



Anas SpA

Direzione Centrale Progettazione

SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA

Viabilità Est di Lucca comprendente i collegamenti tra Ponte a Moriano ed i caselli dell'autostrada A11 del Frizzone e di Lucca Est

PROGETTO PRELIMINARE

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE CENTRALE PROGETTAZIONE

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Antonio VALENTE
Ordine Ing. di Roma n. 20739

GRUPPO DI PROGETTAZIONE ANAS

Ing. Giuseppe Danilo MALGERI – Responsabile di Progetto
Ing. Francesco BEZZI – Impianti
Ing. Pier Giorgio D'ARMINI – Traffico e Benefici/Costi
Ing. Gianfranco FUSANI – Strade
Ing. Gabriele GIOVANNINI – Cartografia
Ing. Alessandro MITA – Idraulica
Ing. Enrico MITTIGA – Geotecnica
Arch. Gianluca BONOLI – Strutture
Arch. Roberto ROGGI – Sicurezza
Geol. Stefano SERANGELI – Geologia
Geom. Emiliano PAIELLA – Computi e Capitolati
Geom. Carmelo ZEMA – Espropri ed Interferenze

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Francesca SCIUBBA
Ordine Geol. del Lazio n. 1371

I RESPONSABILI DEL S.I.A.

Dott. Ing. Ginevra BERETTA Dott. Arch. Francesca Romana IETTO
Ordine Ing. di Roma n. 20458 Ordine Arch. di Roma n. 15857

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. Fabio QUONDAM

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Nicola DINNELLA

RESPONSABILI DI UNITA' INGEGNERIA:

Ing. Fulvio Maria SOCCODATO – Ingegneria Territorio
Ing. Alessandro MICHELI – Ingegneria Geotecnica e Impianti
Ing. Achille DEVITOFRANCESCHI – Ingegneria Opere Civili
Geom. Fabio QUONDAM – Ingegneria Computi, Stime e Capitolati

PROTOCOLLO

DATA

STUDIO GENERALE GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E GEOTECNICA

| CODICE PROGETTO | | NOME FILE | | REVISIONE | SCALA: |
|-----------------|-------------|------------|-----------------------------|------------------|-----------------|
| PROGETTO | LIV. PROG. | N. PROG. | T00_GEO0_GEO_RE01_A.DOC | | |
| L0601A | P | 1201 | CODICE ELAB. T00GEO0GEORE01 | A | — |
| C | | | | | |
| B | | | | | |
| A | EMISSIONE | 29/11/2012 | Geol. S. Serangeli | Geol. F. Sciubba | Ing. A. Micheli |
| REV. | DESCRIZIONE | DATA | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |

INDICE

| | |
|--|----|
| 1 - PREMESSA | 4 |
| 2 - DESCRIZIONE DEL TRACCIATO DI PROGETTO | 6 |
| 2.1 - Adeguamento della SS n° 12..... | 6 |
| 2.2 - Asse Nord-Sud | 6 |
| 2.3 - Asse Ovest-Est..... | 7 |
| 2.4 - Asse Est-Ovest..... | 8 |
| 2.5 - Cavalcaferrovia FS Lucca - Firenze | 9 |
| 2.6 - Opera Connessa..... | 9 |
| 2.7 - Circonvallazione di Altopascio..... | 10 |
| 3 - VINCOLI TERRITORIALI ED AMBIENTALI DELL'AREA | 12 |
| 3.1 - Fasce di rispetto fluviali | 12 |
| 3.2 - Piani Stralcio di Assetto Idrogeologico | 12 |
| 3.3 - Strumenti urbanistici | 13 |
| 4 - DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DELL'AREA..... | 15 |
| 4.1 - Metodologia..... | 15 |
| 4.2 - Inquadramento geomorfologico e territoriale | 18 |
| 4.3 - Inquadramento geologico - stratigrafico | 20 |
| 4.4 - Inquadramento idrogeologico | 21 |
| 5 - CAMPAGNA GEOGNOSTICA, STRATIGRAFIA, GEOTECNICA..... | 30 |
| 5.1 - Campagna geognostica 2004 | 30 |
| 5.2 - Caratterizzazione stratigrafico - geotecnica dei terreni | 32 |
| 5.3 - Campagna geognostica 2012 | 37 |
| 5.4 - Indagine sulle fondazioni dell'acquedotto del Nottolini | 38 |
| 6 - CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DI DETTAGLIO | 43 |
| 7 - CARTA GEOLOGICA..... | 45 |
| 7.1 - Generalità..... | 45 |
| 7.2 - Profilo geologico del tracciato..... | 46 |
| 8 - MACROZONAZIONE E MICROZONAZIONE SISMICA | 48 |
| 8.1 - Quadro normativo in materia antisismica della Regione Toscana | 48 |
| 8.2 - Sismicità dell'area..... | 52 |
| 8.3 - Nuova Classificazione Sismica | 58 |
| 9 - OPERE PRINCIPALI E PROBLEMATICHE GEOLOGICO-GEOTECNICHE | 69 |
| 9.1 - Problematiche generali | 69 |
| 9.2 - Adeguamento SS n° 12. Aspetti geologico-geotecnici | 70 |
| 9.3 - Asse Nord-Sud. Aspetti geologico-geotecnici | 71 |
| 9.4 - Intersezione Lucca Est. Aspetti geologico-geotecnici..... | 72 |
| 9.5 - Asse Ovest-Est. Aspetti geologico-geotecnici..... | 72 |
| 9.6 - Intersezione di Antracoli. Aspetti geologico-geotecnici..... | 77 |
| 9.7 - Asse Est-Ovest. Aspetti geologico-geotecnici..... | 76 |
| 9.8 - Cavalcaferrovia FS Lucca - Firenze. Aspetti geologico-geotecnici | 77 |
| 9.9 - Opera Connessa. Aspetti geologico-geotecnici..... | 77 |
| 9.10 - Circonvallazione di Altopascio. Aspetti geologico-geotecnici..... | 78 |
| 10 - INDIVIDUAZIONE DEI SITI DI CAVA E DISCARICA..... | 79 |
| 10.1 - Cave di prestito | 79 |
| 10.2 - Impianti di produzione inerti | 81 |
| BIBLIOGRAFIA | 84 |

Figure

Capitolo 4

- Fig. 4.1 - Inquadramento geologico e geomorfologico scala 1: 60.000
Fig. 4.2 - Carta dello spessore dei terreni di copertura limoso - argillosi scala 1: 50.000
Fig. 4.3 - Carta della soggiacenza scala 1: 50.000
Fig. 4.4 - Carta della vulnerabilità dell'acquifero scala 1: 50.000
Fig. 4.5 - Sezione stratigrafica di dettaglio in corrispondenza dell'acquedotto del Nottolini

Capitolo 5

- Fig. 5.1 - Sezione di tomografia elettrica in foro tra le arcate dell'Acquedotto del Nottolini

Capitolo 8

- Fig. 8.1 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale
Fig. 8.2 - Intensità risentita al sito. Comune di Lucca
Fig. 8.3 - Intensità risentita al sito. Comune di Capannori
Fig. 8.4 - Intensità risentita al sito. Comune di Porcari
Fig. 8.5 - Intensità risentita al sito. Comune di Altopascio
Fig. 8.6 - Massime intensità macrosismiche della Regione Toscana
Fig. 8.7 - Classificazione sismica della regione Toscana - 1962
Fig. 8.8 - Classificazione sismica della regione Toscana - 1982
Fig. 8.9 - Classificazione sismica della regione Toscana - 2003
Fig. 8.10 - Classificazione sismica della regione Toscana - 2006
Fig. 8.11 - Pericolosità sismica della Piana di Lucca

1 - PREMESSA

La presente relazione illustra i risultati dello studio geologico e idrogeologico svolto nell'ambito della progettazione preliminare per la realizzazione delle opere necessarie alla realizzazione del Sistema Tangenziale di Lucca.

Il presente lavoro costituisce un approfondimento degli elaborati prodotti al termine delle indagini già eseguite.

Nell'ambito del progetto preliminare che prevede:

- l'adeguamento della SS 12 dalla località Ponte a Moriano alla località Corte Pasquinelli;
- la viabilità, detta Asse Nord-Sud, dalla S.S.12 del Brennero alla S.P.23 Romana in località Antraccoli;
- l'intersezione di Lucca Est;
- la viabilità, detta Asse Ovest-Est, dalla nuova intersezione di Lucca Est di collegamento al casello Lucca Est dell'Autostrada A11 all'asse Nord-Sud in loc. Antraccoli mediante la nuova intersezione di Antraccoli;
- la viabilità, detta Asse Est-Ovest, dalla nuova intersezione di Antraccoli verso il nuovo casello A11 di Capannori, in località Frizzone;
- il cavalcaferrovia sulla linea Lucca - Pistoia - Firenze nell'area "ex scalo merci" di Lucca, comprensivo del collegamento con la viabilità esistente;
- l'intersezione di Antraccoli;
- la viabilità detta Opera Connessa, dalla via di Sottomonte in località Carraia al casello A11 in località Frizzone (adeguamento di via del Rogio);
- la viabilità detta Circonvallazione di Altopascio dal casello A11 in località Frizzone fino alla SP n° 3 Bientina, alla periferia di Altopascio.

sono state eseguite indagini geologico-tecniche sui terreni coinvolti dall'intervento.

Oltre ai dati già disponibili (v. Relazione giugno 2004) per la ricostruzione del modello geologico, geomorfologico, geotecnico e idrogeologico della porzione della piana di Lucca interessata dal tracciato di progetto è stata eseguita, nel 2005, una specifica campagna geognostica realizzata mediante l'esecuzione di sondaggi geognostici, prove penetrometriche CPT e indagini geofisiche.

Inoltre si sono utilizzati i dati reperibili in letteratura e presso gli enti locali. L'insieme dei dati disponibili ha consentito di considerare n° 90 punti di controllo della successione stratigrafica e dei parametri geotecnici, quando disponibili.

La campagna geognostica effettuata nel 2005, realizzata specificatamente per il presente progetto è stata così articolata:

- n° 7 *sondaggi geognostici* a carotaggio continuo, per uno sviluppo complessivo di 201,5 m.
- n° 16 *penetrometrie statiche CPT*, con sviluppo complessivo di 59 m.
- n° 1 stesa *sismica a rifrazione*.

A questi vanno aggiunti 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo eseguiti nell'agosto del 2012, a circa 6 m di distanza tra loro, per una profondità totale di 60 m, 1 sismica in foro tipo *Down-Hole* realizzata in uno dei due sondaggi e 1 prova elettrica in foro del tipo *Cross Hole tomografico* effettuata nei due sondaggi.

I sondaggi sono stati posizionati, in corrispondenza delle aree poco documentate dal punto di vista geotecnico, almeno per quanto riguarda i terreni di copertura. L'impossibilità di realizzare una postazione di sondaggio (S5) in corrispondenza di una importante opera d'arte (superamento della linea ferroviaria Lucca - Firenze in località Toringo), ha reso necessario, di concerto con ANAS, sostituire tale punto indagine con una prova CPT (P16) e una stesa sismica a rifrazione.

Nel corso delle perforazioni dei sondaggi geognostici, sono stati prelevati sia campioni indisturbati sia frammenti di carote e sono state realizzate prove SPT. Anche in corrispondenza della penetrometria 16, realizzata in sostituzione del sondaggio S5 è stato possibile prelevare un campione indisturbato. Tra i campioni prelevati, n° 14 campioni indisturbati e n° 14 frammenti di carote sono stati portati in laboratorio di analisi geotecniche per la determinazione delle caratteristiche fisiche e (per alcuni) meccaniche dei terreni.

I due sondaggi del 2012 sono stati posizionati ai lati di un pilastro dell'acquedotto del Nottolini per poter realizzare una prova sismica tipo *down-hole*, necessaria al calcolo delle V_{S30} e della categoria di suolo dei terreni di fondazione, e una prova elettrica tipo *cross-hole tomografico*, per individuare la natura (supposta presenza di pali in legno) della fondazione dei pilastri dell'acquedotto e determinarne la profondità massima.

2 - DESCRIZIONE DEL TRACCIATO DI PROGETTO

Il progetto preliminare in esame, come già detto nella Premessa, prevede l'adeguamento di alcuni tratti di viabilità esistente e la realizzazione di lunghi tratti di nuova viabilità. In particolare il tracciato può essere distinto in sette tratte principali:

2.1 - Adeguamento della SS n° 12

Si procederà all'adeguamento, per km 3+720 circa dell'esistente strada statale nel tratto da Ponte a Moriano nel comune di Capannori, km 30+300 circa dell'esistente SS n° 12, fino alla località Corte Pasquinelli in comune di Lucca dove si attesta nella rotatoria da dove partirà il collegamento con il previsto ponte sul Fiume Serchio (non di competenza ANAS).

Il progetto prevede la realizzazione di un tracciato in rilevato con riqualificazione della sezione stradale; data la presenza di numerosi edifici prospicienti la strada esistente, di filari di platani secolari e dell'area golenale del fiume Serchio nel progetto si è scelto, come unica soluzione possibile, l'allargamento della strada esistente sul lato del fiume Serchio prevedendo la risagomatura della sezione arginale lato fiume, intervenendo sul lato esterno in modo da non alterare la sezione idraulica complessiva.; al km 1+127 si collega all'Asse Nord-Sud mediante una rotatoria a 3 bracci; il tracciato prosegue verso sud in rilevato, garantendo mediante degli accessi diretti i collegamenti con le viabilità locali, e termina al km 3+720 (km 27+450 circa dell'attuale S.S. n° 12) prima del nuovo ponte.

2.2 - Asse Nord-Sud

Nuovo sviluppo viario compreso tra il km 1+127 del tratto di Adeguamento SS n° 12 (corrispondente al km 29+000 dell'attuale SS n° 12) a partire dalla rotatoria a 3 bracci da realizzare in località Tacchini (rotatoria n° 1) in corrispondenza del confine amministrativo tra i comuni di Lucca e di Capannori, e l'intersezione di Antraccoli a sud, con sviluppo di km 5+140 circa. In questo settore il progetto prevede la realizzazione di un tracciato sostanzialmente a raso, risolvendo gli incroci a mezzo di cavalcavia e sottopassi.

Tra il km 0+094 ed il km 0+309 l'intersezione con la linea ferroviaria Lucca - Aulla e la Via Lungo la Ferrovia Prima, è risolta con un cavalcavia di 210 m di lunghezza; il Condotto pubblico, la Via per Marlia e la Via dell'Acqua calda, sono superate con un cavalcavia di 245 m posto tra il km 0+824 ed il km 1+065; da qui il tracciato prosegue in rilevato (2÷3 m); l'interferenza con Via Tognetti al km 1+543 viene risolta mantenendo il tracciato in rilevato e realizzando un sottopasso sulla strada esistente; al km 1+950 la strada di progetto interseca Via delle Ville, tale interferenza è risolta mantenendo il tracciato a raso e realizzando una rotatoria (rotatoria n° 2) a 4 bracci; a seguire l'interferenza con delle strade locali e con via

Vicinale del Fondaccio è risolta con l'inserimento di viabilità di rammaglio; superata tale area la strada prosegue in direzione sud sollevandosi rispetto alla quota del terreno, in modo da permettere al km 3+144 l'inserimento di un sovrappasso scatolare (10×6,5m) per risolvere l'intersezione con via dei Coselli; il tracciato prosegue in rilevato; l'interferenza con via di Lisio è risolta con la deviazione della stessa su via Vicinale del Fondaccio; tra il km 3+828 ed il km 4+372 la nuova viabilità interseca il sistema di strade costituito da via Vecchia Pesciatina, via Pesciatina e via dell'Isola: il progetto prevede la chiusura di via Vecchia Pesciatina, la realizzazione di accessi diretti che garantiscano la funzionalità di via dell'Isola e una rotonda a raso posta al km 4+090 (rotonda n° 3) a 4 bracci su via Pesciatina; l'interferenza con via della Madonnina, posta al km 4+975 è risolta con l'inserimento di un'intersezione a raso che permette soltanto manovre di svolta a destra nella direzione sud - nord; il tracciato termina al km 5+141 con il collegamento alle rampe della nuova intersezione di Antraccoli.

2.3 - Intersezione di Lucca Est

L'opera, che consiste in alcune rampe e due rotonde, ha lo scopo di adeguare l'allacciamento tra l'attuale intersezione autostradale e la viabilità esistente oltre che con l'Asse Ovest-Est in progetto.

2.4 - Asse Ovest-Est

Nuovo tratto viario che ha inizio in corrispondenza della nuova intersezione di Lucca Est (di collegamento con il casello Lucca Est dell'A11) e con uno sviluppo di km 6+086 circa, segue un andamento all'incirca ovest - est, da S. Concordio fino a Mugnano, parallelo al tracciato autostradale esistente, per poi proseguire in direzione nord-est, fino alla nuova rotonda di Antraccoli dove si attesta sulla S.P. n° 23 Romana. In questo tratto il progetto prevede la realizzazione di un tracciato essenzialmente a raso che risolve con cavalcavia e sottopassi la maggior parte delle interferenze con la viabilità esistente più una galleria artificiale che sottopassa i pilastri dell'acquedotto del Nottolini. La nuova intersezione di Lucca Est, che garantisce il collegamento dell'asse Ovest-Est con viale Europa e il casello di Lucca Est, è un'intersezione a raso caratterizzata da due rotonde e da una serie di rampe a doppia corsia (per la sola svolta a destra) di collegamento con l'asse di raccordo tra i caselli di Lucca Est e Lucca Ovest sulla A11.

Le opere d'arte previste sono: dal km 0+072 al km 0+429 inserimento di un muro in dx, di 357 m circa, per l'eliminazione dell'interferenza con il rilevato autostradale; superamento con un cavalcavia di 25 m, dal km 0+210 al km 0+235, del Viale di San Concordio; al km 0+700 è prevista una nuova intersezione T su via Formica per garantire il collegamento con la nuova viabilità locale del comune di Lucca; al km 0+800 l'asse comincia a svilupparsi in trincea abbassandosi rispetto alla quota del terreno; l'interferenza con il rilevato di approccio del cavalcavia autostradale

esistente, posto km 0+900, su via del Sorbano del Giudice viene risolta mediante la demolizione e la nuova realizzazione del cavalcavia stesso (L =105 m); il tracciato prosegue in trincea e sottopassa al km 1+423, l'acquedotto monumentale del Nottolini (1823 - 1832) con una galleria artificiale di 350 m tra il km 1+240 e il km 1+590, che prevede l'approfondimento di due tratti in trincea per gli imbocchi, quindi in totale l'opera si sviluppa dal km 0+803 al km 2+108 circa; proseguendo sempre in trincea si superano con due sottopassi i cavalcavia autostradali esistenti su Via delle Cave, al km 1+750 e su Via del Sorbano del Vescovo al km 2+075 per i quali si prevede la demolizione e la nuova realizzazione dei cavalcavia stessi (rispettivamente L =105 m e L=125 m); il tracciato di progetto raggiunge poi la quota terreno e al km 2+157 è previsto l'inserimento di una rotatoria (rotatoria n° 1) a 3 bracci per il collegamento con la nuova viabilità locale prevista dal Regolamento Urbanistico (RU) del comune di Lucca; dal km 2+398 al km 2+915 è previsto l'inserimento di un muro in dx, di 517 m circa, per l'eliminazione dell'interferenza con il canale Ozzoretto; attraversamento del Canale Ozzoretto con un ponte di 40 m, tra il km 2+915 e il km 2+955; il tracciato prosegue in rilevato di modesta altezza; l'interferenza con Via dei Boschi è risolta mediante una deviazione della stessa e l'inserimento di strade di rammaglio alla viabilità esistente; il tracciato prosegue in rilevato di 1,5 m d'altezza; superamento di via per Corte Stella, della linea ferroviaria Lucca Firenze, del canale Ozzoretto e la SR n° 439 di Tiglio, dal km 3+716 al km 4+241, a nord dell'abitato di Toringo e ad est di Corte Muratori, mediante un viadotto lungo 525 m; al km 3+560 l'interferenza con via di Fontanella è risolta mediante la deviazione della stessa; dal km 4+180 il tracciato di progetto, superato il tratto in viadotto, mediante un rilevato riguadagna la quota del terreno; al km 4+560, così come previsto nel Regolamento Urbanistico di Lucca, si inserisce una nuova rotatoria a 5 bracci di collegamento con la viabilità cittadina (rotatoria n° 2) a cui sono connesse via del Marginone e due viabilità previste dal RU di Lucca; dal km 4+570 al km 5+700 circa il tracciato poggia su rilevato di altezza massima di 1,5 m; una nuova interferenza con il Canale Ozzoretto che si verifica al termine dell'asse, al km 5+668, è risolta con uno scatolare di 10 m (dimensioni 7x3) da questo punto in poi la nuova strada si abbassa di quota per terminare con un'intersezione a T mediante la quale si collega al nuovo'intersezione di Antraccoli.

2.5 - Asse Est-Ovest

Questo asse si sviluppa quasi totalmente sulla viabilità esistente, per un tratto di km 4+329 circa, tra il nuovo'intersezione di Antraccoli, dove si raccorda con le tratte precedenti, e la località Frizzone, in prossimità della nuova stazione di pedaggio e del nuovo'intersezione di Capannori, di prossima realizzazione sull'A11.

Nell'area di confluenza dei nuovi assi stradali Nord-Sud, Ovest-Est ed Est-Ovest si colloca la nuova intersezione di Antraccoli che presenta un assetto planimetrico caratterizzato da rampe, che hanno inizio immediatamente dopo la fine dell'Asse Nord-Sud, e che si sviluppano in direzione nord - sud garantendo il collegamento

diretto tra l'asse Nord-Sud e l'asse Est-Ovest; è prevista, altresì, un'intersezione a T per le sole svolte a destra sulla SP n° 23 Romana e una rotonda a 3 bracci di collegamento con la SP n° 23 Romana e la SP n° 27 della Madonna.

L'asse Est-Ovest ha inizio da via Domenico Chelini ricalcando il tracciato esistente; al km 0+400 l'interferenza con via del Marginone è risolta mediante l'inserimento di un'intersezione a T che consente soltanto le svolte a destra; al km 0+700 e al km 0+874 le interferenze con via Carlo Piaggia sono risolte mediante l'inserimento di accessi diretti che permettono solo le svolte a destra; al km 1+030 è previsto l'inserimento di una nuova rotonda a 3 bracci per garantire il futuro collegamento con una nuova viabilità in progetto a cura del comune di Capannori (rotonda n° 1); la strada di progetto prosegue ricalcando l'esistente via Domenico Chelini; le interferenze al km 1+550 con la S.P. di Paganico, al km 1+825 con via delle Capanne e al km 2+425 con la SP n° 23 Romana, sono risolte mediante inserimento di intersezioni a raso che consentono soltanto le svolte a destra; al km 2+625 il tracciato si ricongiunge con via Romana e mediante un'intersezione a T, per le sole svolte a destra, risolve l'interferenza con via Nuova di Paganico; al km 2+900 all'intersezione con via del Frizzone, è previsto l'utilizzo della rotonda esistente di recente realizzazione; dal km 3+600 il tracciato inizia a innalzarsi di quota (mediante un rilevato) e dal km 3+835 al km 4+116 attraversa la linea ferroviaria Lucca-Firenze con il cavalcaferrovia "Frizzone" di 280 m; superato il cavalcaferrovia il tracciato termina al km 4+328, innestandosi in un tratto in progettazione a cura della provincia di Lucca.

2.6 - Cavalcaferrovia FS Lucca - Firenze

Il sovrappasso ferroviario della linea Lucca-Pistoia-Firenze è posto nell'area "ex scalo merci" di Lucca, ed ha uno sviluppo di 600 metri, comprensivo anche del collegamento con la viabilità esistente. L'opera avrà lo scopo di collegare con un viadotto lungo circa 142 m il centro della città, da Via per Corte Pulia fino alla Strada Comunale Mugnano, che porta nella zona di espansione a sud.

L'intervento in progetto ha inizio con un innesto a raso su via Nazario Sauro, quindi al km 0+125 il tracciato inizia a sollevarsi per consentire l'attraversamento del fascio di binari della linea ferroviaria Lucca-Pistoia-Firenze dal km 0+150 al km 0+292 mediante un cavalcaferrovia di lunghezza 142 m ad unica campata; il tracciato riduce poi la sua quota altimetrica alla quota del terreno terminando con un innesto a raso, mediante una rotonda a 3 bracci, su via Mugnano.

2.7 - Intersezione di Antraccoli

Nell'area di confluenza dei nuovi assi stradali Nord-Sud, Ovest-Est ed Est-Ovest si realizzerà un tratto di viabilità di km 0+900 circa che comprende una rotonda, dei raccordi e delle rampe. L'opera faciliterà i collegamenti con la viabilità presente

interferita e consentirà la continuità del flusso di traffico fra i tre assi stradali in progetto su elencati.

2.8 - Opera Connessa

È costituita da un tratto di strada lunga km 5+859 circa, che percorre, soprattutto in direzione ovest-est, la pianura a sud dell'autostrada, mettendo in comunicazione la località Massa Macinaia, in corrispondenza dell'incrocio tra Via dello Spada e via di Sottomonte, con l'area del Frizzone ed il casello autostradale dell'A11.

Il tracciato parte da una nuova rotatoria a 4 bracci di collegamento tra via della Spada e la S.P. di Sottomonte (rotatoria n° 1) e segue il tracciato della via di Sottomonte fino al km 0+700 dove con una seconda rotatoria a 3 bracci (rotatoria n° 2) è risolto l'incrocio con la viabilità locale; il tracciato prosegue verso nord - est con un rilevato di altezze modeste; al km 1+525 l'interferenza con via Ponte Maggiore viene risolta con l'inserimento di un accesso per le sole svolte a destra; il tracciato prosegue a quota terreno, innestandosi al km 1+800 su via di Ponte Maggiore e sviluppandosi sull'attuale viabilità fino alla progressiva 1+950.

Tra il km 1+950 e il km 2+200, in località Ponte Maggiore, in corrispondenza dell'attraversamento del Fosso Rogetto e del Canale Rogio, la viabilità esistente (via Ponte Maggiore e via di Tiglio) è già adeguata alle caratteristiche di progetto e si prevede soltanto un intervento di messa in sicurezza dell'attuale sede stradale.

L'adeguamento di Via di Tiglio riprende appena passato il Canale Rogio e prosegue fino al km 2+650 in corrispondenza della rotatoria che risolve l'incrocio con Via Tazio Nuvolari (rotatoria n° 3); dal km 2+700 la nuova strada passa in rilevato presso l'area industriale in località Ferraia; si innesta poi sull'esistente via Tazio Nuvolari, sviluppandosi sull'attuale viabilità, prevedendone l'adeguamento e garantendo degli accessi diretti alle strade locali interferenti; al km 3+720 una rotatoria a 4 bracci risolve l'interferenza con la SP del Casalino (rotatoria n° 4); da qui il tracciato prosegue su via del Rogio fino al km 5+700, prevedendo per quest'ultima l'adeguamento; l'interferenza con il canale detto Rogio che corre parallelo a via del Rogio è risolta mediante l'inserimento di un muro in dx di 1.343 m dal km 4+386 al km 5+729; dal km 5+725 l'asse di progetto si discosta dalla strada esistente, allontanandosi anche dal canale fino al km 5+859 dove termina con una nuova rotatoria (rotatoria n° 5) a 3 bracci che collega la via lungo il Rogio e via Frizzone; i collegamenti con la viabilità locale sono garantiti mediante l'inserimento di accessi diretti lungo il tracciato.

2.9 - Circonvallazione di Altopascio

Il nuovo tratto di infrastruttura viaria che prende il nome di Circonvallazione di Altopascio assolve alla necessità di collegamento tra il casello dell'A11 in località Frizzone e la S.P. n° 3 Bientina Altopascio.

Il tracciato di progetto con tipologia per la maggior parte a raso, lungo km 5+786 circa, ha inizio subito dopo la rotatoria a 4 bracci sul tratto di via Frizzone già adeguato (rotatoria n° 1) che risolve il collegamento con l'attuale ponte sulla A11 ed una viabilità di collegamento dell'area industriale sottostante alla A11 (in progetto dalla Provincia di Lucca); dalla rotatoria il tracciato si dirige verso l'autostrada A11 e al fine di mantenere la funzionalità di via di S. Lucia la strada di progetto si sviluppa in affiancamento all'autostrada, garantendo comunque i collegamenti con la viabilità locale mediante degli accessi diretti, ad una distanza tale da poter inserire l'eventuale futura terza corsia autostradale; al km 1+350 è previsto l'inserimento di una nuova rotatoria a 3 bracci per risolvere l'interferenza con una diramazione di via di S. Lucia in località Corte Fagotto (rotatoria n° 2); l'interferenza con il canale Fossa Nuova al km 1+450 è risolta con l'inserimento di un tombino scatolare (7×2m); l'interferenza con l'esistente cavalcavia autostradale della A11 al km 1+530 circa, è risolta mediante un sottopasso scatolare (13,5×6m realizzato con la tecnica dello spingitubo); il tracciato prosegue in affiancamento, con un rilevato di modesta altezza, fino alla successiva rotatoria a 3 bracci posta in località C. Quartaroli (rotatoria n° 3) che consente il collegamento della strada di progetto con via Leccio e le aree industriali presenti in località Magazzino e C. Quartaroli; al km 2+140 l'interferenza con il Rio Leccio è risolta con l'inserimento di un tombino scatolare (7×2m); al km 2+200 circa l'interferenza con un cavalcavia dell'autostrada A11 è risolta mediante un sottopasso scatolare (13,5×6m realizzato con la tecnica dello spingitubo); l'interferenza con un cavalcavia autostradale della A11 al km 3+675 circa è risolto mediante un sottopasso scatolare (13,5×6m realizzato con la tecnica dello spingitubo) sulla strada padronale detta Rione; il tracciato prosegue in affiancamento all'autostrada fino al km 3+700; da qui la strada di progetto corre in rilevato attraversando ree agricole, e assumendo un andamento quasi parallelo al fosso Nero in destra idrografica; al km 4+800 il tracciato si avvicina al fosso Nero terminando al km 5+786,55 in corrispondenza della costruenda rotatoria sulla S.P. n° 3 Bientina Altopascio.

3 - VINCOLI TERRITORIALI ED AMBIENTALI DELL'AREA

3.1 - Fasce di rispetto fluviali

Dal punto di vista dei vincoli ambientali le limitazioni sono definite, oltre che dalla fascia di 150 m derivante dall'applicazione della legge Galasso (oggi D.Lgs. n° 41/04), in corrispondenza del F. Serchio, anche dalle fasce di pertinenza fluviale del F. Serchio e del T. Fraga, delimitate, ai sensi del PTC della Provincia di Lucca in vigore e dai R.U. dei comuni di Lucca e Capannori, entrambi approvati definitivamente.

Nelle aree di *pertinenza fluviale*, che peraltro sono interessate lungo il tracciato in esame solo in corrispondenza della porzione nord, in cui la viabilità si raccorda con il ponte Dalla Chiesa, la realizzazione di linee di comunicazione viaria, limitatamente ai casi di esigenze non altrimenti soddisfacibili, devono essere definite in modo da minimizzare l'interessamento delle aree di naturale esondazione e di tutela dei caratteri ambientali dei corsi d'acqua, secondo tracciati il più possibile marginali, distanti dai corsi d'acqua, e in ogni caso non paralleli agli stessi. Sono comunque ammessi gli attraversamenti.

3.2 - Piani Stralcio di Assetto Idrogeologico

Per quanto riguarda i vincoli derivanti dai Piani - stralcio di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) predisposti dalle Autorità di Bacino del F. Serchio e del F. Arno, entrambi approvati, il primo in data 1 febbraio 2005 ed il secondo con il D.P.C.M. del 6 maggio 2005 "*Approvazione del Piano di Bacino del fiume Arno, stralcio assetto idrogeologico*", il tracciato interessa le aree di seguito descritte, distinte dal punto di vista della pericolosità idraulica.

Bacino del F. Serchio

Interessa prevalentemente aree a "bassa probabilità di inondazione (BP)" e localmente "aree allagate o ad alta probabilità di inondazione (AP)", "aree a moderata probabilità di inondazione (MP)" e "aree di pertinenza fluviale morfologicamente depresse o are umide (PU)".

Le normative di piano, attualmente vigenti, definiscono come interventi consentiti anche nelle aree ad alta probabilità di esondazione e nelle aree umide, l'adeguamento o la realizzazione di infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico, non diversamente localizzabili, purché realizzate in condizioni di sicurezza idraulica per tempi di ritorno di 200 anni, non concorrano ad incrementare il rischio né il carico insediativo, non precludano la possibilità di attenuare o eliminare le condizioni che determinano le condizioni di rischio e risultino essere comunque coerenti con la pianificazione degli interventi d'emergenza di protezione civile.

Bacino del F. Arno

Interessa aree a pericolosità idraulica media e moderata (P.I.1, P.I.2) e localmente aree a pericolosità idraulica elevata (P.I.4). Mentre per le P.I.1 e le P.I.2 non esistono particolari vincoli, nelle P.I.4, è ammesso l'adeguamento della viabilità esistente, purché sia realizzato in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e al contesto territoriale in cui si inserisce. Le Misure di Salvaguardia attualmente vigenti si rivolgono esclusivamente alle aree P.I.3 e P.I.4 e indicano per esse la possibilità di realizzare interventi ammessi dagli strumenti urbanistici vigenti *purché sia dimostrato che gli interventi non determinino un aumento della pericolosità del contesto territoriale circostante e sia dimostrata l'assenza o l'eliminazione di pericoli per le persone o i beni anche tramite la messa a punto di interventi di carattere non strutturale.*

3.3 - Strumenti urbanistici

Relativamente alle classificazioni della pericolosità idraulica e geotecnica, ricavate dai Regolamenti Urbanistici dei comuni di Lucca e di Capannori, il tracciato viario attraversa le seguenti perimetrazioni di pericolosità:

PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Il tracciato si estende lungo aree classificate a pericolosità idraulica 2i, bassa, ad eccezione di una zona in località S. Concordio, compresa circa tra V.le Europa e l'acquedotto monumentale del Nottolini dove la pericolosità idraulica è 3ai, medio bassa, e il tratto in località Marlia, prima dell'innesco sul Ponte Dalla Chiesa, dove attraversando un'area di golena del F. Serchio, rientra in una classe di pericolosità idraulica 4ai.

PERICOLOSITÀ GEOTECNICA

Localizzandosi in un'area di pianura la pericolosità deriva dalle caratteristiche geotecniche dei terreni alluvionali superficiali. Nel dettaglio, le classificazioni che risultano dalle cartografie tematiche dei regolamenti urbanistici, evidenziano le seguenti classificazioni:

Pericolosità per fenomeni di subsidenza 3s

Aree potenzialmente subsidenti per caratteri stratigrafici, litotecnici ed idrogeologici. La presenza di terreni affioranti o sepolti compressibili, potenzialmente interessati da fenomeni di subsidenza a seguito di estrazioni di fluidi dal sottosuolo o applicazione di sovraccarichi su superfici estese, impone approfondimenti e valutazioni sul rischio effettivo a supporto dell'intervento diretto. La presenza di terreni compressibili richiede sempre valutazioni approfondite sui cedimenti e sulle tecniche fondazionali più idonee da adottare.

Interessa il tratto di viabilità compreso tra lo intersezione di S. Concordio, fino alla zona di Sorbano del Vescovo nel territorio di Lucca.

Pericolosità per gli aspetti geotecnici delle aree di pianura 2l

Corrisponde ad una situazione geologico-tecnica apparentemente stabile sulla quale tuttavia permangono alcuni dubbi, prevalentemente di carattere geotecnico in relazione alle opere edilizie che potranno essere realizzate nell'area stessa, che comunque potranno essere chiariti a livello di indagine geognostica di supporto alla progettazione edilizia, svolta anche in riferimento ai fenomeni di ritiro e rigonfiamento dei terreni superficiali a prevalente componente argillosa.

Per quanto concerne la fragilità degli acquiferi, la falda sotterranea presente nel sottosuolo dell'intera pianura di Lucca, da cui attingono numerosi pozzi anche ad uso idropotabile, si presenta a carattere prevalentemente freatico, nella porzione nord del tracciato, e semi-confinato nella zona sud. Essa, secondo la classificazione SINTACS, presenta caratteri di vulnerabilità intrinseca compresa tra alta ed elevata, con una area molto limitata che ricade nella classe elevatissima, classificazione che dipende soprattutto dallo spessore e dalla natura della copertura presente a tetto dell'orizzonte acquifero e della distanza della falda dal piano di campagna. In relazione a tale aspetto, dovranno pertanto essere valutate le possibili interferenze tra la viabilità e la qualità della falda idrica sotterranea ed essere definiti gli interventi utili alla salvaguardia di tale risorsa.

4 - DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DELL'AREA

4.1 - Metodologia

Il presente studio si è sviluppato partendo dalla consultazione, valutazione ed elaborazione delle cartografie geologiche di base e tematiche disponibili.

In particolare alla fine del presente paragrafo sono state inclusi stralci delle seguenti cartografie tematiche:

- *Carta di inquadramento geologico e geomorfologico*, scala 1:35.000, (Fig. 4.1) tratta da Nardi R., Nolledi G. & Rossi F. (1987): "Geologia e idrogeologia della Piana di Lucca" - Geogr. Fis. Dinam. Quat., 10, 1-30.
- *Carta dello spessore dei terreni di copertura limoso-argillosi*, scala 1: 35.000, (Fig. 4.2) tratta dal progetto *Vulnerabilità dell'acquifero della Piana di Lucca* (Studio Nolledi, Studio Barsanti, Sani & Sani, 1996-2001) realizzato per conto dell'Amministrazione Provinciale di Lucca.
- *Carta della minima soggiacenza della falda* relativa al periodo di ricarica novembre 2000 (scala 1: 35.000) realizzata dallo Studio Nolledi, per conto delle Amministrazioni comunali di Lucca e Capannori (Fig.4. 3).
- *Carta della Vulnerabilità dell'acquifero* (scala 1: 35.000) tratta dal progetto *Vulnerabilità dell'acquifero della Piana di Lucca* (Studio Nolledi, Studio Barsanti, Sani & Sani, 1996-2001) realizzato per conto dell'Amministrazione Provinciale di Lucca (Fig. 4.4).

In allegato esterno alla relazione sono state realizzate le seguenti cartografie, seguendo le indicazioni del Capitolato d'onori per la redazione del Progetto Preliminare e dello Studio di Impatto Ambientale dell'ANAS:

- T00GE00GEOCG01A Carta geomorfologica (1:25.000)
- T00GE00GEOCG02A Carta geologica (1:25.000)
- T00GE00GEOCG03A Asse Nord-Sud - Carta geologica (1:5000)
- T00GE00GEOCG04A Adeguamento SS12 - Carta geologica (1:5000)
- T00GE00GEOCG05A Asse Ovest-Est - Carta geologica (1:5000)
- T00GE00GEOCG06A Asse Est-Ovest - Carta geologica (1:5000)
- T00GE00GEOCG07A Opera connessa - Carta geologica (1:5000)
- T00GE00GEOCG08A Circonvallazione di Altopascio - Carta geologica (1:5000)
- T00GE00GETFG01A Asse Nord-Sud - Profilo geologico (1:5.000 – 1:500)
- T00GE00GETFG02A Adeguamento SS12 - Profilo geologico (1:5.000 – 1:500)

| | |
|-----------------|--|
| T00GE00GETFG03A | Asse Ovest-Est - Profilo geologico (1:5.000 – 1:500) |
| T00GE00GETFG04A | Asse Est-Ovest - Profilo geologico (1:5.000 – 1:500) |
| T00GE00GETFG05A | Opera connessa - Profilo geologico (1:5.000 – 1:500) |
| T00GE00GETFG06A | Circonvallazione di Altopascio - Profilo geologico (1:5.000 – 1:500) |
| T00GE00GEOCI01A | Carta idrogeologica (1:25.000) |
| T00GE00GEOCI02A | Asse Nord-Sud - Carta idrogeologica (1:5000) |
| T00GE00GEOCI03A | AdeguamentoSS12-Carta idrogeologica (1:5000) |
| T00GE00GEOCI04A | Asse Ovest-Est - Carta idrogeologica (1:5000) |
| T00GE00GEOCI05A | Asse Est-Ovest - Carta idrogeologica (1:5000) |
| T00GE00GEOCI06A | Opera connessa - Carta idrogeologica (1:5000) |
| T00GE00GEOCI07A | Circonvallazione di Altopascio - Carta idrogeologica (1:5000) |
| T00GE00GEOCS01A | Planimetria con classificazione sismica del territorio (1:25.000) |
| T00GE00GETPU01A | Asse Nord-Sud - Planimetria ubicazione indagini geognostiche (1:5000) |
| T00GE00GETPU02A | Asse Ovest-Est - Planimetria ubicazione indagini geognostiche (1:5000) |
| T00GE00GETPU03A | Asse Est-Ovest - Planimetria ubicazione indagini geognostiche (1:5000) |

Inoltre si fa riferimento agli elaborati relativi alle risultanze delle indagini in campo ed in laboratorio:

| | |
|-----------------|--|
| T00GE00GEORE03A | Quaderno delle indagini geognostiche |
| T00GE00GEORE04A | Quaderno delle indagini geognostiche - Prove di laboratorio |
| T00GE00GEORE05A | Quaderno delle indagini geognostiche - Schede dei dati pregressi |

Per quanto riguarda l'acquisizione e l'ubicazione dei dati di base, negli elaborati T00GE00GEORE03A, 04A e 05A è riportata la distribuzione di tutti i dati che sono stati utili a definire la caratterizzazione stratigrafico - geotecnica dei terreni coinvolti dall'intervento, riportati, per una migliore comprensione anche sulla Carta geologica T00GE00GEOCG03A, 04A, 05A, 06A, 07A e 08A, compresi i due sondaggi eseguiti, presso l'acquedotto del Nottolini, nel 2012. In particolare sono presenti i dati derivanti da studi ed indagini pregresse (sondaggi, penetrometrie sia statiche che dinamiche, pozzi a stratigrafia noti) e le cui schede sono riportate nell'All. T00GE00GEORE05A. In tali schede, oltre alle generalità del punto indagine (localizzazione geografica e in coordinate Gauss Boaga, quota del p.c., anno di esecuzione, ditta esecutrice e

tipologia dell'indagine) è presente la successione stratigrafica e, quando disponibile, la relativa parametrizzazione geotecnica. I punti considerati corrispondono a n° 18 sondaggi geognostici, n° 57 prove penetrometriche e n° 13 pozzi a stratigrafia nota.

Sulla base dei dati disponibili è stato quindi predisposto il programma delle indagini della nuova campagna geognostica. Sono stati quindi eseguiti sopralluoghi con i tecnici ANAS e con la ditta incaricata delle indagini stesse, che hanno consentito di localizzare sul posto le prove integrative.

Contemporaneamente a questa fase è stato predisposto un volo aerofotogrammetrico che ha consentito di realizzare il rilievo topografico in scala 1:2.000 in formato digitale ed il controllo della fotointerpretazione già esistente.

Nei citati elaborati T00GE00GEORE03A, 04A e 05A è stata riportata anche la localizzazione dei punti indagine realizzati nella campagna ANAS 2004, e corrispondenti, come già detto, a n° 7 sondaggi geognostici, n° 16 penetrometrie statiche CPT ed una prospezione sismica a rifrazione.

L'insieme dei dati ha contribuito alla ricostruzione dell'andamento stratigrafico e delle caratteristiche geotecniche dei depositi di copertura argilloso-limosi, e in corrispondenza dei sondaggi profondi, lo spessore dell'orizzonte sabbioso ghiaioso. Quest'ultimo dato è stato ricostruito anche in base ai dati ricavati dalle stratigrafie dei pozzi profondi presenti nella piana.

Dal punto di vista metodologico, la carta geologica proposta sia in scala 1:35.000 all'interno del testo (Fig. 4.1) sia in scala 1:25.000 (elaborato T00GE00GEOCG02A) sia in scala 1:5.000 (elaborati T00GE00GEOCG03A, 04A, 05A, 06A, 07A e 08A), ha come riferimento la carta analogica tratta dalla pubblicazione Geologia e Idrogeologia della Piana di Lucca (R. Nardi, G. Nolledi, F. Rossi, 1987). Tale elaborato, che evidenzia la presenza nella pianura di Lucca, di sedimenti a diversa composizione e permeabilità e riporta l'andamento dei percorsi dei paleoalvei del F. Serchio, è stato controllato e rielaborato nella carte a maggiore scala sulla base dell'interpretazione fotogeologica.

Tra i dati conoscitivi disponibili, sono state inoltre prese in considerazione le cartografie tematiche di sintesi relative alla carta dell'isopaca dei terreni superficiali (Fig. 4.2) e ai dati relativi allo spessore dei depositi dell'acquifero sabbioso-ghiaioso, desunti dai sondaggi e pozzi pregressi e da quelli della campagna geognostica 2004.

L'insieme dei dati geologico-tecnici disponibili ha infine permesso di ricostruire i profili geologici lungo il tracciato di progetto (T00GE00GETFG01A, 02A, 03A, 04A, 05A e 06A) in cui sono state distinte le tre principali unità stratigrafiche che caratterizzano la pianura di Lucca e indicando al loro interno eventuali variazioni sedimentologiche e geotecniche.

Per quanto riguarda l'aspetto idrogeologico, è stata prodotta la *carta idrogeologica* in scala 1:25.000 (T00GE00GEOCI01A) e le carte analoghe in scala 1:5.000 (T00GE00GEOCI02A, 03A, 04A, 05A, 06A e 07A); nel testo è inserita la *carta*

della soggiacenza piezometrica relativa al periodo novembre-dicembre 2000 (Fig. 4.3), corrispondente ad un periodo di forte ricarica della falda verificatosi nella zona di Lucca. Dal punto di vista metodologico, i punti di controllo utilizzati sono costituiti prevalentemente da pozzi sia a stratigrafia nota che non nota dislocati in tutta la piana di Lucca.

Tale carta fornisce la distanza della tavola d'acqua dal piano campagna e rappresenta uno strumento fondamentale soprattutto per le aree in cui sono previste opere d'arte per le quali sia necessario l'abbattimento del livello idrico e/o il sostegno delle pareti di scavo.

Relativamente all'aspetto sismico, l'elaborato T00GE00GEOCS01A costituisce la *planimetria con classificazione sismica* delle territorio in scala 1:25.000; essa riporta la macroclassificazione del territorio interessato dal progetto, secondo quanto disposto dall'O.P.C.M. n°3274 del 20.03.2003, secondo la quale i territori comunali di Lucca, di Capannori, di Porcari e di Altopascio ricadono in "zona sismica 3", caratterizzata da un'accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A (ag) pari a 0,15 a_g/g . È introdotta inoltre la microzonazione, desunta dalle analoghe cartografie dei territori comunali presenti nei rispettivi Piani Urbanistici, che individua le categorie del profilo stratigrafico previste dall'Ordinanza suddetta.

Infine al testo è allegata la *Carta della Vulnerabilità dell'acquifero*, scala 1:35.000 (Fig. 4.4), estratta dallo studio sulla Vulnerabilità dell'acquifero del 1996 realizzato per conto dell'Amministrazione Provinciale di Lucca. La carta, realizzata utilizzando il metodo multiparametrico SINTACS, rappresenta una carta di base che esprime la *Vulnerabilità intrinseca* dell'acquifero.

4.2 - Inquadramento geomorfologico e territoriale

La nuova viabilità si sviluppa nella piana di Lucca, tra le quote comprese tra la minima di circa 9,0 m s.l.m. in località Frizzone e 38,6 m in località Ponte a Moriano. La pianura presenta una pendenza media pari al 0,24 % lungo la direttrice NW-SE, passando da valori massimi di circa lo 0,4% nelle porzioni più a nord a valori inferiori allo 0,15% nelle zone più meridionali.

La ricostruzione morfologica del piano campagna lungo il tracciato di progetto, visibile nel profilo geologico del tracciato dell'elaborato T00GE00GETFG01A, 02A, 03A, 04A, 05A, 06A e nella Carta Geomorfologica T00GE00GEOCG01A, è stata ottenuta da un apposito rilievo.

La pianura di Lucca fa parte di uno dei bacini intermontani corrispondenti ad ampie depressioni tettoniche che cominciarono a delinarsi nell'Appennino settentrionale a partire dal Miocene superiore; tale depressione si trova nel prolungamento verso SE della struttura della vallata del Serchio ("Graben del Serchio") e sembra continuare, nella stessa direzione, con quella della Val d'Elsa. Essa

comprende oggi due aree distinte, la piana di Lucca e la piana del sistema Pescia - Nievole, separate dalle colline di Montecarlo - Altopascio - Le Cerbaie, costituite da depositi di cicli lacustri e fluvio-deltizi di età pleistocenica. I rilievi che bordano la pianura sugli altri lati sono costituiti, a Sud-Ovest, da rocce appartenenti alle Successioni Toscane metamorfica e non metamorfica; a Nord-Ovest compaiono litotipi riconducibili sia alla successione Toscana non metamorfica, sia a formazioni alloctone del complesso delle "Liguridi s.l.". Nelle aree di raccordo pianura-rilievi, sono presenti depositi di conoide e alluvioni antiche terrazzate.

Nel sottosuolo della pianura di Lucca si registra la sovrapposizione dei depositi alluvionali del Pleistocene sup. Olocene sulle argille lacustri villafranchiane, affioranti alla base delle colline di Montecarlo. Un altro dato importante è rappresentato dalla continuità areale dell'orizzonte sabbioso-ghiaioso acquifero che si estende sotto tutta la pianura, anche se con spessori variabili. Il progressivo aumento dello spessore delle ghiaie, fino a valori massimi di oltre 40 m, lungo la direttrice Saltocchio - Lammari - Tassignano conferma che tale direttrice corrisponde a quella lungo la quale il Serchio ha esercitato per più lungo tempo la sua azione erosiva. In superficie, i depositi della pianura risultano costituiti da sedimenti prevalentemente limoso-sabbiosi nella porzione centrale, mentre si osservano depositi più fini, talora torbosi, nella porzione sud orientale.

L'attuale corso del Serchio è in gran parte arginato e pensile sulla pianura alluvionale, per cui mentre è in grado di ricevere tutti gli affluenti posti in riva destra, lungo l'orlo dei rilievi nord-occidentali, non altrettanto si verifica per gran parte delle acque superficiali in riva sinistra; su questa sponda il Serchio, dopo aver ricevuto immediatamente a valle di Ponte a Moriano il contributo del Torrente Fraga, che scende dal settore Ovest delle Pizzorne, non riceve più alcun affluente fino alla località di Rigoli, 4 km a valle di Filettole, dove si ha la confluenza nel fiume del Canale Ozzeri. Quest'ultimo costituisce in pratica il collettore di tutte le acque superficiali del settore Ovest della pianura di Lucca e dei corsi d'acqua che scendono dal corrispondente settore dei Monti Pisani (i più importanti sono il Rio di Vorno ed il Torrente Guappero). Il settore Est della pianura, ad oriente della congiungente le frazioni di S. Pietro a Vico - Picciorana - Antraccoli - Mugnano - Pontetetto che costituisce una linea spartiacque artificiale in prossimità della quale corre il tracciato del canale Ozzoretto tributario del citato Ozzeri, porta le sue acque verso il bacino di bonifica dell'ex Lago di Bientina. Ciò avviene sia mediante un altro canale collettore, il Rogio, sia con altri canali che raccolgono le acque dei corsi d'acqua provenienti dai rilievi di Nordest e di Est (Pizzorne, colline di Montecarlo - Altopascio).

La sistemazione idraulica della pianura, dopo l'arginatura definitiva del Serchio nel XVI secolo lungo il tracciato attuale, costituì sempre un grave problema, sia per l'incerta definizione di un vero e proprio spartiacque tra i settori orientale ed occidentale, sia per la difficoltà di smaltimento delle acque nella zona sud-orientale da parte dell'Arno prima e del padule/lago di Bientina poi. Il problema fu in parte risolto nel secolo scorso con la costruzione di una botte sotto l'Arno per dare un corso

indipendente fino al mare all'emissario del Bientina e bonificare in massima parte l'alveo del lago. In pratica, se consideriamo il bacino imbrifero della pianura lucchese in sinistra del Serchio e del T. Fraga, ultimo suo affluente orientale, il 35% appartiene al sottobacino del collettore occidentale (Canale Ozzeri) ed il 65% ai collettori orientali (Canale Rogio - Fossa Nuova - Fossa Navareccia). Su tale situazione idraulica si viene poi a sovrapporre la rete dei canali irrigui, che complessivamente supera una lunghezza di 400 km, i quali derivano acqua dal Condotta Pubblico e che a sua volta è alimentato dal Serchio con un'apposita derivazione nella zona di Ponte a Moriano

L'assetto idraulico della Pianura di Lucca è stato ben funzionante fino ad una cinquantina di anni fa, vale a dire fin tanto che vi era praticata in modo intensivo l'agricoltura. Attualmente molti canali irrigui derivati dai principali non sono più efficienti o sono divenuti collettori di scarico per gli insediamenti civili e industriali che nel frattempo hanno occupato la pianura, così come scarsamente efficienti sono molti dei canali della bonifica del Bientina.

Per la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo nella fascia di terreno al contorno del tracciato di progetto, come già detto, sono stati utilizzati dati esistenti disponibili facenti parte del Database stratigrafico dello Studio Nolledi, integrati dalla specifica campagna geognostica realizzata nel periodo novembre-dicembre 2004. La sintesi dei dati stratigrafici e geotecnici relativi ai punti d'indagine, che sono ubicati negli elaborati T00GE00GETPU01A, 02A, 03A, sono presentati negli Elaborati T00GE00GEORE03A e 04A (campagna 2004) e nell'Elaborato T00GE00GEORE05A (dati pregressi).

Quanto reperito, ha permesso di effettuare la ricostruzione di sintesi della correlazione stratigrafica.

4.3 - Inquadramento geologico - stratigrafico

Dal punto di vista stratigrafico, come già accennato, la pianura di Lucca è rappresentata in superficie (Fig. 4.1) da sedimenti di natura alluvionale costituiti sia da ghiaie e/o ghiaie con sabbia, talvolta grossolane, permeabili, affioranti in una porzione centro-settentrionale della piana, sia da sedimenti più fini, prevalentemente limoso-sabbiosi di media permeabilità, nella porzione centrale. Nel settore sud-orientale sono inoltre presenti depositi limoso-argillosi e torbosi di bassa permeabilità.

Nel sottosuolo si registra la sovrapposizione fra tali depositi alluvionali del Pleistocene Superiore - Olocene ed i sottostanti depositi lacustri di natura prevalentemente argillosa di età Villafranchiana, presenti in affioramento su gran parte dei rilievi collinari che bordano il margine settentrionale e orientale della piana di Lucca.

Le alluvioni recenti del Serchio, nella porzione sabbioso-ghiaiosa, costituiscono un acquifero che con continuità areale si estende con spessore variabile sotto tutta la pianura. Per questo motivo la Piana di Lucca, vasta circa 160 km², risulta

caratterizzata dalla presenza di una falda sotterranea consistente e pregiata, in stretta correlazione con le acque del fiume, che ha consentito in passato e consente tutt'oggi lo sviluppo socio-economico della zona.

Le dorsali collinari che limitano la pianura sono costituiti a sud da rocce che possono essere ricondotte a litotipi appartenenti alle Successioni Toscane metamorfica e non metamorfica, mentre a nord, ad est e ad ovest compaiono litologie riconducibili sia alla successione Toscana non metamorfica, sia a formazioni alloctone del complesso delle "Liguridi s.l.".

In particolare nella zona più settentrionale del tracciato, i depositi fluvio-lacustri si appoggiano su un substrato litoide rappresentato sia dall' *arenaria Macigno*, sia dal *Flysch ad Elmintoidi* (fH), presenti in affioramento anche sui rilievi collinari di Ponte a Moriano.

Nelle fasce di raccordo pianura-rilievi, sono inoltre presenti, oltre ai depositi lacustri, anche depositi di conoide ed alluvioni antiche disposte in vari ordini di terrazzi.

4.4 - Inquadramento idrogeologico

I pozzi censiti nella pianura sono adibiti a vari usi, per una parte si tratta di pozzi "romani", scavati a mano, con rivestimento in muratura o ad anelli, che raggiungono profondità comprese tra 5 e 15 m. Tali pozzi sono oggi poco utilizzati, salvo qualche uso agricolo locale. Altri pozzi molto diffusi sono quelli di tipo infisso, di piccolo diametro, che servono ampie aree non ancora servite dai pubblici acquedotti. Solo una piccola parte dei pozzi è del tipo trivellato, con profondità di solito superiori ai 20 m, ad uso potabile, industriale o irriguo.

I pozzi superficiali, del tipo "romano" o infisso, in genere non attraversano completamente l'acquifero; i pozzi trivellati invece sfruttano l'orizzonte sabbioso-ghiaioso nella sua interezza e, quando compaiono intercalazioni impermeabili, in ogni suo livello. I pozzi sono stati quotati in genere dalle carte aerofotogrammetriche in scala 1:2.000 dei Comuni della piana di Lucca; in alcuni casi le quote sono state ottenute anche per livellazione topografica, in occasione di studi di dettaglio.

Sulla base dei dati elaborati, che si riferiscono a misure eseguite dal 1972 sui livelli statici della falda nei punti di controllo considerati, vengono costruite *le curve isopiezometriche*, tracciate con l'equidistanza di 1 metro e riferite alle quote sul livello marino.

Come già accennato in precedenza, il livello ghiaioso interposto tra il substrato "di base" prevalentemente argilloso (depositi fluvio-lacustri), e la copertura superficiale, limoso-sabbiosa e/o limoso-argillosa, è sede di una falda acquifera molto importante che, trae alimentazione principalmente dal F. Serchio.

A tale falda attingono, oltre a pozzi privati e industriali, molti impianti acquedottistici pubblici non solo per il rifornimento locale, ma anche per l'approvvigionamento di altre provincie. Tale falda è per tale motivo oggetto, da parecchi anni, di studi e di controlli che hanno permesso una buona e dettagliata conoscenza delle oscillazioni stagionali del livello idrico.

La falda sotterranea (Elaborato T00GE00GEOCI01A, 02A ,03A, 04A, 05A, 06, 07A) con direzione di flusso da nord a sud con gradiente idraulico medio di circa il 3 per mille, assume carattere tipicamente freatico nella porzione settentrionale, dove affiorano i depositi permeabili sabbioso-ghiaiosi e sabbioso-limosi, mentre diviene semi-confinata procedendo verso sud, a mano a mano che i sedimenti più permeabili risultano limitati verso l'alto dai depositi più fini a medio-bassa permeabilità.

La ricarica avviene in massima parte dal subalveo del F. Serchio ed in subordine dall'infiltrazione diretta, in particolare nella zona posta a nord di Lucca, dove sono presenti in affioramento i depositi sabbioso ghiaiosi acquiferi.

Dall'analisi della Carta della soggiacenza della falda (Fig. 4.3) che descrive la profondità della tavola d'acqua dal piano campagna relativamente al periodo novembre - dicembre 2000 (periodo di massima ricarica storica), si evince che i livelli di falda, nell'ambito del tracciato in progetto, si attestano alle seguenti profondità:

| tratto stradale | soggiacenza m |
|--------------------------------|--------------------------|
| Adeguamento SS n° 12 | 3,0÷4,0 |
| Asse Nord-Sud | 1,5÷4,0 |
| Intersezione Lucca Est | 0,5 |
| Asse Ovest-Est | 0,5÷1,0 |
| Intersezione di Antraccoli | 1,5 |
| Asse Est-Ovest | 1,0÷1,5 |
| Cavalcaferrovia FS | 1,5 |
| Opera Connessa | 0,5÷1,0 |
| Circonvallazione di Altopascio | 1,5÷6,0 |

Relativamente alla *fragilità dell'acquifero* presente, esso è caratterizzato in genere da un'alta vulnerabilità, sia in funzione dello spessore e della natura della copertura presente a tetto dell'orizzonte acquifero sia per la distanza della falda dal piano di campagna.

La Carta di Fig. 4.4 riporta uno stralcio della Carta di Vulnerabilità redatta per l'Amministrazione Provinciale di Lucca, con il metodo SINTACS (Civita, 1990) un sistema a punteggi e pesi il cui acronimo deriva dalle iniziali dei fattori principali che vengono considerati per la valutazione della vulnerabilità e che sono:

- **S**oggiacenza
- **I**nfiltrazione
- effetto di auto depurazione del **N**on saturo
- **T**ipologia della copertura
- caratteristiche idrogeologiche dell'**A**cquifero
- **C**onducibilità idraulica dell'acquifero
- acclività della **S**uperficie topografica.

Nel caso specifico della Piana di Lucca la determinazione della vulnerabilità è stata ottenuta attraverso la tecnica della sovrapposizione multipla di 7 cartografie monoparametriche, zonizzate per aree omogenee, quali:

- carta della soggiacenza
- carta della piovosità medio annua
- carta della litologia di superficie
- carta della litologia del non saturo
- carta degli spessori del non saturo
- carta della litologia dell'acquifero
- carta degli spessori dell'acquifero
- carta della conducibilità idraulica dell'acquifero.

Dall'analisi della carta, il tracciato in progetto interseca 4 classi con grado di vulnerabilità: MEDIO, ALTO, ELEVATO ed ELEVATISSIMO.

1. grado *ELEVATISSIMO*: connesso alla concomitanza di molti fattori, quali una soggiacenza con valori bassi (e quindi la presenza di acqua molto prossima al p.c.), un'infiltrazione efficace di valore intermedio (considerato in SINTACS come il più pericoloso per la sua scarsa autodepurazione e per la persistenza di eventuali agenti inquinanti) e un consistente spessore dell'acquifero;
2. grado *ELEVATO*: interessa una ampia fascia di territorio ed è imputato a variazioni nei valori della soggiacenza, dell'infiltrazione efficace e dello spessore della copertura, che complessivamente o singolarmente forniscono contributi migliorativi ai fini della valutazione di vulnerabilità redatta col metodo SINTACS;
3. grado *ALTO* e *MEDIO*: in genere la riduzione del grado di vulnerabilità rispetto alle due classi precedenti è da collegare ad ispessimento della copertura e/o a riduzione della trasmissività dell'acquifero, oltre che a variazioni dell'infiltrazione efficace;

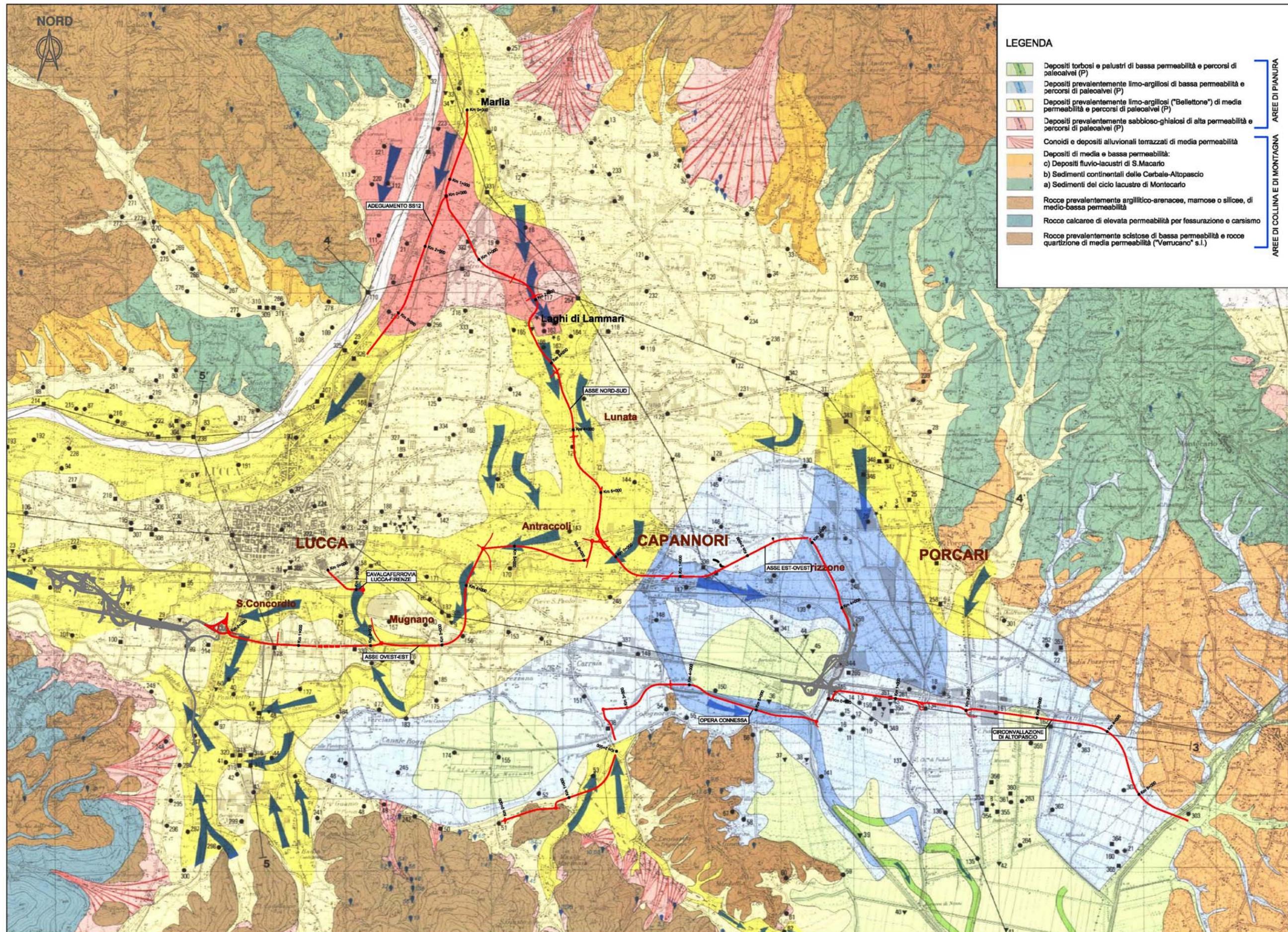
In dettaglio, il tratto di pianura interessato dall'adeguamento della SS n° 12 presenta grado di vulnerabilità ALTO con un solo punto, nei pressi di km 3+000, che in corrispondenza di un laghetto ha grado di vulnerabilità ELEVATISSIMO.

La pianura che accoglie l'Asse Nord-Sud ha grado di vulnerabilità alto fino al km 3+00 mentre nel secondo tratto ha grado di vulnerabilità ELEVATO; si segnala che in un'area limitrofa al tracciato in corrispondenza del km 2+500, in corrispondenza dei

laghetti di Lammari (ex cave di prestito nelle ghiaie) in cui il livello di falda viene a giorno, il grado di vulnerabilità è ELEVATISSIMO.

Lungo il tracciato dell'Asse Ovest-Est nell'area iniziale di S. Concordio fino al km 1+040, si ha un grado di vulnerabilità MEDIO, poi si ha grado di vulnerabilità ALTO fino al km 2+010, a partire dal quale il grado di vulnerabilità diventa ELEVATO con eccezione del tratto compreso tra i km 3+500 e 4+900, in cui diventa ELEVATISSIMO in quanto il tracciato attraversa la zona di pianura compresa tra gli abitati di Antraccoli, S. Filippo, Toringo e della Pieve S. Paolo che presenta appunto un tale grado di vulnerabilità.

L'Asse Est-Ovest, dopo un primo settore di pianura con grado di vulnerabilità ELEVATO, percorre, fino al km 4+000, un'area con grado di vulnerabilità ALTO per avere poi nell'ultimo breve tratto un grado di vulnerabilità medio.



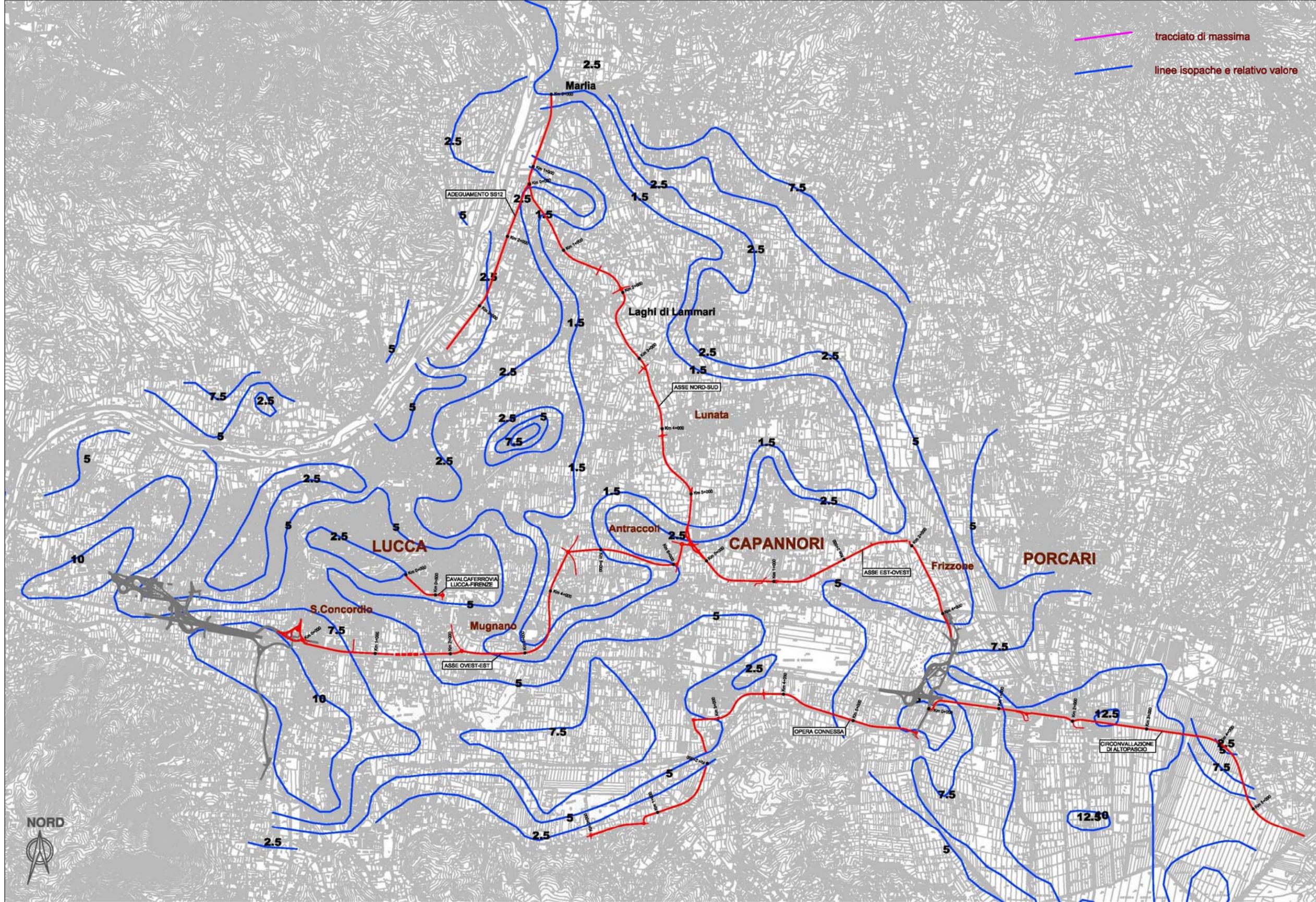


Figura 4.2 - Carta dello spessore dei terreni di copertura limoso sabbiosi
 Scala 1:50.000

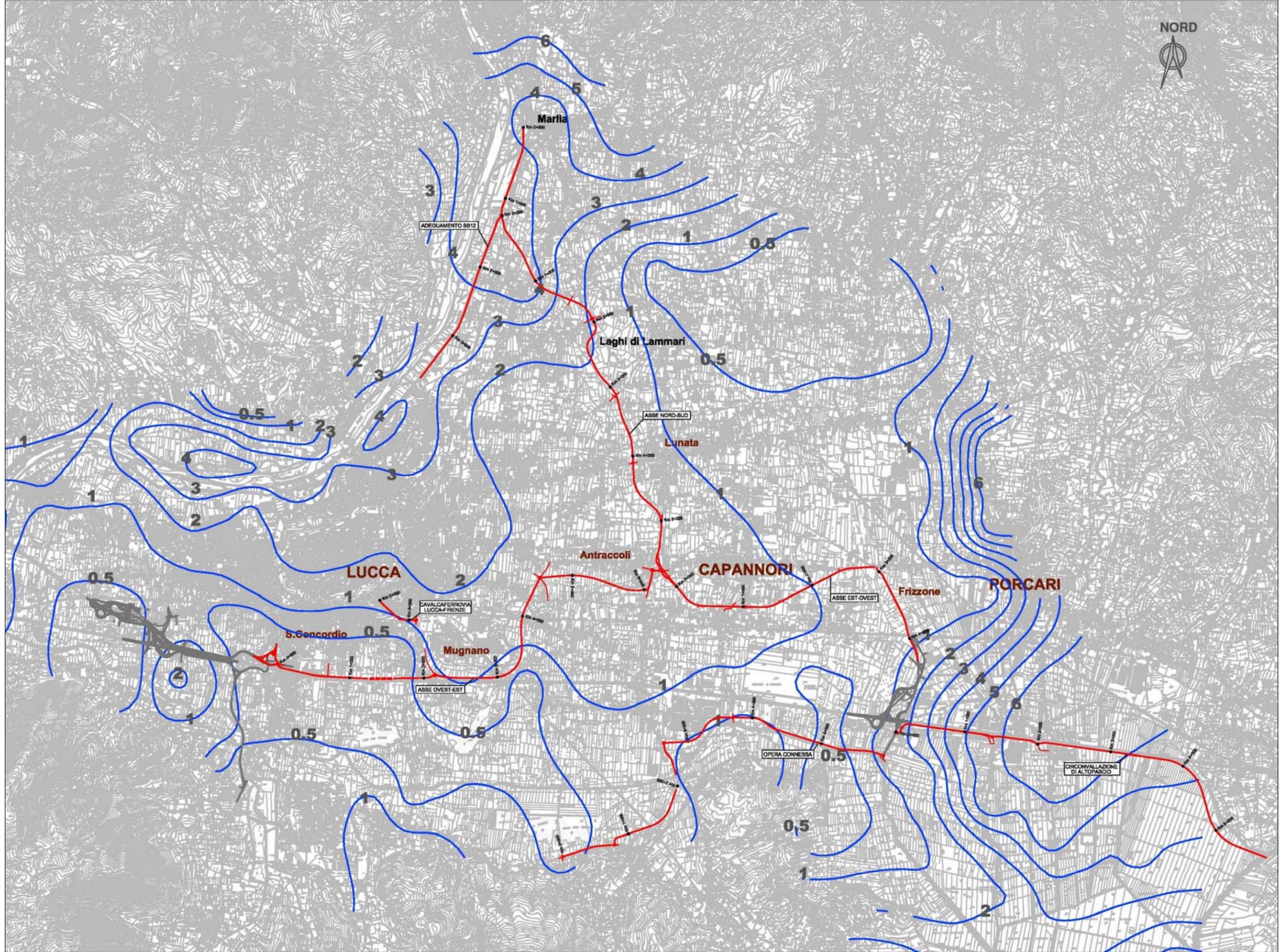


Figura 4.3 - Carta della minima soggiacenza della falda - novembre 2000

Scala 1:50.000

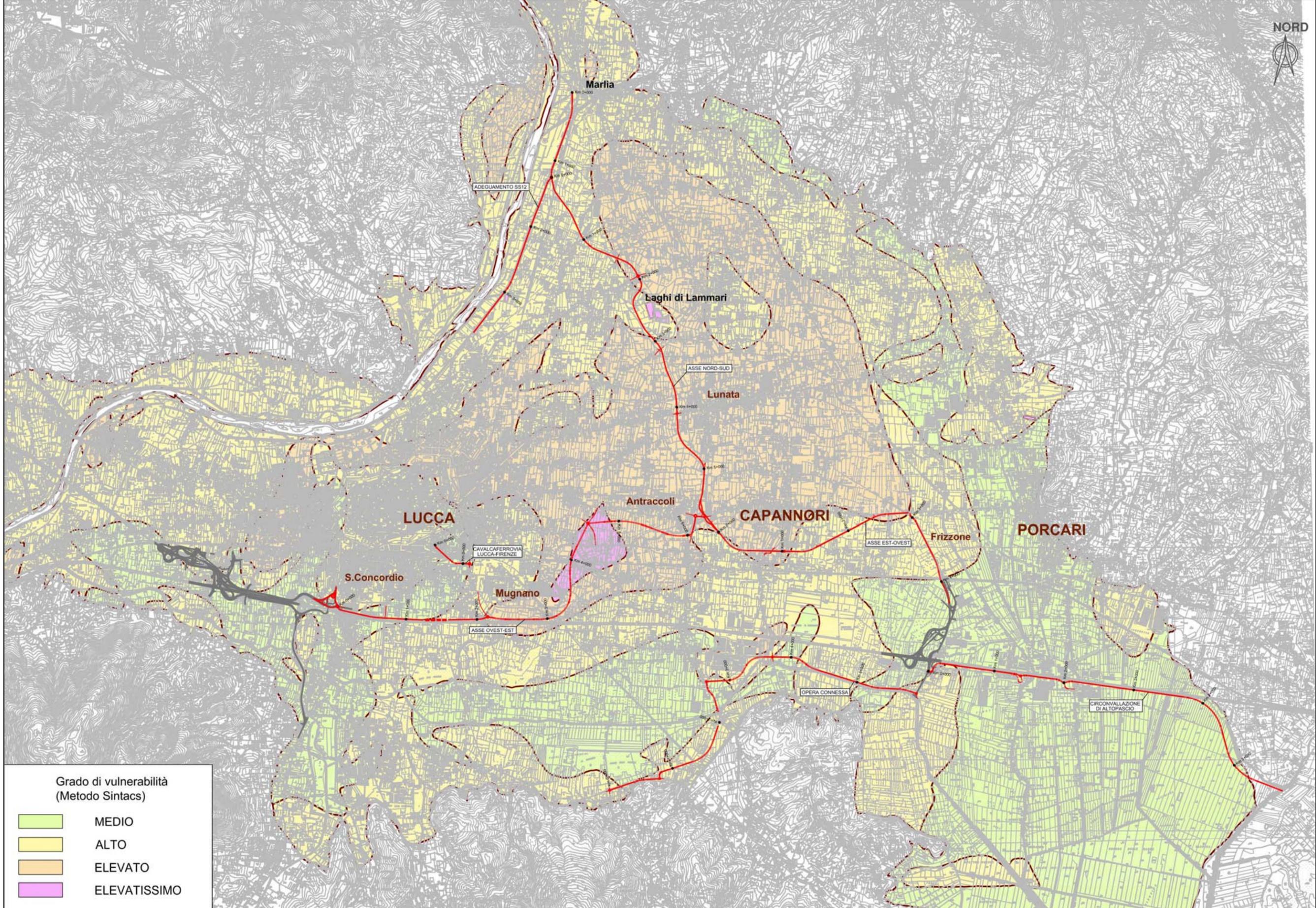


Figura 4.4 - Carta della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero

Scala 1:50.000

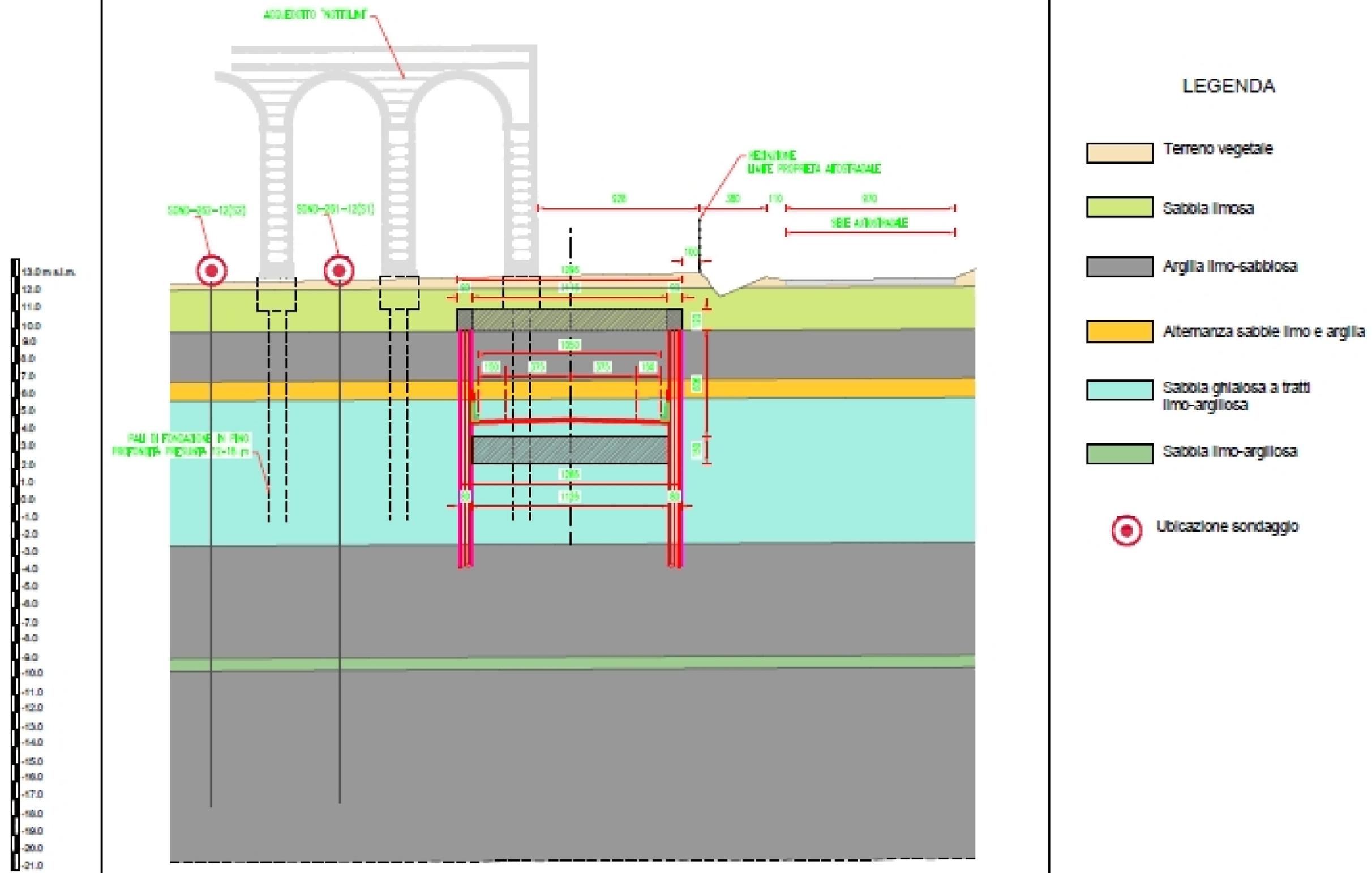


Figura 4.5 - Sezione stratigrafica di dettaglio in corrispondenza dell'acquedotto del Nottolini

5 - CAMPAGNA GEOGNOSTICA. STRATIGRAFIA. GEOTECNICA

5.1 - Campagna geognostica 2004

Sulla base del quadro conoscitivo disponibile per l'area interessata dal progetto viario, e in funzione delle problematiche che necessitavano un approfondimento per la presenza delle principali opere d'arte, è stato concordato un programma di indagine così articolato:

- n° 7 *sondaggi geognostici* a carotaggio continuo, per uno sviluppo complessivo di 141,5 m.
- n° 16 *penetrometrie statiche CPT*, con sviluppo complessivo di 59 m.
- n° 1 stesa *sismica a rifrazione*.

In particolare i sondaggi geognostici, ubicati in corrispondenza delle principali opere d'arte, hanno raggiunto profondità variabili in funzione delle condizioni stratigrafiche e geotecniche riscontrate e delle caratteristiche dello specifico intervento su cui si impostano, e cioè comprese tra i 15,0 ed i 30,0 m.

Poiché per motivi logistici (inaccessibilità all'area per il rifiuto di accesso da parte del proprietario del terreno), è stato impossibile realizzare un sondaggio (S5) posizionato in corrispondenza del superamento di un rilevato ferroviario, in località Toringo (comune di Capannori), esso è stato sostituito con una prova penetrometrica (Pt16), ubicata lungo la banchina della strada comunale, ed una stesa sismica a rifrazione. Quest'ultima in particolare, realizzata con le onde S, è stata utilizzata anche per la caratterizzazione del suolo dal punto di vista sismico, in applicazione dell'O.P.C.M. n° 3274 del 20.03.2003.

Sono state poi realizzate n° 15 prove penetrometriche finalizzate a caratterizzare la copertura superficiale, interrompendole in corrispondenza del rifiuto strumentale per l'intercettazione del materiale consistente sabbioso-ghiaioso.

In particolare esse sono state posizionate sia lungo il tracciato dell'asse Ovest-Est, dove si manifestano i maggiori spessori della copertura, caratterizzata peraltro da mediocri parametri sia lungo l'asse Nord-Sud in zone poco caratterizzate da dati progressi.

Durante la realizzazione dei sondaggi, oltre al prelievo di *campioni indisturbati* e di frammenti di carote per le analisi di laboratorio, sono state effettuate *prove SPT*, all'interno dei terreni sabbioso-ghiaiosi, per la determinazione dell'angolo di attrito interno, del grado di addensamento e per trarne indicazioni anche ai fini della microzonazione sismica.

Il macchinario utilizzato per l'esecuzione dei *sondaggi geognostici*, è una perforatrice idraulica *Boart Longyear Deltabase 520*, con spinta da 4500 kg e tiro di 6.000 kg. Il carotiere utilizzato è di tipo *semplice* con $\phi = 101$ mm, mentre il tubo di rivestimento presenta un $\phi = 127$ mm. I campioni indisturbati sono stati prelevati con campionatore di tipo SHELBY per fustelle Inox con $\phi = 88,9$ mm.

Per quanto concerne le *prove penetrometriche CPT*, lo strumento utilizzato è il *Penetrometro statico* tipo PAGANI TG 63-200, con punta conica meccanica con $\text{Ø } 35,7$ mm e angolo di apertura = 60° . Nel caso della penetrometria Pt16, una volta raggiunto il rifiuto dello strumento statico in corrispondenza dell'orizzonte resistente, l'indagine è proseguita con il *penetrometro dinamico* DPSH caratterizzato da un peso della Massa battente di 63,5 kg, da un diametro della punta conica $D = 50,50$ mm, un'area della base della punta conica $A = 20,00$ cm² e un angolo della punta di 90° . Si rimanda all'Elaborato T00GE00GEORE04A per maggiori dettagli tecnici.

Per quanto riguarda la *prospezione sismica*, la metodologia utilizzata è quella a rifrazione mediante l'energizzazione di onde di taglio di tipo SH e sfruttando la proprietà che hanno le onde sismiche di rifrangersi sulla superficie di separazione fra litotipi diversi, generalmente caratterizzati da una differente velocità di propagazione. Lo strumento utilizzato è un sismografo a 24 canali ECHO 12-24/2002 collegato ad un p.c. portatile su cui è installato programma di acquisizione Ambrogeo 6,02. I dati acquisiti in campagna e registrati sul pc sono stati poi processati tramite il programma di elaborazione Winsism v.10. Al fine di garantire la copertura dell'area di indagine di interesse e ottimizzando gli ingombri disponibili, è stato eseguito n° 1 stendimento avente sviluppo di metri 92 con azimuth W-E ed utilizzando 24 geofoni interspaziati di 4 m. Si rimanda al Quaderno delle indagini geognostiche (T00GE00GEORE04A) per maggiori dettagli tecnici.

Per quanto riguarda le *analisi di laboratorio*, i cui certificati sono riportati nell'elaborato T00GE00GEORE05A, sono stati presi in esame, in due tempi diversi, secondo le richieste dell'ufficio tecnico ANAS, n° 22 campioni di terreno, tra cui n° 9 campioni indisturbati e n° 14 frammenti di carote. Le tipologie di analisi eseguite sono le seguenti:

- determinazione dei parametri fisici
- analisi granulometriche
- limiti di Atterberg
- edometria
- prova triassiale
- taglio diretto

Nei capitoli successivi relativi alle problematiche geotecniche saranno descritte anche le prove di laboratorio geotecnico effettuate sui campioni di terreno ed i relativi risultati; per i terreni non indagati sono inoltre riportati a titolo solamente indicativo, i parametri geotecnici presi da dati di letteratura.

5.2 - Caratterizzazione stratigrafico - geotecnica dei terreni

Dall'analisi dell'insieme dei dati stratigrafici e geotecnici disponibili, lungo lo sviluppo viario di progetto, sono stati individuati 4 settori all'interno dei quali è stato possibile definire una successione media dei terreni.

In particolare mentre l'asse Ovest -Est è stato suddiviso in due zone omogenee (settore 1 e settore 2) l'asse Nord Sud corrisponde al settore 3, quello Est-Ovest al settore 4. Di seguito si descrivono sinteticamente i settori individuati e le relative successioni stratigrafiche e geotecniche medie, rimandando per i dettagli agli elaborati T00GE00GEORE04A e 05A (campagna 2004):

settore n° 1: da S. Concordio (intersezione autostrada - sez. 1) fino a Mugnano (sez. 70), costituisce una porzione dell'asse Ovest- Est. È la zona contraddistinta dal maggiore spessore dei terreni di copertura (da 2-3 a 9 m), peraltro caratterizzati da parametri talora scadenti e potenzialmente soggetta a fenomeni di subsidenza.

settore n° 2: da Mugnano fino a Antraccoli/Madonnina (sez. 126), rappresenta la rimanente porzione dell'asse Ovest-Est. È contraddistinto da spessori della copertura minori (da 1 a 3 m) e da parametri geotecnici che tendono a migliorare, procedendo verso nord.

settore n° 3: da Antraccoli fino alla SS 12 incrocio con Via delle Piagge seconda. Corrisponde all'asse Nord-Sud ed contraddistinto da bassi spessori della copertura fino ad avere, nella zona di Lammari, il diretto affioramento dei depositi sabbioso-ghiaiosi resistenti.

settore n° 4: corrisponde all'asse Est-Ovest che da Antraccoli arriva fino a Frizzone. Tale zona è contraddistinta da spessori della copertura compresi tra 3,0 e 6,0 m circa di natura variabile.

Di seguito si riporta la caratterizzazione stratigrafica delle indagini svolte e la relativa parametrizzazione geotecnica.

SETTORE N° 1

Corrisponde alla porzione occidentale dell'asse Ovest-Est, caratterizzato dall'affioramento dei depositi prevalentemente limoso-argillosi (Bellettone) contrassegnati in questo settore da elevati spessori e mediocri parametri geotecnici, per la bassa resistenza e l'elevata compressibilità. Coincide infatti con l'area definita dal R.U. di Lucca come soggetta a potenziali fenomeni di subsidenza.

I dati ottenuti dalle penetrometrie e sondaggi della campagna 2004, indicano la presenza della seguente successione di terreni dall'alto verso il basso:

- *depositi limoso argillosi da molli a mediamente consistenti*, con spessore variabile tra un massimo di 9,0 m ed un minimo di 2,0 m; dal punto di vista geotecnico tali terreni sono contraddistinti da un comportamento

prevalentemente coesivo ($C_{\text{umin}} = 15-30 \text{ kPa}$), ad elevata compressibilità (modulo di deformazione edometrico $E = 1.471 - 2.158 \text{ kPa}$).

- *depositi sabbioso ghiaiosi* resistenti in cui si manifesta in genere il rifiuto dello strumento penetrometrico. Lo spessore di tale orizzonte varia tra circa 20,0 m e 12,0 m. Talora, e in maniera discontinua, il passaggio tra i depositi limosi e quelli ghiaiosi è marcato da un livello di *sabbie e sabbie limose*, mediamente addensate. All'interno dei depositi sabbioso-ghiaiosi alluvionali è stato inoltre individuato, nella zona ad est di Sorbano del Vescovo, una intercalazione lenticolare di materiale prevalentemente argilloso (v. profilo stratigrafico), che dalle ricostruzioni eseguite presenta uno spessore massimo di circa 12 m nella zona del sondaggio S3 (Acquedotto Monumentale del Nottolini) e caratterizzato da medio-bassi parametri geotecnici. I depositi sabbioso ghiaiosi si caratterizzano da un comportamento essenzialmente granulare, con angoli di attrito interno $\phi > 35^\circ$ e bassa compressibilità $E > 24.500 \text{ kPa}$.
- *depositi fluvio-lacustri*, presenti a profondità variabili tra circa 20,0 e 25,0 m dal p.c., individuati solo dai punti indagine più profondi. Tali depositi, sovraconsolidati, presentano in genere elevati parametri di resistenza meccanica e compressibilità molto bassa.

Di seguito si riporta una stratigrafia media del tratto considerato, con associata la parametrizzazione geotecnica media, rimandando per i dettagli alle specifiche stratigrafie dei sondaggi e delle penetrometrie negli elaborati T00GE00GEORE04A e 05A (campagna 2004).

| profondità medie | descrizione della successione stratigrafica |
|-------------------------|--|
| 0,00 ÷ 6,00 | <i>limi argillosi e argille da molli a mediamente compatti</i> con $R_{p_{\text{medio}}} = 883 \text{ kPa}$, $C_{\text{medio}} = 40 \text{ kPa}$ $E_{\text{medio}} = 3.335 \text{ kPa}$ |
| 6,00 ÷ 7,00 | <i>sabbie e sabbie limose</i> con $R_{p_{\text{medio}}} = 3.433 \text{ kPa}$, $\phi_{\text{medio}} = 29^\circ$, $E_{\text{medio}} = 9.805 \text{ kPa}$ |
| 7,00 ca. ÷ 22,00 m | <i>ghiaie e sabbie addensate</i> con $R_{p_{\text{medio}}} = 19.615 \text{ kPa}$, $N_{\text{spt medio}} = 40 \text{ colpi}$, $\phi_{\text{medio}} = 35^\circ-37^\circ$, $E_{\text{medio}} > 24.520 \text{ kPa}$ |
| oltre i 22,00 m | <i>depositi fluvio-lacustri</i> : sabbie e ghiaie in abbondante matrice argilloso limosa in alternanza con limi argilloso-sabbiosi compatti di colore ocreo. $N_{\text{spt}} = 40 \text{ colpi}$, cui corrisponde in termini di attrito interno un ϕ pari a circa 36° . |

SETTORE N° 2

Corrisponde alla porzione orientale e settentrionale dell'asse Ovest-Est, caratterizzato dall'affioramento dei depositi prevalentemente limoso-argillosi (Bellettone) con spessori che tendono a ridursi da sud verso nord.

I dati ottenuti dalle penetrometrie e sondaggi della campagna 2004, indicano la presenza della seguente successione di terreni dall'alto verso il basso:

- *depositi limoso argillosi da mediamente compatti a compatti e limi sabbioso-argillosi*, con spessore variabile tra un massimo di 3,0 m ed un minimo di 1,0 m; dal punto di vista geotecnico tali terreni possono essere contraddistinti sia da un comportamento prevalentemente coesivo ($c_{\text{umin}} = 35$ kPa), che granulare ($\phi_{\text{min}} = 27^\circ$). In termini di compressibilità tali terreni presentano valori di modulo di deformazione edometrico minimo pari a circa 2.450 kPa.
- *depositi sabbioso ghiaiosi* resistenti con spessore variabile tra circa 23,0 m e 20,0 m. Anche in questo settore, in maniera discontinua, il passaggio tra i depositi limosi e quelli ghiaiosi può essere caratterizzato dalla presenza un livello di *sabbie e sabbie limose*, da mediamente addensate ad addensate che talora possono trovarsi anche in affioramento (v. Pt05). I parametri geotecnici di tale orizzonte, pressoché omogenei con quelli del settore precedente, presentano valori di $\phi > 37^\circ$ ed $E > 49.035$ kPa).
- A profondità di circa 25,0 m dal p.c., sono presenti infine i *depositi fluvio-lacustri sovraconsolidati*.

Di seguito si riporta una stratigrafia media del tratto considerato, con associata la parametrizzazione geotecnica media, rimandando per i dettagli alle specifiche stratigrafie dei sondaggi e delle penetrometrie negli elaborati T00GE00GEORE04A e 05A (campagna 2004).

| | |
|---------------------|--|
| 0,00 ÷ 3,00 m | <i>limi argillosi e argille da mediamente compatti a compatti</i> con $R_{p_{\text{medio}}} = 1.471$ kPa, $c_{u_{\text{medio}}} = 55$ kPa, $E_{\text{medio}} = 4.315$ kPa |
| 3,00 ca. ÷ 4,00 m | <i>sabbie</i> con $R_{p_{\text{medio}}} = 9.807$ kPa, $\phi_{\text{medio}} = 30-31^\circ$ $E_{\text{medio}} = 19.613$ kPa |
| 4,00 ca. ÷ 25,00 m | <i>ghiaie e sabbie addensate</i> con $R_{p_{\text{medio}}} = 24.515$ kPa, $N_{\text{spt medio}} = 45$ colpi, $\phi_{\text{medio}} = 37^\circ$, $E_{\text{medio}} > 29.420$ kPa |
| oltre i 25,00 ca. m | <i>depositi fluvio-lacustri</i> : sabbie e ghiaie in matrice argilloso limosa con limi argilloso - sabbiosi compatti di colore ocraceo. $N_{\text{spt}} = 57$ colpi, cui corrisponde in termini di attrito interno un ϕ pari a circa 37° . |

SETTORE N° 3

Corrisponde essenzialmente all'asse Nord-Sud, ed è caratterizzato dalla presenza in affioramento sia della porzione più sabbiosa del "Bellettone" sia dei depositi sabbioso ghiaiosi.

I dati ottenuti dalle penetrometrie e sondaggi della campagna 2004, indicano la presenza della seguente successione di terreni dall'alto verso il basso:

- nel tratto compreso tra la rotonda di Antraccoli e la zona di Lammari: *depositi limoso argillosi compatti e limi sabbioso-argillosi* del Bellettone, con spessore variabile tra un massimo di 2,5 m e minimo di 1,0 m.
- più a nord, sempre in superficie, tra Lammari e Marlia i *limi sabbiosi e le sabbie limose* corrispondenti alla porzione più fine dei *depositi sabbioso ghiaiosi* resistenti, presenti anche al di sotto del Bellettone.
- *depositi sabbioso-ghiaiosi* varia tra un massimo di 31,0 m nella zona sud e 7,0 m nella zona nord. Anche in questo settore, in maniera discontinua e sporadica, il passaggio tra i depositi limosi superficiali e quelli ghiaiosi può essere caratterizzato dalla presenza un livello di sabbie e sabbie limose.
- *depositi fluvio-lacustri* si presentano a profondità massime di circa 32 m nella zona sud del tracciato e di circa 8-9 m nella zona nord, dove peraltro tali sedimenti si sovrappongono (zona di Marlia - T. Fraga) al substrato litoide riconosciuto in alcuni sondaggi pregressi e riferibile alla formazione del Flysch ad Elmintoidi.

I depositi superficiali limoso-argillosi e/o sabbiosi sono caratterizzati da parametri di resistenza medi ($c_{\text{umino}} = 45 \text{ kPa}$, $\phi_{\text{min}} = 26^\circ$, modulo edometrico $E_{\text{min}} = 2.745 \text{ kPa}$), mentre i depositi sabbioso ghiaiosi si presentano omogenei con quelli già visti nel settore precedente ($\phi > 36^\circ$ e $E > 49.035 \text{ kPa}$).

Di seguito si riporta una stratigrafia media del tratto considerato, con associata la parametrizzazione geotecnica media, rimandando per i dettagli alle specifiche stratigrafie dei sondaggi e delle penetrometrie all'elaborato T00GE00GEORE04A.

| | |
|----------------|--|
| 0,00 ÷ 2,50 m | <i>limi argillosi e argille compatti, talora con livelli di limi sabbiosi e sabbie limose</i> con $R_{p\text{medio}} = 1.275 \text{ kPa}$, $C_{\text{umedio}} = 58 \text{ kPa}$, $E_{\text{medio}} = 4.217 \text{ kPa}$ |
| 2,50 ÷ 20,00 m | <i>ghiaie e sabbie addensate</i> con $R_p \text{ medio} = 17.652 \text{ kPa}$, $N_{\text{spt}} \text{ medio} = 70 \text{ colpi}$, $\phi_{\text{medio}} = 37^\circ\text{-}38^\circ$, $E_{\text{medio}} > 44.130 \text{ kPa}$ |
| oltre 20,00 m | <i>depositi fluvio-lacustri</i> : sabbie e ghiaie in matrice argilloso limosa con limi argilloso-sabbiosi compatti di colore ocraceo. $N_{\text{spt}} = 80 \text{ colpi}$, cui corrisponde, in termini di attrito interno un ϕ pari a circa 39° . |

SETTORE N° 4

Corrisponde all'asse Est-Ovest e si sviluppa in prevalenza sui depositi limoso-argillosi affioranti nel settore centro orientale della piana di Lucca, attraversando sia aree di paleovalve che di interfluvio.

Le indagini disponibili, riferibili esclusivamente alle campagne geognostiche pregresse, indicano la presenza in superficie, nel tratto compreso tra la rotonda di Antraccoli e la zona di Tassignano, di *depositi di limi sabbioso-argillosi* del Bellettone, con spessore variabile tra un massimo di 6,0 m e minimo di 3,5 m, mentre più ad est, tra Tassignano e Frizzone si ritrovano in affioramento depositi prevalentemente limoso-argillosi con intercalazioni limoso-sabbiose, con spessore variabile tra i 4,0 m ed i 6,0 m. Al di sotto sono presenti i *depositi sabbioso ghiaiosi* resistenti, il cui spessore varia tra circa 25.0 m e 45.0 m.

Dal punto di vista geotecnico, i depositi superficiali limoso sabbioso- argillosi del Bellettone sono caratterizzati da parametri di resistenza media ($c_{\text{umin}} = 30$ kPa, $\phi_{\text{min}} = 27^\circ\text{-}28^\circ$, modulo edometrico $E_{\text{min}} = 4.903$ kPa), mentre i depositi limoso argilloso presentano invece c_{umin} di 40 kPa, ed $E_{\text{min}} = 30$. I depositi sabbioso ghiaiosi si presentano abbastanza omogenei con valori di $\phi > 35^\circ$ e $E > 29.420$ kPa).

In questo settore lo spessore dei depositi ghiaiosi tende ad aumentare notevolmente, raggiungendo anche i 45 m nella zona di Paganico. Pertanto, poiché i punti indagine disponibili non hanno mai intercettato i depositi fluvio-lacustri, dalle ricostruzioni eseguite nell'ambito dei citati studi sulla piana di Lucca, è presumibile che essi si presentino a profondità comprese tra circa 30 m dal p.c., nei settori posti al margine occidentale e orientale della tratta, mentre nella zona centrale possono raggiungere anche i 50 m di profondità.

Di seguito si riporta una stratigrafia media del tratto considerato, con associata la parametrizzazione geotecnica media:

| | |
|-----------------|---|
| 0,00 ÷ 5,00 m | <i>limi argillosi e argille da compatte a mediamente compatte con intercalazioni di sabbie limose e limi sabbiosi</i> , con $R_{p_{\text{medio}}} = 1.471$ kPa, $c_{u_{\text{medio}}} = 40$ kPa, $E_{\text{medio}} = 3.923$ kPa |
| 5,00 ÷ 40,00 m | <i>ghiaie e sabbie addensate</i> con $R_{p_{\text{medio}}} = 14.710$ kPa, $\phi_{\text{medio}} = 35^\circ$, $E_{\text{medio}} > 34.325$ kPa |
| oltre i 40,00 m | <i>depositi fluvio-lacustri</i> : sabbie e ghiaie in matrice argilloso limosa con limi argilloso-sabbiosi compatti di colore ocraceo. |

Dei 22 campioni analizzati in laboratorio, n° 9 sono stati prelevati all'interno dell'orizzonte di copertura limoso-sabbioso-argillosa del Bellettone, di cui n° 5

prevalentemente limoso argillosi e attribuiti all'orizzonte A del profilo geologico (v. § 6) e n° 4 nella frazione più sabbiosa e riferibili agli orizzonti a1 e a2. N° 4 campioni sono inoltre riferibili all'orizzonte sabbioso ghiaioso (B), mentre n° 4 sono stati prelevati nelle lenti a granulometria più fine b1 e b2. Infine i rimanenti 5 campioni sono stati prelevati nei depositi fluvio-lacustri.

Per i risultati di tali analisi si rimanda all'elaborato T00GE00GEORE05A, con l'avvertenza che i certificati ivi riportati riguardano, nell'ordine, i dati relativi ai 13 campioni analizzati nella prima tornata di analisi e, di seguito, quelli relativi ai 9 campioni sottoposti alle analisi integrative concordate con i funzionari ANAS.

5.3 - Campagna geognostica 2012

Oltre ai 4 settori individuati sulla base delle analisi dell'insieme dei dati stratigrafici e geotecnici disponibili, le strutture viarie relative all'Opera Connessa ed alla Circonvallazione di Altopascio consentono di individuare il settore 5 che dalla località Massa Macinaia (Via dello Spada) arriva fino a Frizzone e prosegue fino alla periferia di Altopascio e corrisponde al tratto di viabilità individuato come Opera Connessa e Circonvallazione di Altopascio. Tale zona è contraddistinta da spessori della copertura compresi tra 3,0 e 6,0 m circa di natura variabile.

Di seguito si riporta la caratterizzazione stratigrafica dedotta dalle indagini pregresse e la relativa parametrizzazione geotecnica.

SETTORE N° 5

Corrisponde all'Opera Connessa ed alla Circonvallazione di Altopascio e si sviluppa sui depositi limoso-argillosi affioranti nel settore sud e orientale della piana di Lucca, attraversando sia aree di paleoalvei che di interfluvio, tranne un breve tratto nei pressi di Massa Macinaia, che interessa i depositi di limi sabbioso-argillosi del "Bellettone".

Dal confronto con i dati pregressi, unici disponibili per l'area e per quelle contigue, si deduce che per il lungo tratto dove sono presenti in superficie i depositi limoso-argillosi con intercalazioni limoso-sabbiose, si hanno spessori compresi tra i 4,0 m ed i 6,0 m. Nel tratto in cui affiorano i limi sabbioso-argillosi si riscontrano spessori variabile tra un minimo di 3,5 m e un massimo di 6,0 m. Al di sotto sono presenti i *depositi sabbioso ghiaiosi* resistenti, il cui spessore varia tra circa 25,0 m e 45,0 m.

Dal punto di vista geotecnico, i depositi superficiali limoso sabbioso-argillosi del Bellettone sono caratterizzati da parametri di resistenza media ($c_{\text{umin}} = 30$ kPa, $\phi_{\text{min}} = 27^\circ$ - 28° , modulo edometrico $E_{\text{min}} = 4.903$ kPa), mentre i depositi limoso argilloso presentano invece c_{umin} di 40 kPa, ed $E_{\text{min}} = 30$. I depositi sabbioso ghiaiosi si presentano abbastanza omogenei con valori di $\phi > 35^\circ$ e $E > 29.420$ kPa).

Nei tratti compresi tra i km 1+350÷1+950 e tra i km 3+900÷5+800 il tracciato interessa i depositi palustri e torbosi costituiti prevalentemente da argille (la cui

consistenza può variare localmente), da argille organiche e torbe. Queste ultime sono caratterizzate da un colore grigio scuro o nero e dalle scadenti proprietà meccaniche.

Di seguito si riporta una stratigrafia media del tratto considerato, con associata la parametrizzazione geotecnica media:

| | |
|-----------------|---|
| 0,00 ÷ 4,00 m | <i>limi argillosi e argille da compatte a mediamente compatte con intercalazioni di sabbie limose e limi sabbiosi</i> , con $R_{p_{medio}} = 1.275$ kPa, $c_{umedio} = 45$ kPa, $E_{medio} = 3.923$ kPa ovvero in eteropia: <i>depositi palustri e torbosi</i> con le seguenti caratteristiche: per le argille tenere porosità $n = 40 \div 70$, indice dei vuoti $e = 0,7 \div 2,30$, contenuto d'acqua $w = 40 \div 100$, peso di volume secco $\gamma_d = 7,0 \div 13,0$, peso di volume totale $\gamma = 14,0 \div 18,0$; per le torbe $n = 75 \div 95$, $e = 3,0 \div 19,0$, $w = 200 \div 600$, $\gamma_d = 1,0 \div 5,0$, $\gamma = 10,0 \div 13,0$. (<i>valori da bibliografia</i>) |
| 5,00 ÷ 40,00 m | <i>ghiaie e sabbie addensate</i> con $R_{p_{medio}} = 18.630$ kPa, N_{spt} medio = 60 colpi, $\phi_{medio} = 36^\circ$, $E_{medio} > 33.340$ kPa |
| oltre i 40,00 m | <i>depositi fluvio-lacustri</i> : sabbie e ghiaie in matrice argilloso limosa con limi argilloso-sabbiosi compatti di colore ocreo. $N_{spt} = 40$ colpi, cui corrisponde, in termini di attrito interno un ϕ pari a circa 36° . |

5.4 - Indagine sulle fondazioni dell'acquedotto del Nottolini

Stante la delicatezza del passaggio dell'infrastruttura stradale in corrispondenza delle arcate dell'ottocentesco acquedotto del Nottolini, in considerazione della nuova proposta di attraversamento (in galleria) derivante dalle giuste preoccupazioni circa le non lievi interferenze ipotizzabili dalla realizzazione di un attraversamento a raso, la nuova campagna di indagini geognostiche è stata strutturata per poter acquisire il massimo delle informazioni da un esame circostanziato e ristretto all'area di impatto.

A questo scopo si è ritenuto di ubicare 2 sondaggi (che sono stati chiamati S1 ed S2) ai lati dell'ultimo pilastro accessibile, subito a nord dell'autostrada A11, in corrispondenza dell'area di attraversamento della nuova infrastruttura, in cui sono state realizzate prove SPT, una prova sismica *Down Hole* ed una prova elettrica del tipo *Cross Hole tomografico*.

I risultati da ottenere erano più di uno. In particolare si voleva, come detto, ricostruire natura e dimensione delle fondazioni, definire la categoria sismica del terreno ed infine determinare i parametri geotecnici dei terreni attraversati.

Natura e dimensioni delle fondazioni

Per ottenere il primo risultato si sono utilizzati i due sondaggi per eseguire, come detto, una *tomografia di resistività elettrica* in foro del tipo *Cross Hole tomografico*. Si tratta di una tecnica diagnostica che consente di determinare la distribuzione di resistività elettrica nel sottosuolo a partire da un gran numero di misure di potenziale elettrico compiute mediante elettrodi che normalmente sono posti sulla superficie del terreno.

L'utilizzo di elettrodi in configurazione non convenzionale, all'interno di fori disposti lungo il perimetro di edifici o di manufatti in genere, rappresenta uno sviluppo di ultimissima generazione della tecnica (Fischanger et al., 2007). Ciò consente di analizzare con buon dettaglio le strutture di fondazione dell'edificio oltre che, ovviamente, le caratteristiche locali del terreno di appoggio (tipologie litologiche, zone umide o accumuli di acqua, anomalie resistive attribuibili a cavità o a disomogeneità del terreno al di sotto dell'edificio).

Questa metodologia di indagine consente dunque il superamento di quei vincoli che il contesto urbano pone alle tradizionali indagini geotecniche (prove penetrometriche e altro) e nel contempo consente di acquisire una informazione non puntuale ma sulle caratteristiche volumetriche del terreno investigato.

Categoria sismica dei terreni

Per la definizione della categoria sismica dei terreni si è fatto uso del sondaggio S1, opportunamente attrezzato per consentire tale prova, realizzando al suo interno una prova sismica tipo *down-hole*. L'obiettivo delle indagini geofisiche in foro è quello di ottenere dalla determinazione delle velocità delle onde longitudinali (P) e trasversali (S) i parametri elasto-meccanici quali il coefficiente di Poisson (ν), il Modulo di Young (E) ed il modulo di Taglio (G) attraverso l'ausilio di formule matematiche.

Il Coefficiente di Poisson è un numero dimensionale ed è senza dubbio il parametro che consente la più rapida valutazione della qualità meccanica dei litotipi investigati. A parità di litologia un aumento o una diminuzione del modulo ν indica rispettivamente un peggioramento o un miglioramento delle qualità geomeccaniche. Tra i fattori che influenzano la velocità di propagazione delle onde longitudinali e trasversali, e quindi il valore del coefficiente di Poisson, vanno ricordati la fratturazione, la presenza di fluidi, la porosità, la facies mineralogica e petrografica, il carico litostatico e l'età geologica.

Il metodo *Down-Hole* prevede la sorgente energizzante in superficie ed i sensori all'interno di un foro di sondaggio opportunamente attrezzato. I sensori che si utilizzano sono assemblati in modo da essere calati e ancorati a profondità crescenti. Energizzando in superficie e misurando i tempi di arrivo del primo impulso ai geofoni si ha la possibilità di determinare la velocità verticale dei litotipi incontrati durante la perforazione. Il fronte d'onda ed il relativo raggio sismico non subiranno fenomeni di rifrazione per un angolo di incidenza normale alle superfici di discontinuità elastica e

quindi sarà possibile ottenere le velocità dell'onda diretta senza le limitazioni della sismica a rifrazione, per la quale è indispensabile che la velocità di propagazione delle onde aumenti con la profondità; eventuali inversioni di velocità all'interno dei terreni indagati non costituiscono perciò elemento di incertezza in fase di interpretazione

Parametri geotecnici

I campioni prelevati, n° 4 campioni indisturbati (2 dal sondaggio S1 e 2 dal sondaggio S2) e n° 1 frammento di carota (dal sondaggio S2) sono stati affidati al laboratorio di analisi geotecniche per la determinazione delle caratteristiche fisiche e (per alcuni) meccaniche dei terreni.

I due sondaggi sono stati realizzati a carotaggio continuo e portati entrambi a 30 m dal p.c., per consentire, oltre l'esecuzione della geofisica come sopra descritta, di indagare i terreni a profondità superiore rispetto a quelle raggiunte dai sondaggi delle precedenti campagne di indagini.

Ciò si è reso necessario in quanto la soluzione progettuale adottata prevede di passare in galleria sotto le arcate dell'acquedotto per evitare qualsiasi tipo di interferenza. La conoscenza dei dati fisico meccanici dei terreni ha consentito il giusto calcolo delle opere da realizzare in sotterraneo.

Interpretazione dei risultati

Le *stratigrafie* ottenute dai due sondaggi sono in tutto paragonabili a quelle ottenute dai sondaggi delle precedenti campagne geognostiche. In particolare si rileva come, dopo limi sabbiosi e limi argillosi, ad una profondità compresa tra i 5,50 ed i 6,00 m, si rinvenga una formazione ghiaioso-sabbiosa di colore marrone grigiastro, con clasti eterogenei con \emptyset che può arrivare fino a 8 cm.

Per quanto concerne i risultati della *sismica in foro* (prova *down hole*), il modello sismo stratigrafico che emerge dall'analisi dei dati presenta una buona corrispondenza con quello litostratigrafico. In particolare da p.c. a 3 m si hanno velocità basse (sia P che S) che si incrementano notevolmente (soprattutto le P) fino a 7 metri. Da questa quota sino a 12 m le onde P presentano una diminuzione di velocità (fino a circa 1000 m/s), mentre le S aumentano al valore di circa 380 m/s: si tratta di un sedimento composto da sabbie e ghiaie.

Segue un sismostrato che per le Vs mostra valori costanti di circa 250 m/s sino a 22 m, mentre le Vp mostrano valori prima di circa 1680 m/s e poi circa 1470 m/s da 19 a 22 m (si tratta di materiali sciolti fini a principale componente limoso argillosa). Successivamente, e sino alla profondità di 25 m le velocità crescono entrambe, Vp circa 1900 m/s e Vs circa 300 m/s. Infine l'ultimo strato di sabbie ghiaiose e limi presentano le massime Vs misurate (377 m/s), mentre le Vp decrescono decisamente sino a 1280 m/s circa. La Vs₃₀ riferita al piano di campagna è risultato essere di 237 m/s e quindi la Categoria di è C. Per la definizione dell'andamento delle velocità delle onde P ed S e dei relativi parametri elastici si rimanda alla allegata relazione della Società Poligeologica.

Infine per quanto concerne la prova elettrica in foro *Cross Hole tomografico*, i dati ottenuti hanno permesso di evidenziare quanto segue.

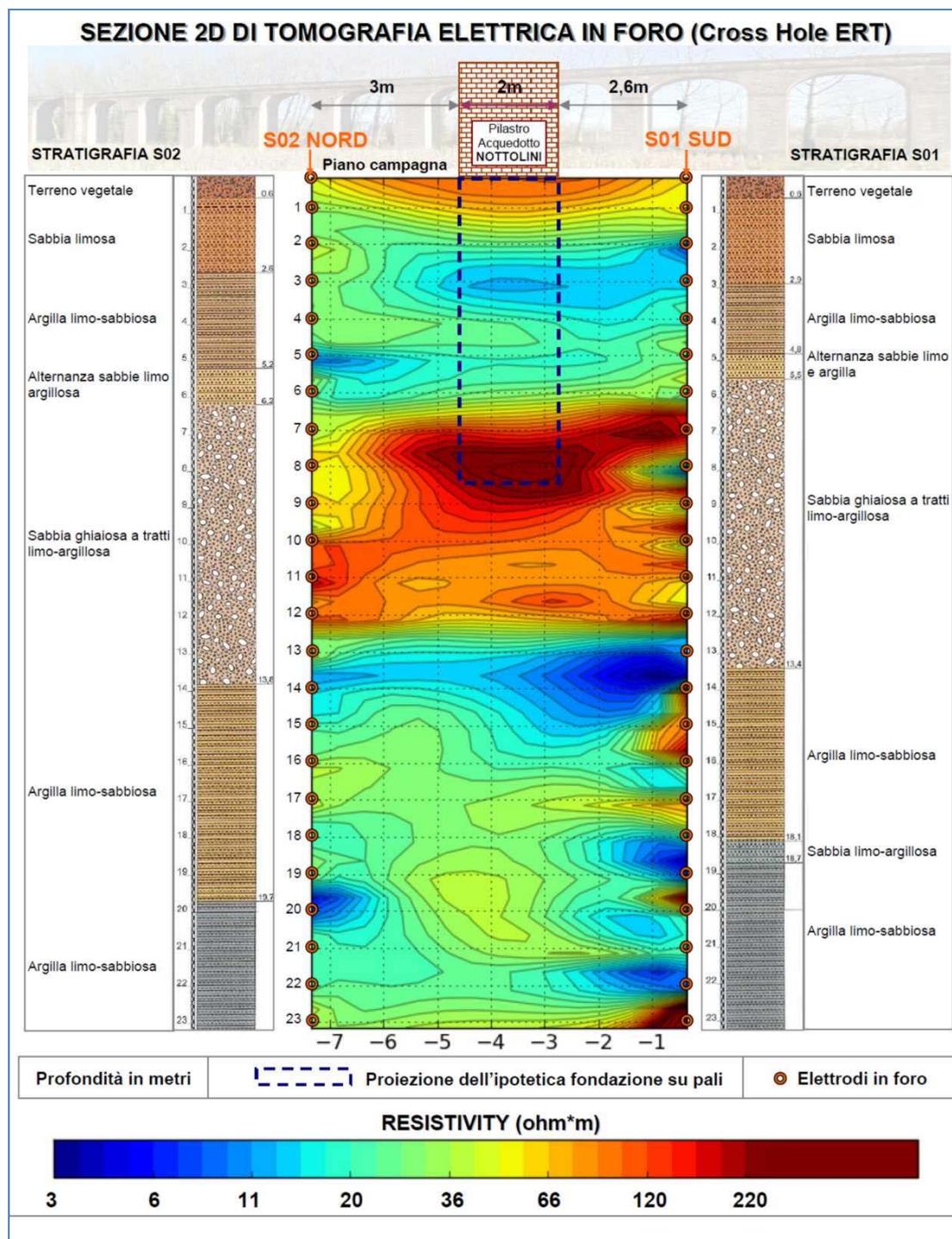


Figura 5.1 - Sezione di tomografia elettrica in foro eseguita sul tracciato dell'Asse Ovest-Est, tra le arcate dell'Acquedotto del Nottolini.

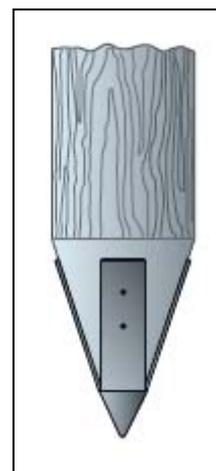
La prova, eseguita sulla sezione di terreno compresa tra i due sondaggi realizzati tra le arcate dell'acquedotto Nottolini, mette in evidenza, se si osserva la relativa stratigrafia (Fig. 5.1), che i materiali presenti hanno in genere una bassa

resistività mentre si nota un aumento di quest'ultima in corrispondenza del tratto compreso circa tra i 6,5 ed i 12 metri dal p.c.

Il confronto con la stratigrafia desumibile dalle due perforazioni eseguite consente di giustificare tale aumento con la presenza di uno strato di sedimenti grossolani compreso tra depositi di sedimenti più fini, in accordo con la teoria di questo tipo di strumentazione e con l'esperienza tratta da analisi in terreni consimili. Dalla lettura della sezione tomografica si deduce inoltre che non sono presenti anomalie di resistività associabili alla supposta presenza di pali in legno che, secondo quanto si evince dalla letteratura, costituirebbero la base su cui sono stati poggiati i plinti di fondazione degli archi.

Una ampia anomalia di resistività che non ha una corrispondenza con la stratigrafia è quella, a forma di lente irregolare, che ha il suo massimo tra le quote 7,5 e 9 m dal p.c. La più immediata lettura di questa anomalia potrebbe far pensare ad una maggiore percentuale dello scheletro ghiaioso per "addensamento naturale" ma la circostanza che la lente si trovi proprio in corrispondenza della proiezione del pilastro permette di ipotizzare che l'addensamento dei sedimenti non sia naturale.

In effetti, se si tiene conto che i pali in legno utilizzati per questo tipo di fondazioni (di una lunghezza variabile tra i 10 ed i 20 m con massimi di circa 35 m secondo quanto si desume dalla letteratura) erano rinforzati con una "puntazza" in acciaio alla base ed una cuffia in sommità ed erano messi in opera con sistemi di battuta azionati e sollevati a mano o a manovella, si può ipotizzare che la forte anomalia segnalata possa essere dovuta all'addensamento delle ghiaie sotto l'effetto della pressione ed alla presenza delle "puntazze" in metallo (del tipo mostrato nelle figura a lato) messe in opera per proteggere la punta dei pali.



L'apparente contraddizione tra la profondità prevista di circa 12 m e quella deducibile di 9 m potrebbe essere superata se si considera che l'infissione dei pali ha trovato una forte resistenza nell'attraversare lo strato di ghiaie e sabbie, come si deduce dalle prove penetrometriche eseguite nel sondaggio S3 realizzato a breve distanza ed i cui risultati sono presenti nell'elaborato T00GE00GEORE04A. Da questi dati si evince che le prove penetrometriche (SPT) allora eseguite riportano per questo strato valori N_{SPT} compresi tra 53 e 61 che, come detto nelle Norme AGI, indicano la presenza di materiale "molto addensato", questo in accordo con i risultati della citata tomografia.

Sulla base di queste osservazioni è probabile che la massima profondità dei pali sia compresa tra gli otto ed i nove metri dal piano campagna. Dalla citata tomografia si può inoltre dedurre, con riferimento alle variazioni di resistività, che la profondità della fondazione in muratura del pilastro ha valori compresi tra i 2 ed i 2,5 m dal p.c.

6 - CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DI DETTAGLIO

La conoscenza delle condizioni di soggiacenza della falda è fondamentale in corrispondenza delle zone in cui sono previste opere d'arte, soprattutto in sotterraneo, sia per l'eventuale abbattimento del livello idrico e/o il sostegno delle pareti di scavo sia per tenere conto anche delle possibili interferenze con il grado di vulnerabilità dell'acquifero, oggi intensamente utilizzato da pozzi pubblici e privati. In tale prospettiva è stata predisposta una campagna di misure piezometriche all'interno dei piezometri installati nei perfori dei sondaggi geognostici e della penetrometria Pt16., i cui dati sono stati valutati congiuntamente a quelli storici raccolti sulla falda medesima.

In relazione alla natura dei terreni di copertura, che presentano spesso, seppur a carattere lentiforme, orizzonti limoso-sabbiosi in cui possono instaurarsi circolazioni idriche di limitata potenzialità, in corrispondenza del sondaggio S3 (intersezione della strada di progetto con l'acquedotto monumentale del Nottolini a Sorbano), è stato realizzato un piezometro con cella di Casagrande operante fino a 5.0 m di profondità, per distinguere le circolazioni profonde da quelle superficiali. Durante le misure eseguite nel sondaggio S3 sono stati sempre individuati due diversi livelli di soggiacenza, con un dislivello di circa 25 cm. I due sondaggi realizzati nel 2012, S1 ed S2, sono stati realizzati a breve distanza dal sondaggio S03 della campagna di indagini del 2005

Di seguito si riporta l'insieme delle misure effettuate a partire dal 13/12/04 fino al 13/05/05 e le misure effettuate nei due sondaggi dell'agosto 2012.

Tabella 6.1 – Date di misura e valori dei livelli piezometrici.

| Piezometro Data misura | S01 | S02 | S03 | S03 Casagrande (5 m) | S04 | Pt16 | S06 | S07 | S08 | S1 2012 | S2 2012 |
|---------------------------|------|------|------|----------------------------|------|------|------|-------|------|------------|------------|
| 13/12/2004 | 0,52 | 0,86 | 0,75 | 0,41 | 1,80 | 1,50 | 3,43 | 9,75 | 5,70 | | |
| 24/01/2005 | 0,61 | 0,89 | 0,85 | 0,46 | 1,91 | 1,60 | 3,64 | 10,20 | 6,18 | | |
| 04/02/2005 | 0,89 | 1,10 | 1,01 | 0,69 | 2,10 | 1,77 | 3,85 | 10,45 | 6,41 | | |
| 18/02/2005 | 0,90 | 1,14 | 1,10 | 0,95 | 2,24 | 1,80 | 4,12 | 10,90 | 6,85 | | |
| 04/03/2005 | 0,75 | 0,95 | 0,80 | 0,43 | 1,84 | 1,65 | 4,25 | 11,41 | 7,04 | | |
| 18/03/2005 | 0,90 | -- | 1,06 | 0,57 | 2,13 | 1,75 | 4,31 | 10,72 | 6,65 | | |
| 01/04/2005 | 0,90 | -- | 1,10 | 0,73 | 2,24 | 1,84 | 4,48 | 10,73 | 6,60 | | |
| 15/04/2005 | 0,80 | -- | 1,03 | 0,94 | 3,05 | 1,83 | 4,56 | 11,00 | 6,90 | | |
| 29/04/2005 | 0,90 | -- | 1,18 | 0,93 | 3,07 | 1,88 | 4,82 | 10,22 | 6,14 | | |
| 13/05/2005 | 1,08 | -- | 1,38 | 1,54 | 2,47 | 1,77 | 5,02 | 10,60 | 6,52 | | |
| 29/08/2012 | | | | | | | | | | 2,10 | |
| 30/08/2012 | | | | | | | | | | | 2,00 |

Le misure eseguite a partire dal dicembre 2004, al termine dei sondaggi fino al maggio 2005, sono relative al passaggio da un momento di media ricarica ad uno di magra del sistema idrico sotterraneo, con un progressivo aumento (eccetto pochi casi) dei valori di soggiacenza. In particolare l'ultima misura effettuata, con l'eccezione dei punti S04 e Pt16, mostra un sensibile abbassamento nei valori di soggiacenza.

Si evidenzia inoltre che in quest'ultimo periodo il piezometro di Casagrande, realizzato in corrispondenza del punto indagine S03 (prossimo all'attraversamento in galleria dell'acquedotto del Nottolini) e che capta le sole acque circolanti nei livelli sabbiosi superficiali fino a 5,0 m dal p.c., mostra un abbassamento ben più marcato (0,6 m) rispetto a quello che capta tutto l'acquifero (0,2 m), funzione della diversa capacità idraulica dell'acquifero.

Tali misure, soprattutto quelle relative al periodo invernale di ricarica, devono essere prese a riferimento per la progettazione delle opere d'arte, con particolare riguardo laddove sono previsti scavi o opere in sotterraneo. A tale proposito si evidenzia che le misure di minima soggiacenza (dicembre 2004) si riferiscono ad un periodo di media ricarica del sistema, e che tali valori, in occasione di periodi di forte ricarica, come ad esempio il novembre - dicembre 2000, sono risultati assai più vicini al piano campagna, fino anche ad 1,0 m nella zona di Sorbano (asse Ovest-Est).

È opportuno ricordare che le letture del 2012 sono state eseguite in un momento di magra al termine di una stagione particolarmente asciutta.

7 - CARTA GEOLOGICA

7.1 - Generalità

Dall'analisi della Carta geologica della Piana di Lucca (Nardi, Nollodi, Puccinelli e Rossi, 1987) presentata in Fig. 4.1, e dalle carte di cui agli elaborati T00GE00GEOCG02A, 03A, 04A, 05A, 06A, 07A e 08A si nota che il tracciato di progetto si sviluppa pressoché unicamente all'interno della pianura di Lucca e sui depositi recenti del F. Serchio che la costituiscono.

Tali depositi alluvionali, caratterizzati da una certa eterogeneità di facies verticale, diretta conseguenza della progressiva dissipazione dell'energia di trasporto a mano a mano che si procede da Nord verso Sud, possono essere distinti nei seguenti litotipi, dal basso verso l'alto:

Depositi ghiaiosi e ciottolosi di alta permeabilità

Affioranti o molto vicini alla superficie presso S. Pietro a Vico - S. Quirico di Moriano (Pleistocene sup. Olocene): sono in affioramento nella parte apicale della antica "conoide alluvionale" creata dal Serchio al suo sbocco nella pianura nella zona di Saltocchio - S. Pietro a Vico. Il loro spessore è compreso di regola tra 10 e 15 m in tale area e tende ad aumentare in direzione Sud-Sud Est, fino a superare i 40 m. Questi depositi tendono inoltre ad immergersi al di sotto di livelli più recenti, a granulometria più fine, man mano che ci si sposta verso valle. L'affioramento interessa parte della tratta Nord-Sud, tra i laghi di Lammari e la località Spadoni.

Depositi recenti prevalentemente limoso-sabbiosi e/o sabbioso-limosi, di media permeabilità ("Bellettone") e locali limi argillosi.

Costituiscono il sedimento alluvionale che in affioramento risulta il più esteso; infatti esso ricopre gran parte della pianura e dei fondo valle in essa confluenti. Il suo spessore tende ad aumentare da Nord verso Sud fino ad un massimo di una decina di metri nelle zone di Pontetetto - Vicopelago, a SW di Lucca. Interessa in affioramento tutto l'asse Ovest-Est, la porzione di asse Nord-Sud dalla rotonda di Antraccoli fino ai laghi di Lammari e la porzione di tratta Est-Ovest dalla rotonda di Antraccoli fino all'abitato di Tassignano. Anche un breve tratto dell'Opera Connessa, corrispondente all'adeguamento di Via di Sottomonte è interessato in affioramento da questa formazione.

Depositi prevalentemente limoso-argillosi di bassa permeabilità

Occupano la porzione sud-orientale della Piana di Lucca morfologicamente più piatta e rappresentano i depositi di zone con acque ristagnanti. Gli spessori, che tendono ad aumentare da Nord verso Sud, raggiungono il valore di circa 12-13 m nella zona a sud di Porcari. L'affioramento interessa l'asse Est-Ovest da

Tassignano fino al cavalcavia sull'Autostrada A11 ed alla successiva rotonda; interessa poi anche la Circonvallazione di Altopascio a partire dalla periferia della città fino all'altezza del Padule dei Moscheni.

Depositi fluvio-lacustri

Al di sotto delle precedenti formazioni sono presenti infine i depositi fluvio-lacustri che in letteratura sono attribuiti al *ciclo lacustre di Montecarlo* del Pleistocene inferiore (Villafranchiano superiore) costituiti prevalentemente da argille, argille sabbiose con lignite e da livelli di conglomerati, ciottoli arrossati, argille e al *ciclo fluvio-lacustre di Ponte a Moriano - S. Macario* (Pleistocene medio?) rappresentati da argille e sedimenti ciottolosi a matrice sabbioso-argillosa.

Le carte geologiche e geomorfologiche evidenziano la presenza di antichi percorsi dell'alveo del Serchio, precedenti alla sua regimazione. Lungo questi percorsi di paleoalveo, la stratigrafia che si riscontra durante le indagini riconosce in genere una minore profondità dei depositi sabbioso ghiaiosi o una maggiore componente sabbiosa anche nei terreni di copertura.

La variabilità verticale dell'orizzonte di copertura è invece rappresentata nella Carta dello spessore della copertura limoso-argillosa (Fig. 4.2) che determina la profondità dal p.c. dell'orizzonte sabbioso-ghiaioso, che costituisce il primo livello a medio-alta consistenza e bassa compressibilità presente nella pianura.

7.2 - Profilo geologico del tracciato

Dal profilo geologico del tracciato, distinto nelle varie tratte di cui si compone il progetto, realizzato in scala di 1:5.000 per le lunghezze e di 1:500 per le altezze (Elaborati T00GE00GETFG01A, 02A, 03A, 04A, 05A, 06A), si evidenzia l'andamento dei terreni alluvionali e dei depositi fluvio-lacustri, ricostruito sulla base dei dati stratigrafici disponibili.

In dettaglio, sono stati distinti tre orizzonti stratigrafici, ad analogo comportamento geotecnico, al cui interno sono state eseguite delle differenziazioni in base alla costituzione granulometrica e sedimentologica; si riporta la successione dei terreni evidenziata lungo il profilo:

DEPOSITI ALLUVIONALI DEL QUATERNARIO

- A:** Limi, limi sabbiosi e argille limo sabbiose ("Bellettone") e limi argillosi con alternanze lenticolari di variabile estensione e potenza, formate da sabbie limose e sabbie con limo (a_1), passanti verso il basso a sabbie medie e ghiaie in matrice limosa (a_2).
- B:** Ghiaie e sabbie con alternanze lenticolari di variabile estensione e potenza formate da sabbie medio-fini (b_1) e da argille limose plastiche (b_2).

DEPOSITI FLUVIALI E FLUVIO-LACUSTRI DEL BACINO DI LUCCA PLIO-PLEISTOCENICI

C: argille talora con livelli ghiaiosi.

UNITÀ LIGURI

R: substrato litoide rappresentato in prevalenza da argilliti calcaree e calcari marnosi di colore da grigio ad avana e da arenarie.

In generale la ricostruzione stratigrafica effettuata lungo il tracciato evidenzia un progressivo aumento dello spessore dei depositi alluvionali e il conseguente approfondimento dei depositi fluvio-lacustri procedendo da nord verso sud. Nel dettaglio, quando è stato possibile, sono state indicate, all'interno dei depositi alluvionali superficiali ("Bellettone") lenti di diverso spessore e continuità di materiale sabbioso-limoso e sabbioso. Analogamente anche all'interno dei depositi ghiaiosi, in corrispondenza dei punti indagine S03 e S04 sono state individuate lenti di materiale essenzialmente argilloso e sabbioso, che non è escluso possano ripetersi anche in altre tratte del profilo.

Nella sezione è inoltre riportato il livello di falda relativo alla misura del dicembre 2000 (periodo di massima ricarica) e del dicembre 2004, che nell'ambito dei rilievi piezometrici eseguiti nel corso delle presenti indagini si riferisce alla minima soggiacenza. Come già detto nel paragrafo relativo alle caratteristiche idrogeologiche, si osserva che le misure del 2004 si pongono sempre al di sotto di quelle del 2000, con differenze variabili da zona a zona e comprese tra 1 e 2 m.

8 - MACROZONAZIONE E MICROZONAZIONE SISMICA

8.1 - Quadro normativo in materia antisismica della Regione Toscana

Normativa nazionale

- O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 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”. (G.U. n. 105 del 08.05.2003, Supplemento Ordinario n. 72)

Il riordino della normativa antisismica in Italia inizia con l’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 2003 che fornisce i primi elementi in materia di classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. È in questa Ordinanza che viene introdotta la classificazione dei terreni in base ai parametri V_{s30} , N_{spt} , c_u .

- Decreto n. 3685 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile del 21 ottobre 2003

Disposizioni attuative dell'art. 2, commi 2, 3 e 4, dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/04/2003 - Individuazione delle tipologie degli edifici d'interesse strategico e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale, di competenza statale, attuazione dell'articolo 2 dell'Ordinanza (G.U. n. 222 del 23.09.05, S.O. n. 159).

- OPCM n. 3431 del 03 maggio 2005

Ulteriori modifiche ed integrazioni all’OPCM 3274/2003 (G.U. n. 107 del 10.05.2003).

- DM Infrastrutture e Trasporti 14 settembre 2005

“Norme Tecniche per le Costruzioni” (G.U. n. 222 del 23.09.2005, Suppl. Ord. n. 159) del Ministero delle Infrastrutture che di concerto con il Dipartimento della Protezione Civile ha emanato un nuovo corpo normativo che assorbe anche quello adottato con l’Ordinanza 3274/03, pervenendo alla suddivisione delle zone sismiche 1, 2 e 3 anche in sottozone caratterizzate da valori dell’accelerazione intermedi rispetto ai valori di soglia.

- OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006

Sono stati emanati ulteriori “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone” (G.U. n. 108 del 11.05.2006), ad integrazione della citata OPCM n° 3274/03, tenuto conto che in tale Ordinanza contestualmente si dà atto della provvisorietà dei suddetti criteri, in attesa del completamento delle attività del Gruppo di Lavoro istituito con

Decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici finalizzato alla revisione dei Criteri. Tale Ordinanza ha adottato la mappa di pericolosità sismica MPS04 quale riferimento ufficiale.

- DM Infrastrutture 14 gennaio 2008

“Nuove Norme Tecniche per le costruzioni” (G.U. n. 29 del 04.02.2008, S. O. n. 30). Il 4 febbraio 2008 viene pubblicato in G. U. il DM 14.01.2008 contenente le Nuove NTC. Le norme definiscono i principi per il progetto, l’esecuzione e il collaudo delle costruzioni, le prestazioni richieste in termini di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità. Forniscono i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere. A gennaio 2008 una Direttiva del PCM fornisce indicazioni per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale, con riferimento alle NTC. Il MITrasporti fornisce, con la Circolare 617/2009, le istruzioni per l’applicazione delle nuove NTC di cui al DM del 14.01.2008.

- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.LL.PP.

“Istruzioni per l’applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008” (G.U. n. 47 del 26.02.2009, S. O. n. 27).

- Circolare 5 agosto 2009 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (G.U. n. 187 del 13.08.2009).

Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. Cessazione del regime transitorio di cui all’art. 20, comma 1 del D.L. 31 dicembre 2007 n. 248.

- Circolare 11 dicembre 2009 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (G.U. n. 297 del 22.12.2009).

Entrata in vigore delle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. Circolare 5 agosto 2009 - Ulteriori considerazioni esplicative.

- OPCM n. 3907 del 13 novembre 2010

Attuazione dell’articolo 11 del D.L. 28 aprile 2009, n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n. 77 in materia di contributi per interventi di prevenzione del rischio sismico (G.U. n. 281 del 01.12.2010 – Suppl. Ord. n. 262), che disciplina i contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico previsti dall’art.11 della citata legge relativamente ai fondi disponibili per l’annualità 2010.

- Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011

Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 14/01/2008 (G.U. n. 47 del 26.02.2011, S. O. n. 54).

- D.L. n. 216, 29 dicembre 2011

Testo coordinato con la legge di conversione 24.02.2012, n. 14 recante "Proroga di termini previsti da disposizioni legislative". (G.U. n. 48 del 27.02.2012).

- Decreto del Capo Dipartimento Protezione Civile del 27.04.2012

Attuazione art. 11 del D.L. 28 aprile 2009 n. 39, convertito, con modificazioni, dalla L. 24 giugno 2009 n. 77 – Approvazione modulistica per l'analisi della Cle - Condizione limite per l'emergenza (G.U. n. 111 del 14.05 2012).

- Decreto del Capo Dipartimento Protezione Civile del 16.03.2012

Attuazione art. 11 del D.L. 28 aprile 2009, n. 39, convertito, con modificazioni, dalla L. 24 giugno 2009 n. 77 - annualità 2011 - Ripartizione delle risorse annualità 2011 (G.U. n. 138 del 15.06.2012).

- OPCM n. 4007 del 29.02.2012

Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'anno 2011 . (G.U. n. 56 del 17.03.2012).

Normativa regionale

- L.R. n.88 del 6 dicembre 1982

Disciplina dei controlli sulle costruzioni in zone soggette a rischio sismico (Nota: cessa l'applicazione dal 26.10.2006 con l'entrata in vigore del Regolamento di attuazione dell'art. 117, comma 2, lett. g) della L.R. 1/2005 di cui al Decreto del Presidente della Giunta regionale n. 48/r del 17.10.2006).

- Deliberazione di G.R. n. 4432 del 29 aprile 1985

"Orientamenti interpretativi e raccomandazioni in materia di normativa antisismica".

- L.R. n. 21 del 17 aprile 1984

"Norme per la formazione e l'adeguamento degli strumenti urbanistici ai fini della prevenzione del rischio sismico, in attuazione dell'art. 20 della legge 10 dicembre 1981, n. 741".

- Deliberazione di Giunta Regionale n. 604 del 16.06.2003

"Indirizzi generali e prime disposizioni sulla riclassificazione sismica della Regione Toscana, in applicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003".

- Legge regionale n. 1 del 3 gennaio 2005

"Norme per il governo del territorio" (Testo coordinato con l'entrata in vigore della L.R. 15/2005, della L.R. 24/2006 e della L.R. 37/2006).

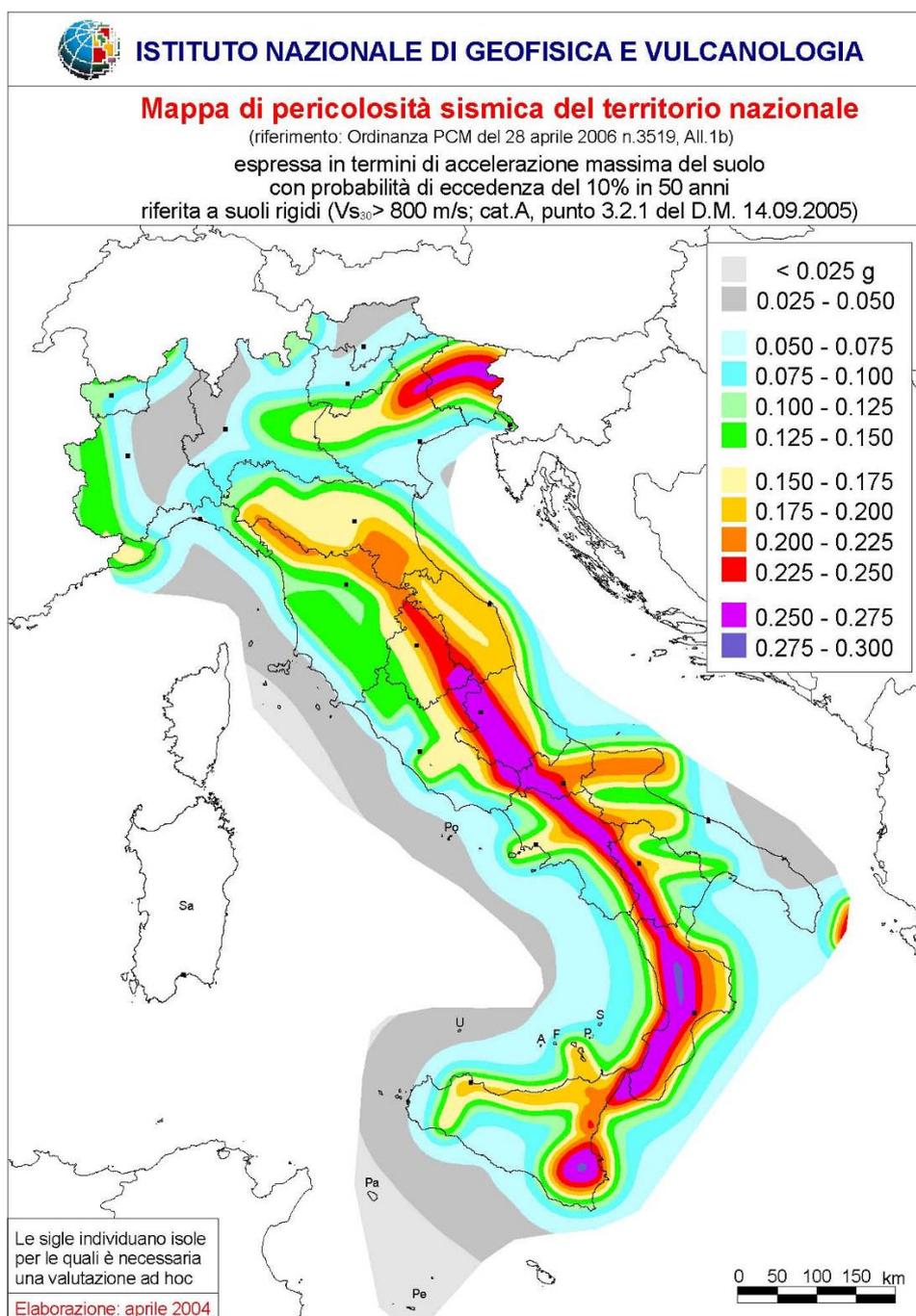


Figura 8.1 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (OPCM 3519/06).

- Legge regionale 26 gennaio 2005, n. 15

Modifiche alla legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio). Reviviscenza della legge regionale 6 dicembre 1982, n. 88 (Disciplina dei controlli sulle costruzioni in zone soggette a rischio sismico).

- Deliberazione di G.R.T. n. 431 del 19 giugno 2006

“Classificazione sismica”. Recepisce l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei

Ministri n. 3519 del 28.04.2006. La proposta di riclassificazione sismica del territorio regionale è stata illustrata alla Giunta Regionale in data 12 giugno 2006.

- Decreto Presidente G.R. n. 48/r del 17 ottobre 2006

Regolamento di attuazione dell'art. 117, comma 2, lett. g) della L.R. 1/2005 di cui al Decreto del Presidente della Giunta regionale n. 48/r del 17.10.2006 (pubblicato sul B.U.R.T. n. 31 del 25.10.2006).

- Decreto Presidente G.R. n. 26/r del 27 aprile 2007

Regolamento di attuazione dell'art. 62 della L.R. 1/2005 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche (pubblicato sul B.U.R.T. n. 11 del 7.05.2007).

- Deliberazione di Giunta Regionale n. 841 del 26 novembre 2007

"Aggiornamento elenco dei comuni a maggior rischio sismico della Toscana. - Allegato 1 - Elenco dei comuni a maggior rischio sismico". - Allegato 2 - Mappa dei comuni a maggior rischio sismico. La Giunta Regionale Toscana individua delle zone a maggior rischio sismico, per complessivi 81 comuni, nelle quali è massima la priorità per lo svolgimento delle attività di prevenzione sismica previste nei programmi regionali. Tale delibera integra e modifica le precedenti deliberazioni di G.R.T. n. 604 del 16.06.2003 e n. 751 del 28.07.2003.

- Decreto del Presidente della G.R. n. 36/r del 9 luglio 2009

Regolamento di attuazione dell'art. 117 della L.R. 1/2005 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico. (Pubblicato sul B.U.R.T. n. 25 del 17.07.2009).

- DPGR n.53/R del 25 ottobre 2011

"Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche" (B.U.R.T. n.51-Parte I del 02.11.2011).

8.2 - Sismicità dell'area

La sismicità dell'area interessata dal progetto in esame è di livello medio basso, sia per quanto riguarda l'attività locale che il risentimento di eventi distanti: nel territorio attraversato dal tracciato di progetto non si conoscono eventi catastrofici.

Per descrivere in maniera più dettagliata la sismicità dell'area di seguito si riportano, in forma tabellare, gli effetti risentiti nel sito, così come estratti dal DBMI11, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del Catalogo Parametrico CPTI11 (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>).

Nelle tabelle seguenti sono riportati gli effetti risentiti nei Comuni interessati.

Comune di Lucca

Tabella 8.1 – Catalogo sismico di sito del Comune di Lucca. Dati modificati a partire da Gruppo di Lavoro CPTI, 2011 (I_0 = intensità epicentrale; Mw = magnitudo; I_s = intensità risentita al sito).

| I_s | Anno Me Gi Or | Area epicentrale | I_0 | Mw |
|-------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|
| 7 | 1117 01 03 15:15 | Toscana settentrionale | - | - |
| 7 | 1914 10 27 09:2 | Garfagnana | 7 | 5,76 ± 0,09 |
| 6-7 | 1873 09 17 | Liguria orientale | 6 - 7 | 5,43 ± 0,15 |
| 6-7 | 1920 09 07 05:5 | Garfagnana | 10 | 6,48 ± 0,09 |
| 6 | 1306 07 | Lucca | 6 | 4,72 ± 0,34 |
| 6 | 1414 08 07 | Toscana occidentale | 8 | 5,61 ± 0,67 |
| 6 | 1740 03 06 05:15 | Garfagnana | 7 | 5,24 ± 0,35 |
| 6 | 1767 01 21 07:45 | Fivizzano | 7 | 5,35 ± 0,59 |
| 6 | 1846 08 14 12:00 | Toscana settentrionale | 9 | 5,91 ± 0,13 |
| 5-6 | 1481 02 06 21:15 | Toscana settentrionale | 5-6 | 4,51 ± 0,34 |
| 5-6 | 1481 02 07 06:20 | Lucca | 5-6 | 4,51 ± 0,34 |

Dalla tabella è possibile notare come l'intensità massima risentita nell'area interessata dalla realizzazione del progetto non superi il VII grado MCS, raggiunto a Lucca in occasione del terremoto della Toscana settentrionale del 03 gennaio 1117, di cui non è stato parametrizzato l'epicentro, e del terremoto della Garfagnana del 27 ottobre 1914 con epicentro a Barga (Lucca) e con intensità per il primo sconosciuta e per il secondo VII MCS; tutti gli altri terremoti elencati nella tabella hanno avuto risentimenti inferiori al VII grado MCS cioè al di sotto della soglia del danno.

In Figura 8.2 è evidenzia la distribuzione delle Intensità risentite al sito (I_s).

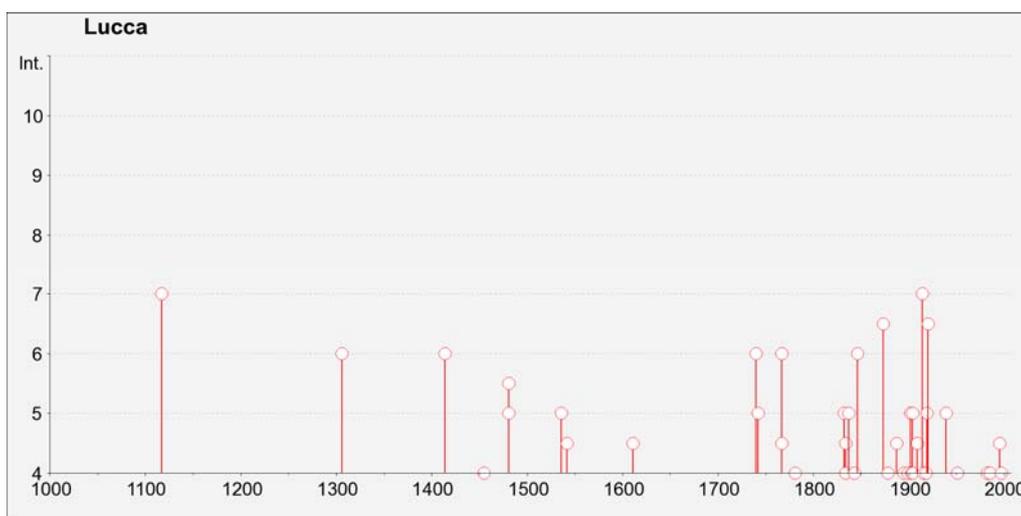


Figura 8.2 - Distribuzione delle intensità risentite al sito (I_s) dei terremoti verificatisi nell'area dal 1000 al 2002.

Comune di Capannori

Tabella 8.2 – Catalogo sismico di sito del Comune di Capannori. Dati modificati a partire da Gruppo di Lavoro CPTI, 2011 (I_0 = intensità epicentrale; M_w = magnitudo; I_s = intensità risentita al sito).

| I_s | Anno Me Gi Or | Area epicentrale | I_0 | M_w |
|-------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 7 | 1920 09 07 05:50 | Garfagnana | 10 | 6,48 ± 0,09 |
| 5 | 1982 09 01 15:33 | Versilia | 5 - 6 | 4,28 ± 0,16 |
| 5 | 1985 01 23 10:10 | Garfagnana | 6 - 7 | 5,43 ± 0,15 |

Dalla tabella è possibile notare come l'intensità massima risentita nell'area interessata dalla realizzazione del progetto non superi il VII grado MCS, raggiunto a Capannori in occasione del terremoto della Garfagnana del 07 settembre 1920 con epicentro nel territorio di Capraia e con intensità VII MCS; gli altri terremoti elencati nella tabella hanno avuto risentimenti inferiori al VII grado MCS cioè al di sotto della soglia del danno.

In Figura 8.3 è evidenzia la distribuzione delle Intensità risentite al sito (I_s).

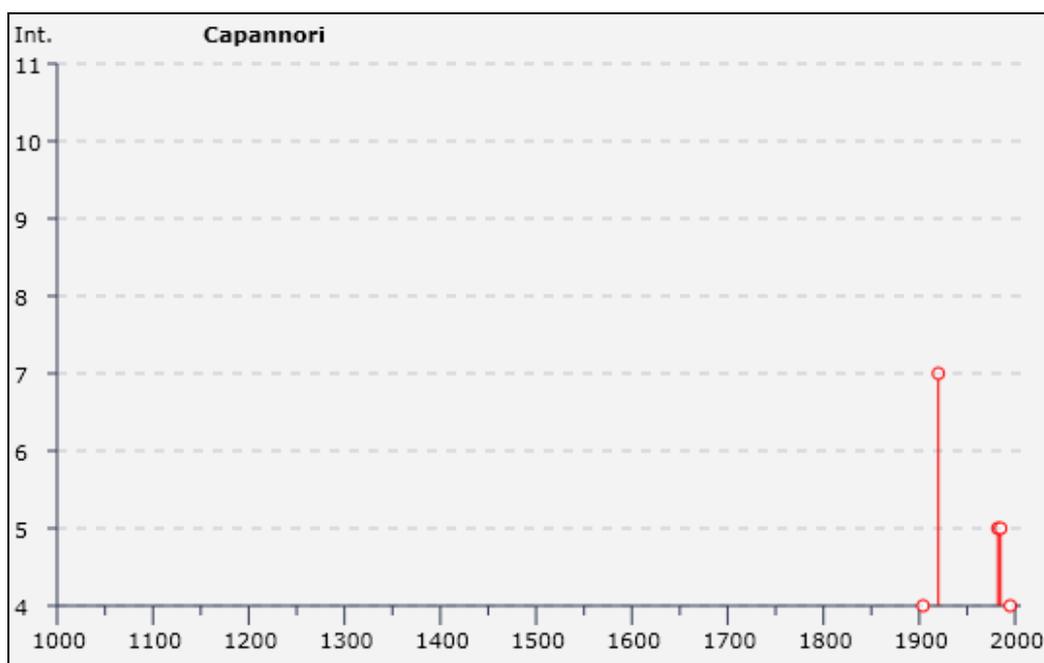


Figura 8.3 - Distribuzione delle intensità risentite al sito (I_s) dei terremoti verificatisi nell'area dal 1000 al 2002.

Comune di Porcari

Tabella 8.3 – Catalogo sismico di sito del Comune di Porcari. Dati modificati a partire da Gruppo di Lavoro CPTI, 2011 (I_0 = intensità epicentrale; M_w = magnitudo; I_s = intensità risentita al sito).

| I_s | Anno Me Gi Or | Area epicentrale | I_0 | M_w |
|-------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 7 | 1914 10 27 09:2 | Garfagnana | 7 | 5,76 ± 0,09 |
| 6-7 | 1920 09 07 05:5 | Garfagnana | 10 | 6,48 ± 0,09 |

Dalla tabella è possibile notare come l'intensità massima risentita nell'area interessata dalla realizzazione del progetto non superi il VII grado MCS, raggiunto a Porcari in occasione del terremoto della Garfagnana del 27 ottobre 1914 con epicentro a Barga e con intensità VII MCS.

L'altro terremoto elencato nella tabella ha avuto risentimenti inferiori al VII grado MCS cioè al di sotto della soglia del danno.

In Figura 8.4 è evidenzia la distribuzione delle Intensità risentite al sito (I_s).

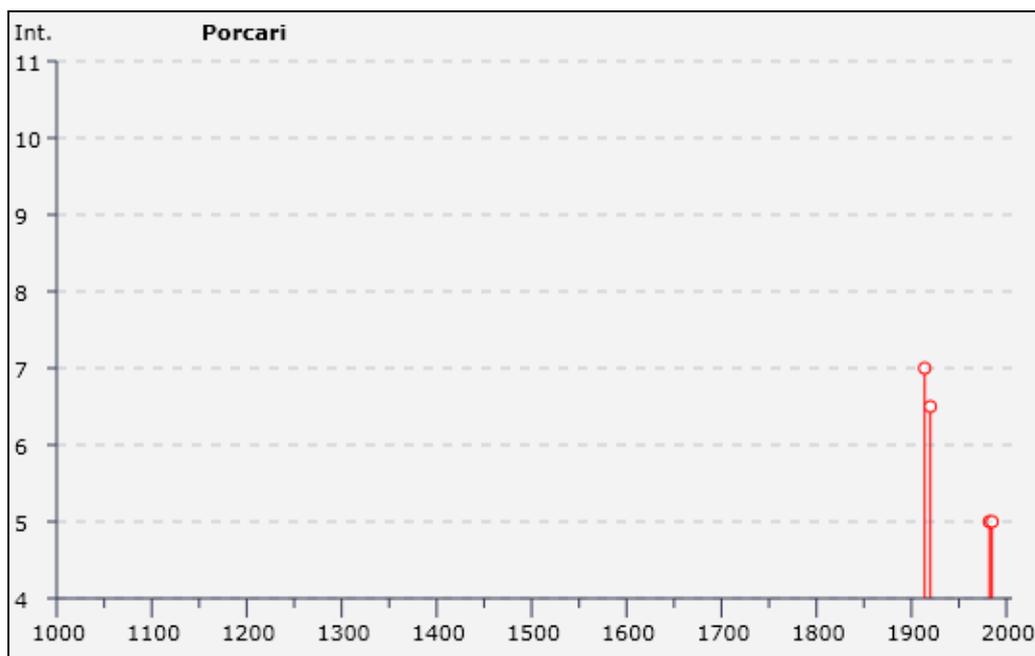


Figura 8.4 - Distribuzione delle intensità risentite al sito (I_s) dei terremoti verificatisi nell'area dal 1000 al 2002.

Comune di Altopascio

Tabella 8.4 – Catalogo sismico di sito del Comune di Altopascio. Dati modificati a partire da Gruppo di Lavoro CPTI, 2011 (I_0 = intensità epicentrale; M_w = magnitudo; I_s = intensità risentita al sito).

| I_s | Anno Me Gi Or | Area epicentrale | I_0 | M_w |
|-------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 6 | 1914 10 27 09:2 | Garfagnana | 7 | $5,76 \pm 0,09$ |
| 5 | 1909 01 13 00:45 | Bassa Padana | 6 - 7 | $5,53 \pm 0,09$ |

Dalla tabella è possibile notare come l'intensità massima risentita nell'area interessata dalla realizzazione del progetto non superi il VII grado MCS, raggiunto a Capannori in occasione del terremoto della Garfagnana del 14 ottobre 1914 con epicentro a Barga e con intensità VII MCS.

L'altro terremoto elencato nella tabella ha avuto risentimenti inferiori al VII grado MCS cioè al di sotto della soglia del danno.

In Figura 8.5 è evidenzia la distribuzione delle Intensità risentite al sito (I_s).

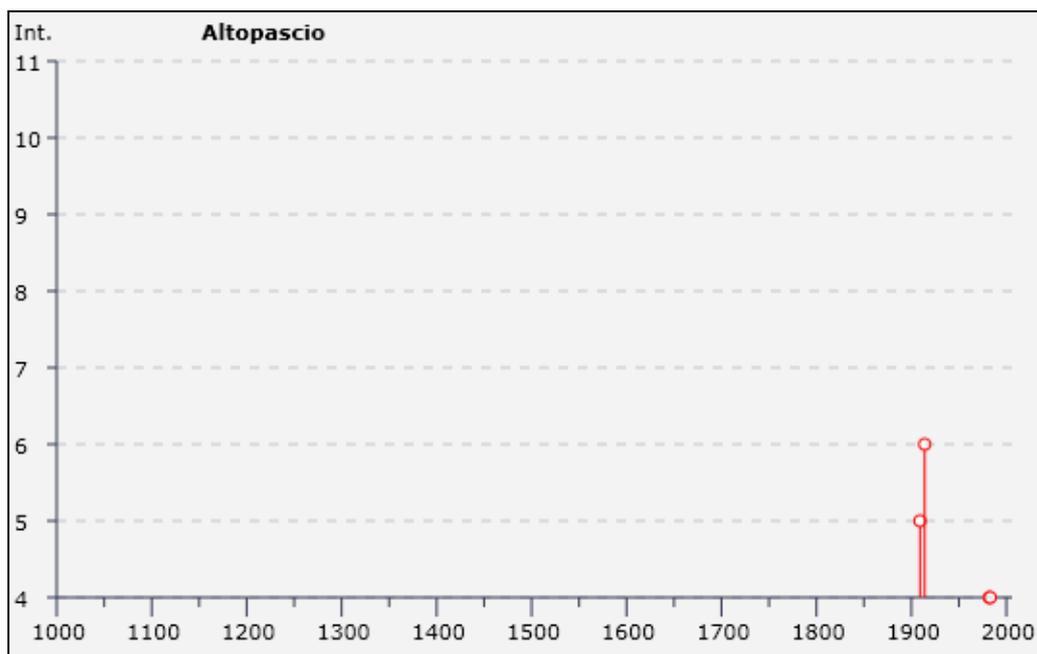


Figura 8.5 - Distribuzione delle intensità risentite al sito (I_s) dei terremoti verificatisi nell'area dal 1000 al 2002.

Per un maggior approfondimento è stata valutata la Massima Intensità Macrosismica dei Comuni interessati dall'opera, a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA; tali intensità vengono rappresentate in Figura 8.6.

Con riferimento alla suddetta Figura 8.6 ed alla Tabella 8.5 sotto riportata, la massima intensità macrosismica osservata nei Comuni interessati dalle opere in progetto è $I_{max}=8$ MCS.

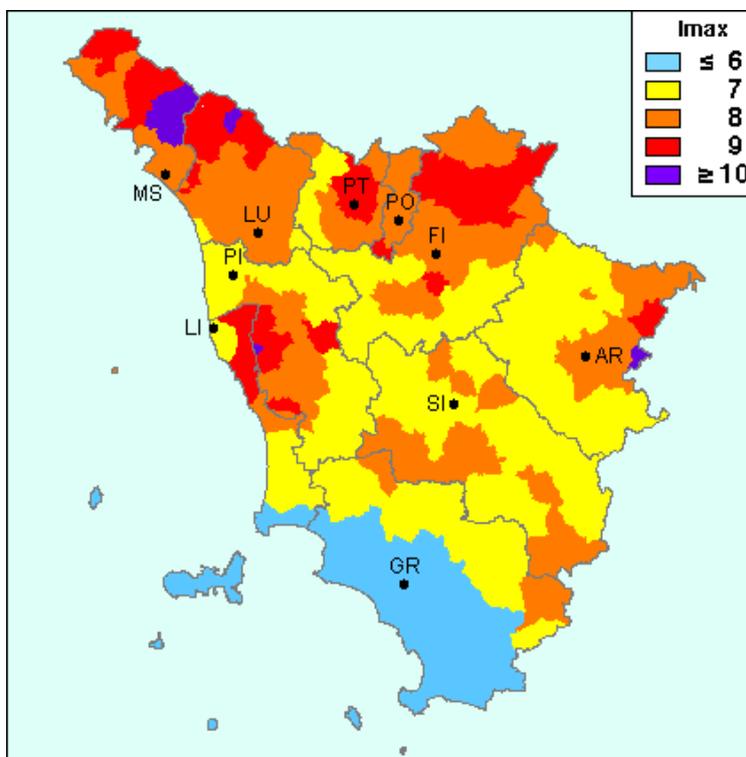


Figura 8.6 – Massime Intensità Macrosismiche osservate nella Regione Toscana (Carta elaborata da D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise per conto del Dipartimento della Protezione Civile – Aprile 1996).

Relativamente alle Massime Intensità Macrosismiche valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA (elaborato per il DPC a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise) va sottolineato che ad ogni Comune è stato associato un valore di intensità massima osservata oppure "ponderata", espresso in una delle cinque classi seguenti: ≤ 6 , 7, 8, 9, ≥ 10 e che non si è ritenuto utile differenziare i valori al di sotto del 6° grado e al di sopra del 10°.

Tabella 8.5 – Massime Intensità Macrosismiche osservate nei Comuni interessati. (Re = Regione; Pr = Provincia; Com = Comune)

| Comune | Re | Pr | Com | Lat. | Long. | I_{max} |
|------------|----|----|-----|----------|----------|-----------|
| LUCCA | 9 | 46 | 17 | 43,84315 | 10,50517 | 8 |
| CAPANORI | 9 | 46 | 7 | 43,84177 | 10,57201 | 8 |
| PORCARI | 9 | 46 | 26 | 43,83864 | 10,61946 | 8 |
| ALTOPASCIO | 9 | 46 | 1 | 43,81292 | 10,67671 | 7 |

I valori intermedi sono stati associati alla classe superiore (es.: 6/7 è stato considerato equivalente a 7); questa scelta, unitamente a quella di associare all'intero territorio comunale il valore massimo di intensità osservata in almeno una località appartenente al Comune stesso e di assegnare un valore "ponderato" nei casi in cui il record storico è molto incompleto, determina una rappresentazione tendenzialmente "pessimista" degli effetti dei terremoti del passato.

8.3 - Nuova Classificazione Sismica

La prima classificazione sismica della Toscana è stata regolamentata con il RDL n. 431 del 13 marzo 1927, con il quale sono stati dichiarati in zona sismica poco più di 70 Comuni delle aree della Lunigiana, Garfagnana, Mugello, Alta Val Tiberina e Amiata.

Successivamente i RDL n. 640, del 25 marzo 1935, e n. 2105 del 22 novembre 1937, hanno declassato circa 20 dei comuni prima classificati (zona della Val Tiberina; 3 comuni della Provincia di Massa).

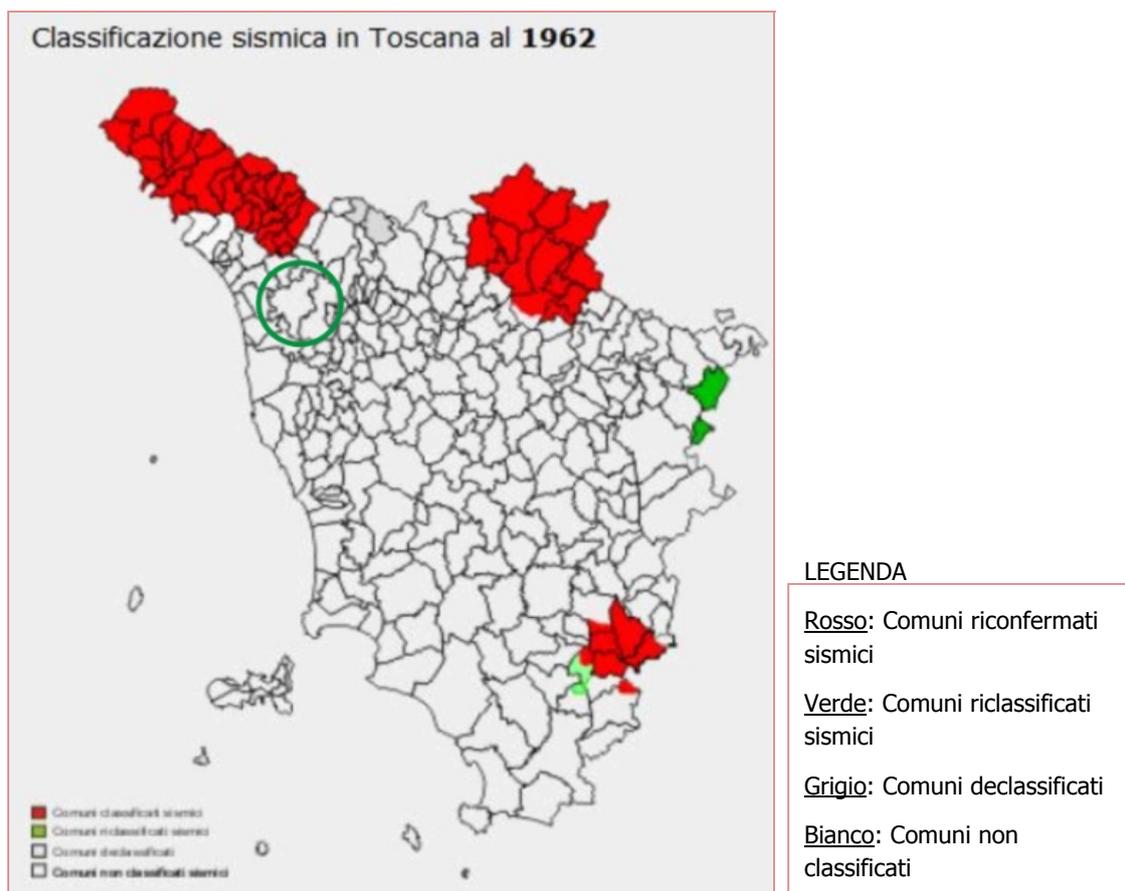


Figura 8.7 – Classificazione sismica della Regione Toscana al 1962. Il territorio del Comune di Lucca è evidenziato con il cerchio verde.

L'elenco dei comuni classificati in zona sismica è stato successivamente modificato con la Legge n. 1684 del 25 novembre 1962, che ha apportato modeste

modifiche: inserisce 2 nuovi comuni e ne riclassifica altri 2 mentre esclude 2 comuni del Pistoiese.

Con Legge 2 febbraio 1974 n. 64 il quadro di riferimento per l'aggiornamento degli elenchi delle zone sismiche e l'individuazione del grado di sismicità prevede l'adozione di Decreti del Ministro dei Lavori Pubblici, di concerto con il Ministero degli Interni, sentito il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, di concerto con le regioni interessate.

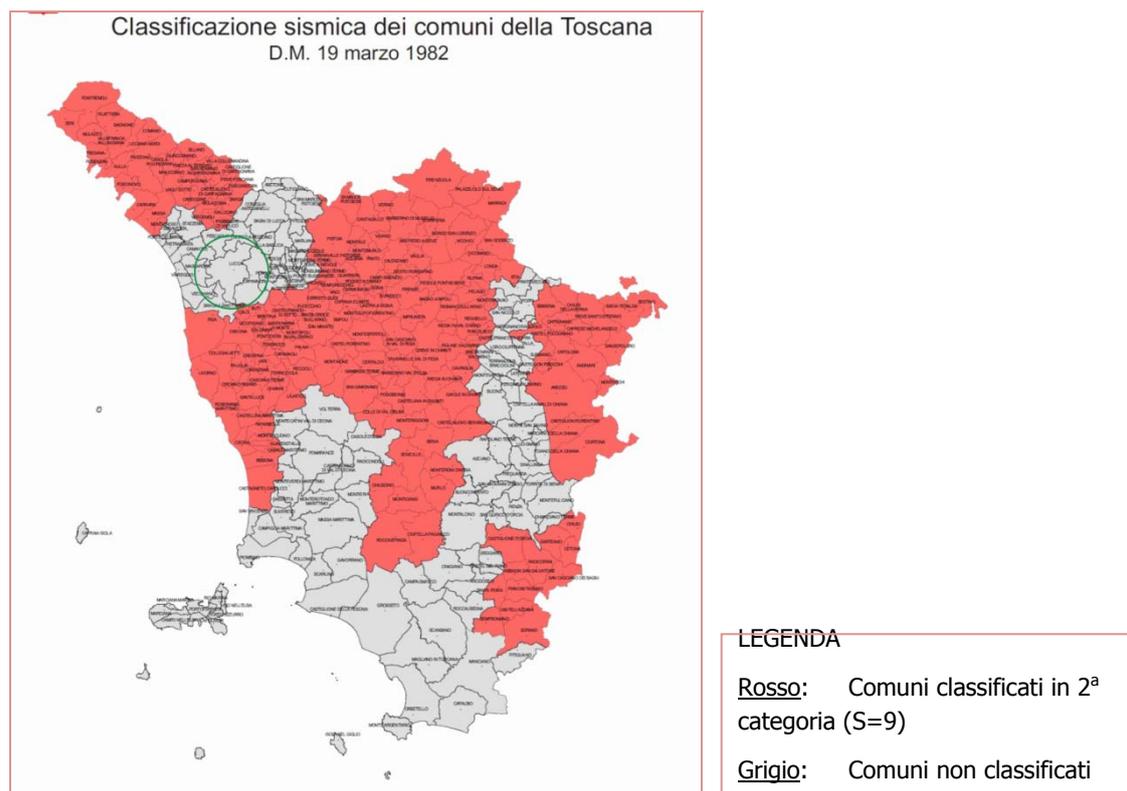


Figura 8.8 – Classificazione sismica della Regione Toscana secondo la DM del 19.03.1982. Il territorio del Comune di Lucca è evidenziato con il cerchio verde.

A seguito dell'evento sismico dell'Irpinia (novembre 1980) sono stati adottati dal 1981 al 1984 in tutto il territorio nazionale i Decreti Ministeriali di classificazione delle zone sismiche, tra cui quello relativo alla regione Toscana del 19 marzo 1982. Il Comune di Lucca è compreso tra quelli non classificati.

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 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", suddivide il territorio italiano in 4 zone a diverso grado di sismicità espresso dal parametro a_g = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A. I valori convenzionali di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuno delle zone sismiche del territorio nazionale sono riferiti ad una probabilità

di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella tabella sottostante.

Tabella 8.6 – Valori dell'accelerazione orizzontale.

| Zona | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|
| Valore di ag | 0,35g | 0,25g | 0,15g | 0,05g |

Con DGR n. 604 del 16 giugno 2003 la Giunta Regionale della Toscana delibera il recepimento della Riclassificazione sismica del territorio della Regione come individuata nell'allegato A dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003. Il comune di Lucca, come indicato in Figura 8.9, è stato identificato in zona 3 (pericolosità media), cui corrisponde, come da tabella il valore di $ag = 0,15g$.

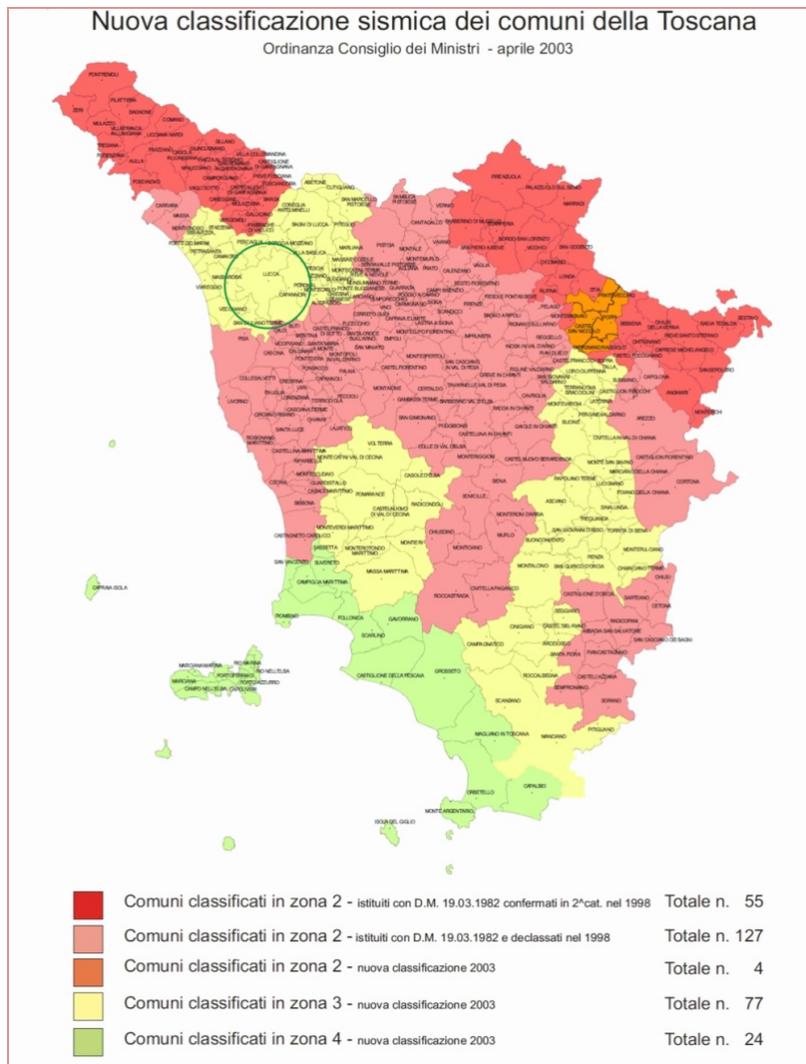


Figura 8.9 - Classificazione sismica delle regione Toscana secondo la DGR n. 604 del 16 giugno 2003. Il territorio del Comune di Lucca è evidenziato con il cerchio verde.

Nel corso del 2006 una nuova Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28/04/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" ha adottato la mappa di pericolosità sismica MPS04 quale riferimento ufficiale ed ha definito i criteri nazionali che ciascuna Regione deve seguire per l'aggiornamento della classificazione sismica del proprio territorio.

Questo strumento normativo, per la prima volta, ha portato a valutare la classificazione sismica del territorio secondo parametri sismologici svincolati dal solo criterio politico del limite amministrativo utilizzato fino a quel momento.

Con la DGR n. 841 del 26 Novembre 2007 la Giunta Regionale del Toscana stabilisce quindi un "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche secondo quanto disposto dall'OPCM 3274/2003 e dall'OPCM 3519/2006". Il territorio del Comune di Lucca risulta classificato in zona sismica 3.

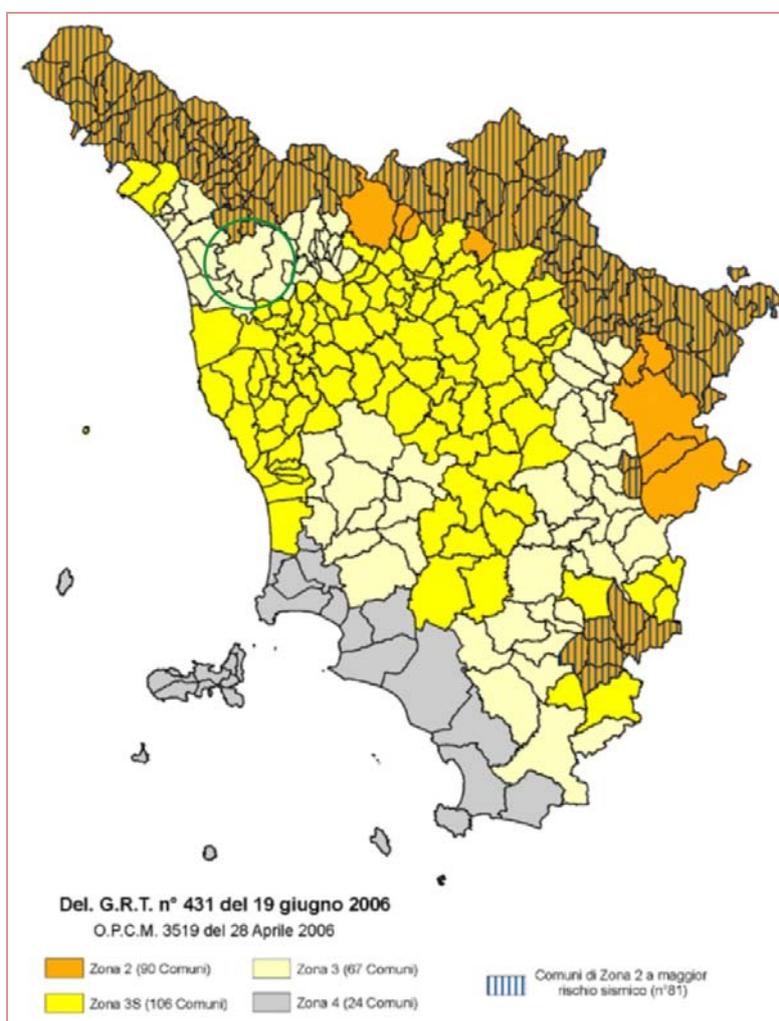


Figura 8.10 - Classificazione sismica della Regione Toscana secondo la DGR n. 841 del 26.11.2007 che recepisce quanto disposto dall'OPCM 3274/2003 e dall'OPCM 3519/2006. Il territorio del Comune di Lucca è evidenziato con il cerchio verde

Alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale il 4 febbraio 2008, è allegato un documento sulla pericolosità sismica (Allegato A), che prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione (paragrafo 3.2.3) venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica.

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle N.T.C., dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g** = accelerazione orizzontale massima del terreno;
- 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.

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento; cfr. Figura 8.8, Tr 475 anni), i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 975 anni).

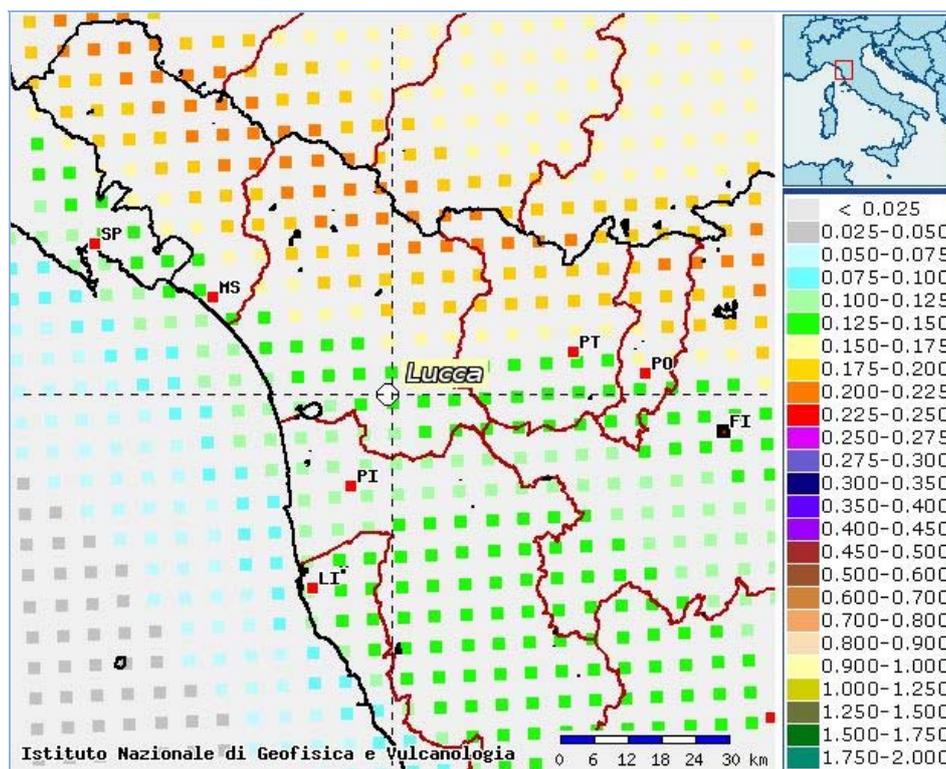


Figura 8.11 – Valori di pericolosità sismica (OPCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b) espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{S30} > 800$ m/s; cat. A, punto A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005).

La Figura 8.11 riporta i valori di pericolosità sismica secondo l'OPCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b per l'area in esame. Nella mappa vengono rappresentati i valori

medi (con deviazione standard) corrispondenti a una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni) della massima accelerazione del suolo indotta dal terremoto, nota in letteratura come PGA (acronimo di *Peak Ground Acceleration*).

Dalla Figura 8.11 è possibile evincere che l'area interessata dalla proposta di progetto ha una PGA dell'ordine di $0,125 \div 0,150$ g.

Le indagini geognostiche del 2004-05 hanno compreso anche una prospezione sismica a rifrazione, ubicata in corrispondenza dell'attraversamento della linea ferroviaria Lucca - Firenze e finalizzata, oltre alla verifica della successione stratigrafica, ad individuare la categoria del suolo sotto l'aspetto sismico, così come richiesto dalla normativa in questione. Con il medesimo scopo sono state inoltre considerati gli studi di microzonazione realizzati per il territorio comunale di Lucca dallo Studio Barsanti, Sani & Sani e Studio Associato Nolledi nel 2004, che individuano le categorie del profilo stratigrafico previste dall'Ordinanza suddetta.

Il tutto è rappresentato nell'elaborato T00GE00GEOCS01A, che costituisce *la planimetria con classificazione sismica* delle territorio in scala 1:25.000.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, le NTC 2008 definiscono 7 categorie in cui suddividere i terreni d'imposta in base ai valori di velocità delle onde sismiche trasversali nei primi 30 m sotto il piano di posa della fondazione (V_{s30}) (Tabella 8.7).

Tabella 8.7 - Categorie sismiche dei terreni

| Categoria | Descrizione |
|------------------|---|
| A | <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m. |
| B | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine). |
| C | <i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine). |
| D | <i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $7 < c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fine). |

| Categoria | Descrizione |
|------------------|---|
| <i>E</i> | <i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{S30} > 800$ m/s).</i> |
| <i>S1</i> | <i>Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{S30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.</i> |
| <i>S2</i> | <i>Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.</i> |

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

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_i}} \quad (1)$$

dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo, entro i 30 m dalla fondazione. Il tutto è meglio esplicitato nell'allegato Rapporto di indagine della Società Pologeologico Srl di Roma.

Tabella 8.8 – Indagini geofisiche eseguite con relativa V_s

| Profondità (m) | | ΔH | V_s (m/s) |
|-----------------------|----------|------------------------------|-------------------------------|
| da | a | | |
| 0,0 | 1,0 | 1,0 | 201 |
| 1,0 | 8,0 | 7,0 | 318 |
| 8,0 | 25,0 | 17,0 | 434 |
| 25,0 | 30,0 | 5,0 | 599 |

La prova Down-Hole, eseguita nell'ambito dell'indagine, ha permesso di definire il profilo di velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri di profondità e di calcolare il parametro V_{S30} , e sulla base dei risultati è stata attribuita al terreno di fondazione la categoria di suolo secondo la tabella del *Paragrafo 3.2.3* delle NTC 2008. I valori trovati sono quelli riportati nella Tabella 8.9 che segue.

Tabella 8.9 – Valore delle V_{S30}

| V_{S30} e Categoria di suolo | | |
|--|---------------------------------|---------------------------|
| <i>Down hole</i> | <i>V_{S30} m/s</i> | <i>Categoria di suolo</i> |
| DH-SA | 237 | C |

Le indagini geofisiche in foro hanno consentito di ottenere, partendo dalle velocità delle onde longitudinali (P) e trasversali (S), alcuni parametri elasto-meccanici

quali il coefficiente di Poisson (ν), il Modulo di elasticità di Young (E) ed il modulo di Taglio (G) oltre che alla densità (ρ), attraverso l'ausilio di formule matematiche. Nella Tabella 8.10 di seguito si riassumono i risultati ottenuti.

Tabella 8.10 – Valori dei moduli elasto-meccanici

| <i>prof. (m)</i> | ν | $\rho / T/m^3$ | <i>E</i> | <i>G</i> |
|------------------|-------|----------------|----------|----------|
| 1 | 0,34 | 1,50 | 164 | 61 |
| 2 | 0,35 | 1,70 | 464 | 172 |
| 3 | 0,35 | 1,70 | 464 | 172 |
| 4 | 0,35 | 1,70 | 464 | 172 |
| 5 | 0,35 | 1,70 | 464 | 172 |
| 6 | 0,35 | 1,70 | 464 | 172 |
| 7 | 0,35 | 1,70 | 464 | 172 |
| 8 | 0,35 | 1,70 | 464 | 172 |
| 9 | 0,47 | 1,70 | 939 | 320 |
| 10 | 0,47 | 1,70 | 939 | 320 |
| 11 | 0,47 | 1,70 | 939 | 320 |
| 12 | 0,47 | 1,70 | 939 | 320 |
| 13 | 0,47 | 1,70 | 939 | 320 |
| 14 | 0,47 | 1,70 | 939 | 320 |
| 15 | 0,47 | 1,70 | 939 | 320 |
| 16 | 0,47 | 1,70 | 939 | 320 |
| 17 | 0,47 | 1,70 | 939 | 320 |
| 18 | 0,47 | 1,85 | 1022 | 348 |
| 19 | 0,47 | 1,85 | 1022 | 348 |
| 20 | 0,47 | 1,85 | 1022 | 348 |
| 21 | 0,47 | 1,85 | 1022 | 348 |
| 22 | 0,47 | 1,85 | 1022 | 348 |
| 23 | 0,47 | 1,85 | 1022 | 348 |
| 24 | 0,47 | 1,85 | 1022 | 348 |
| 25 | 0,47 | 1,85 | 1022 | 348 |
| 26 | 0,47 | 1,85 | 1943 | 663 |
| 27 | 0,47 | 1,85 | 1943 | 663 |
| 28 | 0,47 | 1,85 | 1943 | 663 |
| 29 | 0,47 | 1,85 | 1943 | 663 |
| 30 | 0,47 | 1,85 | 1943 | 663 |

La prospezione sismica a rifrazione eseguita in località Corte Corazza, Toringo in occasione delle indagini pregresse dalla ditta BIERREGI di Pescaglia, nel dicembre 2004, è stata realizzata secondo una stesa con lunghezza di 92 m, utilizzando 24 geofoni con interasse di 4 m e 7 registrazioni.

Tale indagine ha permesso di distinguere 3 diversi orizzonti caratterizzati da velocità sismiche diverse, così descrivibili:

1. Dal piano campagna fino a 3,26-4,86 m di profondità uno strato riconducibile a sabbie limoso-argillose tipo "Bellettone" caratterizzato da una velocità V_s media di 160 m/sec.
2. Da 3,26-4,86 m a 14-16,13 m con andamento abbastanza regolare uno strato caratterizzato da una velocità V_s media di 320 m/sec riconducibile alle ghiaie (acquifero).
3. Oltre, con andamento irregolare, uno strato caratterizzato da una velocità $V_s > 605$ m/s riconducibile alle argille fluvio-lacustri.

Analizzando i risultati ottenuti con i dati stratigrafici già esistenti nei dintorni, che non hanno intercettato depositi fluvio-lacustri fino a circa 30 m di profondità, non si esclude che il terzo strato rifratore, presente a partire da circa 16 m dal p.c., possa essere ricondotto ad uno stato molto addensato dei sedimenti alluvionali ghiaiosi .

La determinazione del V_{s30} , che è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio, calcolata con l'espressione (1) già vista, e determinata per ciascuna registrazione eseguita durante la prospezione, ha individuato dei valori compresi tra 340 e 362 m/s, e quindi corrispondente alla **tipologia di suolo B**, al limite con la tipologia **C**.

I valori dei parametri caratteristici per il calcolo delle azioni sismiche orizzontali secondo l'O.P.C.M. n° 3274/03 sono quelli indicati di seguito nella Tabella 8.11.

Tabella 8.11 – Valori dei moduli elasto-meccanici

| Categoria di profilo stratigrafico | S | T _B | T _C | T _D |
|------------------------------------|-------------|----------------|----------------|----------------|
| A | 1,0 | 0,15 | 0,40 | 2,0 |
| B, C, E | 1,25 | 0,15 | 0,50 | 2,0 |
| D | 1,35 | 0,20 | 0,80 | 2,0 |

dove S è il fattore amplificativo e T_B, T_C e T_D sono i tempi (durate) relativi ai vari tratti dello spettro di risposta corrispondente a ciascuna categoria di profilo stratigrafico.

Di seguito si riportano anche le categorie dei suoli e i profili di ricostruzione stratigrafica definiti dalle prospezioni sismiche pregresse (ubiccate come nel citato Elaborato T00GE00GEOCS01A), eseguite nel territorio comunale di Lucca e finalizzate alla definizione della pericolosità sismica:

Tabella 8.12 – Categorie dei suoli

| N° AREA | Località | Velocità media Vs30 | Categoria di profilo stratigrafico |
|----------------|---------------------|----------------------------|---|
| 1 | S. Pietro a Vico | 445÷506 | B |
| 2 | S. Pietro a Vico | 449÷488 | B |
| 5 | Sorbano del Giudice | 345÷383 | C (⇒ B) |
| 7 | SS. Annunziata | 373÷377 | B |
| 19 | S. Filippo | 348÷410 | B (⇒ C) |

Sul tracciato in esame è possibile distinguere, facendo riferimento ai settori individuati nel paragrafo 5.2., i seguenti profili sismici:

ADEGUAMENTO SS N° 12

- intero tracciato, dalla Loc. Ponte a Moriano alla Loc. Corte Pasquinelli: profilo **B** ⁱ

ASSE NORD-SUD

- intero tracciato, dalla Loc. Tacchini fino alla rotatoria di Antraccoli: profilo **B** ⁱ

INTERSEZIONE DI LUCCA EST

- intera opera: profilo **C** ⁱ

ASSE OVEST - EST

- alla Loc. S. Concordio fino al km 4+300 circa: profilo **C** ^d

- al km 4+300 circa a fine tracciato (rotatoria di Antraccoli): profilo **B** ^d

INTERSEZIONE DI ANTRACCOLI

- intera opera: profilo **B** ⁱ

ASSE EST-OVEST

- alla rotatoria di Antraccoli al km 2+700: profilo **B** ^d

- al km 2+700 a fine tracciato (rotatoria Loc. Frizzone): profilo **C**^d

CAVALCAFERROVIA FS LUCCA - FIRENZE

- ntera opera: profilo **C**ⁱ

OPERA CONNESSA

- all'inizio tracciato (Loc. Massa Macinaia) al km 0+700: profilo **C**^d

- al km 0+700 al km 1+400 circa: profilo **B**^d

- al km 1+400 circa a fine tracciato (rotatoria Loc. Frizzone): profilo **C**^d

CIRCONVALLAZIONE DI ALTOPASCIO

- all'inizio tracciato (rotatoria Loc. Frizzone) al km 2+850 circa: profilo **C**^d

- al km 2+850 circa al km 3+100: profilo **B**^d

- al km 3+100 al km 3+480: profilo **C**^d

- al km 3+480 al km 4+450: profilo **B**^d

- al km 4+450 a fine tracciato (rotatoria su S.P. n° 3): profilo **C**^d

9 - OPERE PRINCIPALI E PROBLEMATICHE GEOLOGICO-GEOTECNICHE

9.1 - Problematiche generali

Le principali opere d'arte che caratterizzano il progetto in esame possono essere così riassunte, con le relative problematiche:

1. **TRATTI IN RILEVATO:** sono presenti diverse porzioni del tracciato in cui la viabilità si imposta in corrispondenza di rilevati. In dettaglio la tratta Ovest-Est si caratterizza da quattro porzioni in rilevato con altezze che possono superare, rispetto al piano campagna, gli 8 m circa. Tali porzioni saranno realizzate, a seconda della localizzazione, con scarpate a pendenza massima di circa il 66%, con spallette laterali (tipo terre armate) o, nel tratto in cui la strada affianca l'autostrada A11, con un muro di sostegno. Altri rilevati importanti si incontrano nei tratti di raccordo con il viadotto previsto in località Toringo. La tratta Est-Ovest non comporta interventi impegnativi, in quanto prevede solo un adeguamento della viabilità provinciale esistente. Anche la tratta Nord – Sud presenta rilevati di modeste dimensioni con scarpate a pendenza contenuta. Per questi settori di viabilità, le problematiche geotecniche sono connesse con la caratterizzazione dei terreni di appoggio delle opere, con particolare attenzione alla problematica dei *cedimenti* dei terreni di appoggio. Si precisa in particolare che la zona compresa tra S. Concordio e Sorbano, dove peraltro è previsto un tratto in rilevato, contraddistinto nel tratto iniziale da elevati spessori rispetto al piano campagna, è caratterizzata da terreni dotati di scarsa consistenza ed elevata compressibilità che gli conferiscono una potenziale propensione ai fenomeni di consolidamento.
2. **TRATTI IN SCAVO:** sono presenti diverse porzioni del tracciato in cui è stata prevista la realizzazione di scavi. In dettaglio la tratta Ovest-Est si caratterizza da un tratto, con sviluppo di circa 500 m, in cui la strada si imposta a profondità rispetto al p.c. attuale comprese tra circa 0,20 m e 1,20 m. È presente una seconda tratta compresa tra le sezioni 34 e 46 in cui lo scavo può raggiungere la massima profondità di circa 2,4 m. Nelle zone di maggiore scavo il raccordo con la morfologia circostante avviene attraverso la realizzazione di muro laterali di sostegno. Tale soluzione di fatto consente di attraversare due cavalcavia esistenti che superano il tracciato dell'A11, senza intervenire su di essi. Lungo la tratta Nord-Sud sono presenti almeno due porzioni in scavo di cui la prima in corrispondenza dell'attraversamento della SS 437 (Via Pesciatina), e l'altro per il superamento delle rilevati esistenti del T. Fraga e della linea ferroviaria Lucca - Aulla in località Marlia. Per tali settori si è cercato di fornire una più approfondita caratterizzazione geotecnica e idrogeologica dei terreni coinvolti, al fine di definire sia le problematiche di escavabilità dei terreni e la loro stabilità, sia l'eventuale

intercettazione del livello di falda sotterranea. In particolare per queste opere devono essere distinte le problematiche che possono emergere durante le fasi di realizzazione in corso d'opera e ad opera eseguita:

In corso d'opera

- interferenza con la falda, con conseguenti problematiche connesse con gli scavi sotto falda (aggottamento del livello idrico e stabilità delle pareti di scavo);
- vulnerabilità dell'acquifero;
- interazione tra gli scavi ed i fabbricati esistenti adiacenti, soprattutto nelle zone contraddistinte da terreni con copertura superficiale scadente.

Ad opera eseguita

- interazione tra gli scavi ed i fabbricati esistenti adiacenti, soprattutto nelle zone contraddistinte da terreni con copertura superficiale scadente.
- raccolta delle acque meteoriche;
- soluzioni mirate a mantenere in condizioni drenate (installazione di pompe) la viabilità, durante le fasi di ricarica della falda sotterranea ed impedire la formazione di sottospinte idrostatiche.

3. **TRATTI IN VIADOTTO:** Il viadotto principale previsto sulla strada di progetto è quello posto sull'asse Ovest-Est un viadotto, tra le sezioni 76 e 86, in località Toringo, necessario all'attraversamento della linea ferroviaria Lucca - Firenze, il canale Ozzoretto e la SS 439 Sarzanese Valdera. Tale opera, con sviluppo massimo di 479 m, si eleva rispetto al p.c. attuale fino a circa 10,2 m. Il raccordo con il rimanente tracciato avviene mediante rilevati. L'appoggio di tale opera al terreno avverrà attraverso la realizzazione di pile, con plinti di fondazione poggianti su pali. Un altro viadotto, di lunghezza complessiva 100 m, composto da quattro campate da 25 m, risolve l'intersezione con la Via della Madonnina; la sua struttura sarà simile a quella del precedente. Per questa tipologia di interventi è stata definita, in via preliminare, la caratterizzazione geotecnica dei terreni di appoggio.

9.2 - Adeguamento SS n° 12. Aspetti geologico-geotecnici

Il tratto lungo km 3+720 circa di SS n° 12 che dovrà essere adeguato, unisce la Località Ponte a Moriano, posta al km 30+300 circa dell'esistente SS n° 12, con la località Corte Pasquinelli da dove, per mezzo di una rotatoria si collegherà con il previsto ponte sul Fiume Serchio (non di competenza ANAS). Al km 1+127 si collega all'Asse Nord-Sud mediante una rotatoria.

Il tracciato, che prevede la realizzazione in rilevato, interessa formazioni limoso-sabbiose e sabbiose, che a loro volta poggiano sui sottostanti livelli ghiaioso-sabbiosi. Il valore minimo di N_{spt} , ricavato dalle prove eseguite nel tempo nell'area sulla

medesima formazione, è di 33 colpi a cui corrispondono valori di φ intorno a 35°. Il valore della soggiacenza, in condizioni di massima ricarica (Fig. 4.3 - novembre 2000) varia tra i 3 ed i 4 m dal p.d.c., mentre in condizioni di media ricarica presenta una soggiacenza di m 6. Stante la tipologia di lavori da eseguire non si prevedono interferenze.

9.3 - Asse Nord-Sud. Aspetti geologico-geotecnici

L'Asse Nord-Sud, lungo 5+140 km circa, inizia al km 1+127 del tracciato adeguato della SS n° 12, a cui si collega con una rotatoria in località Tacchini; dirigendosi verso sud, si alza rispetto alla quota del terreno per risolvere l'intersezione con la linea ferroviaria Lucca - Aulla e la Via Lungo la Ferrovia Prima che vengono superate con un cavalcavia di 210 m posto tra il km 0+094 ed il km 0+309. Un cavalcavia, di 245 m, è previsto anche tra il km 0+824 ed il km 1+065 per superare il Condotto pubblico, Via per Marlia e Via dell'Acqua calda. Al km 1+543 si realizzerà un sovrappasso per garantirne la continuità di Via Tognetti.

Per quanto riguarda gli aspetti geologici e geotecnici, in base alle stratigrafie ricostruibili in base ai dati ottenuti con la penetrometria 41 ed il sondaggio S851, la costruzione del sovrappasso intercetterà prevalentemente i terreni di copertura limoso-sabbiosi e sabbiosi, ed in parte i sottostanti livelli ghiaioso-sabbiosi. I valori di N_{spt} determinati durante l'espletamento dei due sondaggi, in corrispondenza delle fondazioni, sono risultati pari al valore minimo di 33 colpi, cui corrispondono valori di φ intorno a 35°. La falda, in condizioni di media ricarica presenta una soggiacenza di m 6 e non interferisce con lo scavo, mentre l'interferenza è presente in condizioni di massima ricarica (novembre 2000), in cui la soggiacenza ha raggiunto i 4 m dal p.d.c.

Al km 1+950 circa la strada di progetto interseca Via delle Ville; tale interferenza è risolta mantenendo il tracciato a raso e realizzando una rotatoria a 4 bracci. In questa zona i dati geognostici (Cpt 15 – Cpt 14) mettono in luce, al di sotto del terreno agrario limoso-argilloso, spesso al massimo un metro, un livello sabbioso-limoso di media consistenza passante a breve profondità (1,5-2 m) all'orizzonte ghiaioso-sabbioso grossolano.

Al km 3+144 circa un altro sovrappasso sulla strada di progetto risolve l'intersezione con Via dei Coselli. In questa zona lo spessore della copertura limoso-sabbiosa si riduce ad un metro e già ad 1,2 m il valore di R_p supera i 19.615 kPa.

Infine al km 4+090 circa un'altra rotatoria risolve a raso l'interferenza con la SS n° 435 Pesciantina. Dal punto di vista geologico e geotecnico l'opera intercetterà terreni granulari, già a partire dal piano campagna, per i quali anche a breve termine non sono prevedibili condizioni di stabilità. Per tale intervento dovranno pertanto essere previste le opere di sostegno provvisorie dimensionate sulla base dei parametri geotecnici desunti dal sondaggio S06 e considerando la presenza di una falda pressoché coincidente con il piano di campagna. In dettaglio la stratigrafia del

sondaggio S6, confermando i dati pregressi disponibili, definisce al di sotto di una copertura limoso-sabbiosa con spessore inferiore al metro, la presenza di materiale dapprima sabbioso e poi ghiaioso-sabbioso in matrice sabbioso-limosa. I parametri di resistenza, definiti dalle prove SPT, presentano valori di N_{spt} compresi tra 24 e 41 colpi, che corrispondono a valori di ϕ compresi tra 34° e 36°.

Al km 5+141 l'asse termina per raccordarsi con l'intersezione di Antraccoli.

9.4 - Intersezione Lucca Est. Aspetti geologico-geotecnici

La nuova opera, da realizzarsi in zona San Concordio, occupa un'area dalle dimensioni di km 0+350 circa per km 0+300 circa. Essa assolve il compito di collegamento tra lo intersezione autostradale esistente e la viabilità locale, consentendo altresì l'allaccio dell'Asse Ovest-Est previsto dal progetto.

I terreni dell'area di realizzazione, per una profondità che si aggira intorno ai 7,50 m dal p.c., sono prevalentemente limosi e limoso-argillosi, con plasticità e compressibilità media. La verifica dei cedimenti dei terreni, tenuto conto delle caratteristiche dell'opera e delle proprietà dei terreni, ha mostrato che si verificano cedimenti con valori molto elevati, compresi tra i 15 ed i 24 cm, come meglio evidenziato nel paragrafo seguente. La falda freatica ha una soggiacenza media intorno a 0,50 m dal p.c. In queste condizioni è opportuna l'adozione dei necessari provvedimenti per evitare cedimenti e sottospinte idrauliche.

9.5 - Asse Ovest-Est. Aspetti geologico-geotecnici

Questo asse del nuovo Sistema Tangenziale, lungo km 6+086 circa, che unisce San Concordio con Mugnano, prevede una soluzione complanare all'autostrada A11, da realizzarsi prevalentemente in rilevato. In questa fase di studio è stata eseguita la verifica dei cedimenti dei terreni di sottofondo mediante apposito software, tenendo conto delle caratteristiche geometriche del rilevato e delle proprietà dei terreni di appoggio.

Tabella 9.1 – Piano di posa delle fondazioni dei rilevati

| Tratta ovest-est Sez. n° | CPT di riferimento | Piano posa fondazione rilevato | | |
|--------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|------------------|------------------|
| | | 0,00 m dal p.c. | -0,50 m dal p.c. | -1,00 m dal p.c. |
| | | Δh (cm) | Δh (cm) | Δh (cm) |
| 5 | Pt01 | 24,15 | 24,75 | 25,45 |
| 7 | Pt01 | 15,54 | 15,75 | 16,27 |
| 30 | Pt03 | 2,8 | 2,7 | 2,5 |
| 76 | Pt05 | 2,6 | 2,2 | 1,8 |
| 118 | Pt07 | 3,8 | 2,6 | 1,5 |

In particolare i calcoli sono stati eseguiti in corrispondenza delle sezioni caratterizzate dalla maggiore altezza del rilevato e sulla base dei parametri desunti dalle prove penetrometriche CPT più vicine. Per ciascuna sezione sono state eseguite tre diverse verifiche, considerando l'appoggio del rilevato a 0,0 m dal p.c. attuale, a -0,5 m e a -1,0 m. I dati ottenuti sono riportati nella Tabella 9.1.

Da tali dati si evidenzia come in corrispondenza delle sezioni n° 5 e 7 si verificano valori di cedimento molto elevati, ($\Delta h = 24$ cm e $\Delta h = 15$ cm), mentre per le altre sezioni considerate i cedimenti si mantengono dell'ordine dei 2-4 cm. Infatti tra il km 0+210 ed il km 0+235 la strada di progetto interseca Viale San Concordio e tale interferenza è risolta salendo con la livelletta del tracciato fino alla quota dell'Autostrada A11 esistente e portandosi parallela a questa in modo da realizzare un cavalcavia di 25 m di lunghezza. Dai tabulati di calcolo si nota come per la sezione 5, definita stratigraficamente dalla penetrometria 1, il maggiore cedimento di verifica tra i 4,5 ed i 7,0 m dal p.c., contraddistinti dai minori valori di modulo edometrico e da uno scarso grado di consolidazione (OCR). Il sondaggio S1, posto all'incirca alla progressiva 0 + 100, conferma che fino a circa m 7,50 dal p.d.c. è presente un pacco di terreni prevalentemente limosi e limoso-argillosi di media plasticità e compressibilità ($LL = 39$, $C_c = 0,227$ a 4,50-5 m di profondità). Dalle verifiche si nota inoltre come in corrispondenza delle sezioni critiche si verifica una rapida riduzione del cedimento dall'asse del rilevato verso il margine esterno, con assestamenti che dai 25 cm in asse al rilevato divengono pari a circa 13 cm al bordo esterno. Per le altre sezioni verificate (n° 30, 76, 118), la maggiore aliquota di cedimento si ha in corrispondenza degli strati più superficiali decrescendo in profondità.

Da tale analisi preliminare si evidenzia quindi che per il settore 1, per tutta la lunghezza interessata da un'altezza del rilevato superiore ai 2 m, si rendono necessari interventi di bonifica di un certo impegno, con drenaggio dei terreni argillosi soffici, che portino ad un'accelerazione del processo di consolidamento dei terreni meno consistenti. In analogia a quanto adottato dalla SALT, che ha affrontato la realizzazione di rilevati analoghi in corrispondenza del vicino intersezione di Lucca Est dell'A11, si può suggerire l'impiego, sotto il corpo del rilevato, di dreni a nastro con dimensioni di m 1,50×1,50 e profondità di m 10, unitamente alla messa in opera di un materasso di bonifica anticapillarità.

Per quanto riguarda i pali di fondazione del ponte di attraversamento del Viale S. Concordio, può assumersi un'ipotesi progettuale di una profondità media tra 20 e 25 m (il terreno resistente in cui realizzare i pali si colloca a partire da 7,5-8 m dal p.d.c. ed il suo spessore è dell'ordine dei 12 m, con valori di φ compresi tra 34° e 36°); tali dati consentono di ipotizzare pali di grande diametro ($\varnothing 1000$) e di elevata portanza (>200 ton).

Al km 0+900 circa la strada di progetto passa con una sezione scatolare sotto al rilevato del cavalcavia autostradale di Via del Sorbano del Giudice. Il sottopasso scatolare interferisce con la spalla esistente del cavalcavia che deve essere demolita;

l'impalcato del cavalcavia dovrà essere sostenuto da puntelli provvisori per permettere la demolizione della spalla e la costruzione del nuovo sottopasso che con la sua parete verticale lato autostrada fungerà anche da spalla per il cavalcavia. Il passaggio implicherà lo scavo in terreni limoso-argillosi di media plasticità e compressibilità ($LL = 46$ $C_c = 0,224$ a 2,50-3 m di profondità ed $R_p > 981$ kPa fino a m 1,40 e tra 588 e 785 kPa tra 1,60 e 2,20 m dal p.d.c.), con falda prossima al p.d.c.; tali condizioni comporteranno l'adozione di opere provvisorie di sostegno degli scavi e la bonifica del sottofondo.

Relativamente all'interferenza con la falda, i dati piezometrici disponibili indicano anche in condizioni di media ricarica la possibilità di intercettare il livello idrico sotterraneo. Pertanto dovranno essere previsti gli accorgimenti tecnici necessari all'abbattimento di tale falda in corso d'opera ed un corretto dimensionamento della soletta di fondazione per contrastare eventuali sottospinte idrostatiche.

Al km 1+423 circa la strada di progetto interseca l'acquedotto monumentale detto "del Nottolini". In dettaglio il progetto prevede di sottopassare l'acquedotto con una trincea dal km 0+803 che consente di abbassare la livelleta fino al km 1+243 dove inizia la galleria artificiale che termina al km 1+393; un tratto in trincea fino al km 2+108 consente di riportare la livelleta al p.d.c.

In questa zona la stratigrafia (Fig.4.5) ricostruita dal sondaggio S03 e dai due sondaggi S1 e S2 del 2012, ha evidenziato la presenza di una copertura limoso-sabbioso-argillosa (Bellettone) a profondità variabili tra 6,2 e 7,5 m dal p.c., seguita da uno spessore di circa 7 m di sabbie e ghiaie resistenti,. Al di sotto sono stati rinvenuti depositi prevalentemente argillosi e argilloso-limosi, talora assai plastici, con spessori di circa 12 m, seguiti da sedimenti da addensati a molto addensati, riconducibili a depositi fluvio-lacustri, costituiti da prevalenti sabbie e ghiaie in abbondante matrice argilloso-limosa con intercalazioni di limi argilloso-sabbiosi compatti.

Dal punto di vista geotecnico l'orizzonte di copertura superficiale del Bellettone può essere descritto dalle analisi di laboratorio eseguite sui campioni prelevati tra 4,50 m e 4,80 m e tra 4,80 m e 5,10 m, denotando il passaggio da una facies più sabbiosa ad una più marcatamente limosa con valori di coesione drenata di 18 kPa ed angolo di attrito di 14° , mentre all'orizzonte di sabbie e ghiaie, tramite le prove N_{spt} eseguite in situ (profondità di 7,8 m e di 10,0 m) sono attribuibili valori di angoli di attrito interno di circa 37° . Le argille limoso-sabbiose sottostanti alle ghiaie sono state campionate nei due sondaggi recenti ed hanno dato, per lo strato più sabbioso, intorno ai 16,5 m di profondità, valori di coesione drenata di 0,0 kPa e di angolo d'attrito tra $31,6^\circ$ e $32,2^\circ$; per gli strati più argillosi alla profondità di 21,5 m, si ha $C = 7,6$ kPa e $\varphi = 28,3^\circ$; l'ultimo strato indagato, alla profondità di circa 25 m, ha valori di $c = 0,0$ e di $\varphi = 38,4^\circ$. Infine, la prova SPT eseguita nei depositi fluvio-lacustri preconsolidati (profondità di 25,5 m) ha fornito un valore di angolo di attrito interno pari a 36° , mentre le analisi effettuate sul campione CR2 (prelevato alla profondità

compresa tra 26,0 m e 26,5 m) e distinguibile granulometricamente in due frazioni, hanno dato per la porzione più fine dei valori di $LL = 43$, $Lp = 27$ e $Ip = 16$, mentre sulla porzione a composizione sabbiosa dei valori dei limiti $LL = 29$, $Lp = 20$ e $Ip = 9$.

In relazione al locale assetto geologico-tecnico, le opere strutturali che dovranno essere realizzate in corrispondenza delle arcate dell'acquedotto, saranno con tutta probabilità ancorate in corrispondenza dell'orizzonte sabbioso-ghiaioso che presenta profondità comprese tra 7,5 m e 12,7 m nel sondaggio S03 del 2005 e tra 6,0 e 13,5 quale media dei valori trovati con i sondaggi del 2012 (vedi relazione sulle indagini geognostiche allegata). Il passaggio avverrà per mezzo di una galleria artificiale che interesserà (vedi Fig. 4.5) gli orizzonti di terreno già citati e dei quali si sono dati i parametri geotecnici.

Al km 1+750 circa la strada di progetto interferisce con la spalla esistente del cavalcavia autostradale di Via delle Cave che viene superato con un sottopasso. In tale località è stato realizzato il sondaggio S4, che evidenzia 6,90 m di copertura limoso-argillosa, con intercalazioni sabbiose, con un valore di coesione non drenata di 31,8 kPa nel campione prelevato tra 5 e 5,60 m. Un altro sottopasso serve a superare l'interferenza con il cavalcavia su Via del Sorbano del Vescovo al km 2+075.

Dal km 2+915 al km 2+955 circa, un ponte di luce 40,00 m sulla strada di progetto risolve l'intersezione con il canale Ozzoretto; la struttura del ponte sarà simile a quella di Via di San Concordio. I pali di fondazione dovranno essere spinti a non meno di 16-18 m di profondità.

L'asse stradale di progetto con un viadotto, di lunghezza complessiva 525 m, previsto tra il km 3+716 e il km 4+241, risolve l'intersezione con la ferrovia Lucca - Pistoia - Firenze, il canale Ozzoretto e la Via del Marginone. La stratigrafia disponibile per questo tratto è stata definita dai sondaggi pregressi 309, 310 e 103, dalle penetrometrie pregresse 564, 855, 253 e 845 e dalla penetrometria pt16 della campagna d'indagini del 2005, oltre che dalla stesa sismica St1.

Dall'insieme di tali dati si evince che le fondazioni del viadotto dovranno trasferire i carichi di esercizio oltre i 4,5 m di profondità dal p.c. e cioè all'interno dell'orizzonte sabbioso ghiaioso resistente. Sarà pertanto opportuno realizzare delle opere di fondazione appoggiate su pali dimensionati in maniera tale da escludere il contributo della portanza laterale nei terreni di copertura limoso-argillosi di scarsa resistenza.

Al km 5+668 circa uno scatolare di 10,00 m sulla strada di progetto risolve una seconda intersezione con il canale Ozzoretto. Nella realizzazione dell'opera si potrà tenere conto del ridotto spessore della copertura limosa (2-3 m) e del fatto che il pacco alluvionale ghiaioso-sabbioso supera i 20 m di spessore.

9.6. - Asse Est-Ovest. Aspetti geologico-geotecnici

L'asse Est – Ovest, lungo km 4+329, inizia dalla rotatoria di Antroccoli, dove si raccorda con le tratte illustrate prima, e termina in Località Frizzone in prossimità del nuovo casello di Capannori, di prossima realizzazione, da parte della Società Autostrade, sull'A11.

Questo asse si sviluppa come ampliamento e adeguamento dell'attuale viabilità, in prevalenza costituita dalla Strada Provinciale n° 23 detta "Via Romana", e queste operazioni non comportano l'esecuzione di opere d'arte particolarmente significative. In tale contesto, per la parte geologica e geotecnica ci si è limitati soltanto alla elaborazione dei dati pregressi, riportati negli elaborati della campagna di indagini del 2005.

La struttura viaria interessa, dal punto di vista geologico, terreni limoso-sabbiosi, con componente argillosa, del "Bellettone" che nel primo tratto presentano uno spessore di 4-5 m (v. stratigrafia pozzo P29 e CPT n° 653), con livelli sabbiosi (valori di φ intorno a 30°), intercalati al pacco di terreni limoso-sabbiosi (φ compreso tra 27° e 29°).

Successivamente, spostandoci da Est vero Ovest in direzione di Capannori, alla base del livello limoso tende ad essere presente un orizzonte più marcatamente sabbioso, con limo e con ghiaia (livelli a1 ed a2 evidenziati nel profilo). Al di sotto di questi terreni è presente un pacco di ghiaie anche grossolane e sabbia media, il cui spessore supera i 45 m nella zona di Paganico, ove l'andamento stratigrafico è ricostruibile con un certo dettaglio utilizzando la successione desumibile dai pozzi dell'acquedotto comunale (v. pozzo P79). In questa zona il massimo spessore delle alluvioni più grossolane corrisponde alla massima incisione nel substrato fluviolacustre ed alla successiva sedimentazione operate dal paleo Serchio nel suo antico percorso da Ponte a Moriano verso Bientina, ove confluiva nell'Arno.

Con l'avvicinamento a Capannori, lo spessore dei sedimenti ghiaioso-sabbiosi si riduce progressivamente fino a 22-25 m mentre rimane più o meno costante (4-5 m) l'altezza dei depositi limoso-sabbiosi superficiali, che non presentano apprezzabili cambiamenti neppure nei loro parametri caratteristici (φ compreso tra 26° e 28° nella frazione sabbiosa, c_u 30-35 kPa nella frazione argilloso-limosa, mv variabile tra 0,015 e 0,03 cm²/kg).

L'asse termina con l'innesto nell'Asse Nord-Sud in corrispondenza dell'intersezione di Antroccoli, dove, considerando i dati stratigrafici e geotecnici pregressi e di nuova acquisizione (sondaggio n° 390 e CPT 09), il terreno più resistente si colloca a partire da 3-3,5 m dal p.d.c. ed il suo spessore varia tra 18 e 25 m, con valori di φ compresi tra 34° e 36°, mentre l'orizzonte superficiale limoso-sabbioso con parametri più scadenti ($\varphi = 26^\circ-28^\circ$, $mv = 0,015-0,02$ cm²/kg) riduce il suo spessore a soli 2-3 m. In questa zona l'asse si collega al viadotto che consente di

superare l'intersezione di Antraccoli, di cui si è già parlato a conclusione del paragrafo 9,2.

9.7. - Cavalcaferrovia FS Lucca - Firenze. Aspetti geologico-geotecnici

L'opera, posta nell'area "ex scalo merci" di Lucca, lunga in totale km 0+600, è costituita da un viadotto lungo circa 142 m e dalle rampe di raccordo.

Utilizzando i dati acquisiti per l'area a sud relativa all'asse Ovest-Est si può ipotizzare che fino a circa m 7,50 dal p.d.c. sono presenti terreni prevalentemente limosi e limoso-argillosi di media plasticità e compressibilità (LL = 39, Cc = 0,227 a 4,50-5 m di profondità), e, data anche la ridotta soggiacenza della falda, è opportuno eseguire una bonifica con drenaggio dei terreni argillosi soffici, per attivare un processo di consolidamento dei terreni meno consistenti.

Per quanto riguarda i pali di fondazione del viadotto, sulla base dei dati disponibili è possibile scegliere profondità media e dimensioni simili a quelle calcolate per il viadotto dell'Asse Ovest-Est.

9.8 - Intersezione di Antraccoli. Aspetti geologico-geotecnici

Questa intersezione è il punto di confluenza dei nuovi assi stradali Nord-Sud, Ovest-Est ed Est-Ovest. È posizionato in una zona della Piana di Lucca caratterizzata dalla presenza di un ridotto spessore della copertura limosa, che si aggira sui 2÷3 m, e dalla presenza di un terreno più resistente con spessori compresi tra i 18 ed i 25 m, a partire dai 3,5 m. Il primo strato, costituito da terreni limoso-sabbiosi, ha parametri geotecnici mediamente scadenti, mentre ne ha decisamente migliori lo strato sottostante, costituito da alluvioni ghiaioso-sabbiose, che nell'area ha spessori mediamente superiori ai 20 m.

9.9. - Opera Connessa. Aspetti geologico-geotecnici

Questo asse stradale, dallo sviluppo totale di km 5+860, percorrendo la parte meridionale della pianura di Lucca, unisce la Località Massa Macinaia con l'area del Frizzone dove si attesta anche il casello autostradale dell'A11.

La sua realizzazione prevede l'adeguamento di lunghe tratte stradali già esistenti e la realizzazione di alcune tratte nuove, comunque sempre con tipologia a raso, con rilevati ridotti. Non sono previste opere d'arte particolari in quanto il viadotto in corrispondenza dell'attraversamento del Fosso Rogetto e del Canale Rogio, in Località Ponte Maggiore, è stato rifatto da poco ed ha già le caratteristiche richieste dalla nuova viabilità del sistema tangenziale. Si realizzeranno una prima rotatoria a 4 bracci all'inizio del tracciato che farà da collegamento tra via dello Spada e la S.P. di Sottomonte, una seconda rotatoria a tre bracci al km 0+700, una terza rotatoria per risolvere l'intersezione tra via di Tiglio e via Tazio Nuvolari ed una quarta rotatoria a 4

bracci in corrispondenza dell'interferenza con via del Casalino. Dal km 4+386 al km 5+729 l'interferenza con il canale Rogio è risolta con la costruzione di un muro. Il tracciato termina con una quinta rotatoria a 3 bracci che collega via lungo il Rogio e via Frizzone.

La geologia del substrato è caratterizzata dalla presenza di terreni limoso-sabbiosi, con componente argillosa, che, dal confronto con le stratigrafie realizzate in aree con le stesse caratteristiche, possono presentare spessori compresi tra i 3,5 ed i 7 m; i valori dell'angolo d'attrito possono variare dai 26-28° delle facies più limose fino ai 30° per i livelli più marcatamente sabbiosi.

9.10. - Circonvallazione di Altopascio. Aspetti geologico-geotecnici

Questo asse del Sistema Tangenziale di Lucca consente il collegamento tra il casello dell'A11 in località Frizzone con un tratto della S.P. n° 3 Bientina Altopascio subito alla periferia di questo centro abitato, assolvendo anche il compito di convogliare all'esterno il traffico che vi è diretto.

Si tratta di una nuova infrastruttura viaria dalla lunghezza complessiva di circa km 5+787, che sarà realizzata quasi completamente a raso con rilevati di ridotta altezza. Il tracciato ha inizio dalla nuova rotatoria a 4 bracci su via del Frizzone. Al km 1+350 è prevista una seconda rotatoria a 3 bracci per risolvere l'interferenza con una diramazione di via S. Lucia in località Corte Fagotto. Al km 1+450 l'inserimento di un tombino scatolare (7×2 m) consente il superamento del canale Fossa Nuova, quindi al km 1+530 circa mediante un sottopasso scatolare (13,5×6 m) si supera l'interferenza con l'esistente cavalcavia autostradale dell'A11. In località Quartaroli si realizzerà una rotatoria a 3 bracci per consentire il collegamento con via Leccio e con le vicine aree industriali. Al km 2+140 si passa il Rio Leccio con un tombino scatolare (7×2m). Al km 2+200 ed al km 3+675 si risolve l'interferenza con due cavalcavia autostradali della A11 con altrettanti tombini scatoari (13,5×6 m).

I terreni di fondazione si caratterizzano per essere limoso-argillosi con componente sabbiosa, di media plasticità e compressibilità con valori, ricavati dalle prove eseguite in aree contermini con le stesse formazioni geologiche, del limite liquido LL compresi tra 39 e 46, dell'indice di compressione Cc compresi tra 0,224 e 0,227.

Tra le progressive km 2+750 e km 3+350, il tracciato interessa terreni caratterizzati dalla presenza di sedimenti palustri e probabile presenza di torba che li rendono, da un punto di vista meccanico, di qualità decisamente inferiore e quindi meritano una attenzione particolare e faranno oggetto di indagini mirate e di esami di laboratorio tesi a definirne le proprietà onde evitare l'insorgere di cedimenti differenziali al momento della realizzazione dell'infrastruttura.

10 - INDIVIDUAZIONE DEI SITI DI CAVA E DISCARICA

In questo capitolo si elencano i siti di cava e di discarica individuati nell'area di progetto a distanze utili e, nei limiti delle informazioni ottenute, si dà la loro caratterizzazione in termini di potenzialità e di problematiche di utilizzo

10.1 - Cave di prestito

Le cave più prossime alle aree interessate dal progetto ed i cui materiali estratti sono idonei agli usi richiesti sono riportate di seguito.

Ditta: CAVE PEDOGNA SpA - tel. 0583-35871 - Località Cava, Villa a Roggio, 55060, Pescaglia (LU)

Cava compresa nel Foglio 105, quadrante IV della "Carta delle Cave e dei Bacini Estrattivi del settore I" del PRAE della Regione Toscana. L'area abbraccia il territorio di due comuni: la porzione in Comune di Pescaglia è individuata con la sigla "522-A-12 (mac - csc) CEA 1"; la porzione che ricade in Comune di Borgo a Mozzano è individuata con sigla "504-B-12 (mac) CEA 2".

Estremi di autorizzazione: Relativamente agli aspetti estrattivi, l'attuale progetto di coltivazione ricade nel territorio dei Comuni di Pescaglia e di Borgo a Mozzano nell'ambito dell'area individuata dal P.R.A.E. Regione Toscana. Il progetto è stato approvato dall'Amm.^{ne} Provinciale di Lucca con Determina Dirigenziale n° 1698 del 13/11/98 (relativamente alla L. 3267 del 31/12/23 inerente il "Vincolo idrogeologico") e quindi con delibera C.C. n° 5/99 del 11/06/99 del Comune di Pescaglia e con la Delibera C.C. del Comune di Borgo a Mozzano n° 1/99 del 9/06/99.

Per quanto riguarda gli aspetti ambientali (art. 7 della L. 1497/1939, oggi art. 151 del D.Lgs. n° 490 del 29/10/99) il rinnovo dell'autorizzazione ai sensi dell'art. 151 del D.L. n° 490 è stato rilasciato con delibera n° 26/03 del 9/06/03 dal Comune di Borgo a Mozzano e con delibera n° 7 del 18/6/03 dal Comune di Pescaglia. L'istruttoria inviata da entrambi i comuni interessati al Ministero dell'Ambiente per il controllo del combinato disposto dalle LL. 431/85 e 349/86 ha iniziato a decorrere dal 19/6/03 come comunicato dallo stesso Ministero (lettere prot. DT/2003/ 05121 e 05122), decorsi 60 giorni senza ulteriori comunicazioni né richieste di integrazioni da tale Ente, in base al cosiddetto "silenzio assenso" a partire dal 19/8/03 è da ritenere operativa l'autorizzazione alla prosecuzione dell'attività.

Ubicazione: località Villa a Roggio (Pescaglia)

Estensione:

| | |
|---|------------------------|
| Area totale compresa nel PRAE | 897.840 m ² |
| Zone industriali speciali connesse alle attività estrattive | 40.080 m ² |
| Area estrattiva (parte orientale, Pescaglia) | 427.000 m ² |

| | |
|--|-----------------------|
| Area estrattiva (parte settentrionale, Borgo a Mozzano.) | 65.500 m ² |
| Area a disposizione per pista di arroccamento lato W: | 55.800 m ² |

Litologia: calcare selcifero, radiolariti ("diaspri"), calcare "maiolica"

Impianti: siti in località Villa a Roggio (Pescaglia)

Produzione: media giornaliera 2.200 m³ giorno (dato non aggiornato)

Ditta: MA.CO Cave Srl località Vendola (attuale prop. Fassa Bortolo) via Per Domazzano (Fraz. Valdottavo) - Comune di Borgo a Mozzano – LU - tel. 0583-535155

La cava, in attività da diversi anni, è finalizzata alla produzione di materiali inerti, in prevalenza da destinare ad impianti di frantumazione esterni (calcarci), ed in minor misura da utilizzare tal quali come materiali destinati a riempimenti, sottofondi e rilevati in genere (diaspri).

L'area, considerando il contesto del limite PRAE, risulta compresa nel Foglio 105, quadrante IV della "Carta delle Cave e dei Bacini Estrattivi del settore I" con la sigla "504-A-12 (mac).CEA 1".

Ubicazione: via Per Domazzano (Valdottavo) - Comune di Borgo a Mozzano – LU

Estensione: superficie totale dell'area estrattiva, in pianta = 116.000 m²

Litologia: calcare selcifero (sarà estratto in minima parte solo nelle fasi finali dell'attività), radiolariti ("diaspri"), calcare "maiolica"

Impianti: non presenti

Produzione giornaliera: circa 1.300 m³/giorno (dato non aggiornato).

Ditta TONARELLI S.p.A. - v. Quasimodo - 55023 Borgo A Mozzano (LU) tel.: 0583 838334, 0583 838333 - fax: 0583 838357

Estremi di autorizzazione: Delibera del Comune di Borgo a Mozzano n° 2/99 del 29/11/1999. Individuazione PRAE **Foglio 105, quadrante IV "Carta delle Cave e dei Bacini Estrattivi del settore I" sigla 504 - C - 12 (mac) - CEA 3.**

Ubicazione: **Località Socciglia - Borgo a Mozzano (LU)**

Estensione superficie dell'area estrattiva = **190.000 m²**

Litologia: calcare selcifero (scarso), radiolariti ("diaspri"), calcare "maiolica"

Impianti: si - frantumazione

Produzione giornaliera di circa 1.500 m³/giorno (dato non aggiornato).

Ditta: CAVE DI BALBANO s.r.l. fraz. Balbano, Via comunale Casanova 55100 Lucca – LU - tel.: 0583 368662 - 0583 368954

Estremi di autorizzazione: Atto SUAP n 172/2000 e n° 92/2001 – ripristino ambientale.
Individuazione PRAE **Foglio 105, quadrante I S.E. "Carta delle Cave e dei Bacini Estrattivi del settore I" sigla 517 VI 12.**

Ubicazione: **Località Casanova, Frazione di Balbano (LU),**

Estensione superficie dell'area: **100.000 m²**

Litologia: calcare "maiolica" 1^a cat.

Impianti: vaglio sgrossatore

produzione pietrame da cava stabilizzato 0-25

produzione 1.000 m³ giorno (dato non agg)

quantitativi residui da estrarre 120.000 m³ (dato non agg)

Nota: La società è altresì autorizzata al conferimento di 140.000 m³ (dato non agg) di rifiuti speciali non pericolosi in virtù dell'Aut. Provinciale n° 120 del 24.04.2003

10.2 - Impianti di produzione inerti

Ditta Del Debbio SpA – Impianto di riciclaggio materiali inerti e produzione conglomerato bituminoso tel. 0583-30307 - fax. 0583-30308

Ubicazione - Via del Brennero – 55014 - Località La Fraga - Marlia (Comune di Capannori - LU)

Estensione: totale dell'impianto - circa 43.500 m²

di cui stoccaggio inerti di varia natura 31.800 m²

Impianto: per il riciclaggio 1.000 m²

Impianto: per la produzione di un conglomerato bituminoso 1.000 m²

Produzione:

materiale riciclato 220 t/H (dato non agg)

conglomerato bituminoso 120 t/H (dato non agg)

Impianti:

impianto di riciclaggio inerti, per la produzione di materiale avente le caratteristiche di portata necessaria per la realizzazione di riempimenti di varia natura che altrimenti dovrebbero essere reperiti presso le cave;

impianto di conglomerato bituminoso per produzione sia dei conglomerati tradizionali che, grazie all'utilizzo dei bitumi modificati, dei nuovi conglomerati drenanti e a pigmento naturale;

laboratorio di analisi conglomerato bituminoso, per il controllo della produzione e sua certificazione

impianto per recupero scarifica stradale e sua riutilizzo nella produzione

impianto spruzzatura polimeri all'interno mescolatore, per conferire particolari caratteristiche meccaniche al conglomerato

Materiali stoccati:

| | | |
|------------------------|---------|----------------------|
| graniglia 6-8 mm | | 400 m ³ |
| rastrellato di cava | | 300 m ³ |
| pietrisco 8-12 mm | | 3.000 m ³ |
| pietrisco 12-22 mm | | 3.000 m ³ |
| pietrisco 22-32 mm | | 1.800 m ³ |
| sabbia lavata | | 9000 m ³ |
| sabbia asciutta | | 200 m ³ |
| inerti 40-70mm | | 800 m ³ |
| riempimento riciclato | 0-140mm | 3.000 m ³ |
| stabilizzato riciclato | 0-40mm | 100 m ³ |

Ditta PUCETTI SpA – Impianti di frantumazione e produzione conglomerati bituminosi e inerti - tel. 0583 – 342440

Ubicazione Frazione Monte S. Quirico, Via Provinciale Morianese, Località Boscaccio, (Comune di Lucca)

Estensione complessiva 60.000 m² di cui aree stoccaggio pietrame di cava 15.000 m² ed inerti a varia pezzatura 25.000 m², impianti s.s. 2.200 m²

Impianto frantumazione inerti - produzione media 180 t/h (60 t/h materiale riciclato e 120 t/h inerte da cava).

Pezzature (a norma Ce):

| |
|---------------------|
| Sabbia 0-4 mm |
| Stabilizzato |
| Pietrisco: 08-12 mm |
| 12-22 mm |
| 22-32 mm |
| 40-70 mm |

Ditta VARIA COSTRUZIONI SpA tel. 0583-330184 *Impianti di frantumazione e produzione conglomerati bituminosi e inerti.*

Ubicazione Fraz. Monte S. Quirico – (LU) – Via Prov Morianese Località Montebonelli, (Comune di Lucca)

Estensione 15.000 m², comprendente aree stoccaggio pietrame di cava e di inerti a varia pezzatura

Impianti

a) per conglomerati bituminosi: impianto tipo Rocchietti automatizzato, per produzione di tutti i tipi di conglomerato bituminoso, bitumi modificati, tradizionali e di riciclaggio, scarifiche bituminose – cert. qualità IT00/0171 Norma ISO 9001/UNI EN SO 9001- Ed. 2000 del 12/05/2000

Produzione giornaliera: 150/180 t/h.

b) impianto frantumazione inerti - produzione media 200.000 t/anno

Sabbia 0-4 mm

Graniglia 4-8 mm

Pietrisco 8-12 mm

Pietrisco 12-22 mm

BIBLIOGRAFIA

- AMADESI E., VIANELLO G., *Nuova guida alla realizzazione di una carta della stabilità dei versanti*. Mem. Soc. Geol. It., 19, 53-60, 1978.
- AMANTI M., CARRARA A., CASTALDO G., COLOSIMO P., GISOTTI G., GOVI M., MARCHIONNA G., NARDI R., PANIZZA M., PECCI M., VIANELLO G., *Linee guida per la realizzazione di una cartografia della pericolosità geologica connessa ai fenomeni di instabilità dei versanti alla scala 1:50.000*. Versione Preliminare. Presidenza del Consiglio dei Ministri. Servizio Geologico. Progetto CARG ,53p., 1992.
- AMANTI M., CASAGLI N., CATANI F., D'OREFICE M., MOTTERAN G., *Guida al censimento dei fenomeni franosi ed alla loro archiviazione*. Presidenza del Consiglio dei Ministri, Servizio Geologico, Roma. 1-102, 1996.
- AMBROSETTI P., CARBONI M.G., CONTI M.A., COSTANTINI A., ESU D., GANDIN A., GIROTTI O., LAZZAROTTO A., MAZZANTI R., NICOSIA U., PARISI G., SANDRELLI F., *Evoluzione paleogeografica e tettonica nei bacini tosco-umbro-laziali nel Pliocene e nel Pleistocene inferiore*. Mem. Soc. Geol. It.; 19, 573-580, 1978.
- ARPAT, *Rapporto 2000 sullo stato dell'Ambiente in Toscana*. Regione Toscana. Giunta Regionale, Firenze, 2000.
- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME ARNO, *Piano di bacino del fiume Arno, Rischio idraulico, Sintesi del progetto di piano stralcio*. Autorità di Bacino del Fiume Arno, Firenze, 1996.
- BARTOLINI C., BERNINI M. , CARLONI G.C., COSTANTINI A., FEDERICI P.R., GASPERI G., LAZZAROTTO A., MARCHETTI G., MAZZANTI R., PAPANI G., PRANZINI G., RAU A., SANDRELLI F., VERCESI P.L., CASTALDINI D., FRANCAVILLA F., *Carta neotettonica dell'Appennino Settentrionale*. Note Illustrative. Boll. Soc. Geol. It., 101, 523-549,4 tav., 1982.
- BARTOLINI C., PRANZINI G., *Dati preliminari sulla neotettonica dei Fogli 105 (Lucca), 107 (Monte Falterona), 113 (Castel Fiorentino), 114 (Arezzo), 115 (Città di Castello), 121 (Montepulciano), 123 (Perugia)*. In: Contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, Pubbl. n° 356 Progetto Finalizzato Geodinamica, 1980.
- BOSSIO A., COSTANTINI A., LAZZAROTTO A., LIOTTA O., MAZZANTI R., MAZZEI R., SALVATORINI G., SANDRELLI F., *Rassegna delle conoscenze sulla stratigrafia del neoautoctono toscano*. Mem. Soc. Geol. It., "Scritti in onore di Livio Trevisan", 49, 17-98, 1993.
- CASTIGLIONI G.B., *Geomorfologia*. UTET, Torino, 1989.
- DESIO A., *Geologia Applicata all'Ingegneria*. Hoepli, Milano, 1985.
- GIANNINI, E., NARDI, R. *Osservazioni sulla stratigrafia e la tettonica della zona di raccordo tra il M. Pisano e le Alpi Apuane*. Boll. Soc. Geol. It., 84, 416-438, 1965.

- CREMASCHI M. e RODOLFI G. (a cura di). *Il Suolo*. NIS, Bologna, 1991.
- NARDI R., NOLLEDI G. & ROSSI F. (1987): "Geologia e idrogeologia della Piana di Lucca" - Geogr. Fis. Dinam. Quat., 10, 1-30
- PANIZZA M., *Geomorfologia Applicata*. La Nuova Italia Scientifica, 1988.
- SCALA D. (a cura di), *Acque sotterranee*. ARPAT, Firenze, 1996.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, PROGETTO IFFI. *Inventario dei fenomeni franosi in Italia*. 1999.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, *Foglio 105 Lucca*, Poligrafiche Bolis, Bergamo, 1969.
- TREVISAN L., BRANDI C.P., DALLAN L., NARDI R., RAGGI G., RAU A., SQUARCI P., TAFFI L., TONGIORGI M. *Note illustrative della carta geologica d'Italia, Foglio 105 Lucca*. Arti Grafiche Ditta E. Di Mauro, Cava dei Tirreni, 1971