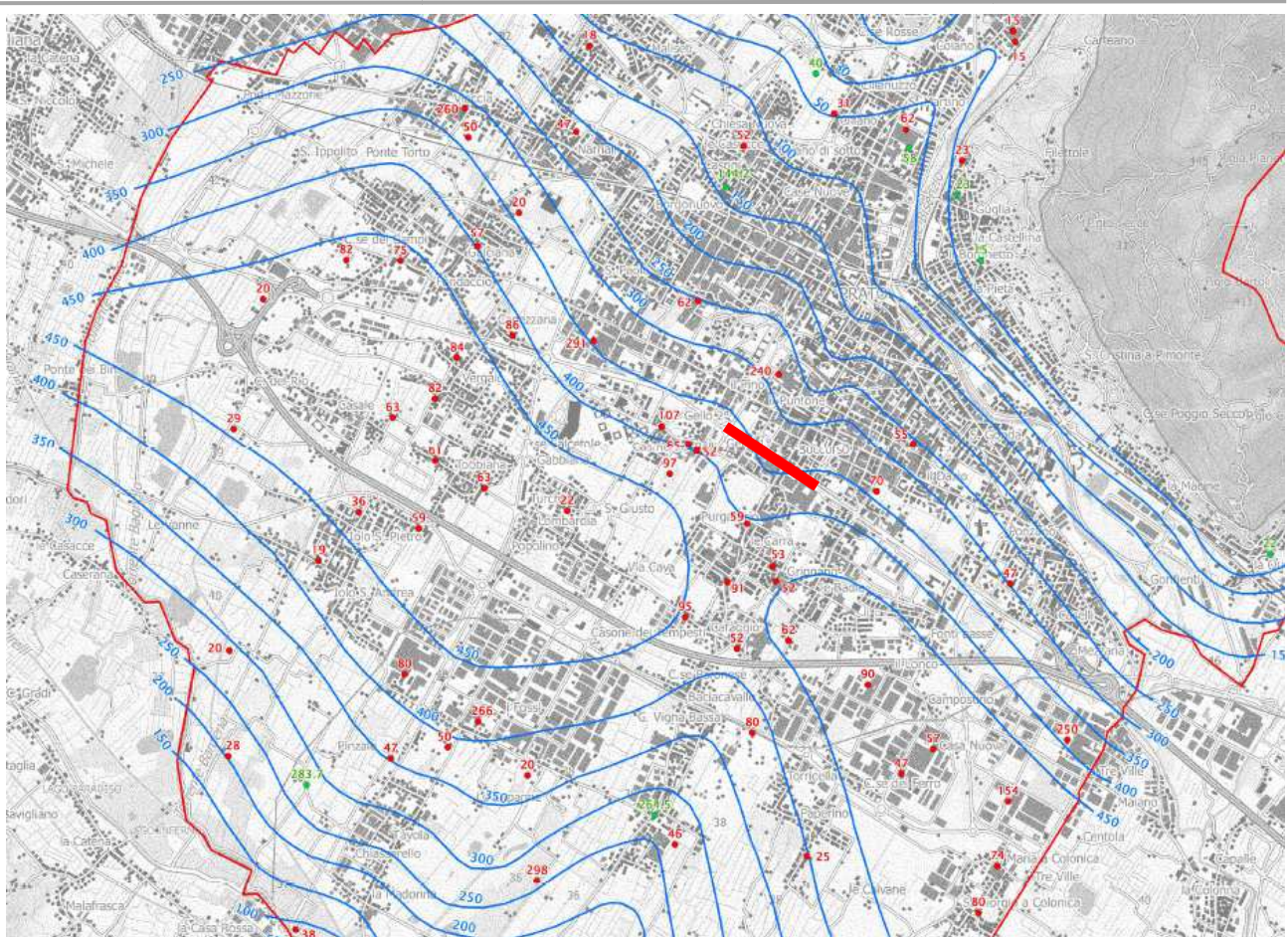


Fig. 5.7. Carta delle isobate del tetto del substrato. Da: Microzonazione sismica del Comune di Prato-Carta delle Isobate.

L'area di progetto ricade a cavallo tra le sezioni 263090 (in minima parte) e 263100 della Carta Geologica Regionale. Entrambe le cartografie riportano la presenza dei depositi di conoide ma, curiosamente, la sezione 263100 riporta la conoide solo parzialmente. Osservando gli originali d'autore, che riportano la conoide, si ritiene che ci sia stato un errore di digitalizzazione: la conoide arriva fino al margine orientale della sezione 263090 ma nella sezione 263100 ricompare più ad est rispetto al margine occidentale del foglio.

Asse stradale di collegamento tra gli svincoli di Prato Est e Prato Ovest "Declassata di Prato"

Raddoppio di Viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra Via Marx e Via Nenni mediante la realizzazione di un sottopasso

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica

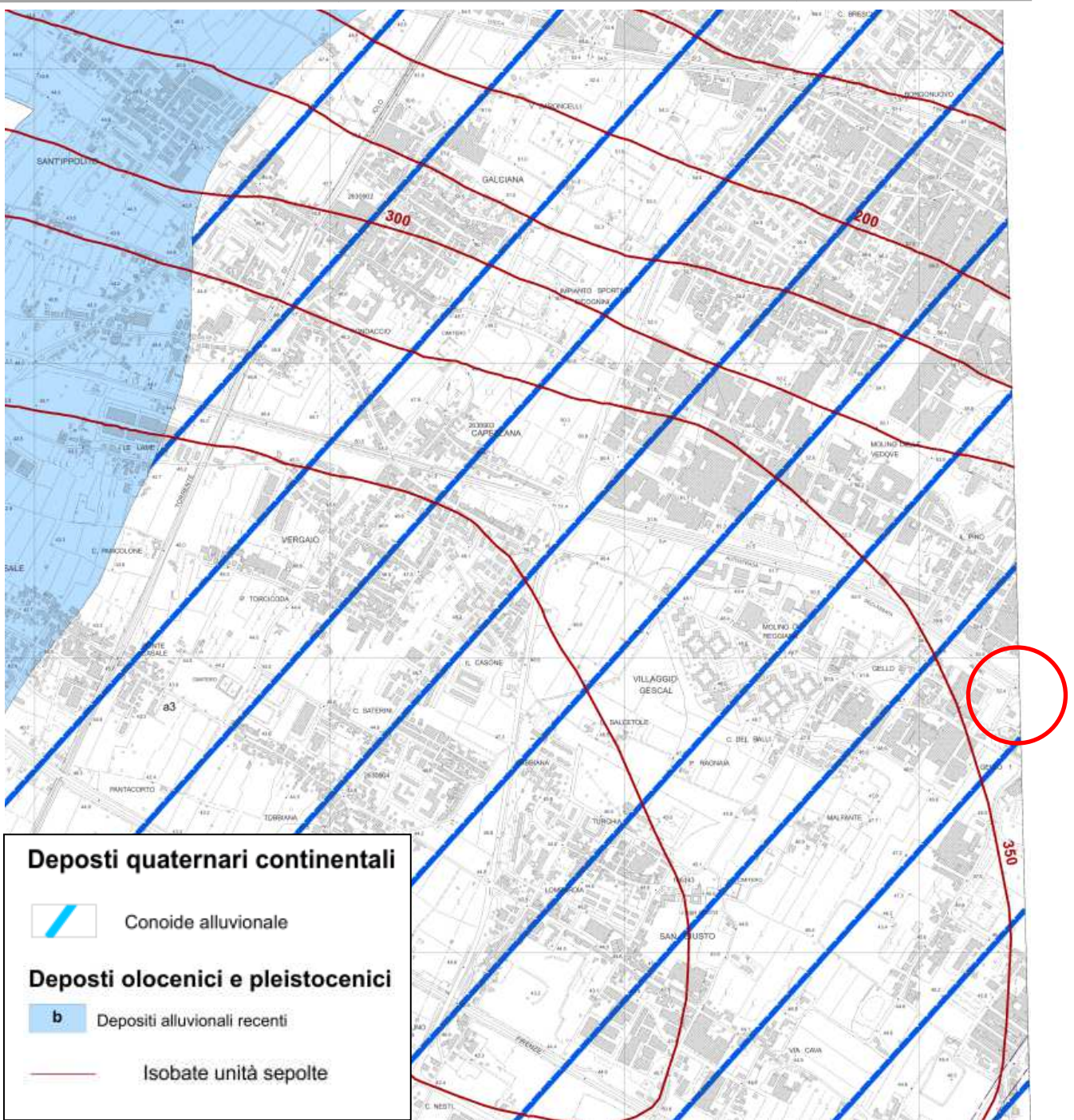


Fig. 5.8. Carta Geologica. Estratto da sezione 263090 della Carta Geologica Regionale

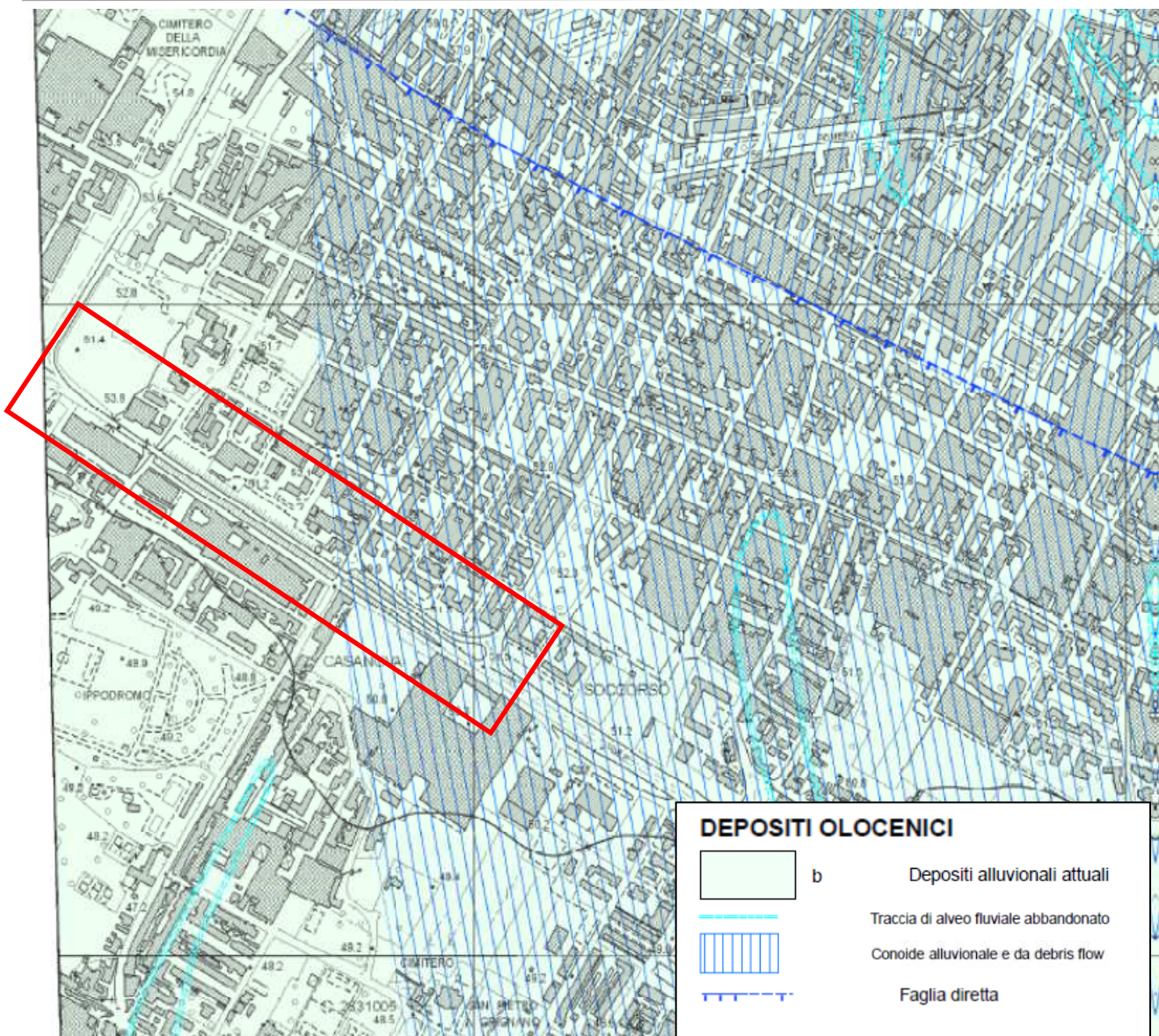


Fig. 5.9. Carta Geologica. Estratto da sezione 263100 della Carta Geologica Regionale

Più coerente, dal punto di vista della rappresentazione, la Carta Geologica di corredo al Piano Strutturale di Prato (Fig. 5.10) che ben delimita la conoide. La Carta Geologica del P.S. viene adottata come riferimento cartografico di progetto.

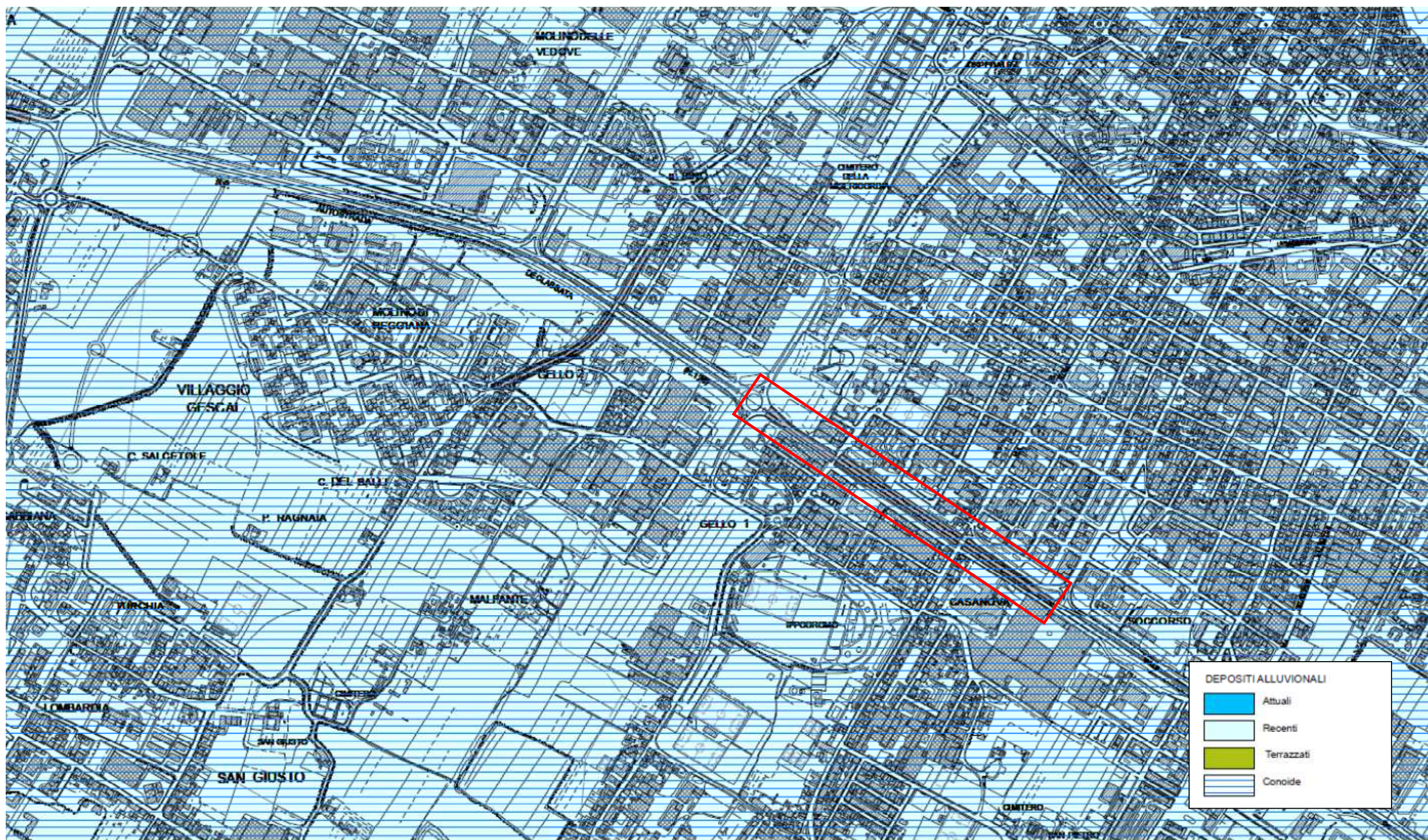


Fig. 5.10. Carta Geologica. Estratto da Carta Geologica del Piano Strutturale del Comune di Prato. Scala 1:10.000

5.3 STRATIGRAFIA

Come già accennato, per la stratigrafia dell'area di progetto si fa riferimento ai sondaggi effettuati nel 2012-2013 e nel 2018. Si tratta in tutto di 10 sondaggi realizzati lungo il tratto stradale oggetto dell'intervento. Le stratigrafie dei sondaggi sono riportate qui di seguito. Si fa presente che nelle stratigrafie dei sondaggi del 2012 gli spessori di alcuni strati sono indicativi in quanto mancano le indicazioni di profondità. In questi casi è stato messo un punto interrogativo (?) per segnalare l'incertezza sulla profondità.

S1-2012

PROFONDITA' m da p.c.	LITOLOGIA	SPT	CAMPIONI	ATTRIBUZIONE LITOLOGIA PROFILO
0-0,40(?)	limo sabbioso-ghiaioso con minuti frammenti di laterizio (terreno di riporto)			h6
0,40-1,40	limo argilloso sabbioso con passaggi di limo sabbioso argilloso, marrone			bna(l)
1,40-4,40	limo sabbioso e con sabbia argillosa, marrone, con passaggi di limo argilloso sabbioso			
4,40-17,00	ghiaia eterometrica con rari ciottoli, clasti eterogenei, arrotondati, talvolta alterati, Dmax > 10cm, Dmed 3cm, in matrice limoso-sabbiosa marrone, raramente abbondante (clasti 60-90%)	SPT1 4,50m SPT2 6,80m SPT3 9,50m SPT4 15,50m		bnc(g)
17,00-17,30 (?)	limo sabbioso argilloso marrone			bnc(l)
17,30 (?) -24,50	ghiaia eterometrica con rari ciottoli, con clasti eterogenei, arrotondati, Dmax > 10cm, Dmed 3-4cm, talvolta alterati, in matrice limoso sabbiosa marrone ed avana (clasti 70-90%)	SPT5 23,00m		bnc(g)
24,50-24,70 (?)	sabbia media con ghiaia, marrone, con clasti Dmax 4cm (clasti 30-50%)			
24,70 (?) -26,80	ghiaia eterometrica con rari ciottoli, con clasti prevalentemente arenacei, Dmax > 10cm, Dmed 3-4cm, in matrice limoso sabbiosa, marrone e marrone-ocra (clasti 80%)			
26,80-27,00 (?)	limo con argilla sabbioso, marrone ocra			bnc(l)
27,00 (?) -30,00	ghiaia eterometrica con rari ciottoli, clasti prevalentemente arenacei, molto alterati e talvolta degradati, arrotondati, Dmax > 10cm, Dmed 3cm, in matrice limoso-argillosa e limoso sabbiosa marrone ocra spesso abbondante (clasti 60-80%)			bnc(g)

S2-2012

PROFONDITA' m da p.c.	LITOLOGIA	SPT	CAMPIONI	ATTRIBUZIONE LITOLOGIA PROFILO
0-0,30 (?)	limo sabbioso con minuti frammenti di laterizio (terreno di riporto)			h6
0,30 (?) -0,80(?)	limo argilloso sabbioso marrone			bna(l)

Asse stradale di collegamento tra gli svincoli di Prato Est e Prato Ovest "Declassata di Prato"

Raddoppio di Viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra Via Marx e Via Nenni mediante la realizzazione di un sottopasso

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica

PROFONDITA' m da p.c.	LITOLOGIA	SPT	CAMPIONI	ATTRIBUZIONE LITOLOGIA PROFILO
0,80 (?) - 1,60	limo con sabbia e sabbia con limo, ghiaioso nella parte bassa, con clasti Dmax 3cm, marrone con resti vegetali nella parte bassa (clasti 0-30%)			
1,60-3,40	limo sabbioso e con sabbia argilloso, marrone con passaggi di limo argilloso sabbioso	SPT1 3,30m		
3,40-7,00	ghiaia eterometrica con rari ciottoli eterogenei arrotondati, talvolta alterati, Dmax > 10cm, Dmed 3cm, in matrice limoso-sabbiosa marrone (clasti 70-90%)			bnc(g)
7,00-7,50m (?)	limo sabbioso-argilloso marrone			bnc(l)
7,50 (?) - 10,00	ghiaia eterometrica con rari ciottoli, clasti eterogenei, arrotondati, spesso alterati, Dmax > 10cm, Dmed 2-3cm, in matrice limoso-sabbiosa marrone (clasti 60-90%)	SPT2 7,50m		bnc(g)
10,00-10,30 (?)	sabbia media con limo ghiaiosa marrone (clasti 20%)			bnc(s)
10,30 (?) - 13,20	ghiaia eterometrica con rari ciottoli, con clasti eterogenei, arrotondati, alterati, Dmax > 10cm, Dmed 3cm, in abbondante matrice limoso-sabbiosa marrone e marrone ocra, a tratti prevalente (clasti 30-80%); presenti passaggi centimetrici di limo con sabbia	SPT3 11,00m		bnc(g)
13,20-24,70	ghiaia eterometrica con rari ciottoli, con clasti eterogenei arrotondati, Dmax > 10cm, Dmed 3cm, in matrice limoso-sabbiosa marrone e marrone ocra talvolta abbondante (clasti 70-90%)	SPT4 18,00m		
24,70-30,00	ghiaia eterogenea con ciottoli, clasti prevalentemente erenacei, molto alterati e talvolta degradati, arrotondati, Dmax > 10cm, Dmed 3-4cm, in matrice limoso-argillosa e limoso-sabbiosa marrone-ocra spesso abbondante (clasti 50-80%)			

S3-2012

PROFONDITA' m da p.c.	LITOLOGIA	SPT	CAMPIONI	ATTRIBUZIONE LITOLOGIA PROFILO
0-1,00	limo sabbioso con abbondanti frammenti di laterizio nella parte bassa (terreno di riporto)			h6
1,00-4,00	ghiaia eterometrica con rari ciottoli, clasti eterogenei, arrotondati, talvolta alterati, Dmax 8cm, Dmed 3cm, in matrice limoso-sabbiosa marrone abbondante nella parte alta (clasti 60-90%)			bna(l)
4,00-4,30	sabbia medio fine con limo, marrone			
4,30-5,20	limo con sabbia e limo sabbioso argilloso, marrone			bnc(g)
5,20-16,50	ghiaia eterometrica con rari ciottoli, clasti eterogenei, arrotondati, talvolta alterati, Dmax > 10cm, Dmed 3cm, in matrice limoso-sabbiosa marrone e			

Asse stradale di collegamento tra gli svincoli di Prato Est e Prato Ovest "Declassata di Prato"

Raddoppio di Viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra Via Marx e Via Nenni mediante la realizzazione di un sottopasso

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica

16,50-19,70	marrone ocra (clasti 70/90%) ghiaia eterometrica con rari ciottoli, con clasti prevalentemente arenacei, arrotondati e subarrotondati, spesso molto alterati, Dmax>10cm, Dmed 3cm, in matrice limoso-sabbiosa e limoso-argillosa spesso abbondante, marrone e marrone ocra (clasti 60-80%)			
19,70-20,00	ghiaia eterometrica con rari ciottoli, con clasti eterogenei, arrotondati, Dmax>10cm, Dmed 3cm, in matrice limoso-sabbiosa marrone ed avana (clasti 80%)			

S01_DH-2018

PROFONDITA' m da p.c.	LITOLOGIA	SPT	CAMPIONI	ATTRIBUZIONE LITOLOGIA PROFILO
0,00-0,30	Terreno vegetale costituito da limo sabbioso, di colore marroncino chiaro, la parte superiore si presenta umificata, con apparati radicali			bna(l)
0,30-2,50	Limo sabbioso, di colore marroncino, asciutto, mediamente consistente.			
2,50-22,00	Sabbia con ghiaia, limosa, di colore marroncino, poco addensata, talora moderatamente addensata, con clasti di natura carbonatica, eterometrici, arrotondati e talvolta sub-angolari; ha struttura pseudo-bandata, con lenti e bande prevalentemente limose o argillose di colore marrone scuro e beige	SPT1 3,55m SPT2 8,20m SPT3 11,80m SPT4 15,00m SPT5 18,55m	CR1 3,00-3,50m CR2 9,00-9,50m	bnc(g)
22,00-24,60	Limo con sabbia e argilla, di colore marrone con bande beige e ocra, da mediamente consistente a consistente, con lenti limose e sabbiose, presenta struttura laminare		CR3 23,00-23,50m	bnc(l)
24,60-35,00	Ghiaia con sabbia limosa, di colore marroncino, da addensata a moderatamente o poco addensata, con clasti di natura carbonatica, eterometrici, arrotondati e talvolta sub-angolari.		CR4 30,00-30,50m	bnc(g)

S02_N-2018

PROFONDITA' m da p.c.	LITOLOGIA	SPT	CAMPIONI	ATTRIBUZIONE LITOLOGIA PROFILO
0-2,00	Materiale di riporto costituito da limo sabbioso, di colore ocra-marroncino, con frammenti di materiali inerti, presenta clasti poligenici eterometrici arrotondati.	SPT1 1,50m		h6
2,00-4,00	Limo sabbioso debolmente argilloso, di colore ocra-marroncino, poco consistente, presenta strutture pseudo-laminari		C11 3,00-3,50	bna(l)
4,00-30,00	Sabbia ghiaiosa limosa, di colore	SPT2 4,55m	C12 6,00-6,50	bnc(g)

Asse stradale di collegamento tra gli svincoli di Prato Est e Prato Ovest "Declassata di Prato"

Raddoppio di Viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra Via Marx e Via Nenni mediante la realizzazione di un sottopasso

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica

	marroncino con bande ocra e beige, varia tra addensata e moderatamente addensata, talvolta poco, con clasti di natura carbonatica a luoghi prevalenti, eterometrici, arrotondati e talvolta sub-angolari; presenta strutture pseudo-laminari.	SPT3 9,20m SPT4 12,90m SPT5 18,00	CR1 12,00-13,00 CR2 19,50-20,00 CR3 24,50-25,00	
--	---	---	---	--

S03_N-2018

PROFONDITA' m da p.c.	LITOLOGIA	SPT	CAMPIONI	ATTRIBUZIONE LITOLOGIA PROFILO
0,00-0,30	Terreno vegetale costituito da limo sabbioso, di colore marroncino, con apparati radicali.			h6
0,30-3,70	Materiale di riporto costituito da limo sabbioso, di colore ocra-marroncino, con frammenti di materiali inerti, presenta clasti poligenici eterometrici arrotondati	SPT1 2,00m		
3,70-4,90	Limo sabbioso debolmente argilloso, di colore marroncino, da poco consistente a moderatamente consistente, asciutto		CI1 4,00-4,50m	bna(l)
4,90-30,00	Sabbia con ghiaia limosa, di colore marroncino con bande ocra, beige e marrone bruno, varia tra addensata e moderatamente addensata, con livelli poco addensati, con clasti di natura carbonatica, eterometrici, arrotondati e talvolta sub-angolari. Presenta strutture pseudo-laminari e lenti argillose	SPT2 7,55 SPT3 11,00 SPT4 15,00 SPT5 18,55	CI2 13,00-13,50m CR1 19,00-19,50 CR2 24,00-24,50 CR3 27,00-27,50	bnc(g)

S04_N-2018

PROFONDITA' m da p.c.	LITOLOGIA	SPT	CAMPIONI	ATTRIBUZIONE LITOLOGIA PROFILO
0-1,30	Materiale di riporto costituito da limo sabbioso, di colore marrone, con frammenti di materiali inerti e rari clasti poligenici eterometrici			h6
1,30-4,30	Limo con sabbia debolmente argilloso, di colore marroncino, da poco consistente a moderatamente consistente, asciutto	CI1 3,00-3,50		bna(l)
4,30-30,00	Ghiaia con sabbia limosa, di colore marroncino con bande ocra, bruno e beige; varia tra addensata e moderatamente addensata, talvolta poco addensata, con clasti di natura carbonatica, eterometrici, arrotondati e talvolta sub-angolari. Presenta strutture pseudo-laminari e lenti limose-argillose.	CI2 14,00-14,50 CR1 21,00-21,50 CR2 24,00-25,00 CR3 27,00-27,50	SPT1 5,00m SPT2 8,55m SPT3 12,00m SPT4 17,55m SPT5 19,55m	bnc(g)

S05_DH-2018

PROFONDITA' m da p.c.	LITOLOGIA	SPT	CAMPIONI	ATTRIBUZIONE LITOLOGIA PROFILO
0-1,10	Materiale di riporto costituito da limo			h6

Asse stradale di collegamento tra gli svincoli di Prato Est e Prato Ovest "Declassata di Prato"

Raddoppio di Viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra Via Marx e Via Nenni mediante la realizzazione di un sottopasso

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica

PROFONDITA' m da p.c.	LITOLOGIA	SPT	CAMPIONI	ATTRIBUZIONE LITOLOGIA PROFILO
	sabbioso, di colore marrone, con frammenti di materiali inerti, con clasti poligenici eterometrici			
1,10-5,20	Limo sabbioso debolmente argilloso, di colore marroncino con sfumature ocra, da poco a moderatamente consistente	SPT1 4,00m	Cl1 2,00-2,50m	bna(l)
5,20-35,00	Sabbia con ghiaia limosa, di colore marroncino con bande ocra e beige; varia tra addensata e moderatamente addensata, talvolta poco, con clasti di natura carbonatica, eterometrici, arrotondati e talvolta sub-angolari. Presenta strutture pseudo-laminari	SPT2 6,00m SPT3 11,55m SPT4 14,55m SPT5 18,00m SPT6 21,55m	Cl2 9,50-10,00m CR1 15,00-15,50m CR2 19,50-20,00m CR3 24,50-25,00m	bnc(g)

S06_N-2018

PROFONDITA' m da p.c.	LITOLOGIA	SPT	CAMPIONI	ATTRIBUZIONE LITOLOGIA PROFILO
0-0,50	Terreno vegetale costituito da limo sabbioso, di colore marroncino chiaro, la parte superiore si presenta umificata, con apparati radicali			bna(l)
0,50-3,00	Limo sabbioso, di colore marroncino, asciutto, mediamente consistente			
3,00-23,50	Sabbia ghiaiosa limosa, di colore marroncino, presenta clasti e ciottoli di natura carbonatica, arrotondati, eterometrici; vi sono lenti con limi e argille prevalenti rispetto alla frazione sabbiosa	SPT1 3,55m SPT2 5,55m SPT3 7,40m SPT4 10,00m SPT5 12,70m SPT6 16,00m SPT7 19,00m	CR1 5,00-5,50m CR2 17,00-18,00m	bnc(g)
23,50-25,00	Limo con sabbia argilloso, di colore marroncino con bande e striature ocra e beige; da mediamente consistente a consistente, plastico, asciutto, presenta struttura laminare.		CR3 24,00-25,00	bnc(l)
25,00-30,00	Sabbia ghiaiosa limosa, di colore marroncino, moderatamente addensata, presenta clasti di natura carbonatica, arrotondati talvolta sub-angolari, eterometrici		CR4 27,00-28,00m	bnc(g)

P-2018

PROFONDITA' m da p.c.	LITOLOGIA	SPT	CAMPIONI	ATTRIBUZIONE LITOLOGIA PROFILO
0-0,20	Terreno vegetale costituito da limo sabbioso, di colore marroncino.			h6
0,20-4,80	Materiale di riporto costituito da limo sabbioso, di colore marroncino, con frammenti di materiali inerti (cemento, laterizi) e con clasti poligenici eterometrici a spigoli vivi e sub-arrotondati			
4,80-40,00	Sabbia ghiaiosa limosa, di colore marroncino con bande ocra, beige e		CR1 11,00-12,00 CR2 22,00-22,70	bnc(g)

	marrone bruno, varia tra addensata e moderatamente addensata, con livelli poco addensati, con clasti di natura carbonatica, eterometrici, arrotondati e talvolta sub-angolari. Presenta strutture pseudo-laminari e lenti argillose		CR3 34,00-35,00 CR4 39,00-40,00	
--	---	--	------------------------------------	--

Come si può osservare, le stratigrafie concordano e consentono di derivare il seguente modello geologico:

- Copertura superficiale (**h6**): è costituita da materiale di riporto eterogeneo con spessore compreso tra 0,30 e 4,80m
- Alluvioni recenti (**bnal**): hanno litologia sabbioso-limosa o limoso-sabbiosa, e sono presenti fino alla profondità massima di 5,20m con o senza presenza di riporto al tetto. Il contatto con i sottostanti depositi di conoide è abrupto e si distinguono per l'assenza di clasti o, in rari casi, per una netta prevalenza della matrice.
- Depositi di conoide: si trovano in facies prevalentemente grossolana (**bnc(g)**), con lenti o strati poco potenti in facies medio-fine (**bnc(s)** e **bnc(l)**) non sempre correlabili tra loro a testimonianza della episodicità della relativa fase sedimentaria. All'interno della facies principale **bnc(g)** i rapporti scheletro/matrice sono molto variabili sia in senso orizzontale che verticale, situazione, questa, che ben rispecchia l'ambiente di deposizione.

Risulta dunque evidente la dominanza dei depositi di conoide nell'ambito degli spessori indagati. Ciò è coerente con i dati geologici e stratigrafici di bibliografia. I rapporti stratigrafici tra le facies individuate sono illustrati nel profilo geologico e nelle sezioni (elaborati 02.11_P00_GEO0_GEO_FG01_A e 02.11_P00_GEO0_GEO2_A) che illustrano il modello geologico nell'area di progetto in base ai risultati delle indagini.

In Fig. 5.11 è riportata la distribuzione delle prove SPT effettuate in tutti i sondaggi. Con riferimento alla tabella in Fig. 5.12, 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 un intervallo piuttosto ampio
- c'è una lieve tendenza all'aumento di NSPT con la profondità
- i valori di NSPT nei primi 10m di profondità risultano essere piuttosto dispersi
- 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 "mediamente denso" e "denso"
- indipendentemente dalla profondità alcune misure ricadono nell'ambito "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, che, oltre alla presenza di livelli o strati di modesto spessore di facies a granulometria più fine, comporta anche importanti variazioni del rapporto matrice/scheletro, si riflette anche nello stato di addensamento che può variare notevolmente lungo le verticali indagate indipendentemente dalla profondità.

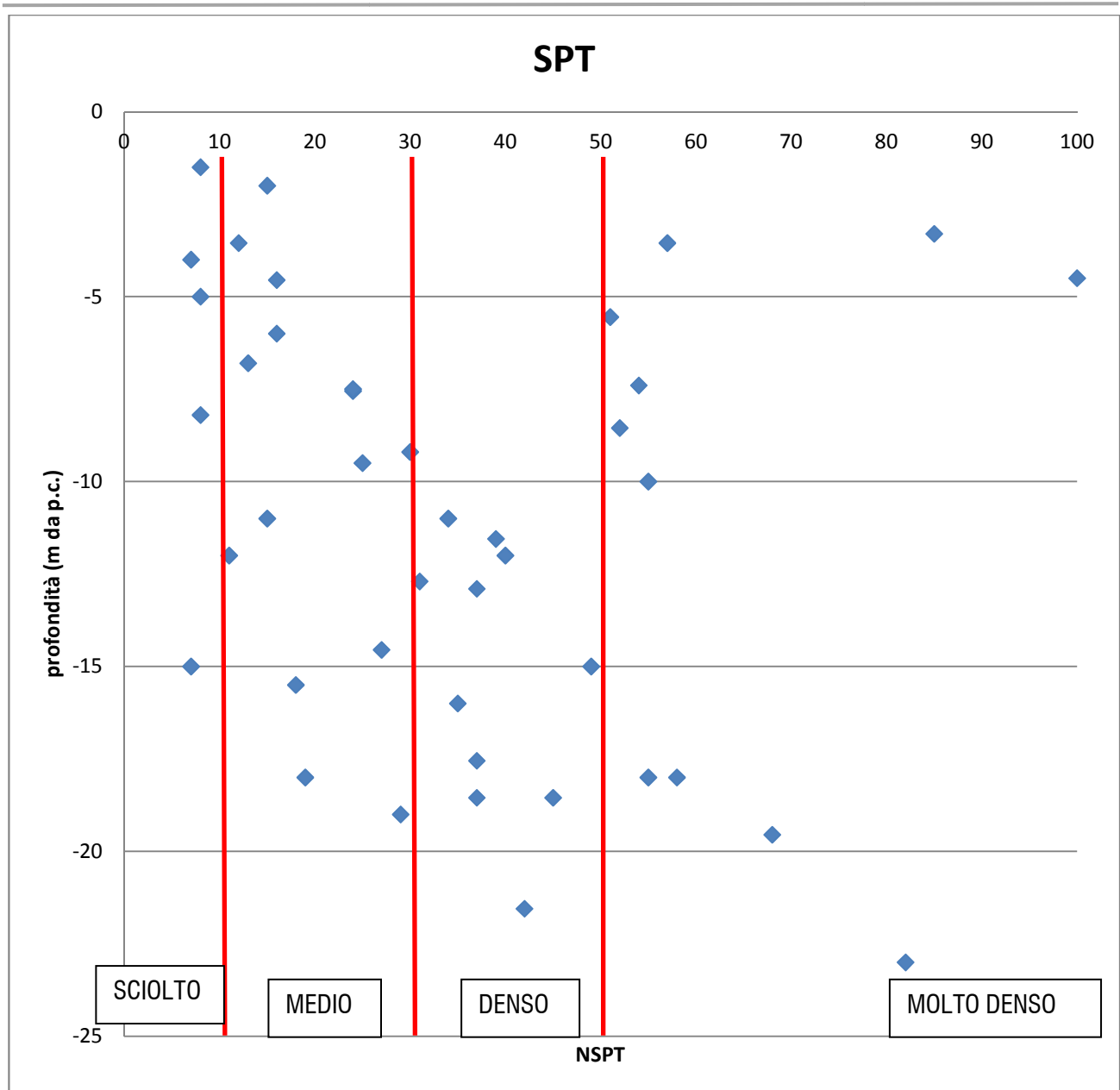


Fig. 5.11. Distribuzione di NSPT in funzione della profondità. Campagne 2012 e 2018

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. 5.12. Correlazioni tra NSPT e stato di addensamento/densità relativa

6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Caratterizzazione

La caratterizzazione idrogeologica e stratigrafica dell'area è stata oggetto di molti studi e indagini a partire dal lavoro di Landini, Pranzini e Venurucci (1990) *"La falda idrica della conoide di Prato"*, proseguito con la *"Modellazione numerica dell'acquifero della piana di Prato"* (riferita agli anni 2007-2014) sviluppata da Autorità di Bacino del Fiume Arno, Provincia di Prato ed Ingegnerie Toscane S.r.l., fino ad arrivare allo *"Studio conoscitivo dell'acquifero di Prato, indagini idrogeologiche e geochimico-isotopiche 2015-2016"* a cura di West Systems srl, PIN scrl e IGG-CNR.

La falda pratese è la più importante ed utilizzata fra quelle del medio Valdarno, con consistenti prelievi sia ad uso potabile che industriale. L'eccessivo sfruttamento della falda ha determinato la formazione di un esteso cono di depressione della superficie piezometrica che ha raggiunto la massima estensione alla fine degli anni '80. Tuttavia, a seguito della crisi del settore tessile ed all'effetto delle misure messe in atto per disincentivare gli emungimenti, negli ultimi anni i prelievi sono sensibilmente diminuiti e di conseguenza, unitamente a precipitazioni sopra la media, viene registrata una progressiva risalita della falda.

Come già detto, l'area pratese ricade al centro del bacino sedimentario di Firenze-Prato-Pistoia, instauratosi a partire dal Pliocene superiore a seguito della tettonica distensiva post-orogonica. I riempimenti fluvio-lacustri possono essere suddivisi in tre unità:

- depositi lacustri, costituiti da argille limose talvolta leggermente sabbiose, con livelli di lignite e torba; strati di ghiaie, generalmente in matrice limosa, si intercalano alle argille con spessore decrescente procedendo verso il centro della pianura
- depositi di delta conoide del Bisenzio, costituiti da ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa, sabbie con ghiaia; i depositi di conoide si estendono, con spessore decrescente fino al margine opposto del bacino verso il F. Ombrone
- depositi recenti di esondazione, ricoprono i termini della conoide e sono costituiti da limi argillosi, limi sabbiosi e limi sabbioso-argillosi, lo spessore aumenta in direzione SO.

La geometria tridimensionale dell'acquifero è stata ricostruita sia in occasione della redazione del Piano di Bacino del F. Arno, Stralcio Bilancio Idrico e dei suoi aggiornamenti, sia, come già accennato in apertura, tramite studi specifici.

Sulla base delle informazioni stratigrafiche disponibili, Cerrina Feroni et al. (2010) individuano un totale di 6 orizzonti acquiferi (principalmente rappresentati da ghiaie e ghiaie - sabbiose), tre dei quali (quelli più superficiali) ritenuti di principale importanza in ragione degli spessori e della significativa continuità laterale. Soltanto il più superficiale di questi orizzonti è ritenuto appartenere al ciclo deposizionale fluviale olocenico, mentre i restanti 5 vengono attribuiti al ciclo deposizionale fluvio-lacustre plio-pleistocenico.

Questi ultimi risultano in buona parte confinati, in quanto intercalati ad acquitardi/acquicludo più o meno continui e rappresentati da depositi argillosi lacustri. Tuttavia su aree significativamente estese, soprattutto in corrispondenza dei margini del bacino (ed in particolare in corrispondenza della porzione apicale degli apparati di conoide e delta-conoide), questi orizzonti tendono a fondersi tra di loro o sono solcati dall'orizzonte acquifero superficiale olocenico, con il quale mostrano continuità idraulica. L'orizzonte acquifero olocenico risulta, a seconda dei settori, non confinato o semi-confinato (nei casi di presenza, al tetto, di spesse coltri di limi di esondazione).

In sintesi sono stati individuati due corpi idrici principali, facenti parte della conoide del F. Bisenzio, tra loro sovrapposti e sormontati dall'orizzonte acquifero olocenico.

I due acquiferi principali pleistocenici (quelli al disotto dell'orizzonte acquifero olocenico superficiale) hanno spessori dell'ordine dei 15 - 20 metri in corrispondenza del settore assiale del conoide e si assottigliano verso le zone marginali. Nella parte apicale del conoide aumentano i loro spessori, che peraltro vanno a fondersi tra di loro e con l'acquifero superficiale olocenico.

Relativamente alle profondità, nella parte centrale della piana i due acquiferi pleistocenici si attestano sugli intervalli 35 - 55 e 15 - 30 m da p.c. rispettivamente.

Le ghiaie ed i ciottolami della conoide del Bisenzio raggiungono uno spessore massimo di 50m.

Al disotto dei tre acquiferi principali qui discussi viene riconosciuto un altro orizzonte di significativa importanza, costituito da ghiaie e ghiaie sabbiose passanti a ghiaie argillose. Lo spessore di questo acquifero, nell'insieme abbastanza isolato dai soprastanti, risulta variabile da pochi metri fino a 10 - 15 m, ed è rintracciabile alle quote di circa 80 metri nella parte centrale della piana.

A profondità ancora maggiori, vengono infine individuati due ulteriori orizzonti di spessori compresi da pochi metri ad una decina di metri, la cui continuità è difficilmente documentabile a causa della limitata disponibilità di stratigrafie profonde.

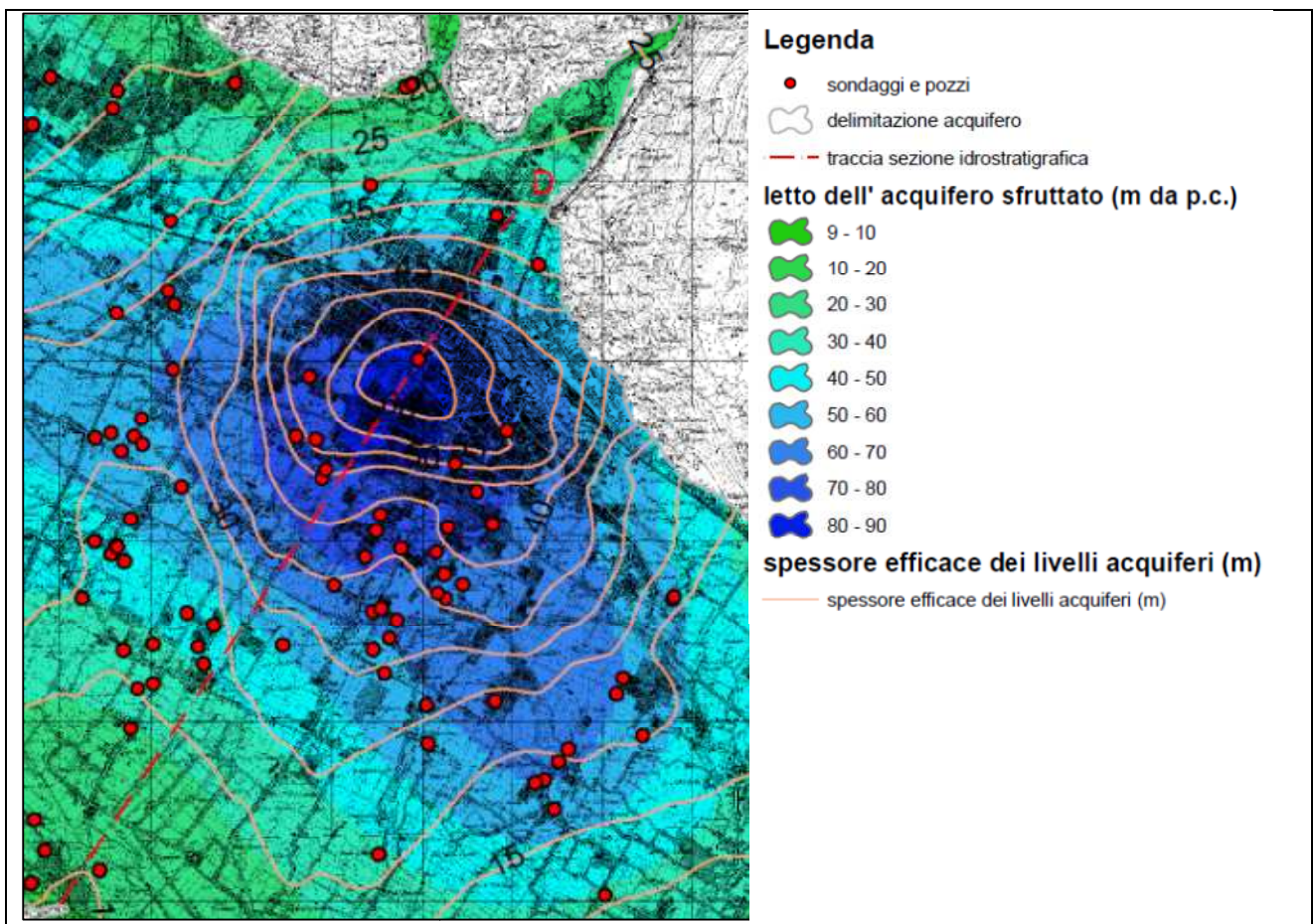


Fig. 6.1. Carta del letto dell'acquifero (Piano di Bacino del fiume Arno Stralcio: "Bilancio idrico")

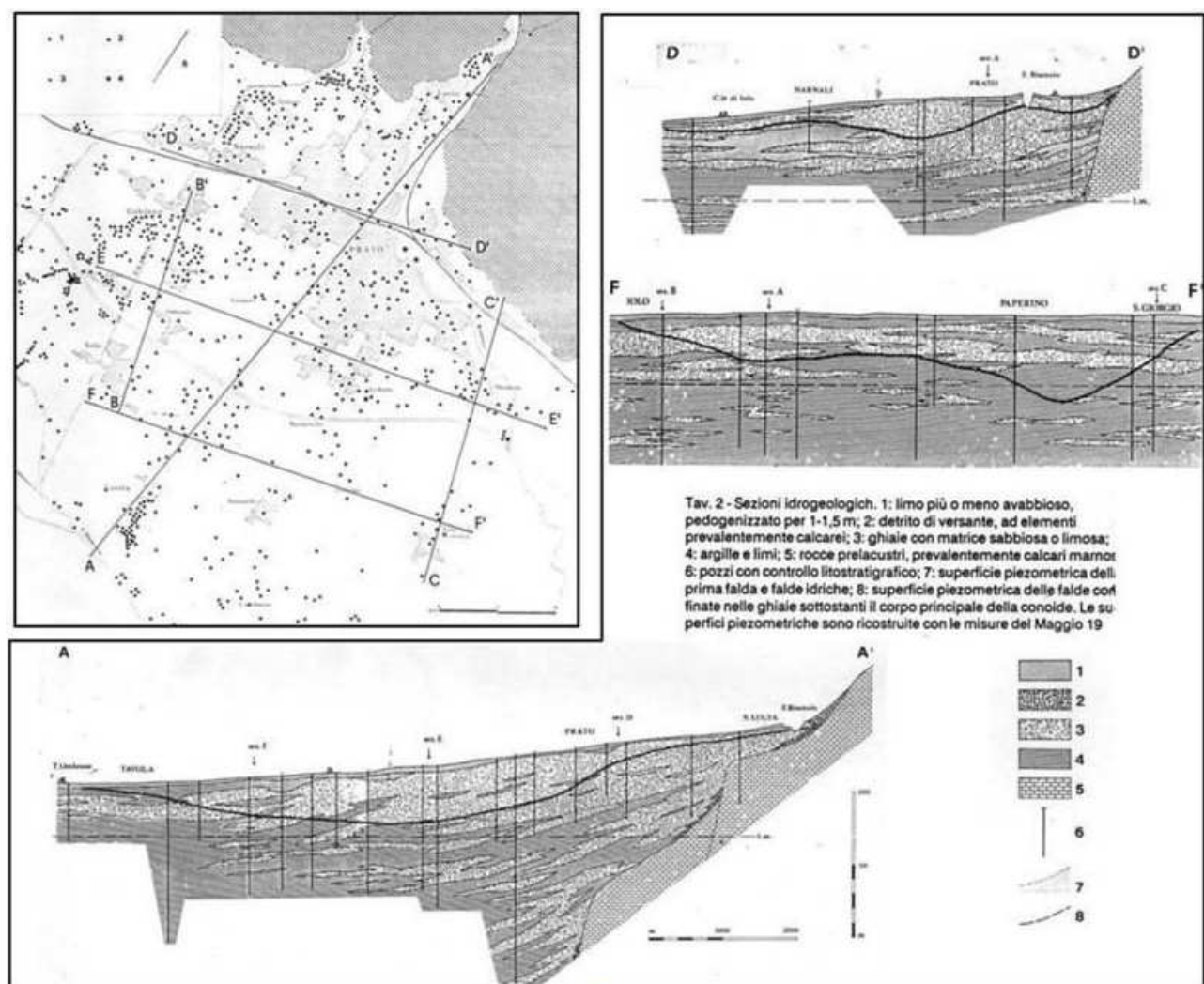


Fig. 6.2. Sezioni idrogeologiche del sistema acquifero fluvio-lacustre di Prato (estratto dalla Tav. 2 del lavoro di Landini et al., 1990)

L'acquifero più superficiale è caratterizzato da una prevalenza di ghiaie grossolane in matrice limoso-sabbiosa, con subordinate (come già descritto nel precedente paragrafo) intercalazioni di lenti argilloso limose che diventano più frequenti verso i margini della conoide. Lo spessore varia da 10 a 50-60m e la falda può considerarsi libera, vista l'assenza di litotipi impermeabili sufficientemente continui da isolare i livelli di ghiaie.

L'acquifero sottostante è invece caratterizzato da una prevalenza di sedimenti limoso-argillosi con intercalazioni, localmente anche abbondanti, di ghiaie grossolane in matrice limoso-sabbiosa. I livelli permeabili sono in contatto tra loro solo in corrispondenza di alcuni contatti geologici, concentrati nella parte apicale della conoide. In questo secondo sistema acquifero possono essere distinte più falde confinate con possibilità di scambi, nella porzione apicale e centrale della conoide, sia tra loro sia con la falda libera sovrastante. Un aspetto da sottolineare è che anche laddove i vari orizzonti riconosciuti nel sottosuolo di Prato risultano ben separati tra loro ad opera di spessi strati di scarsa permeabilità, talvolta la loro connessione idraulica è localmente determinata dalla presenza di pozzi multifenestrati. In questi casi, riscontrabili anche per diversi pozzi idropotabili, le acque emunte risultano essere rappresentative di un mescolamento indotto dall'opera di captazione tra acque ospitate in orizzonti acquiferi differenti.

Il solo limite naturale del corpo idrico nel suo complesso è localizzato a N e NE, dove lo spessore dell'acquifero si azzera contro le rocce prelacustri. Tali formazioni sono in prevalenza a bassa permeabilità (Ofioliti e Flysch argilloso-calcareo) ad eccezione della Formazione di Monte Morello per la quale è stata messa in evidenza la possibilità di scambi idrici con le ghiaie della conoide. Nelle altre direzioni le ghiaie della conoide si uniscono con quelle deposte dai corsi d'acqua vicini: il T. Agna ad Ovest, il T. Ombrone a Sud, l'Arno a Sud-Ovest, ed il T. Marina ad Est. I depositi alluvionali di questi corsi d'acqua si trovano tutti a profondità modeste (25-30m) in quanto i suddetti corsi d'acqua si sono impostati nella pianura solo nell'ultima fase deposizionale.

L'alimentazione del corpo idrico avviene attraverso le seguenti modalità:

- ricarica da precipitazioni
- perdite di reti idriche
- alimentazione dal Bisenzio e dall'Ombrone
- infiltrazione dal margine montano a Nord, dove la falda è alimentata dall'acqua di ruscellamento superficiale che raggiunge la pianura
- alimentazione profonda dai calcari della formazione di Monte Morello, che affiorano sui versanti a NE di Prato
- contributo, al margine Ovest, da parte del T. Calice.

Gli studi effettuati hanno evidenziato che la maggior parte della ricarica (60% circa) è acqua zenitale che alimenta direttamente la conoide, segue l'alimentazione da parte del Bisenzio e dei Monti della Calvana (circa il 35%) mentre la altre fonti di ricarica assumono un ruolo nettamente minoritario.

Piezometria

Nel corso degli anni sono stati fatti molti studi sulla falda pratese, con creazione di mappe piezometriche riferite a periodi differenti (Fig. 6.3). Essendo le varie mappe basate su misure effettuate su pozzi differenti ed in diversa situazione di ricarica e di sfruttamento, queste ultime sono confrontabili nelle loro linee generali.

Dall'esame della situazione pregressa derivano le seguenti osservazioni:

- le varie piezometrie mostrano una simile morfologia
 - o è evidente un'alimentazione da parte del F. Bisenzio, particolarmente marcata nella zona corrispondente al suo ingresso nella piana
 - o è evidente un'alimentazione dagli acquiferi collinari/montani in roccia
- nella parte centrale della piana tutte le piezometrie riportano depressioni dovute agli emungimenti
- nell'elaborato del 2010 le depressioni risultano meno accentuate e spostate verso Sud
- fino al 2000 le depressioni sono caratterizzate da quote molto basse (10-15m.s.l.m.)
- dal 2006 si assiste ad una risalita dei livelli che nelle aree di maggior depressione si attestano sui 20-25m.s.l.m.
- nel 2010 tale risalita è ancora più accentuata con i valori più bassi non inferiori a 30m.s.l.m., con migrazione dei minimi piezometrici verso sud

Come già detto, questo processo di risalita dei livelli piezometrici a partire dal 2000 è associato sia alla crisi del settore tessile, che ha determinato una forte riduzione degli emungimenti, sia all'abbandono di alcuni pozzi idropotabili nella zona più a ridosso della città a causa della scarsa qualità delle acque. Lo spostamento verso Sud della depressione piezometrica è dovuta a maggiori emungimenti a scopo idropotabile nella parte Sud della città.

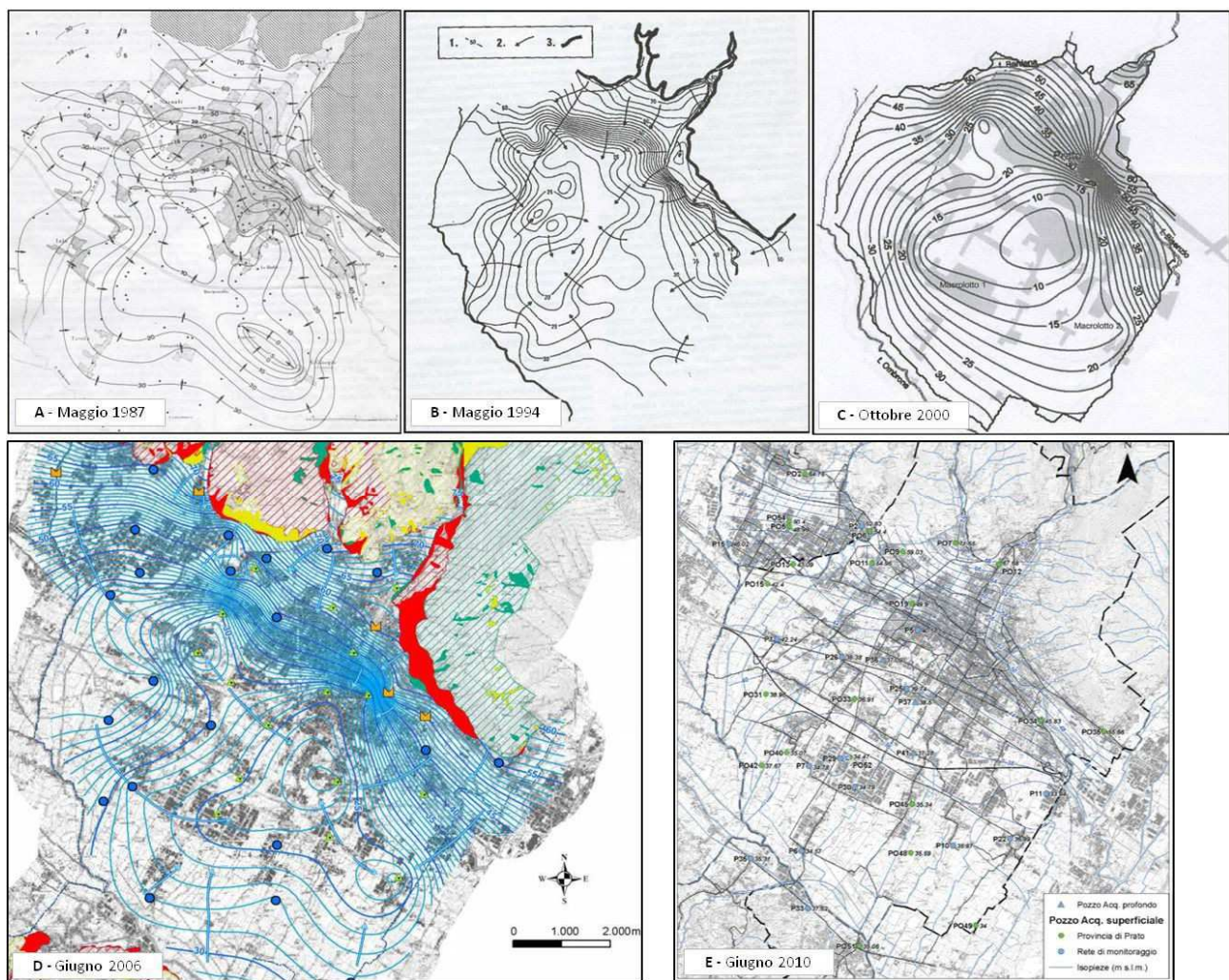


Fig. 6.3. Elaborazioni piezometriche. A: Landini et al., 1990; B: Gargini et al, 1995; C: Landini, 2005; D: Doveri, 2006; E: Gargini et al. 2011

La modellazione piezometrica più recente, cui si fa riferimento anche nella “Relazione sulla modellazione numerica dell’interazione falda/struttura” (elaborato 02_P00_ID00_IDR_RE_A), è quella dello “Studio conoscitivo dell’acquifero di Prato – Indagini Idrogeologiche e geochimico-isotopiche 2015-2016” a cura di West Systems, PIN srl, IGG-CNR pubblicato nel Marzo 2016. Il lavoro è basato su misure effettuate in pozzi che in gran parte appartengono alla rete di Publicacqua. In questi pozzi le misure sono state fatte in condizioni dinamiche. Per ridurre questo aspetto le letture sono state processate con un algoritmo che teneva in considerazione le caratteristiche idrauliche dell’acquifero, la portata e la portata caratteristica dei pozzi, al fine di stimare la perdita di carico nei vari pozzi stessi.

Nelle Figg. 6.4 e 6.5 sono riportate le piezometrie di Giugno e Settembre 2015, dalle quali si evincono le seguenti osservazioni:

- il ruolo significativo del F. Bisenzio e degli acquiferi collinari/montani nell’alimentazione;
- la presenza di depressioni piezometriche legate all’utilizzo della falda
- la conferma dell’estensione e della migrazione delle depressioni verso Sud.

Confrontando inoltre la piezometria del Giugno 2015 con quelle precedenti sembrerebbe che il processo di risalita dei livelli verificatosi tra il 2000 ed il 2010 abbia quanto meno subito un rallentamento (al Giugno 2015) data la similitudine dei livelli piezometrici 2010 e 2015.

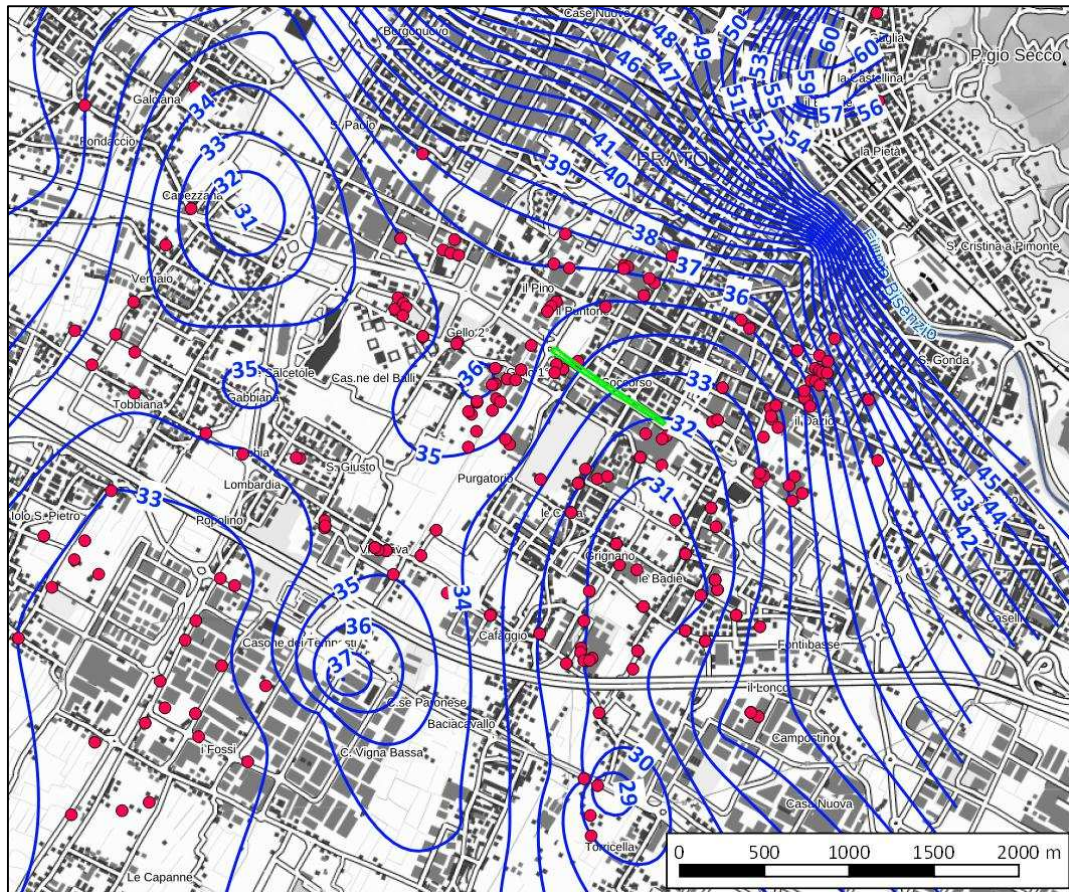


Fig. 6.4. Piezometria Giugno 2015. Da "Studio conoscitivo dell'acquifero di Prato indagini idrogeologiche e geochimico-isotopiche 2015 - 2016".

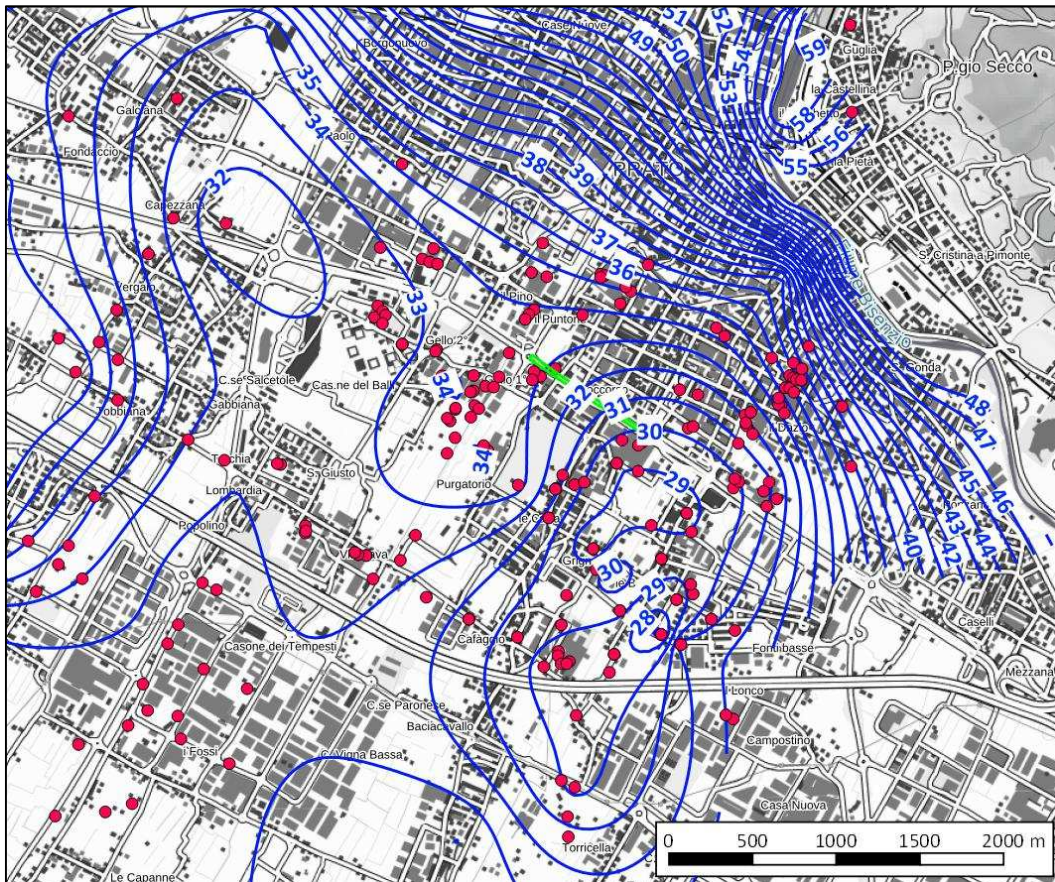


Fig. 6.5. Piezometria Settembre 2015. Da "Studio conoscitivo dell'acquifero di Prato indagini idrogeologiche e geochimico-isotopiche 2015 - 2016".

Come già accennato, l'acquifero pratese è stato intensamente sfruttato sia per emungimenti idropotabili sia per usi industriali. Lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee ha comportato un consistente abbassamento della superficie piezometrica che ha raggiunto il suo apice negli anni '80. Nell'area urbana di Prato è noto che prima dell'industrializzazione degli anni '60-70, le acque venivano emunte mediante pompa manuale da pozzi scavati a mano profondi circa 5m. In base a questa informazione per cui è stato assunto che la falda fosse originariamente prossima alla superficie ed è stata assunta una soggiacenza di 4,5m come rappresentativa del livello massimo che la falda potrebbe raggiungere nel lungo periodo. Al di là dell'informazione qualitativa, l'unico dato disponibile che conferma che in passato la superficie piezometrica si trovava in prossimità del piano campagna sono le letture piezometriche del pozzo Badie (cod. P00255), ubicato a Sud-Est rispetto all'area di progetto (Fig. 6.6.), disponibili a partire dal 1959. La quota di riferimento del piano campagna è di circa 46,5m.s.l.m., come si può osservare in Fig. 6.7. le letture fino al 1961 mostrano che la superficie piezometrica si trovava a circa 42m.s.l.m. di quota, ovvero a circa 4,5/4,0m da piano campagna.

Dallo stesso grafico risulta evidente anche il progressivo e abbassamento della piezometrica che raggiunge il suo apice nei periodi 1973-1977 e 1989-1991 (in quest'ultimo intervallo la piezometrica ha raggiunto quote inferiori a 5m.s.l.m.).

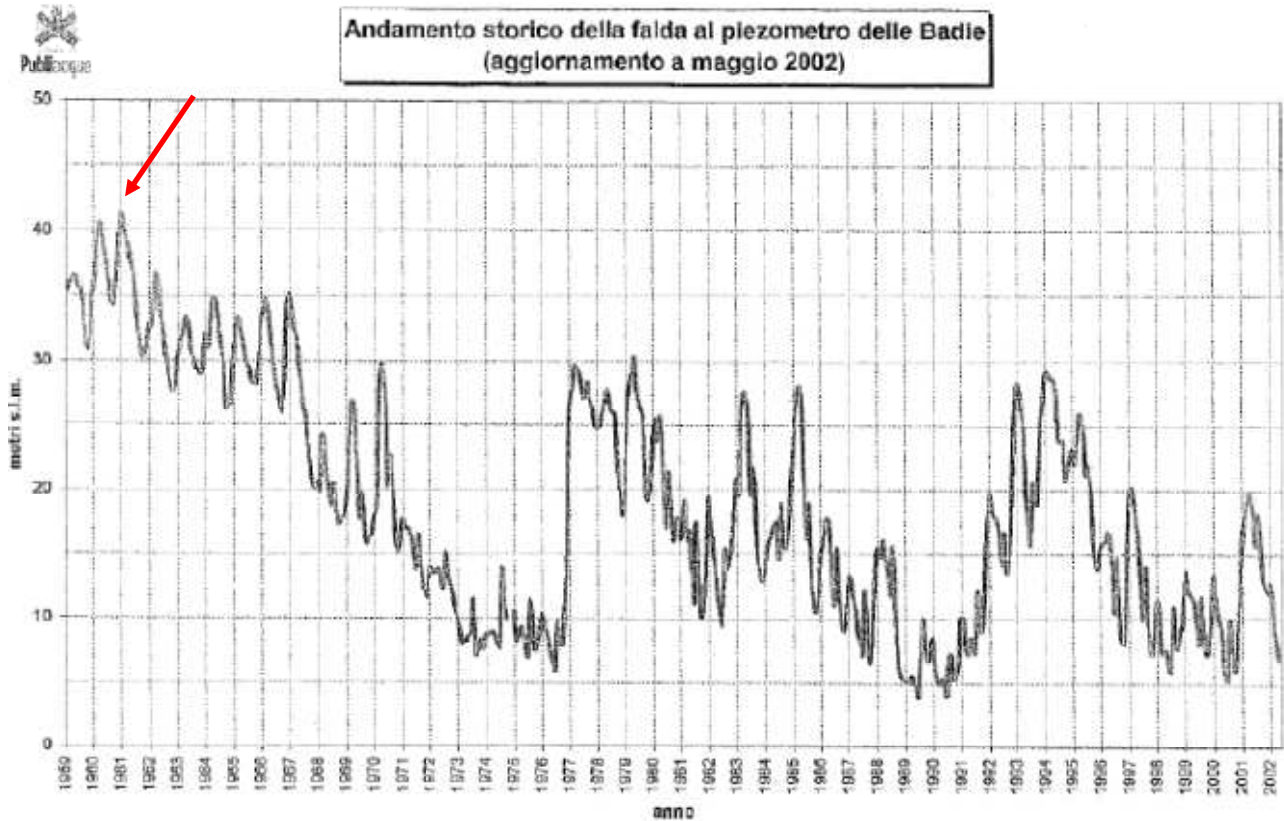


Fig. 6.7. Letture piezometriche Badie 1959-2002 (dati Pubblicqua). La freccia indica la quota della piezometrica in prossimità del piano campagna.

Più recentemente, tra il 2013 ed il 2014, si è verificato un repentino innalzamento della falda, testimoniato dalle misure nei pozzi Macelli (cod. P000775) e Badie (cod. P000796) di cui si riporta l'ubicazione in Fig. 6.8 e le piezometrie in Figg. 6.9-6.10.

Asse stradale di collegamento tra gli svincoli di Prato Est e Prato Ovest "Declassata di Prato"

Raddoppio di Viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra Via Marx e Via Nenni mediante la realizzazione di un sottopasso

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica

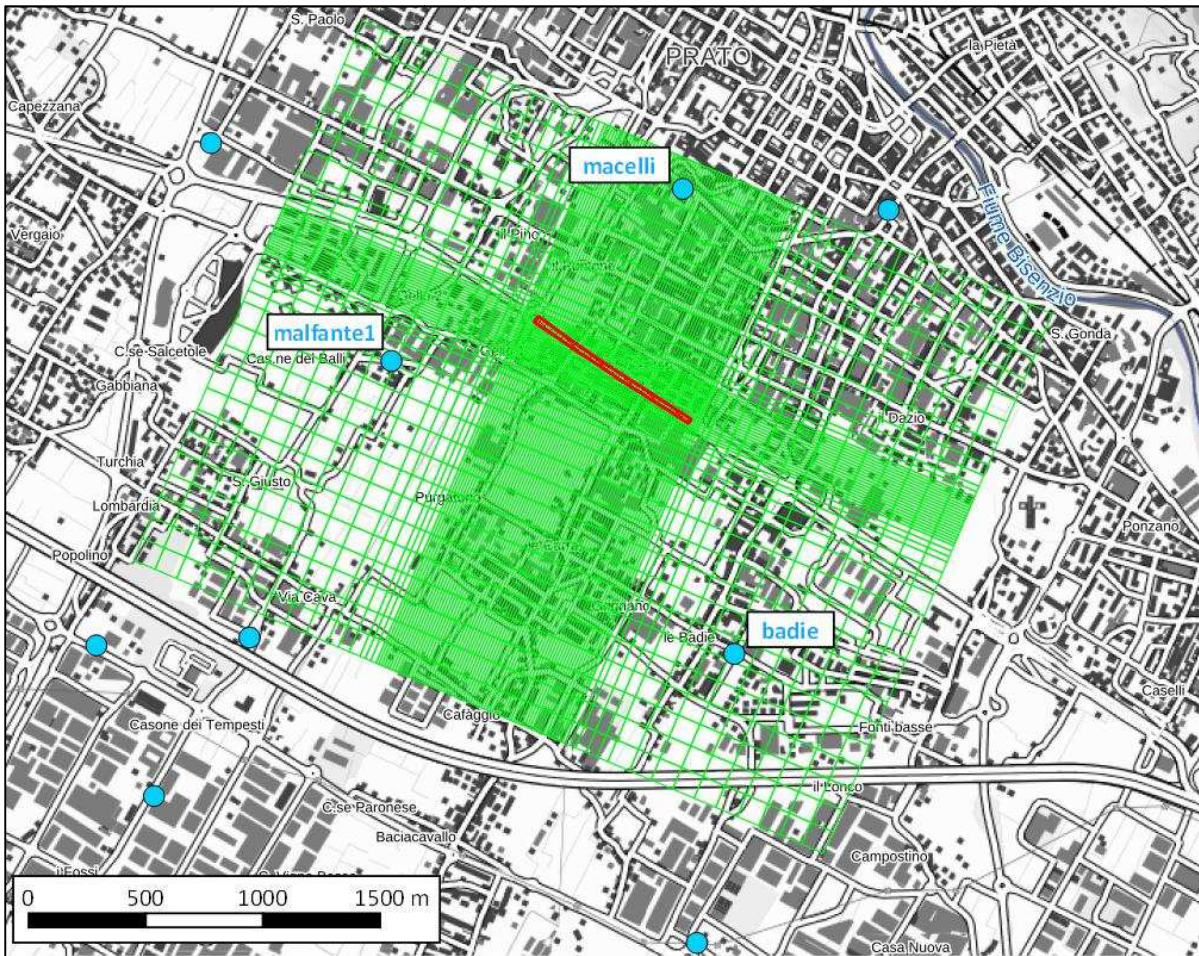


Fig. 6.8. Ubicazione dei pozzi Macelli e Badie

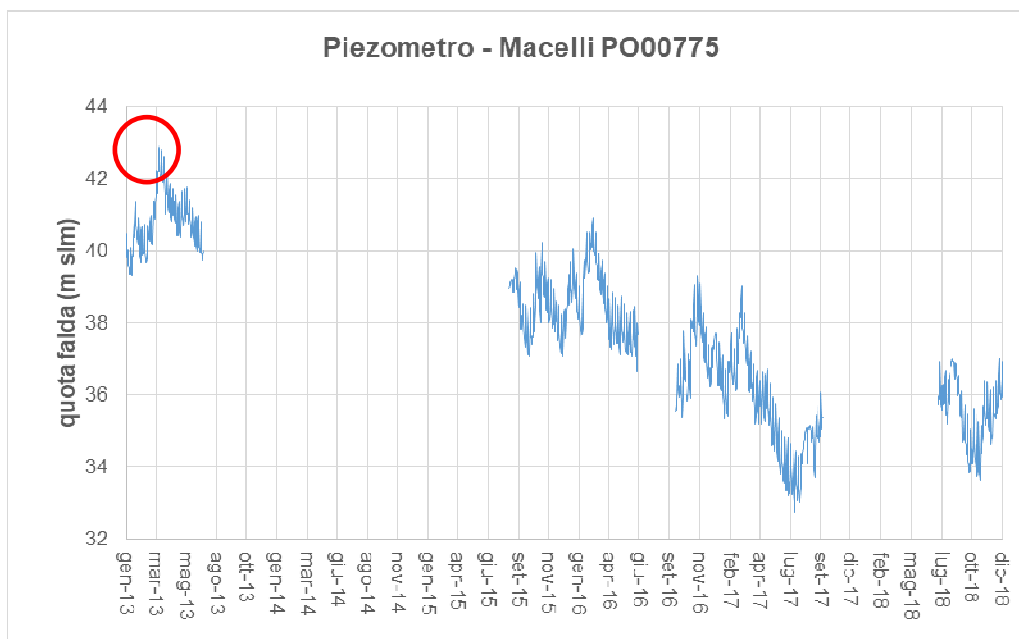


Fig. 6.9. Livelli di falda nel piezometro Macelli (dati Publiacqua) 2013-2018.

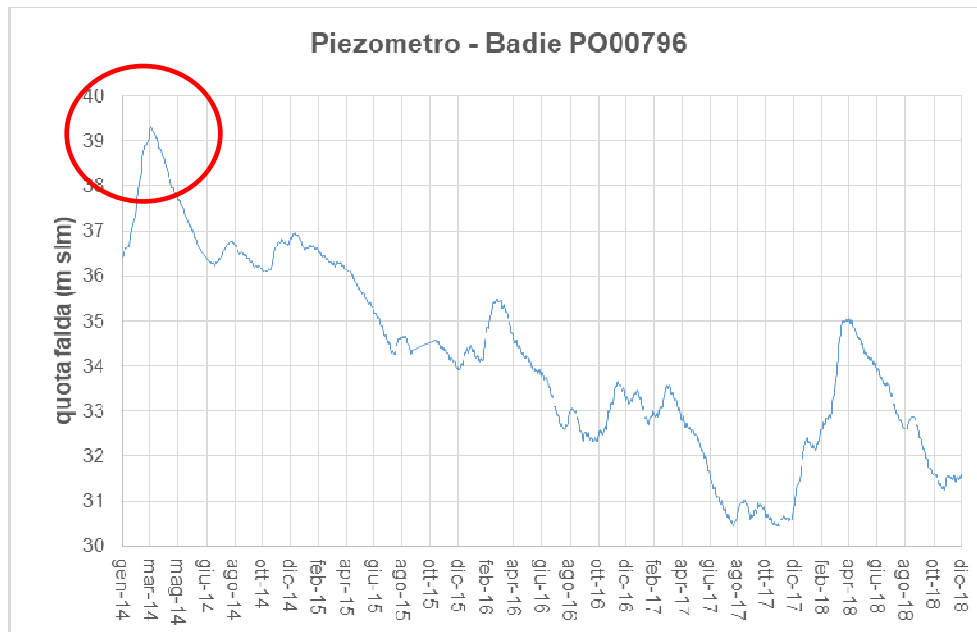


Fig. 6.10. Livelli di falda nel piezometro Badie (dati Publiacqua) 2014-2018.

Allo stesso periodo risalgono le misure effettuate nei piezometri installati nella campagna di indagini del 2012-2013 (cfr. Tab. 6.1.), che fanno registrare una quota della falda di a circa 40,2m.s.l.m. dunque compatibile con le misure piezometriche contemporanee.

La risalita della falda nel suddetto periodo coincise con il picco della crisi del settore tessile, che comportò una sensibile diminuzione degli emungimenti industriali. Poiché il fenomeno aveva iniziato a creare alcuni problemi su edifici/infrastrutture, a seguito di un accordo tra vari Enti, fu stabilito di incrementare gli emungimenti per uso idropotabile dai pozzi in ambito urbano al fine di abbassare il livello della falda. Dal Giugno 2014 si assiste infatti ad un progressivo abbassamento del livello medio della piezometrica.

Dalle mappe di cui alle Figg. 6.4. e 6.5., che riportano le piezometriche di morbida e di magra per il 2015, risulta che la quota della falda nell'area di progetto sarebbe compresa fra 32 e 35m.s.l.m in periodo di morbida e fra 30 e 33m.s.l.m. in periodo di magra.

Le misure piezometriche effettuate nei piezometri installati nell'area di progetto a partire dalla loro installazione (2012-2013) sono riportate nella seguente Tab. 6.1.:

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.
S2_2012	49,84	10/02/2012	13,50	36,34
		17/04/2013	11,45	38,39
		13/02/2014	9,75	40,09
S3_2013	50,68	17/04/2013	12,14	38,54
		13/02/2014	10,50	40,18
S02_N	49,750	07/11/2018	17,64	32,11
		07/06/2019	19,96	29,79
		29/11/2019	17,16	32,59
S03_N	50,555	13/11/2018	17,70	32,85
		07/06/2019	20,74	29,81

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.
		29/11/2019	piezometro rotto	
S04_N	49,952	11/11/2018	17,77	32,18
		07/06/2019	20,20	29,75
		29/11/2019	17,71	32,24
S06_N	49,443	26/10/2018	17,60	31,84
		07/06/2019	non accessibile	
		29/11/2019	non accessibile	
P	50,894	21/11/2018	18,10	32,79
		07/06/2019	21,03	29,86
		29/11/2019	18,23	32,66

Tab. 6.1. Letture piezometriche nell'area di progetto

Come si può osservare dalla tabella, le misure del Novembre 2018 e del Novembre 2019, riferibili a periodi di morbida, sono corrispondenti, con quota massima della falda a 32,8m.s.l.m. circa. Nel periodo 2012-2019 la quota della falda ha oscillato da un minimo di 29,75m.s.l.m. ad un massimo di 40,18m.s.l.m..

Le isopiezometriche riportate nella Carta Idrogeologica del Piano Strutturale di Prato (Fig. 6.11.), riferite al 2011, mostrano che l'area di progetto si troverebbe tra l'isopiezometrica dei 38m.s.l.m. e quella dei 39m.s.l.m.. Tali quote risultano essere molto vicine ai valori misurati nei piezometri nel 2012-2013 ma ben differenti da quelle derivate dalla modellazione del 2015: considerando una quota media del piano campagna nell'area di progetto pari a 50,11m, ne deriva che la soggiacenza si collocherebbe circa tra 11 e 12m da p.c. (2011) contro i 15-18m del 2015. Evidentemente nel 2015 era già in corso l'abbassamento della piezometrica dovuto al maggiore pompaggio dai pozzi.

La Carta Idrogeologica del PS riporta inoltre le classi di permeabilità riferite alla litologia superficiale. Tale distinzione deriva dalla tavola QC_GEO_05 Stratigrafia della Piana del PTC della Provincia di Prato (2008), basata, stando alla Relazione di PTC, sull'analisi di dati stratigrafici ubicati in tutta la pianura pratese.

La Carta Idrogeologica annessa a questo lavoro (elaborato 02.10_P00_GEO0_GEO_CI01_A) riporta, oltre alla zonazione della permeabilità di superficie della cartografia di PS, anche le isopieze di morbida del 2015 e l'ubicazione dei pozzi così come risulta dalle banche dati Publiacqua e AdB.

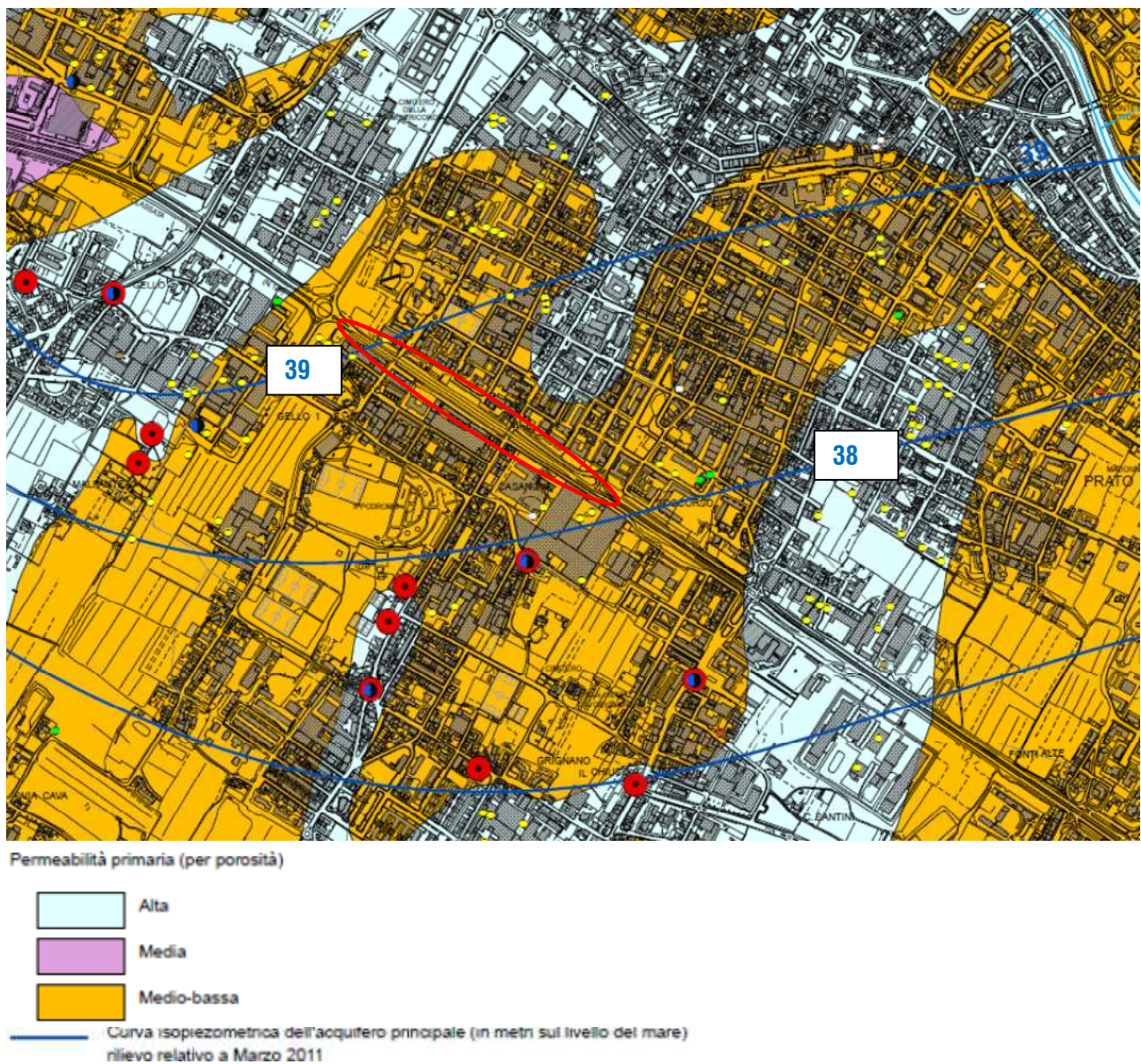


Fig. 6.11. Estratto da Carta Idrogeologica – Piano Strutturale del Comune di Prato

Sulla base del quadro conoscitivo sopra descritto ed in base alle misure piezometriche effettuate, risultano in sintesi i seguenti dati:

- quota della falda massima ipotizzabile: 45,40m.s.l.m. o 4,5m da piano campagna
- variazione della quota di falda in base alle misure del 2012-2019 da 29,75 a 40,18m.s.l.m.

Per quanto riguarda il valore della quota di falda di progetto è stata scelta dai progettisti la quota di 45,40m.s.l.m. che rappresenta la quota massima a cui, in base alla storia della falda nella pianura pratese, può ipoteticamente tendere la superficie piezometrica nel lungo periodo qualora si verificassero condizioni al contorno analoghe a quelle pre-industriali e pre-sviluppo urbano.

Per quanto riguarda la falda in fase di esecuzione lavori i progettisti hanno tenuto come riferimento la quota massima misurata nel periodo 2012-2019, ovvero 40,18m.s.l.m. che risulta essere riferita alla risalita della falda del 2014, poi soggetta ad abbassamento a seguito dell'aumento degli emungimenti idropotabili dai pozzi in ambito

urbano. Tale quota potenzialmente interferente con le quote di scavo (39,60m circa) qualora si dovessero verificare le medesime condizioni che hanno determinato il rialzamento della piezometrica nel 2014.

Per tale ragione è previsto un sistema di aggotamento per l'eventuale allontanamento delle acque dall'area di scavo; per i dettagli si rimanda agli specifici elaborati.

In considerazione inoltre della possibilità di interferenza con la falda in fase di esercizio (si ricorda che la falda di progetto è stata assunta a 4,5m da piano campagna) sono state previste impermeabilizzazioni sia alla base che sulle pareti dell'opera. Per i dettagli si rimanda alle relative tavole progettuali.

Permeabilità

La campagna di indagini del 2018 ha compreso l'esecuzione di 21 prove Lefranc e 3 slug test nell'ambito dello spessore dei materiali di conoide che costituiscono l'acquifero.

I risultati delle prove Lefranc sono riepilogati nella seguente tabella 6.2.:

N.	ID	N. Prova	Tratto di prova (da)	Tratto di prova (a)	K (m/s)	litologia
1	S02_N	LF1	7.50	8.50	5.80 E-05	Ghiaia con sabbia deb. limosa
2	S02_N	LF2	12.00	13.00	4.60 E-05	Sabbia con ghiaia deb. limosa
3	S02_N	LF3	18.00	19.00	1.40 E-05	Ghiaia con sabbia limosa
4	S02_N	LF4	22.50	23.50	3.20 E-05	Sabbia con limo e ghiaia
5	S03_N	LF1	7.50	8.50	5.10 E-05	Sabbia limosa ghiaiosa ed argillosa
6	S03_N	LF2	12.00	13.00	3.20 E-06	Sabbia ghiaiosa in abbondante matrice limosa ed argillosa
7	S03_N	LF3	18.00	19.00	1.30 E-05	Ghiaia con sabbia limosa deb. argillosa
8	S03_N	LF4	24.00	25.00	6.70 E-06	Ghiaia in abbondante matrice sabbiosa limosa ed argillosa
9	S04_N	LF1	6.00	7.00	3.60 E-05	Ghiaia con sabbia limosa argillosa
10	S04_N	LF2	10.50	11.50	2.40 E-05	Ghiaia con sabbia limosa e argillosa
11	S04_N	LF3	18.00	19.00	1.80 E-05	Ghiaia con sabbia limosa e argillosa
12	S04_N	LF4	24.00	25.00	5.20 E-05	Ghiaia con sabbia limosa e argillosa
13	S06_N	LF1	4.50	5.50	1.30 E-05	Sabbia con ghiaia deb. limosa
14	S06_N	LF2	10.50	11.50	2.30 E-05	Sabbia con ghiaia deb. limosa
15	S06_N	LF3	18.00	19.00	1.50 E-05	Sabbia con ghiaia deb. limosa
16	S06_N	LF4	22.50	23.50	3.20 E-05	Sabbia con ghiaia deb. limosa
17	P	LF1	6.00	7.00	5.00 E-05	Ghiaia sabbiosa limosa ed argillosa
18	P	LF2	12.00	13.00	4.10 E-06	Ghiaia in abbondante matrice sabbiosa limosa ed argillosa
19	P	LF3	18.00	19.00	8.50 E-06	Ghiaia in abbondante matrice sabbiosa limosa ed argillosa
20	P	LF4	24.00	25.00	1.10 E-05	Ghiaia in matrice sabbiosa limosa ed argillosa
21	P	LF5	28.50	29.50	5.30 E-05	Ghiaia sabbiosa limosa ed argillosa

Tab. 6.2. Sintesi risultati prove Lefranc

In tab. 6.3. sono sintetizzati i risultati degli slug tests:

N.	ID	N. Prova	Kr (m/s)
1	P	SL1	4.28 E-04
2	S04_N	SL1	1.48 E-04
3	S06_N	SL1	1.35 E-04

Tab. 6.3. Sintesi risultati slug tests

Tra i valori di permeabilità determinati mediante le prove Lefranc e quelli determinati mediante gli slug tests c'è circa un ordine di grandezza:

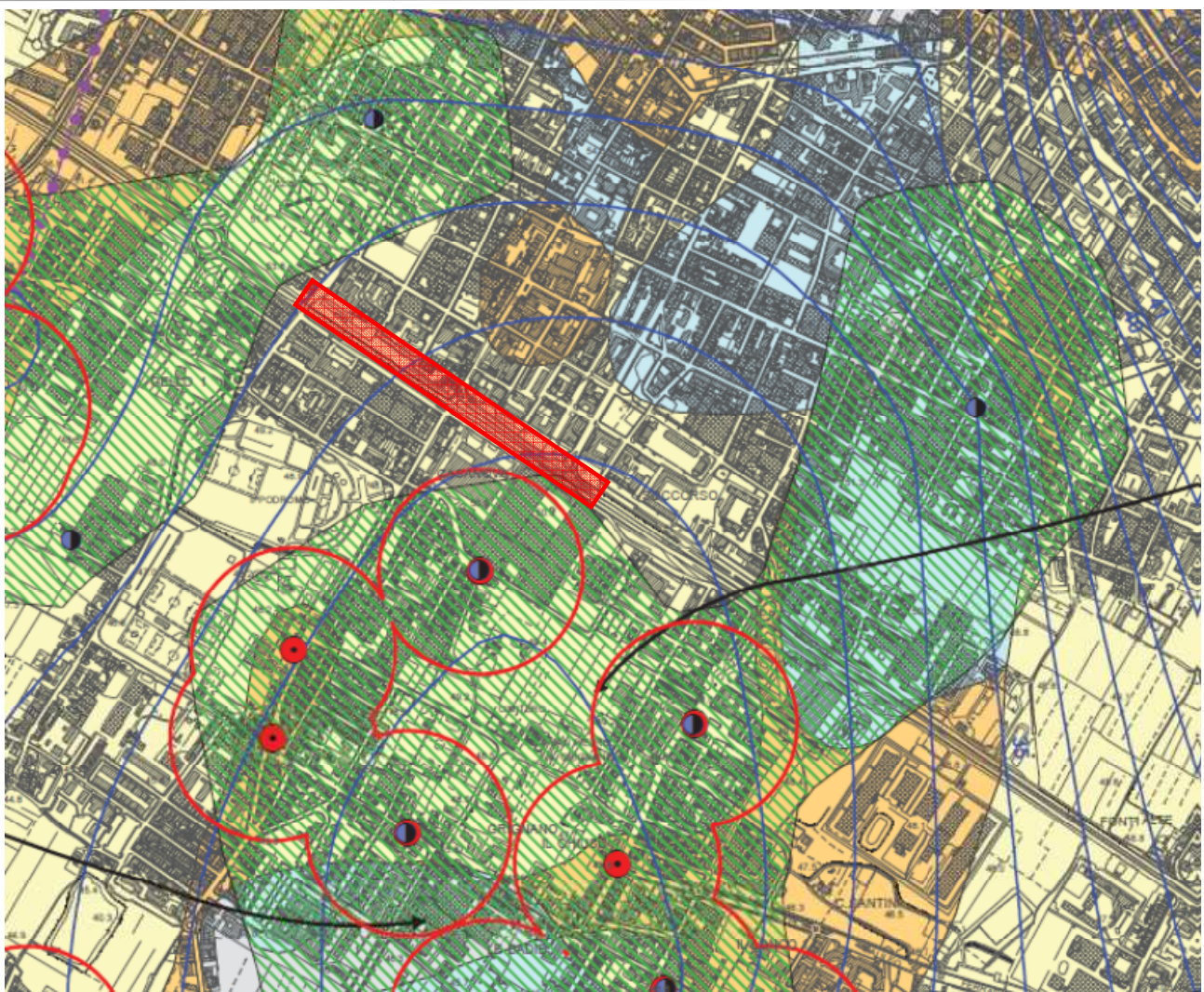
- | | | |
|-----------------|---------------|---------------|
| - prove Lefranc | Kmin 3,20E-06 | Kmax 5,80E-05 |
| - slug test | Kmin 1,35E-04 | Kmax 4,28E-04 |

La differenza tra le due prove è che la prova Lefranc ha un valore strettamente puntuale, mentre lo slug test è effettuato sull'acquifero e quindi caratterizza un volume di terreno maggiormente rappresentativo rispetto alla prova Lefranc. Ai fini di questo lavoro si ritiene più rappresentativo il valore di permeabilità derivato dagli slug tests, che si allinea con i parametri dell'acquifero derivati dal modello dell'Autorità di Bacino/Publiacqua e che sono stati utilizzati per la modellazione tridimensionale, cui si rimanda per i dettagli.

Vulnerabilità della falda

La Carta delle Problematiche Idrogeologiche del Piano Strutturale (Fig. 6.12) mostra, per l'area di progetto, i seguenti elementi:

- vulnerabilità della falda medio-bassa
- vicinanza, a valle dell'area di progetto, di aree di rispetto di pozzi
- aree a disponibilità molto inferiore alla capacità di ricarica.



VULNERABILITA' DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Terreni sciolti

- Alta
- Media
- Medio-bassa
- Bassa

 Area di rispetto dei pozzi e delle sorgenti (D.Lgs. n°152/06)

DISPONIBILITA' DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Progetto di Piano di Bacino Stralcio "Bilancio Idrico" (Del.C.I. n.24 del 28 Febbraio 2008)

D4 - area a disponibilità molto inferiore alla capacità di ricarica (art.9): in cui il disavanzo relativo tra la ricarica media della falda per unità di superficie ed i prelievi risulta molto elevato (superiore a 10.000 mc/ha)

Fig. 6.12. Estratto da Carta delle Problematiche Idrogeologiche – Piano Strutturale del Comune di Prato

La definizione delle aree a diversa vulnerabilità deriva, analogamente alle classi di permeabilità della Carta Idrogeologica del Piano Strutturale, dalla tavola QC_GEO_05 Stratigrafia della Piana del PTC della Provincia di Prato (2008). Tale elaborato si riferisce alla litologia superficiale, localmente rappresentata dai depositi alluvionali recenti, a litologia medio-fine, che ricoprono i depositi alluvionali di conoide, a litologia grossolana. Poiché le lavorazioni nell'ambito del progetto comportano interferenze dirette con i depositi di conoide, grossolani e con permeabilità più elevata rispetto alla copertura, è necessaria dunque una rivalutazione della vulnerabilità da adottare per questo lavoro.

Secondo lo schema in Fig. 6.13, i depositi di conoide, interessati dall'opera, hanno una permeabilità media, da cui deriva una modesta protezione nei confronti della falda. Si ritiene dunque opportuno considerare la vulnerabilità dell'acquifero come **medio-alta** o **alta**.

k (m/s)	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
GRADO DI PERMEABILITÀ	alto			medio		basso		molto basso		impermeabile		
DRENAGGIO	buono				povero				praticamente impermeabile			
TIPO DI TERRENO	ghiaia pulita		sabbia pulita e miscele di sabbia e ghiaia pulita			sabbia fine, limi organici e inorganici, miscele di sabbia, limo e argilla, depositi di argilla stratificati			terreni impermeabili argille omogenee sotto la zona alterata dagli agenti atmosferici			
						terreni impermeabili modificati dagli effetti della vegetazione e del tempo						

Fig. 6.13. Classi di permeabilità dei terreni. Da Colombo/Colleselli, 1996.

Dal punto di vista operativo è prevista la realizzazione dei pali con tubo camicia e dunque senza fanghi bentonitici. I pali raggiungeranno la quota di circa 17,4m da piano campagna, che, come mostrano le misure piezometriche di cui alla Tab. 6.1., risulta essere vicina alla quota della falda misurata nei mesi di Novembre 2018 e Novembre 2019. L'unico possibile effetto di tale lavorazione è, un locale e temporaneo aumento della torbidità, destinata a diluirsi progressivamente nella direzione del flusso della falda.

Per tutelare la risorsa idrica durante i lavori e, successivamente, per un periodo di almeno un anno dal termine dei lavori, è previsto un piano di monitoraggio delle acque sotterranee nell'intorno dell'opera in progetto.

Nello specifico è previsto il monitoraggio, sia qualitativo che quantitativo, della falda attraverso prelievi e campionamenti da effettuarsi all'interno di n° 5 piezometri e n° 1 pozzo. Dei 5 piezometri 4 saranno appositamente realizzati (2 a nord della galleria artificiale e due a sud), prima dell'inizio dei lavori, esternamente alle aree di lavorazione in modo da garantirne il funzionamento per tutto il periodo dei lavori e anche dopo il completamento dell'opera. Il quinto piezometro sarà rappresentato dal piezometro S06_N recentemente realizzato, all'interno del Centro ippico, durante la campagna geognostica 2018. Il pozzo esistente che sarà monitorato è quello di Publicacqua localizzato all'incrocio tra Via dei Casini e Via Roma.

Per i dettagli delle frequenze di monitoraggio e dei parametri monitorati si rimanda agli specifici elaborati del Piano di Monitoraggio Ambientale (elab. 07.01_P00_MA00_MOA_RE01_A e seguenti).

Interazione opera-falda

L'interazione tra opera e falda freatica è stata valutata in via analitica mediante un modello numerico di flusso. La metodologia di analisi, i dati utilizzati, e gli esiti della modellazione sono riportati nell'elaborato "Relazione modellazione numerica falda-struttura" e relativi allegati (Elaborato 02_P00_ID00_IDR_RE_A) cui si rimanda per la trattazione specifica dell'argomento.

In sintesi, l'analisi è stata effettuata su diverse simulazioni corrispondenti ad altrettanti scenari. La direzione di flusso naturale della falda è stata impostata in direzione ortogonale allo sviluppo dell'opera che, almeno fino alla quota di base della galleria, diventa una barriera impermeabile. In tal modo l'opera si configura come un ostacolo al normale flusso dell'acqua determinando un innalzamento del livello lungo il fronte Nord ed un conseguente abbassamento lungo quello Sud. Le elaborazioni sono state eseguite su 48 stress-periods tra il 2007 ed il 2018 basati su valori reali di soggiacenza a cui è stata aggiunta una simulazione (non riferita ad uno specifico intervallo di tempo) dell'interferenza dell'opera con una soggiacenza della falda pari a 4,5m, considerata la quota massima raggiungibile in base alla documentazione disponibile.

Nella seguente Tab. 6.4. sono riportati i risultati dei valori massimi di innalzamento dovuto all'opera derivati dagli scenari più critici in ipotesi di pali secanti o di apertura tra i pali:

scenario simulato	sogg. falda STATO ATTUALE (m)		sogg. falda STATO DI PROGETTO (m)		INNALZAMENTO MASSIMO ATTESO con emungimento	INNALZAMENTO MASSIMO ATTESO senza emungimento
	con emungimento	senza emungimento	con emungimento	senza emungimento		
Apr-Mag-Giu 2014	11.81		11.55		0.26	
falda massima ipotizzabile (apertura tra i pali)	9.89	4.21	9.56	3.99	0.33	0.22
falda massima ipotizzabile (pali secanti)	9.86	4.26	9.3	3.92	0.56	0.34

Tab. 6.4. Valori di innalzamento della falda a causa dell'opera per gli scenari più critici

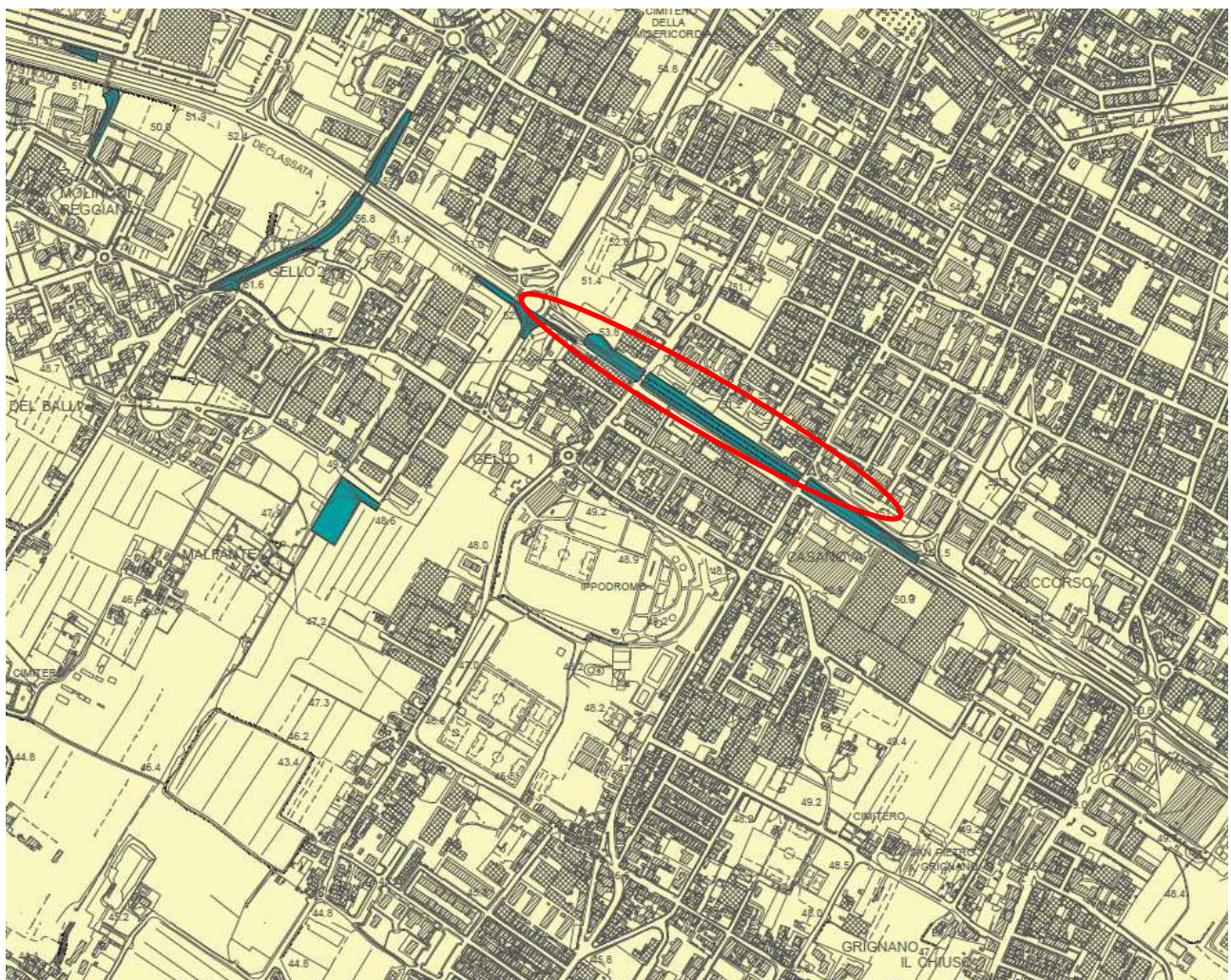
Come si può osservare, l'opera consente il deflusso delle acque di falda introducendo un disturbo che genererebbe, nelle condizioni ipotizzabili in base ai dati al momento disponibili, un innalzamento massimo di 50-60cm a monte; in base alla modellazione la fascia di risentimento di tale disturbo non si estende, nel peggiore dei casi, oltre i 150-160m rispetto all'asse dell'opera.

7 PERICOLOSITA' E FATTIBILITA'

In questo capitolo vengono illustrate le condizioni di pericolosità così come individuate nel Piano Strutturale del 2019 e nel PGRA; successivamente vengono individuate, sulla base del Piano Operativo Comunale (2019) le classi di fattibilità e le relative norme di riferimento.

7.1 PIANO STRUTTURALE - PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

L'area di progetto ricade in classe di **pericolosità geomorfologica G2-Media** cui corrispondono, nello specifico, "aree caratterizzate da bassa propensione al dissesto in relazione alla pendenza del versante ed alla litologia: terreni alluvionali con pendenze minori del 25%" (Fig. 7.1.). Non vi sono per le aree ricadenti in questa classe di pericolosità, particolari prescrizioni e/o limitazioni.



G.2 - MEDIA

Area caratterizzata da bassa propensione al dissesto in relazione alla pendenza del versante ed alla litologia:

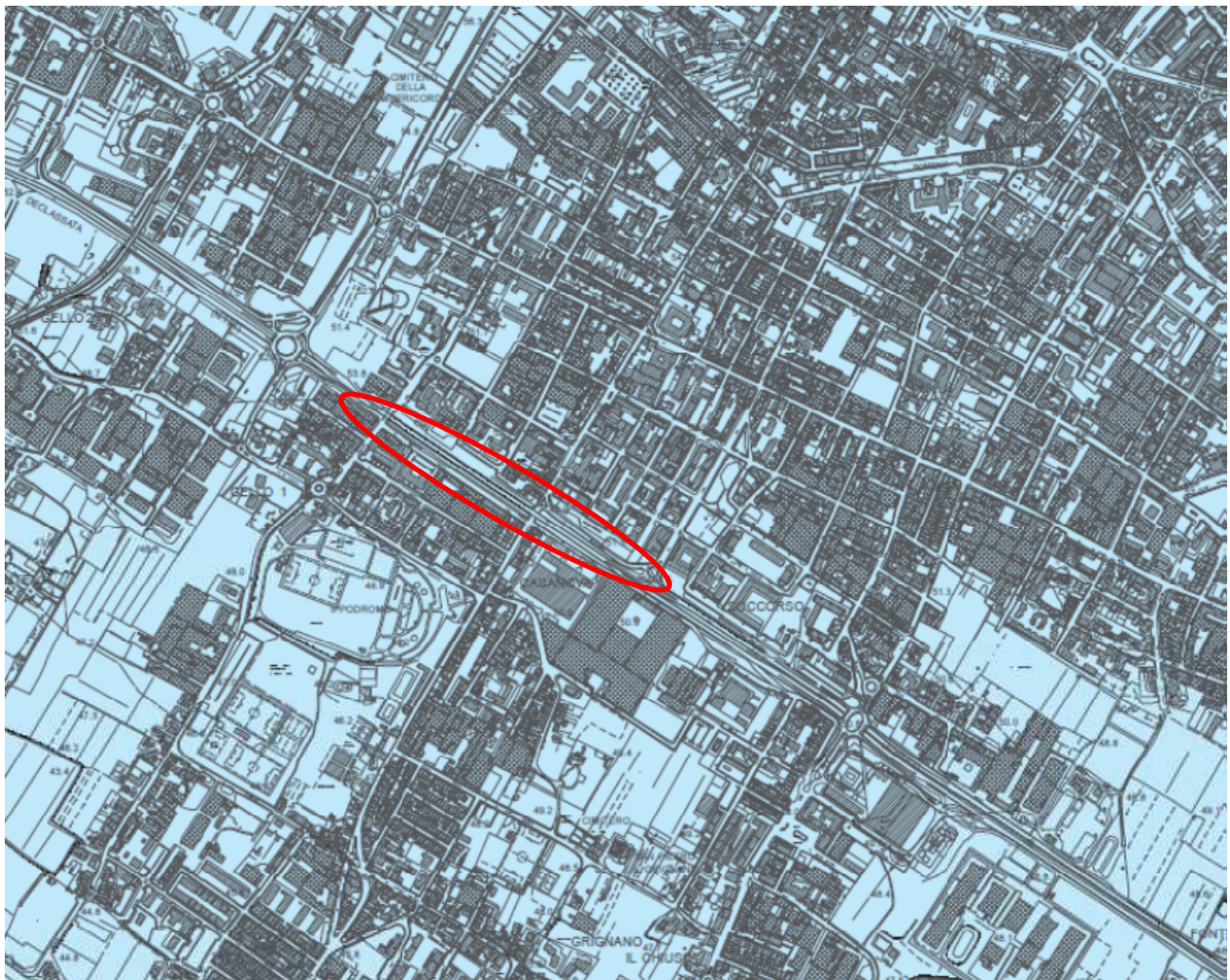
- terreni alluvionali con pendenze minori del 25%

Zona con elementi antropici a forte impatto (rilevati, dighe, riporti di terreno)

Fig. 7.1. Estratto da Carta della Pericolosità Geomorfologica – Piano Strutturale del Comune di Prato

7.2 PIANO STRUTTURALE - PERICOLOSITA' IDRAULICA

La Carta della Pericolosità Idraulica di Piano Strutturale (Fig. 7.2.), che già tiene conto del PGRA dell'AdB Arno, mostra che l'area di progetto ricade in classe di **pericolosità idraulica I2 rispetto al DPGR 53/R/2011 e P1 rispetto al PGRA**. In queste classi ricadono "aree interessate da allagamenti per eventi con $Tr > 200$ anni, aree di fondovalle per le quali ricorrono le seguenti condizioni: 1) non vi sono notizie storiche di inondazioni, 2) sono in condizioni di alto morfologico rispetto alla piana adiacente poste ad una quota superiore di 2m rispetto alla quota del piede dell'argine o del ciglio di sponda".



Pericolosità media (I2), da alluvione bassa (P1)


-  aree interessate da allagamenti per eventi con Tr superiore a 200 anni
 aree di fondovalle per le quali ricorrono le seguenti condizioni:
- non vi sono notizie storiche di inondazioni
 - sono in condizioni di alto morfologico rispetto alla piana adiacente poste ad una quota superiore di 2 metri rispetto alla quota del piede dell'argine o del ciglio di sponda

Fig. 7.2. Estratto da Carta della Pericolosità Idraulica – Piano Strutturale del Comune di Prato

Per quanto concerne la L.R. 41/2018, la tavola IDRA-13_Magnitudo Idraulica del Piano Strutturale (Fig. 7.3.) mostra che l'area di progetto non rientra tra quelle classificate con magnitudo idraulica. Non si applicano quindi le norme di cui alla suddetta normativa.

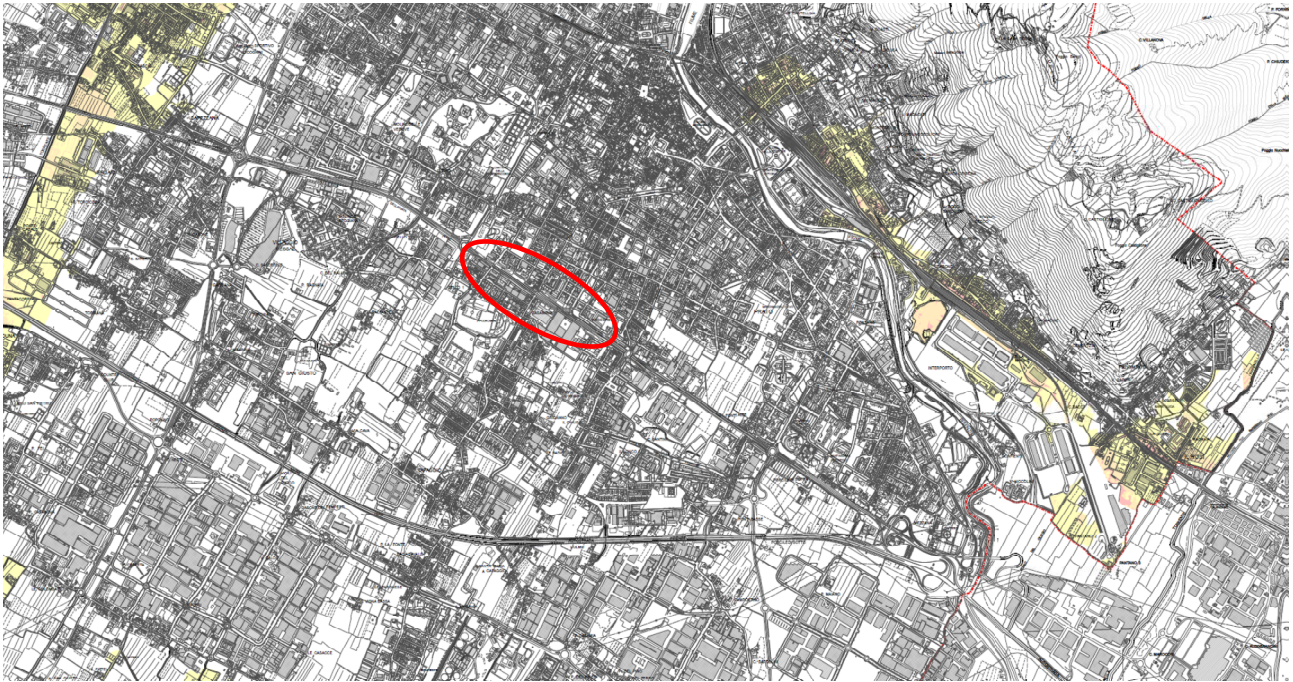
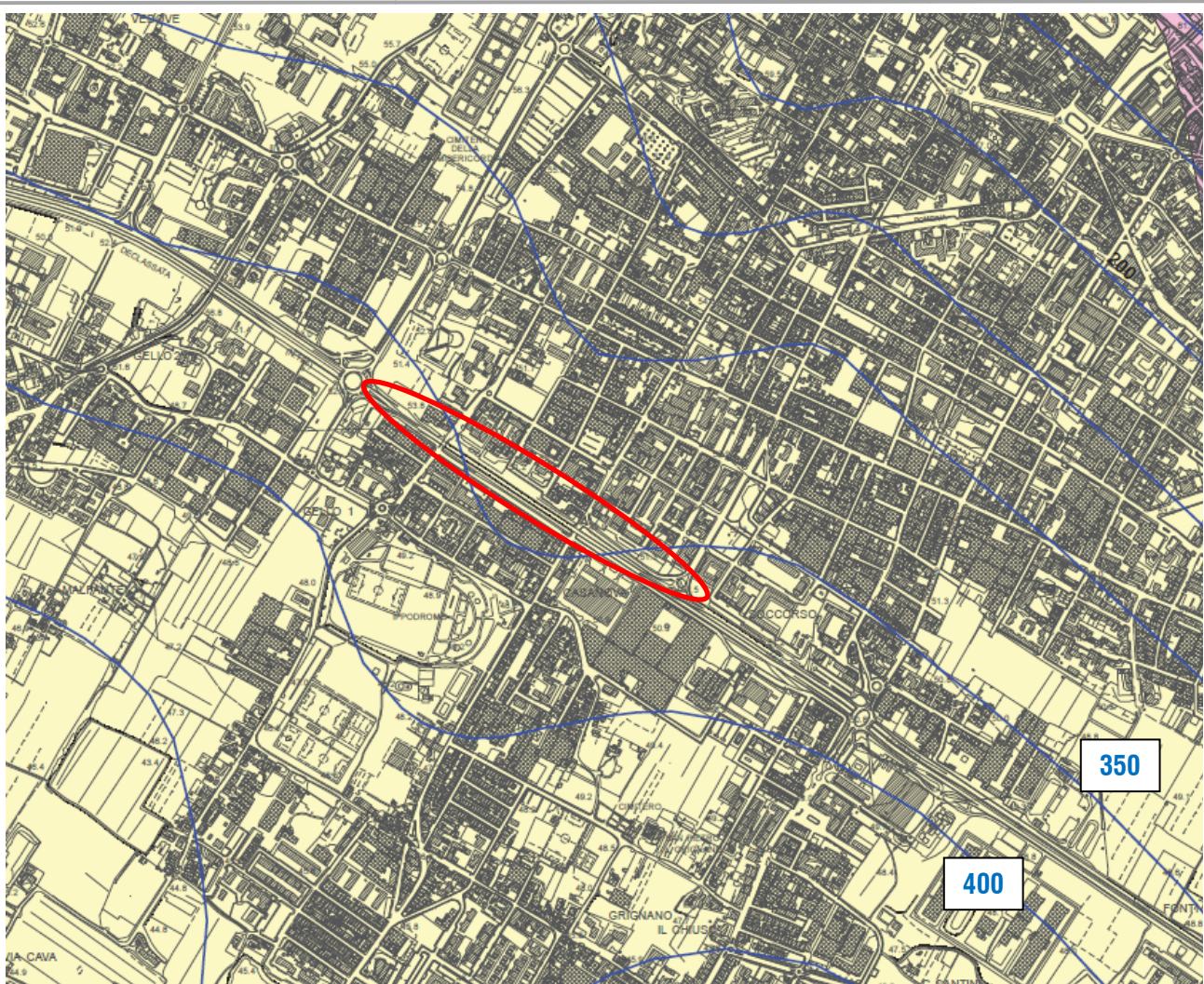


Fig. 7.3. Carta della Magnitudo Idraulica – Piano Strutturale del Comune di Prato

7.3 PIANO STRUTTURALE - PERICOLOSITA' SISMICA

L'area di progetto ricade in classe di **pericolosità sismica S2-Pericolosità sismica locale media**: "zone stabili suscettibili di amplificazioni locali". Le isobate del substrato mostrano che localmente la profondità del tetto è collocata ad una profondità compresa tra 350 e 400m (Fig. 7.4.).



S.2 Pericolosità sismica locale media

- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
- Zone dove affiora il substrato roccioso con pendenze superiori ai 15°
- Zone dove affiora il substrato roccioso fratturato

100 — Isobate del substrato roccioso (profondità in metri rispetto al piano di campagna)

Fig. 7.4. Estratto da Carta della Pericolosità Sismica – Piano Strutturale del Comune di Prato

7.4 PGRA

Con le delibere del Comitato Istituzionale n. 231 e 232 del 17 dicembre 2015 è stato adottato il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del bacino del fiume Arno con apposizione delle misure di salvaguardia. Successivamente con delibera del Comitato Istituzionale n. 235 del 3 marzo 2016 il Piano è stato definitivamente approvato. Il PGRA dell'Arno rappresenta un forte elemento di innovazione in quanto sostituisce a tutti gli effetti per ciò che riguarda la pericolosità da alluvione (con una nuova cartografia, nuove norme nonché la mappa del rischio da alluvioni redatta ai sensi del D.lgs. 49/2010) del PAI (Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico). Il lavoro svolto per l'applicazione dei disposti della direttiva nel bacino, ha infatti permesso di aggiornare e modernizzare il quadro conoscitivo

esistente, renderlo coerente con i requisiti richiesti dalla Commissione europea e, quindi, di giungere ad una semplificazione delle norme e delle procedure in materia di pericolosità e rischio di alluvioni. La disciplina di PGRA va quindi a subentrare alle disposizioni previste dalle norme di PAI con particolare riguardo ai disposti del "Capo I – Pericolosità Idraulica".

In Fig. 7.5. è riportato lo stralcio della Carta della Pericolosità da alluvioni del PGRA per l'area interessata dall'infrastruttura. Come si può osservare, l'opera ricade nell'ambito di una vasta porzione di territorio si svolge su aree classificate in P1 secondo le definizioni di cui all'art. 6 delle Norme di Piano:

- **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

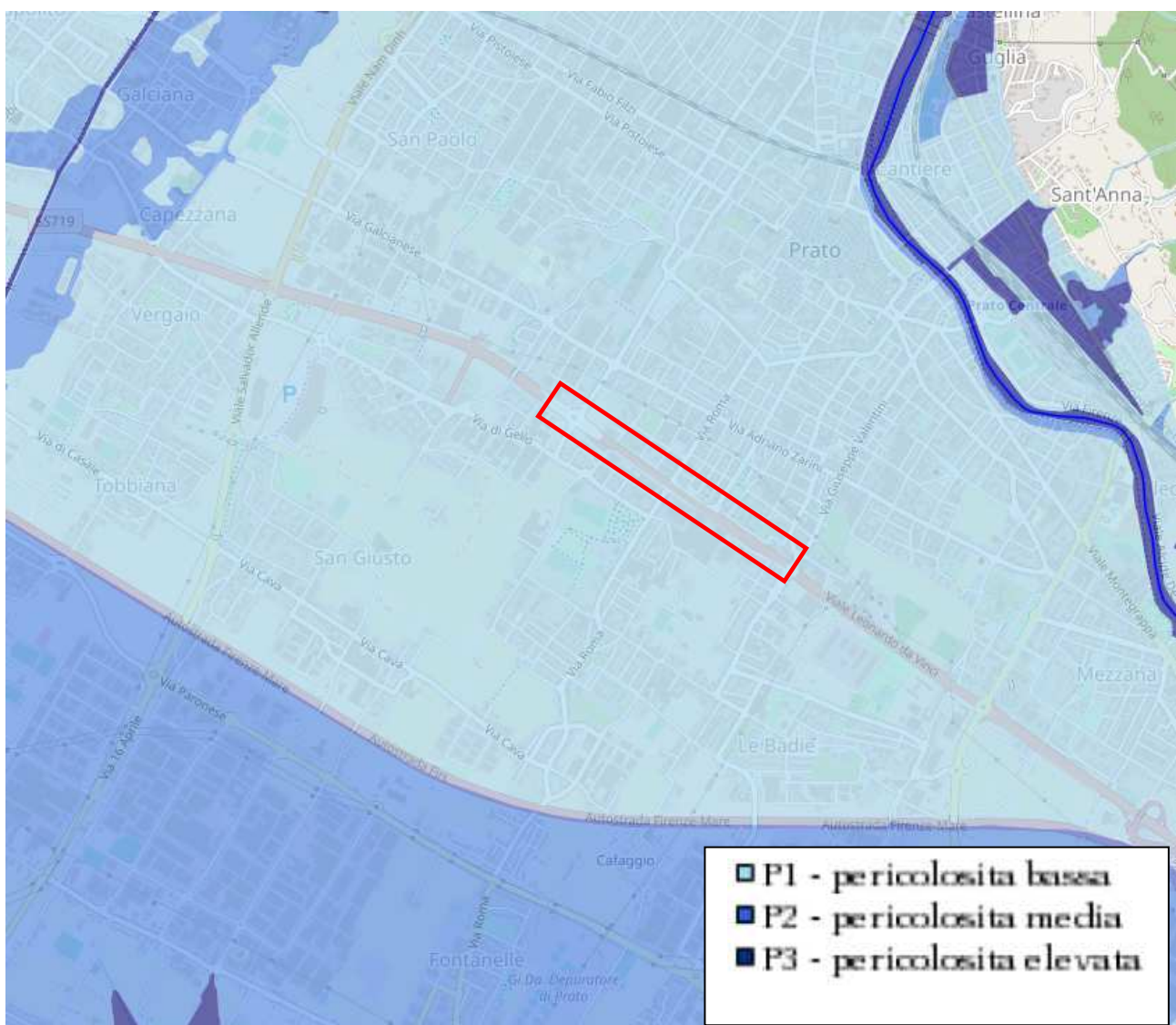


Fig. 7.5. Carta della pericolosità da alluvioni fluviali del PGRA.

Per la classe P1 si fa riferimento all'art. 11 comma 1 delle Norme di Piano:

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.

7.5 FATTIBILITA'

Per quanto concerne la Fattibilità si fa riferimento alle NTA del POC del Comune di Prato, Titolo III "Fattibilità Geologica, Idraulica, Sismica e Ambientale" Capo I art.11 e, più in dettaglio, all'abaco ivi contenuto di cui si riporta un estratto qui di seguito:

Tipi di intervento	Pericolosità											
	Geologica*			Idraulica*				Sismica*				
	G.2	G.3	G.4	I.1	I.2	I.3	I.4	S.1	S.2	S.3	S.4	
Nuova viabilità*, sottopassi*, piazze, nuovi parcheggi* e/o ampliamenti e/o adeguamenti di strade e parcheggi esistenti*	Fg.2	Fg.3	Fg.4	Fi.1	Fi.2	Fi.3	Fi.4	Fs.1	Fs.2	Fs.3	Fs.4	

In base alle classi di pericolosità, l'intervento ricade in:

Classe di fattibilità geologica FG2

Classe di fattibilità idraulica FI2

Classe di fattibilità sismica FS2

La classe di fattibilità 2 "Fattibilità con normali vincoli" è così definita a livello generale nell'art. 11: "si riferisce alle previsioni urbanistiche e infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia".

Dalla definizione di cui sopra, per le tre tipologie di fattibilità derivano rispettivamente le definizioni di cui all'art. 12:

Fattibilità geologica

Fattibilità con normali vincoli (Fg.2)

Le previsioni soggette a fattibilità geologica con normali vincoli sono attuabili a seguito della effettuazione, a livello esecutivo, dei normali studi geologico-tecnici previsti dalla normativa vigente in materia, in particolare il D.P.G.R. n. 36/R/09 e il D.M. 17 gennaio 2018 (NTC 2018), finalizzati anche alla verifica del non aggravio dei processi geomorfologici eventualmente presenti nell'area di intervento.

Fattibilità idraulica

Fattibilità con normali vincoli (Fi.2)

Per l'attuazione degli interventi urbanistico-edilizi ed infrastrutturali previsti dal Piano Operativo è necessario rispettare quanto prescritto al successivo art. 19 delle presenti norme relativamente alla mitigazione degli effetti indotti dalle nuove realizzazioni al regime dei suoli. Nel caso in cui gli interventi ricadano all'interno delle aree soggette a ristagni dovuti alla difficoltà di drenaggio delle acque meteoriche individuate nella tavola del Piano Strutturale DRA10 "Carta dei ristagni con TR 200 anni relativa al reticolo di drenaggio delle acque basse del Comune di Prato" per la realizzazione degli interventi si dovranno adottare le misure di cui al punto 6 del presente articolo.

Come già esposto, l'area di progetto non ricade nell'ambito delle aree di ristagno. L'art. 19 dispone linee guida da adottare nei confronti del reticolo drenante relative alla progettazione di vari tipologie di intervento. Nello specifico, per quanto di competenza, il Comma 5 recita:

5. Sistema idrogeologico: *allo scopo di salvaguardare il sistema idrogeologico, per qualunque intervento che provochi consistenti variazioni morfologiche del suolo diverse dalle tradizionali lavorazioni agricole, comportanti sostanziali movimenti di terra, rialzamenti o variazioni di quota e/o modifiche significative della rete dei fossi o canali esistenti, dovrà essere opportunamente verificata, mediante analisi e studi specifici, la relativa ricaduta sull'assetto idrogeologico e sulla capacità di permeabilità del suolo.*

Per "sistema idrogeologico" si intende l'insieme delle caratteristiche geomorfologiche, la permeabilità del terreno in funzione della sua capacità di infiltrazione nei confronti delle acque meteoriche e delle modalità di deflusso delle stesse. Il comma 5 si applica in ambiti diversi dalle zone urbanizzate.

Fattibilità sismica

Fattibilità con normali vincoli (Fs.2)

Le previsioni soggette a fattibilità sismica con normali vincoli sono attuabili previa realizzazione, a livello esecutivo, dei normali studi geologico-tecnici e sismici previsti dalla normativa vigente in materia, in particolare il D.P.G.R. n. 36/R/09 e il D.M. 17 gennaio 2018 (NTC 2018).

In base alle definizioni sopra esposte, le indagini ed i rilievi effettuati ottemperano ampiamente, per quanto di competenza, alle prescrizioni di fattibilità.

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-neogene (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.

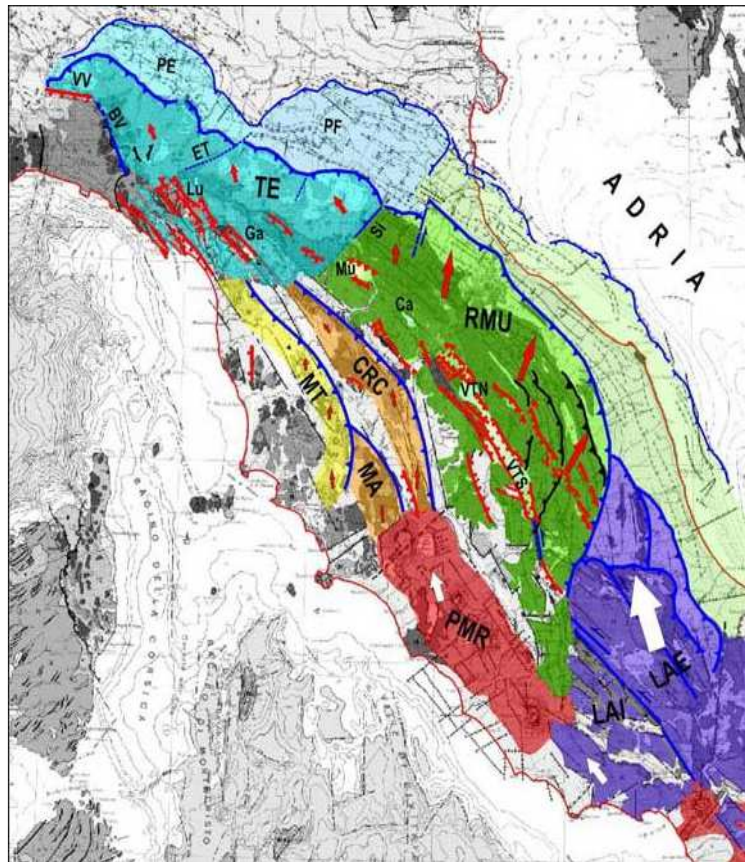


Fig. 8.1. Schema tettonico/cinematico dell'Appennino settentrionale. In colore sono evidenziati i due settori principali in cui l'Appennino settentrionale è suddiviso: cuneo Romagna-Umbria-Marche (RMU, verde) e cuneo Toscana-Emilia (TE, blu). Il raccorciamento longitudinale della catena appenninica è 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).

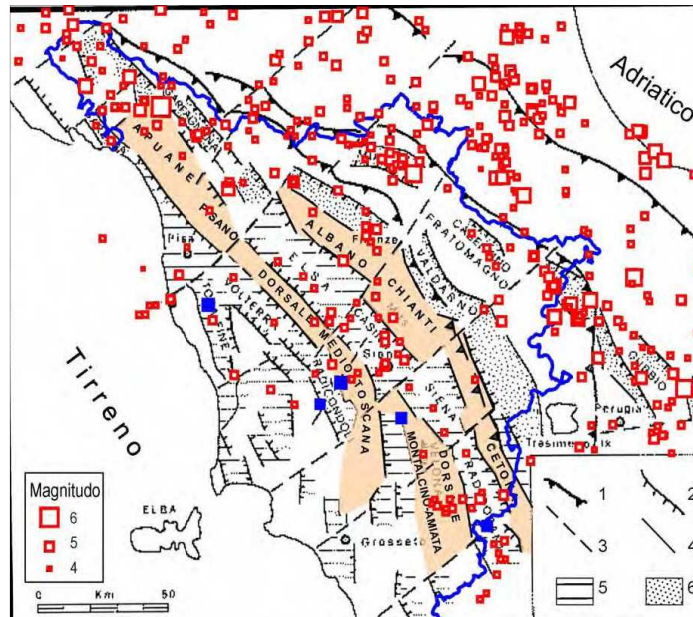


Fig. 8.2. Principali dorsali (nocciola) e bacini interposti nella Toscana interna e terremoti storici con $M > 4$ (simboli rossi). I 4 terremoti storici più intensi sono in blu. 1) fronti di sovrascorrimento, 2) faglie normali, 3) lineamenti tettonici trasversali, 4) faglie normali secondarie, 5) bacini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

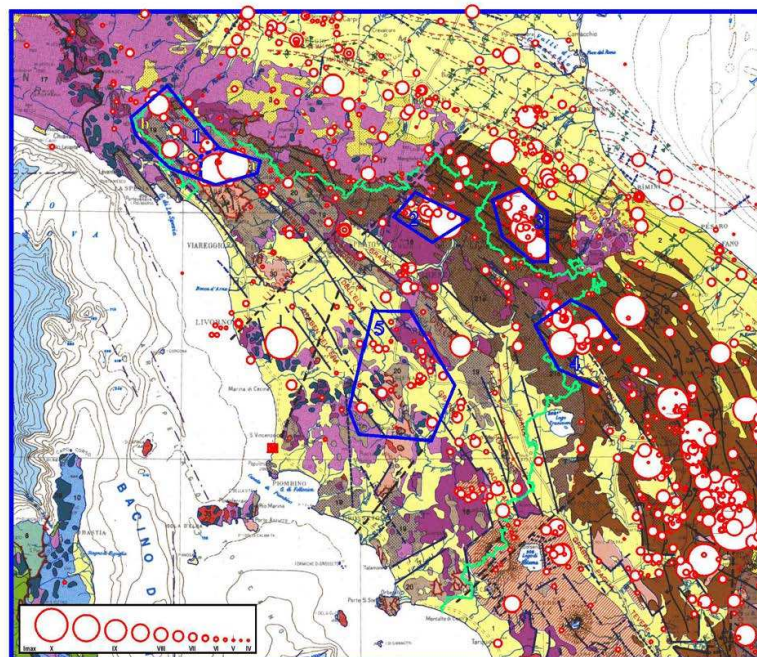


Fig. 8.3. Geometria delle zone sismiche (contorni in blu) e sismicità storica dall'anno 1000 in Toscana e dintorni (Guidoboni e Comastri 2005; Mariotti e Guidoboni 2006; Rovida et alii, 2011). 1) Lunigiana-Garfagnana 2) Mugello 3) Appennino forlivese 4) Alta Valtiberina 5) Chianti-Montagnola senese.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

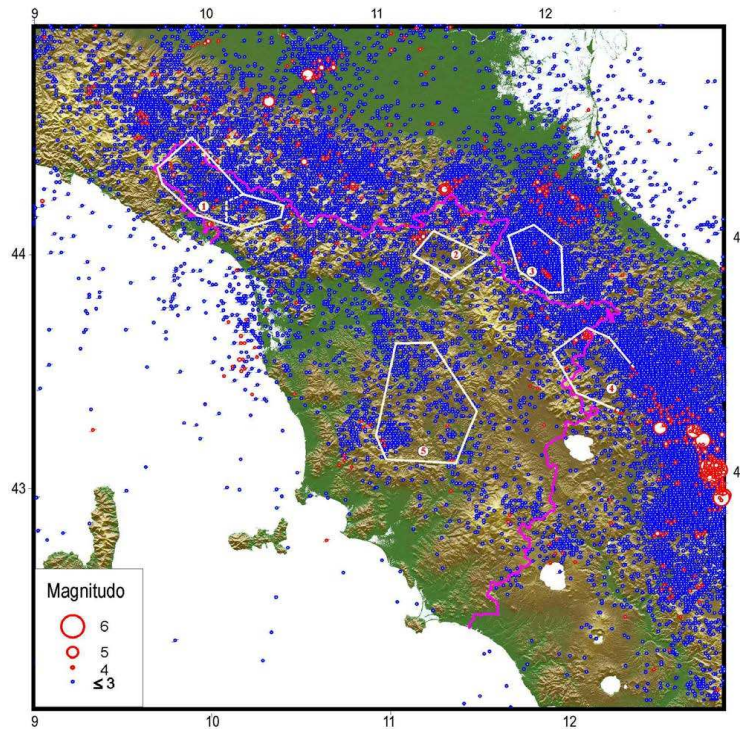


Fig. 8.4. Geometria delle 5 zone sismiche adottate e sismicità strumentale (1981-2010) da Castello *et alii*, (2006), dal Bollettino della Sismicità strumentale INGV (<http://bollettinosismico.rm.ingv.it/>) e da ISIDe Working Group (<http://iside.rm.ingv.it/iside/>). Lo sfondo è costituito da un modello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

Tutta l'area pratese risente principalmente dell'attività sismica sia della zona sismica 2 "Mugello" e, secondariamente, della zona sismica 5 "Chianti-Montagnola Senese".

L'attività sismica della zona del Mugello dipende in gran parte dai movimenti delle principali faglie di Sieve e di Ronta orientate rispettivamente a sud-ovest e a nord-ovest che bordano il bacino del Mugello, interpretato come un *semi-graben* (Mantovani *et alii*, 2011). La lista dei terremoti principali (Tab. 8.1) indica che negli ultimi dieci secoli solo due scosse di $M \geq 5.5$ o $I_{max} \geq 8/9$ sono avvenute in questa zona. Le scosse con $I \geq 7$ sono 12, con tempi di interevento compresi tra 2 e 151 anni. Dall'ultima scossa di $M \geq 5.5$ sono passati 92 anni e dall'ultima di $M \geq 5$ sono passati oltre 50 anni. L'intensità massima registrata in questa zona è 10 (1919, $M = 6.3$).

Per quanto riguarda la zona Chianti-Montagnola Senese, le deformazioni in atto e la relativa sismicità di quest'area sono considerate effetti della deformazione che le dorsali preneogeniche presenti in questa zona, con particolare riferimento alle dorsali Chianti- Rapolano-Cetona e Medio Toscana, subiscono in risposta alla compressione longitudinale indotta dalla spinta della parte interna tirrenica dell'Appennino centro-meridionale. Le scosse principali ($I_{max} \geq 7$) sono elencate in Tab. 8.2. Come descritto in Mantovani *et alii* (2011), le deformazioni in atto e la relativa sismicità della Toscana interna sono considerate effetti della deformazione che le dorsali preneogeniche presenti in questa zona, con particolare riferimento alle dorsali Chianti- Rapolano-Cetona e Medio Toscana, subiscono in risposta alla compressione longitudinale indotta dalla spinta della parte interna tirrenica dell'Appennino centro-meridionale.

Anno	Mese	Giorno	Zona epicentrale	Latitudine (°N)	Longitudine (°E)	Magnitudo (Maw)	Intensità Io (Imax)	T (anni)
1542	6	13	Mugello	44.01	11.39	5.9	9	
1597	8	3	Mugello	43.99	11.43	5.2	7.5	55
1611	9	8	Scarperia	44.01	11.36	5.1	7 (7.5)	14
1762	4	15	Mugello	44	11.51	5.1	7	151
1843	10	25	Mugello	44.01	11.26	5.1	6.5 (7)	82
1864	12	11	Mugello	44.04	11.28	5.1	7	21
1919	6	29	Mugello	43.96	11.48	6.3	10	55
1929	7	18	Mugello	43.99	11.51	5.0	6.5 (7)	10
1931	9	5	Mugello	44.06	11.37	4.8	6 (7)	2
1939	2	11	Marradi	44	11.43	5.0	7	7
1960	10	29	Mugello	44	11.39	5.0	7	22

Tab 8.1. Lista dei terremoti principali ($I_{max} \geq 7$) avvenuti dopo il 1000 nella zona sismica Mugello.

Anno	Mese	Giorno	Zona epicentrale	Latitudine (°N)	Longitudine (°E)	Magnitudo (Maw)	Intensità Io (Imax)	T (anni)
1320	12	16	Siena	43.32	11.33	5.1	7	
1414	8	7	Toscana Occidentale	43.27	11.12	5.6	7.5	94
1724	12	11	Travale	43.21	11.01	5.1	7 (7.5)	310
1741	10	1	Siena	43.32	11.33	5.1	7	17
1798	5	26	Siena	43.34	11.46	4.7	6 (7)	57
1804	10	18	Val d'Elsa	43.45	11.11	4.9	6.5 (7)	6
1869	9	26	Val d'Elsa	43.45	11.11	4.9	6.5 (7)	65
1907	12	20	Radda in Chianti	43.49	11.37	4.6	6 (7)	38
1909	8	25	Murlo	43.15	11.4	5.4	7.5	2
1911	9	13	Chianti	43.44	11.34	5.2	7	2

Tab. 8.2. Lista dei terremoti principali ($I_{max} \geq 7$) avvenuti dopo il 1000 nella zona sismica Chianti-Montagnola Senese.

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

Il comune di Prato ricade in Zona 3 ($0,05 < a_g \leq 0,15$). Dalla carta di Fig. 8.5. 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.

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).

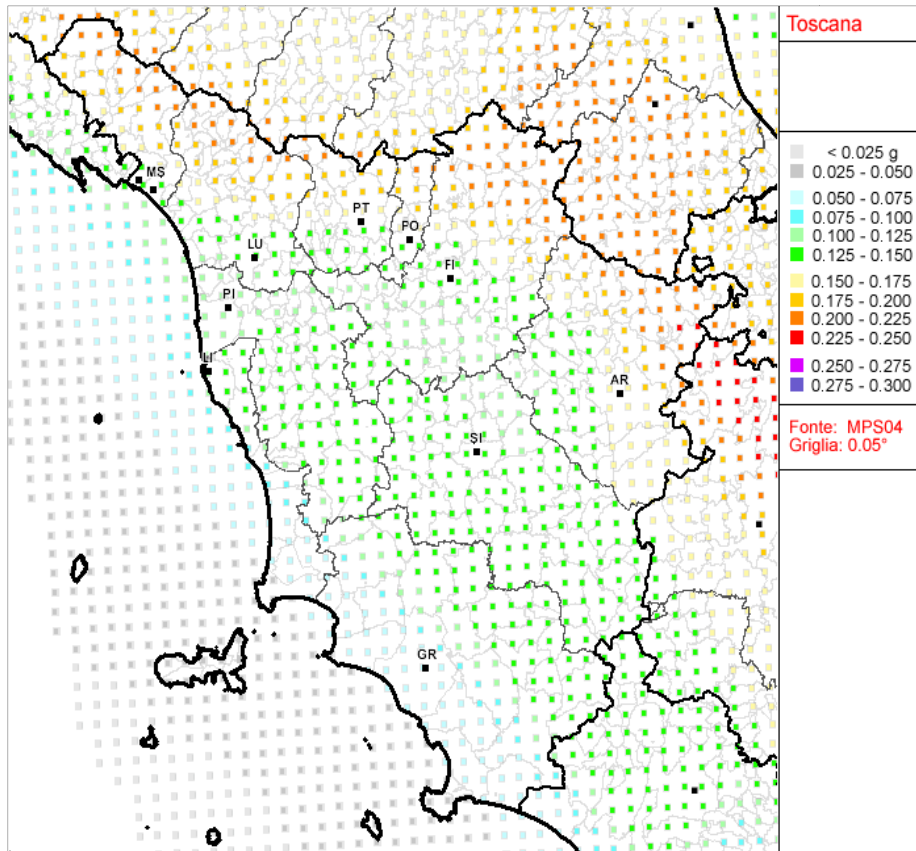


Fig. 8.5. Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale (Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b – INGV Gruppo di lavoro MPS 04).

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 riunito nuovamente in un'unica **zona 3** le precedenti zone 3 e 3s (a cui apparteneva il Comune di Prato).

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. 8.6.).

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.

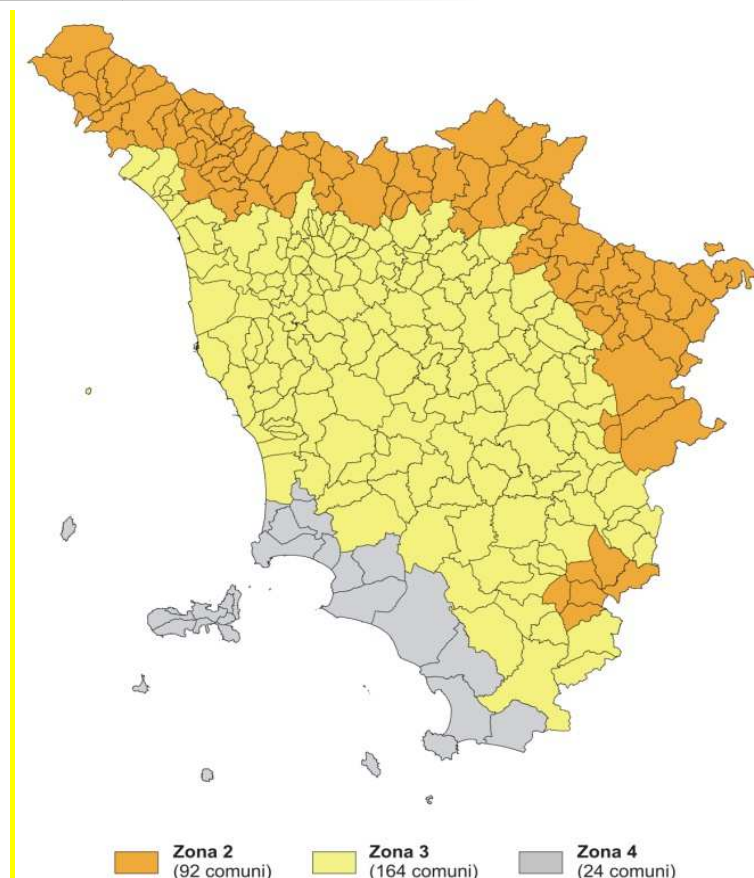


Fig. 8.6. Mappa di aggiornamento della classificazione sismica della Regione Toscana – 2014 ai sensi della DGRT 421/2014 (Allegato 2).

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 Prato 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.

In tal senso il Comune di Prato è dotato di uno studio di microzonazione sismica datato Ottobre 2015. Lo studio è corredato di cartografia tematica dedicata che è illustrata, per i tematismi di interesse, qui di seguito.

Il primo elaborato è la Carta Geologico-Tecnica (Fig. 8.7) che suddivide il territorio in base a macrogruppi litologici differenziati per caratteri geotecnici o geomeccanici macroscopici. L'area in studio ricade nel gruppo **GPpd** "Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia di piana pedemontana".

Asse stradale di collegamento tra gli svincoli di Prato Est e Prato Ovest "Declassata di Prato"

Raddoppio di Viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra Via Marx e Via Nenni mediante la realizzazione di un sottopasso

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica



Fig. 8.7. Carta Geologico-Tecnica dello studio di microzonazione sismica del Comune di Prato

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) in Fig. 8.8., mostra che l'area di progetto ricade nella tipologia Zona 15-2015, appartenente alle "Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali". La Zona 15 è così definita: "aree di affioramento dei terreni prevalentemente ghiaiosi di conoide fino a m 60 (GP) con substrato costituito da ALS presente oltre m 100-150".



Zona 15

2015

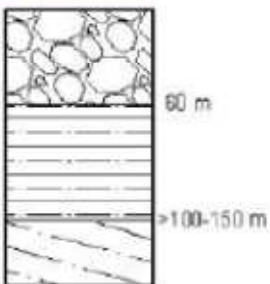
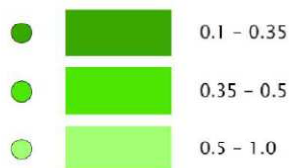


Fig. 8.8. Carta delle MOPS del Comune di Prato

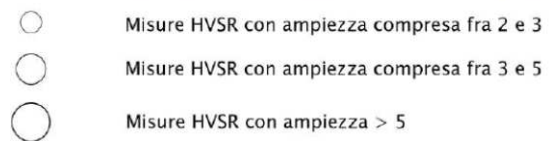
La Carta delle Frequenze (Fig. 8.9.), anch'essa di corredo allo studio di microzonazione sismica, mostra che l'area di progetto, sulla base delle misure HV effettuate in occasione dello studio, è caratterizzata da f_0 compresa tra 0,35 e 0,5Hz e da A_0 compresa tra 2,0 e 5,0.



Classificazione in base agli intervalli di frequenze in hz



Classificazione in base al valore di ampiezza



¶ Numero dell'indagine

0.9 Valore della frequenza f_0 di picco (in hz)

Fig. 8.9. Carta delle Frequenze del Comune di Prato

8.4 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 a_g , 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 P_{VR} , nel periodo di riferimento VR .

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

a_g accelerazione orizzontale massima al sito

F_0 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 a_g , 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. 8.4.).

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>Depositati 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>Depositati 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. 8.4. Categorie di sottosuolo NTC 2018

In funzione della categoria di sottosuolo del sito in esame è possibile poi determinare attraverso la Tab. 8.5. le espressioni per il calcolo di S_s e di C_c .

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. 8.5.

Ai fini della caratterizzazione del sottosuolo, in occasione della campagna 2018, due indagini downhole nei sondaggi S01_DH e S05_DH per i quali sono stati calcolati i rispettivi valori di V_{seq} calcolati 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 Vs non inferiore a 800m/s.

Per depositi con H del substrato superiore a 30m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vseq è definita dal parametro Vs30, ottenuto ponendo H=30m nell'espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Il calcolo delle Vseq per le due prove downhole fa rilevare i seguenti valori:

Codice indagine	Valore $V_{s,eq}$
S01_DH	436 m/s
S05_DH	396 m/s

In funzione del valore di Vs30 e della distribuzione dei valori della vS con la profondità, i terreni apparterrebbero alla categoria **B** di sottosuolo secondo le definizioni di cui alle NTC 2018 (Tab. 8.4.).

Tuttavia, stante la vicinanza del valore di Vs30 della prova S05_DH con il limite tra la categoria B e la categoria C (360m/s), **ai fini progettuali è stato optato di fare riferimento alla 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. 8.6.):

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 8.6. *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. 8.7., 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 8.7. 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 e le motivazioni inerenti il riferimento alla categoria C di sottosuolo si rimanda alla Relazione Geotecnica e Sismica (02.13_P00_GE00_GET_RE01_A).

9 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 e caratterizzati da una innata variabilità dei rapporti percentuali delle frazioni granulometriche
- l'area, subpianeggiante, è completamente urbanizzata ed è esente da criticità geomorfologiche
- la falda è ospitata nei materiali di conoide e nel periodo di monitoraggio (2012-2019) la quota del tetto della stessa è variato tra 29,75 e 40,18m.s.l.m.; storicamente, prima dello sviluppo industriale iniziato negli anni '60, si ritiene, con buona approssimazione che la falda avesse una soggiacenza di 4,5m da p.c., valore assunto come falda di progetto
- gli interventi in progetto comportano la realizzazione di fondazioni profonde e dunque realizzate all'interno dei depositi di conoide, maggiormente permeabili rispetto alla copertura superficiale; per tale ragione la falda è considerata come vulnerabile ed è stato previsto un piano di monitoraggio della stessa
- per valutare l'interferenza dell'opera con la falda è stata effettuata una modellazione tridimensionale dalla quale è scaturito che anche nelle condizioni di falda più critiche le interferenze sono minimali
- l'area ricade in classe G2 (pericolosità geomorfologica media), I2 (pericolosità idraulica media), S2 (pericolosità sismica media) e per tali classi non vi sono particolari prescrizioni a livello di PUC
- le indagini sismiche hanno fatto rilevare terreni di categoria B con valori di Vs molto prossimi al limite con la categoria C, ragion per cui è stato optato per considerare i terreni in categoria C.



DOTT. GEOL. PIETRO ACCOLTI GIL