

PROVINCIA DI PRATO



AREA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E DIFESA DEL SUOLO
SERVIZIO TUTELA IDROGEOLOGICA

Via Benedetto Cairoli, n.° 25 – 59100 PRATO

NUOVO PONTE CICLO-PEDONALE NELLA SEDE DEL «PONTE LEOPOLDO II» E COLLEGAMENTO CICLABILE TRA CASCINE DI TAVOLA E LA VILLA MEDICEA DI POGGIO A CAIANO

PROGETTO PRELIMINARE

D.M. 14/01/2008 – N.T.C.2008, capp. 5 e 7 in materia di ponti
Ponte di III categoria ai sensi del § 5.1.3.3.4 delle N.T.C.2008

ELABORATO

B1

RELAZIONE DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA E DI
INTERPRETAZIONE DEI DATI GEOGNOSTICI
(ADEMPIMENTI DI CUI AL D.M. LL.PP. 11/3/1988)

DIRETTORE DELL'AREA

dott. arch. Carla CHIODINI

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

dott. arch. Daniele MAZZOTTA

CAPOGRUPPO DELLO STAFF DI PROGETTAZIONE

dott. arch. Giorgio PASQUINI

AUTORE DEL PRESENTE ELABORATO:

dott. geol. Aldo GIOVANNINI



DATA:

SETT.
2013

RELAZIONE DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA E DI INTERPRETAZIONE DEI DATI GEOGNOSTICI

SOMMARIO

1.0. PREMESSA GENERALE	pag. 3
1.1. INSERIMENTO DELL'INTERVENTO NEL CONTESTO TERRITORIALE ...	pag. 4
2.0. RELAZIONE D' INQUADRAMENTO GEOLOGICO	pag. 4
2.1. CONNOTAZIONE LITOSTRATIGRAFICA	pag. 5
2.2. CONFIGURAZIONE MORFOSTRUTTURALE	pag. 6
2.3. LINEAMENTI IDRAULICI ED IDROGEOLOGICI	pag. 7
3.0. RELAZIONE D'INTERPRETAZIONE GEOLOGICO-TECNICA	pag. 8
3.1. QUADRO DELLE CONOSCENZE GEOGNOSTICHE	pag. 9
3.2. CARATTERIZZAZIONE LITOTECNICA DEL SOTTOSUOLO	pag. 9
3.3. MODELLIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA D'IMPOSTA	pag. 11
4.0. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	pag. 12

TAVOLE FUORI TESTO

STRALCIO GEOLOGICO DELL'AREA D'INTERVENTO

RELAZIONE DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA E DI INTERPRETAZIONE DEI DATI GEOGNOSTICI

1.0. PREMESSA GENERALE.

Tra i compiti attribuiti alle Amministrazioni Provinciali dal D.L.º 267/2000 rientrano, nelle aree di rispettiva competenza, gli interventi finalizzati all'ampliamento ed all'adeguamento delle infrastrutture destinate ad integrare la rete di viabilità extra-urbana per il transito veicolare, nonché di quello ciclabile e pedonale.

Oggetto del presente elaborato è il supporto alla progettazione strutturale di un nuovo ponte sul Torrente Ombrone Pistoiese, a cavallo del confine tra i comuni di Prato e di Poggio a Caiano, atto a permettere al transito ciclo-pedonale tra Cascine di Tavola e la Villa Medicea di Poggio a Caiano, mediante il recupero delle strutture di sostegno del vecchio «*ponte di ferro*» intitolato a Leopoldo II di Lorena, realizzato nel 1833 dall'ingegner Manetti.

A tal fine l'Amministrazione Provinciale di Prato, affiancata dalle Amministrazioni Comunali di Prato e di Poggio a Caiano e dalla Camera di Commercio di Prato, ha affidato ad un Gruppo di Progettazione appositamente costituito, coordinato dall'arch. Giorgio Pasquini, la progettazione dell'insieme degli interventi strutturali ed accessori.

Il Direttore dell'Area Pianificazione Territoriale e Difesa del Suolo di quest'Amministrazione Provinciale ha perciò affidato allo scrivente relatore, dipendente della medesima, abilitato alla professione di geologo ai sensi della legge 3 febbraio 1963 n. 112, il compito di esperire la verifica della fattibilità geologica degli interventi prospettati e la valutazione dello stato delle conoscenze geognostiche disponibili dirette a supportare le soluzioni progettuali.

Per quanto attiene alle caratteristiche dell'intervento, si fa espresso richiamo al Progetto Preliminare redatto a cura dell'Area Pianificazione Territoriale e Difesa del Suolo, di cui il presente elaborato forma parte integrante.

La loro messa in opera intende conformarsi a tutte le prescrizioni urbanistiche vigenti in materia di viabilità ed infrastrutture di pubblica utilità e, in particolare, in adempimento delle norme attuative dei PP.RR.GG. dei comuni interessati, come pure ai dettami di legge a carattere nazionale e regionale attinenti alla materia.

Il Decreto Ministeriale 11 marzo 1988 che detta le «*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*», così come integrato dalla Circ. Min. LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483, assoggetta la progettazione di qualsiasi opera, pubblica o privata, al preventivo espletamento di indagini a carattere geotecnico su manufatti e terreni.

Ai sensi di tale normativa resta prescritta l'esecuzione di indagini a carattere geologico di base, con duplice riguardo sia alla tipologia dello specifico intervento, sia, d'altra parte, all'insistenza dello stesso in area assoggettata a vincoli di qualsiasi genere, ovvero classificata come soggetta a rischi (sismici, idraulici o di altra natura).

Per effetto del punto A.3 del D.M., essendo l'area d'intervento riconosciuta come soggetta a rischi idraulici e sismici – caso peraltro esteso a tutti i comuni del comparto – si rende necessaria la produzione congiunta della *Relazione Geotecnica e della Relazione Geologica*, le quali, in ossequio alle *Norme Tecniche per le Costruzioni* di cui al D.M. 14 gennaio 2008 (per brevità, *NTC2008*) debbono entrambe risultare interdipendenti e reciprocamente coerenti. Trattandosi di interventi che interessano ampie estensioni di territorio, il caso si richiama a quanto previsto al punto d) «*strade, ferrovie ed idrovie*» del capo H «*Fattibilità geotecnica su grandi aree*» del D.M. 11 marzo 1988.

È peraltro previsto che, nel caso di manufatti di modesta incidenza che ricadano in zone note, le indagini sui terreni di fondazione – in sito ed in laboratorio – possono esser ridotte od omesse, sempreché sia possibile procedere alla caratterizzazione dei terreni sulla base di dati e notizie raccolti tramite indagini precedenti eseguite in aree adiacenti.

Per sviluppare l'inquadramento geologico-geotecnico dei terreni interessati dalle opere in progetto, in relazione alla loro tipologia, è stato possibile avvalersi di una ricca messe di fonti bibliografiche – prima fra tutte il Progetto Definitivo ed Esecutivo della cassa d'espansione in località Ponte a Tigliano (vedasi *TXT.04 rev. 02 «Relazione Geologica e Relazione Geotecnica sulle indagini»*) – confortate dagli elementi desumibili dal quadro conoscitivo del Piano di Coordinamento Territoriale, alla luce delle quali l'area può riconoscersi come *zona geologicamente nota*.

La presente relazione contestualizza perciò in un solo elaborato tanto l'*inquadramento geologico* del sito d'imposta e del relativo intorno, quanto l'*interpretazione geotecnica* delle risultanze geognostiche acquisite ed assolve così ai prescritti accertamenti di rito circa la *fattibilità di massima* dell'intervento in rapporto all'assetto geolitologico locale.

1.1. INSERIMENTO DELL'INTERVENTO NEL CONTESTO TERRITORIALE.

Il «*Ponte Leopoldo II*», costruito nel 1833 e fatto oggetto di interventi di manutenzione già a fine Ottocento, perse la propria funzionalità nel 1940, quando fu interdetto al transito in attesa di una radicale ristrutturazione, che non fu mai attuata poiché nel 1944 l'esercito tedesco in ritirata lo fece saltare come aveva fatto con tutti i ponti sull'Arno, cosicché nel dopoguerra fu necessario precluderne l'accesso con cancelli e poi con muri: ad oggi ne restano in piedi i piloni in pietra e due delle «pigne», mentre sono andati perduti sia i cavi di sospensione, sia l'impalcato.

Il nuovo ponte s'estenderà tra le due rive dell'Ombrone per una luce di circa 60 metri, trovando un primo appoggio sul nuovo argine, debitamente rialzato alla quota dell'impalcato (41 m s.l.m.), ed attraverserà gli arconi passandovi all'interno e proseguendo poi oltre le pile, sostenuto nella parte centrale da due stralli tesi. Sono inoltre previste strutture fondali di rinforzo ed interventi accessori d'adeguamento della viabilità d'accesso sulle due sponde.

Amministrativamente, la sede d'imposta ricade nel comune di Prato ed in quello contermini di Poggio a Caiano e rimane individuata alle coordinate $\lambda = 11,04761^\circ$ (longitudine Est da Greenwich) e $\varphi = 43,82470^\circ$ (latitudine Nord). Il sito figura nella tavoletta I.G.M. a scala 1:25.000 n. 106 III S.O. denominata «*CARMIGNANO*» e, in maggior dettaglio, nella sezione C.T.R. a scala 1:10.000 n. 263130 «*POGGIO A CAIANO*» e nell'elemento a scala 1:5.000 n. 263134.

Come partizione idrografica l'intero comparto rientra nel bacino imbrifero del Fiume Arno, sottobacino del Torrente Ombrone: questo, in destra, recepisce gli sgrondi naturali del versante settentrionale del Monte Albano e, in sinistra, il fitto reticolo di collettori di bonifica e gorli irrigui, derivati dal Fiume Bisenzio, che drena la piana a Sud di Prato.

Per morfologia, l'area si connota come una pianura alluvionale intermontana facente parte del bacino fluvio-lacustre del Medio Valdarno, che s'adagia sull'unghia dell'ampia conoide di deiezione del Fiume Bisenzio e digrada verso Sud con debolissima pendenza ($\beta < 1\%$) dalle pendici dell'Appennino Pratese fino ai piedi delle Colline Medicee.

Il settore interessato dagli interventi corrisponde alla porzione altimetricamente più depressa della piana pratese, livellandosi tra i 37 m s.l.m. a Ponte a Tigliano ed i 35 a Ponte all'Asse (quasi tutti misurati al colmo d'argine, che mantengono l'alveo pensile di alcuni metri sul piano campagna) e, per la sua esposizione a rischi d'esondazione è stata sottoposta ad importanti interventi di bonifica e/o difesa idraulica diretti a mitigare i rischi stessi.

In particolare, la zona d'intervento sul lato di Poggio a Caiano è un rilevato sopraelevato a 40 m s.l.m. sulla fascia pedecollinare formata dall'ala destra della conoide di deiezione della Furba, che digrada con debole pendenza fino a 37 m s.l.m. a formare una depressione intercalata tra il piede delle Colline Medicee e l'argine destro dell'Ombrone.

La sponda pratese corrisponde alla terminazione meridionale della pianura che si trova livellata intorno a 35 m s.l.m. dalla colmata artificiale dell'avvallamento all'unghia della conoide bisentina, rispetto alla quale la sede d'imposta si mantiene sopraelevata al colmo del rilevato arginale che circonda la cassa d'espansione di Ponte a Tigliano.

2.0. RELAZIONE D'INQUADRAMENTO GEOLOGICO.

Come anticipato, queste note compendiano in un unico elaborato sia la *Relazione Geologica* sui vari siti d'imposta, sia la *Relazione Geotecnica* sui terreni di appoggio, richiamandosi alle specifiche direttive in materia emanate dalla Regione Toscana con propria L.R. 17 aprile 1984 n. 21 e conformandosi ai dettami della Legge 2 giugno 1995 n. 216. Il presente capitolo, in particolare, illustra la conformazione naturale del suolo nel suo complesso e relaziona circa le verifiche e le valutazioni operate a supporto degli atti progettuali, dei quali concorre a determinare le scelte.

Questa trattazione geologica contribuisce ad esprimere, già in via preliminare, una valutazione di massima circa la fattibilità e la compatibilità dell'intervento, sulla scorta dei dati diagnostici desumibili dalla conoscenza pregressa dei luoghi, mediante raccolta di tutti i dati disponibili circa la litologia e la morfologia del sito, là dove del caso integrati da ulteriori verifiche su suolo e sottosuolo e quant'altro ritengasi utile a comporre detto quadro cognitivo.

I contenuti comprendono la ricostruzione – in base agli elementi diagnostici desunti dal patrimonio bibliografico nonché da osservazioni e a verifiche condotte sui luoghi – della successione lito-stratigrafica, della distribuzione dei singoli litotipi, delle relative caratteristiche geo-strutturali, dell'evoluzione morfo-dinamica del rilievo, come pure circa la consistenza geo-meccanica dei terreni in gioco e la circolazione idrica sul suolo e all'interno del sottosuolo.

Gli interventi in progetto mirano a recuperare precedenti infrastrutture, motivo per cui è scopo preminente delle presenti note risiede la verifica delle condizioni di stabilità dei piani di posa e dell'incidenza sull'assetto del suolo. Nelle valutazioni di carattere litostratigrafico e geomorfologico verrà fatto riferimento alla documentazione prodotta a corredo del quadro conoscitivo del Piano Territoriale di Coordinamento approvato ai sensi della L.R. 5/1995.

Basandosi su tali elementi di giudizio, è possibile fin d'ora anticipare che la serie di interventi in progetto riveste modesta incidenza sull'assetto geomorfico dell'area e, d'altra parte, non pregiudica misure di messa in sicurezza.

2.1. CONNOTAZIONE LITOSTRATIGRAFICA.

Il territorio interessato si compone di due distinti elementi morfo-strutturali: la pianura, sede dell'intervento, ed i rilievi circostanti, che non ne sono direttamente interessati, ma la cui compresenza produce interazioni significative.

L'ossatura dei rilievi che contornano il Medio Valdarno è costituita da un substrato roccioso stratificato e corrugato, di natura sedimentaria e d'età mesozoica e cenozoica, conformato pile di unità tettoniche, accavallate e giustapposte in regime compressivo, costituite da più complessi sedimentari di varia origine, rappresentati ora da arenarie e siltiti («*macigno*»), ora da calcari e marne («*alberése*»), intercalati da livelli caotici a dominanza pelitica («*galèstro*»).

L'unità carbonatica dei calcari marnosi compete al «*Supergruppo della Calvana*», di pertinenza subligure, che si trova avanscorso, con una marcata discordanza che ne tradisce la giacitura all'òctona, sul complesso torbiditico semi-autòctono «*Monte Cervaròla – Monte Falteróna*» (Miocène), che a sua volta sormonta, in rapporti stratigrafici non sempre evidenti, la serie mesozoica del bacino toscànide, attribuita per convenzione alla «*Falda Toscana*».

In destra del Bisenzio, nel promontorio del Monteferrato, affiorano peraltro lembi dislocati del nucleo magmatico di «*rocce verdi*» od «*ofioliti*» (basalti, gabbri e serpentiniti di dorsale oceanica) pertinenza liguride, litologicamente correlate con la serie della Val di Vara; formazioni ad essi riferibili affiorano anche alle pendici settentrionali del Monte Albano – seppur in sequenza geometrica meno continua – nei dintorni del borgo di Baccheréto.

Tutte le suddette unità formazionali sono citate ai soli fini illustrativi, non avendo diretta attinenza con le indagini in corso, poiché soggiacciono a diverse centinaia di metri di profondità a letto della pianura alluvionale intermontana.

Solo la «*Falda Toscana*» merita qua menzione, in quanto è entro la formazione d'età oligocenica che ne conclude il ciclo sedimentario, l'arenaria torbiditica genericamente nota come «*macigno*» (estratta dalle cave di prestito presso Fiorenzuola), che dovranno esser reperiti i blocchi destinati a costituire le scogliere alla base dei strutture fondali.

La pianura del Medio Valdarno, che s'adagia all'interno di questi rilievi, trae origine dal riempimento alluvionale di una fossa tettonica apertasi dopo l'emersione della dorsale appenninica in connessione le lacerazioni della crosta terrestre che hanno originato, nell'Era Terziaria, l'apertura del Tirreno e dei bacini epicontinentali ad esso collegati.

Nell'orientazione dei rilievi che ne delimitano la depressione si riconosce la sovrainpronta di lineazioni a prevalente direzione NW-SE, corrispondenti alle dislocazioni tettoniche (faglie dirette) lungo cui si è prodotto l'infossamento.

Dal Pliocene in poi il moto d'infossamento, inizialmente rapido, ha subito un rallentamento in séguito all'esaurirsi delle spinte orogenetiche e prosegue oggi con le fasi tardive a regime distensivo, legate ai riassetamenti isostatici; la subsidenza mostra una decisa accentuazione verso meridione finché va ad esaurirsi ai piedi delle Colline Medicee.

Qua, infatti, poggiati sul substrato, si conservano lembi terrazzati di copertura alluvionale d'età plio-pleistocenica (ascritta al *villafranchiano*), risparmiati dall'erosione, che s'interpongono tra il letto lapideo e le alluvioni recenti.

Nel Pleistocene, di pari passo con le alterne vicende climatiche di glaciazione e deglaciazione del würmiano, il letto del bacino, assieme ai rilievi circostanti, ha subito abbassamenti ed innalzamenti relativi scomponendosi in blocchi secondo uno stile detto a «*horst*» e «*graben*». il deflusso reso incostante dagli avvicendamenti climatici e gli ostacoli opposti al drenaggio dalla tettonica hanno favorito l'instaurarsi nel bacino di specchi lacustri in graduale estensione.

In séguito l'Arno, divenuto il maggior colatore dell'Alto Appennino con la cattura regressiva del bacino casentinese (prima sversante in Val Tiberina), avrebbe tagliato la dorsale del Monte Albano in lento sollevamento con l'incisione della Chiusa della Gonfolina, aprendosi uno sfogo diretto verso il mare e dando così avvio allo svasamento del lago.

A fine glaciazione, con l'intensificarsi dell'apporto detritico alimentato dalla ripresa dello smantellamento erosivo dei rilievi, l'aggradazione prodotta dalla fluitazione alluvionale prevalse sui moti di subsidenza di modo che i corsi d'acqua finirono per colmare la fossa con uno spessore di sedimenti che va da 50 m a Prato a oltre 600 m a Campi Bisenzio.

I depositi alluvionali della Piana sono riferiti al cosiddetto ciclo *versiliano* e sono formati da lenti clino-stratificate a prevalenza macrogranulare, classate secondo 3 assortimenti granulometrici – ghiaie, sabbie, limi – con subordinate frazioni più fini, e poggiano in rapporti di eteropia stratigrafica sui depositi lacustri o, in discordanza, sul substrato.

Il letto del pacco di alluvioni, a prevalente assortimento macro-granulare, è formato da un substrato roccioso sepolto ad elevate profondità: lo spessore dei sedimenti dà misura della velocità relativa di subsidenza del substrato, che in alcuni perfori a Sud di Prato, con profondità superiori a -300 dal l.d.m., non risulta esser mai stato intercettato.

L'area d'intervento si colloca dunque in una pianura di recente genesi alluvionale, impostata su un ampio apparato di conoidi deiettive a grana grossolana sormontate da lenti granulari più fini di sabbie e limi in varia proporzione, deposte dalle divagazioni storiche dei corsi d'acqua minori, che hanno finito per livellare gli avvallamenti residui.

2.2. CONFIGURAZIONE MORFOSTRUTTURALE.

Dinamiche di morfogenesi e morfostrutture sono interdipendenti: le prime concorrono a determinare le seconde e ne sono a loro volta influenzate. L'analisi dei rapporti tra forme del rilievo e processi ne valuta il potenziale di stabilità.

La degradazione del rilievo alimenta l'apporto detritico che la fluitazione del reticolo idrografico accumula a valle: la conformazione delle pianure è pertanto funzione delle alterne fasi del trasporto alluvionale, connesse con le variazioni di carico solido dell'apporto fluviale – legate sia ai cicli climatici, sia all'evoluzione geodinamica dei versanti – e con le divagazioni degli alvei, fenomeni che concorrono a continue migrazioni del profilo d'equilibrio.

La connotazione morfogenetica dell'Appennino pratese si caratterizza in un rilievo maturo da corrugamento, di tipo *sub-alpino*: il Monteferrato e la Calvana configurano strutture a tendenziale assetto *monoclinale*, mentre le Colline Medicee delineano una serie di dorsali ad assetto *anticlinale*, solcate da incisioni in senso *ortoclinale*.

Il piede dei rilievi mostra forme d'aggradazione sedimentaria, dovute alla permanenza di depositi semi-consolidati risparmiati dall'erosione, che bordano le radici dei pendii con una fascia di declivi meno inclinati, a morfologia ondulata, che l'intervento umano ha nel recente passato contribuito a stabilizzare mediante terrazzamenti coltivi.

Se lungo gli assi vallivi l'erosione mantiene i letti fluviali incisi, convogliando a valle la totalità degli apporti idrici, allo sbocco delle incisioni vallive la fluitazione dei detriti asportati dall'erosione rilascia, di regola, apparati deiettivi a forma di cono ed a grana grossolana, che si spandono a ventaglio e sfumano, all'unghia, in depositi via via più fini, a causa della loro riduzione di capacità di trasporto solido determinata dalla graduale attenuazione delle pendenze.

Allo sbocco delle valli i corsi d'acqua, non più incanalati, tendono per loro natura a divagare, spandendosi a raggera in più rami dall'apice delle conoidi, per poi serpeggiare a meandri dove la riduzione di pendenza smorza la corrente. Questo processo ha formato le pianure, le quali rappresentano l'ultima fase dell'evoluzione geodinamica del rilievo.

La piana pratese segue il profilo debolmente convesso della conoide digradando verso le ali e l'unghia, dove livella sui 40 m s.l.m. in una fascia depressa, a drenaggio carente, soggetta a ricorrenti fenomeni d'esondazione o ristagno.

Poiché gli accentramenti urbani si localizzano spesso agli sbocchi dei fiumi in pianura, la tendenza a divagare viene da millenni contrastata dall'uomo a causa dei danni che lo scorrimento incontrollato delle acque può causare agli insediamenti: il fenomeno, noto dall'antichità, è detto «*rischio idraulico*» ed è connaturato alle pianure urbanizzate.

Le strategie di contrasto a favore delle aree urbane prendono il nome di «*difesa idraulica*» e si concretizzano in ripetuti interventi di rettifica ed arginatura dei corsi d'acqua volti a controllarne i volumi e convogliarne i deflussi. Una volta condotte le acque fuori dagli insediamenti urbani, la strategia dominante diviene la «*bonifica idraulica*», incentrata sul contenimento degli afflussi in ampie estensioni a bassa densità abitativa mediante reti d'invasamento: questo fa sì che le aree extra-urbane in zone altimetricamente depresse si trovino esposte a maggiori rischi idraulici.

La Piana di Prato con la sua urbanizzazione diffusa e multi-funzionale ne è l'esempio emblematico: il nucleo storico, sorto presso l'apice della conoide del Bisenzio (che rappresenta l'apparato deiettivo di maggior ampiezza), resta abbastanza protetto dall'incanalamento del fiume, che ne aggira il centro verso Est a lambire il piede dalla Calvana. Allontanandosi dall'apice della conoide, gli insediamenti periferici via via più recenti s'irradiano invece sulle ali della stessa seguendo le principali direttrici rotabili, che ricalcano il reticolo radiale degli originari assi di drenaggio.

A differenza degli assi viari storici i colatori dell'area non seguono più l'andamento radiale, ma mostrano un reticolo rettilineo a maglie ortogonali, inconfondibilmente artificiale: reiterati interventi di regimazione e rettifica hanno deviato gli alvei naturali lontano dalle aree urbanizzate, cosicché la testata naturale del Torrente Bardena è raccolta dal Fosso Dogaia/Iòlo, che scorre inarginato e pensile sulla pianura, mentre il suo originario alveo che defluiva in destra della conoide (e ne conserva il nome) recepisce la testata del Torrente Bagnolo, suo antico tributario sinistro.

Il resto dei colatori minori della piana a Sud e Est di Prato è rappresentato da un complesso gerarchizzato di scoline di bonifica, collettato a vari livelli dal sistema delle «*gore*», le quali in origine traevano incile dal Bisenzio a Santa Lucia, dal cosiddetto *Gorone*, e si ramificavano attraverso il centro storico, con molteplice funzione di attingimento, scarico e forza motrice, per poi fornire alimentazione irrigua alla bassa piana, a predominante vocazione agricola.

Attualmente, gran parte degli alvei delle gore posti a monte del tracciato della «*Declassata*» è coperto, con esclusiva funzione di eduazione dei reflui urbani, e torna a cielo libero solo nella bassa piana, dove assolve ancora a fini irrigui.

Ne consegue che il drenaggio dell'area può esser mantenuto solo con mezzi artificiali, mediante l'intercettazione degli apporti provenienti da monte attraverso canali di guardia destinati alle «*acque alte*» e l'evacuazione degli espluvi interni attraverso canali d'evacuazione destinati alle «*acque basse*», strutturati in modo tale da recapitare per gravità in Ombrone tramite bocche tarate, ove possibile, od altrimenti con dispositivi di sollevamento idrovoro.

2.3. LINEAMENTI IDRAULICI ED IDROGEOLOGICI.

Nelle pianure alluvionali l'idrografia di superficie ha dirette connessioni con la circolazione delle acque nel sottosuolo, che sono contenute a livello intergranulare nei sedimenti porosi che lo costituiscono a formare *falde acquifere*.

La cosiddetta *falda* consiste nell'insieme degli strati di terreno poroso, saturati dalle acque intergranulari, e dalle acque medesime; in assenza di orizzonti impermeabili sovra-imposti, il livello saturo («*pelo*») di falda resta libero di oscillare secondo l'afflusso stagionale, cosicché l'acquifero si trova in condizioni *freatiche* (da *φρεαρ* = pozzo).

Dove invece l'orizzonte saturo soggiace a strati finemente granulari a minor permeabilità («*acquitardi*»), si hanno condizioni di *falda artesianiana* (da *artoisienne*, afferente alla regione di *Artois*), confinata sotto pressione idrostatica: qua il «*pelo*» corrisponde alla quota alla quale l'acqua livella nei pozzi e non già a quella in cui s'incontra l'acquifero.

Sul fianco occidentale dell'Appennino, le maggiori riserve idriche sono contenute negli spessi depositi alluvionali che hanno colmato i bacini pedemontani, in special modo le ghiaie deposte nelle alterne fasi della deglaciazione: sebbene qualsiasi pacco di terreni alluvionali rappresenti una potenziale idro-struttura porosa e permeabile atta ad ospitare una falda acquifera, gli apparati deiettivi eterogranulari, localizzati allo sbocco delle valli maggiori, dove sono alimentati dalle infiltrazioni e dai ravvenamenti subalveari, formano i serbatoî freatici di maggior capacità.

Nelle alluvioni porose la percolazione avviene a livello inter-granulare: nelle ghiaie assortite la porosità efficace ha il miglior rapporto tra vuoti e pieni, mentre entro le sabbie la percolazione è rallentata ed è quasi nulla nelle argille. Dove s'alternano a livelli porosi e meno porosi i corpi acquiferi formano falde multi-strato, a pelo libero o confinate.

Le idro-strutture principali sono pertanto rappresentate dalle lenti macro-granulari di ghiaie e sabbie contenute nei nuclei macro-clastici delle conoidi e nei paleo-alvei sepolti; falde minori sono ospitate nei depositi fluvio-lacustri.

Il nucleo della conoide bisentina si compone di una spessa lente di ghiaie e sabbie, il cui assortimento granulare mostra una progressiva gradazione da ghiaie grossolane nelle zone apicali a sabbie limose e limi sabbiosi in quelle distali; di solito, peraltro, queste lenti limose non hanno continuità tale da impedire scambi tra acquiferi sovrapposti.

Quantunque confinata da più d'un acquitardo, la falda multi-strato presente nel sottosuolo di Prato è un sistema aperto, giacché a ridosso della Calvana essa si adagia su calcari altrettanto permeabili per fessurazione e carsismo, mentre ai piedi delle Colline Medicee le terminazioni delle lenti ghiaiose s'interdigitano ai detriti di versante, parimenti permeabili, ed i letti pelitici che vi s'interpongono non le separano ovunque con la stessa continuità.

Al di sotto dei sedimenti fini delle colmate, il nucleo della conoide del Bisenzio si protende fino ai piedi del Monte Albano, ove s'anastomizza con i depositi fluvio-lacustri: la lente ciottolosa acquifera, che subaffiora da Santa Lucia a Pratilia, verso meridione tende a soggiacere – in condizioni semi-confinate – a coltri limose sempre più spesse, la cui potenza aumenta da 1 + 2 m, tra San Giusto e i Macrolotti, ai 5 + 6 m in corrispondenza di Cascine di Tavola.

Il corpo della conoide sepolta mantiene spessori potenzialmente acquiferi da 50 a 100 metri e si dimostra ovunque dotato di coefficienti di permeabilità molto elevati, compresi tra $k_p \cong 1 \times 10^{-3}$ cm/s e $k_p \geq 1$ cm/s; nelle lenti limose – argillose ad esso sovrainposte, invece, questo coefficiente si riduce sensibilmente fino a valori di $k_p \leq 10^{-5}$ cm/s.

Dal momento che l'Ombrone e i suoi affluenti scorrono su terreni porosi a discreta permeabilità, il deflusso alveare è in equilibrio con la falda di subalveo ed il suo livello rispecchia il grado di saturazione dell'acquifero sottostante.

Nelle sezioni di progetto la falda soggiace in condizioni semi-artesiane di salienza piezometrica, di modo che il suo pelo, spesso sub-affiorante sotto il piano campagna, oscilla tra -1 e -1,5 m, in dipendenza del ravvenamento stagionale.

In destra dell'Ombrone, la fascia di pianura urbanizzata compresa tra il piede delle Colline Medicee e il suo argine dà luogo a un falso-piano altimetricamente depresso rispetto al pedemonte terrazzato ed allo stesso colmo d'argine. Qui, tra il substrato e la coltre argillosa, le lenti limo-sabbiose ospitano una falda semi-confinata subaffiorante.

L'acquifero multi-strato di Prato, quantunque risenta ciclicamente della depressione dinamica indotta dall'estrazione, nei livelli superiori si trova saturato fin quasi a pelo di terreno giacché questi non risentono del sovraemungimento, grazie alla distanza dai punti di prelievo e della prossimità dei ravvenamenti alveari del Bisenzio e dell'Ombrone.

Le curve isofreatiche, che mappano il profilo del pelo libero della falda nel sottosuolo, si dispongono ad andamento regolare e concentrico a partire dalla destra dell'ansa che il corso del Bisenzio descrive tra Santa Lucia e Mezzana, delineando più assi di drenaggio divergenti, ed infine s'allineano alla riva sinistra dell'Ombrone in senso parallelo.

In destra dell'Ombrone le curve mostrano ancora andamento parallelo, ma possono invertire il proprio gradiente, nel verso negativo, nei periodi siccitosi nei quali il subalveo ravvena la falda anziché drenarla; delle rientranze della superficie freatica, in un senso o nell'altro, si notano allo sbocco degli affluenti, a Ponte a Tigliano e Ponte all'Asse.

3.0. RELAZIONE D'INTERPRETAZIONE GEOLOGICO-TECNICA.

La descrizione delle implicazioni geomeccaniche, idrogeologiche e di quant'altro fin adesso qui esposto ha avuto la funzione di enucleare i problemi operativi che l'intervento presuppone, onde valutare se lo stesso sia compatibile con le caratteristiche fisiche dei siti e se, in definitiva, esso soddisfi i requisiti di fattibilità geologica e geotecnica.

Sulla base di quanto stabilito dal citato D.M. 11 marzo 1988 e dalle relative istruzioni applicative di cui alla Circ. Min. LL.PP. 24 settembre 1988, la *relazione geotecnica* (prescritta pure dal D.P.R. 554/1999) deve comprendere:

- a) un resoconto che illustri lo stato delle conoscenze e l'eventuale esecuzione di approfondimenti geognostici suppletivi, che consenta la caratterizzazione geotecnica dei terreni ricavata dalla disamina dei dati acquisiti;
- b) un documento che motivi in modo esaustivo le soluzioni adottate e le modalità esecutive dell'intervento in progetto, alla luce delle informazioni assunte dalle predette indagini e della loro elaborazione analitica.

Il secondo elaborato concerne le proprietà dei manufatti e resta affidato all'esclusiva discrezionalità dei Progettisti: per tale ragione saranno qui omessi i relativi calcoli e diagrammi, in quanto già riportati negli elaborati progettuali.

Il presente paragrafo mira ad analizzare criticamente, sulla scorta delle risultanze geologiche, le condizioni del sito, al fine di prevenire la possibilità che possano verificarsi in futuro eventi suscettibili d'estendere i propri effetti ai manufatti adiacenti e d'indicare, d'altro canto, quali accorgimenti adottare per mitigare gli effetti indesiderati.

Nel caso in esame, la serie di interventi in progetto trova imposta sulla medesima sede in cui già poggiavano le opere preesistenti, in un intorno in cui è lecito presumere che, stante la costipazione impressa al suolo dai manufatti preesistenti e la minima variazione dei carichi che si prevede d'applicare, le proprietà fisiche dei terreni non mutino.

È previsto che i carichi del nuovo impalcato siano trasmessi al terreno in parte attraverso le fondazioni degli arconi esistenti, in parte attraverso nuovi manufatti fondali: in particolare, sono in progetto due nuovi plinti di fondazione in calcestruzzo in corrispondenza dell'appoggio terminale del ponte sugli argini ed altri quattro plinti per garantire l'ancoraggio al suolo dei tiranti che contribuiscono al tensionamento dei cavi d'ancoraggio dell'impalcato.

I plinti svolgeranno funzione di elementi di contrasto alle azioni orizzontali di tipo statico e dinamico e costituiranno da soli una fondazione superficiale diretta, o, là dove trovassero come appoggio suoli disomogenei potenzialmente deformabili, trasmetteranno al suolo le tensioni mediante una palificata semi-profonda: alternative, queste, che saranno decise sulla base degli approfondimenti geotecnici da sviluppare nelle fasi successive della progettazione.

Appare doveroso precisare che tutta la serie degli interventi di ristrutturazione delle opere di sostegno del ponte:

- non apporta modifiche sostanziali all'assetto dei luoghi, limitandosi al consolidamento di strutture esistenti;
- non prevede il tracciamento di nuove sedi rotabili, limitandosi ad adeguare la rete di piste pedonali esistenti;
- non oppone ostacoli al normale deflusso delle acque superficiali, né alla circolazione di quelle sotterranee;
- non aumenta in misura apprezzabile i carichi imposti, né altera la distribuzione delle superfici drenanti.

Agli effetti della D.C.R.T. 12 febbraio 1985 n. 94 (che impartisce direttive circa «*Indagini geologico-tecniche di supporto alla pianificazione urbanistica*»), la zonizzazione per classi di *pericolosità* geomeccanica e conseguente *fattibilità* operata sulla base della ricostruzione litostratigrafica dei terreni fa ricadere il sito in zona omogenea «*D*», tipica di aree di pianura alluvionale costituite di terreni granulari sciolti con assortimento da fine a grossolano.

Per quanto concerne le pertinenze fluviali, le immediate adiacenze del corso dell'Ombrone e dei suoi tributari sono soggette alla D.C.R.T. 230/1994 (recepita nel P.I.T.), con regime di vincolo per gli ambiti A_1 o A_2 e con regime di direttiva per l'ambito B relativo ad «*aree potenzialmente inondabili poste in prossimità dei corsi d'acqua*».

Sulle mappature delle *aree inondabili* (Regione) o *allagate* (Autorità di Bacino) le adiacenze dell'Ombrone ricadono tra le aree *soggette ad inondazioni eccezionali*, sebbene la sede di progetto ne sia esclusa, trovandosi sopraelevata.

Va rilevato che le norme escludono comunque da restrizioni «*le opere di attraversamento del corso d'acqua*» e «*gli adeguamenti di infrastrutture esistenti*», a condizione che siano adottate «*le precauzioni necessarie alla riduzione del rischio idraulico relativamente alla natura dell'intervento e al contesto territoriale*», mentre restano efficaci le prescrizioni relative alla limitazione delle superfici impermeabili e al contenimento degli espluvi.

L'area infine non è assoggettata al *vincolo idrogeologico* di cui all'art. 1 del Regio Decreto 30 dicembre 1923 n. 3267, né ad alcun altro dei particolari vincoli o stativi compendiate dal D. Leg. n. 29 ottobre 1999 n. 490.

Per quanto attiene al *vincolo paesaggistico* di cui al R.D. 11 dicembre 1933 n. 1775, relativamente alla fascia di rispetto di grandi infrastrutture, la limitazione riguarda esclusivamente gli interventi edilizi e non concerne quelli d'adeguamento o potenziamento delle infrastrutture stesse, che tale regime intende per l'appunto salvaguardare.

3.1. QUADRO DELLE CONOSCENZE GEOGNOSTICHE.

Per l'acquisizione dei dati geognostici è lecito basarsi su campagne di sondaggi e prove in precedenza condotti, sia sull'area in questione, sia su siti circconvicini che abbiano manifestato analoghe situazioni litologico-giaciturali.

Come premesso, data la scarsa incidenza dell'intervento sull'assetto generale del suolo, ci si limiterà all'escussione di elementi diagnostici a carattere qualitativo già acquisiti, di modo che le argomentazioni che seguono si basano su una serie consistente di dati, raccolti e mediati a livello interpretativo da studi ed indagini precedentemente svolti.

In numerosi sondaggi praticati nelle aree vicine e repertoriati dal Comune di Prato per l'adeguamento dei propri strumenti urbanistici è stato ovunque individuato un livello superficiale di terreni granulari fini consolidati spesso 1+5 m, sovrainposto ad un substrato più consistente a prevalente granulometria grossolana, di spessore indefinito.

Interpolando le osservazioni di campagna con i dati del quadro conoscitivo del P.T.C. Provinciale e con altri desunti dall'inventario delle stratigrafie a corredo dell'«Indagine geologica e geotecnica di supporto alla variante generale del P.R.G.» del Comune di Prato e dal progetto della cassa d'espansione di Ponte a Tigliano, è ragionevole ipotizzare che sotto l'estesa lente limosa superficiale di colmata soggia il substrato sabbioso-ghiaioso compatto.

Le risultanze salienti di tali prospezioni nel sottosuolo (perfori, saggi) sono riassunte nello specchio che segue.

Identificativo	Località	da m	a m	Descrizione	da m	a > m	Caratteristiche
E268	Tenuta di Cascine di Tavola – E	da m 0,0	a m 1,8	Sabbie limose cedevoli	da m 1,8	a > m 5	Ghiaie, sabbie, limi addensati
E264	Tenuta di Cascine di Tavola – W	da m 0,0	a m 3,4	Sabbie limose consistenti	da m 3,4	a > m 5	Ghiaie, sabbie, limi addensati
E241	Fontanelle (Cascine di Tavola)	da m 0,0	a m 4,4	Sabbie limose consistenti	da m 4,4	a > m 5	Ghiaie, sabbie, limi addensati
E240	Tavola E verso Ponte a Tigliano	da m 0,0	a m 9,4	Sabbie in parte consolidate	da m 9,4	a > m 16	Ghiaie, sabbie, limi addensati
E239	Tavola W verso Ponte a Tigliano	da m 0,0	a m 8,2	Sabbie in parte consolidate	da m 8,2	a > m 15	Ghiaie, sabbie, limi addensati
S ₁ (SP7)	Ponte Leopoldo II (riva sinistra)	da m 0,0	a m 8,5	Sabbie limose consistenti	da m 8,5	a > m 15	Ghiaie, sabbie, limi addensati

Dall'ultimo di questi saggi, condotto sul colmo d'argine a fianco dell'arcata di sostegno, si rileva in particolare la presenza – al di sotto di una coltre pellicolare di suolo pedogenizzato e dei terreni di riporto impiegati per innalzare il rilevato dell'argine – un livello di 3-5 metri di spessore di limi sabbiosi e/o argillosi, corrispondenti ai depositi di colmata, che sormonta un pacco di spessore indefinito (maggiore comunque di 10 metri) di sabbie e ghiaie addensate.

Allo stato delle conoscenze, non è certo – né ha rilevanza ai presenti fini – attribuire questo livello ai depositi della conoide versiliana piuttosto che ai conglomerati fluvio-lacustri villafranchiani, che probabilmente qui s'interdigitano: sta di fatto che i punti d'osservazione si collocano tutti alla periferia della mega-conoide bisentina, là dove essa va a interfacciarsi con il piede dei depositi fluvio-lacustri, o si trova in coalescenza con conoidi collaterali minori.

Indipendentemente dall'origine del sottofondo macro-granulare, in tutte le stratigrafie esaminate, su una superficie d'erosione a profilo ondulato, incisa dalle divagazioni dell'Ombrone, si sovrainpone un livello di spessore variabile tra 2 e 9 metri di argille limose, limi sabbiosi e sabbie coesive, classificabile come SM secondo i criteri A.S.T.M.

3.2. CARATTERIZZAZIONE LITOTECNICA DEL SOTTOSUOLO.

In sabbie e ghiaie, il carico-limite di rottura deriva del solo attrito tra le asperità dei granuli, misurato dall'angolo φ di potenziale sviluppo dei piani di rottura, mentre è trascurabile la componente di coesione efficace c' ; nei suoli pelitici a grana più fine predomina invece l'adesione inter-granulare, determinante nella resistenza sotto carico.

Gli specchietti qui riportati raffrontano, a titolo comparativo, le proprietà-indice relative ai due livelli sovrapposti (i valori indicati sono stati interpolati da altre risultanze strumentali e da raffronti con i dati di letteratura).

Proprietà-indice del litotipo	Limi e sabbie a matrice coesiva (SM)	Ghiaie e sabbie compatte (GW-GM)
peso di volume totale (densità a secco)	$\gamma = 1,95 \text{ kg/cm}^3 \cong 18,7 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 2,1 \text{ kg/cm}^3 \cong 20 \text{ kN/m}^3$
coesione (resistenza a taglio in suoli drenati)	$c' = 1,6 \text{ kg/cm}^2 \cong 15 \text{ kPa}$	$c' = 0,1 \text{ kg/cm}^2 \cong 0,09 \text{ kPa}$
angolo d'attrito interno (pressione effettiva)	$\varphi = 20^\circ - 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ - 35^\circ$

Per quantificare la capacità portante dei terreni devono determinarsi, quali parametri significativi, i valori di c , φ e γ .

Dalla loro combinazione si ricava la capacità portante unitaria, la cui entità, a parità di distribuzione dei carichi su suoli dotati di coesione, attrito e densità noti, è in rapporto alla pressione-limite delle note relazioni di TERZAGHI.

In termini di carico uniformemente distribuito: $Q_{lim} = c N_c + q_0 N_q + \frac{1}{2} \gamma N_\gamma$;

o, altrimenti, in termini di pressioni unitarie: $q_{lim} = (1+0,2 B/b) c N_c + q_0 N_q + (1-0,2 B/b) \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$,

dove le grandezze sono così individuate:

Q_{lim}, q_{lim}	= carico-limite totale e pressione-limite unitaria;
B, b	= lati di base maggiore e minore del sottofondo portante;
$q_0 = \gamma h$	= contro-spinta dello spessore h d'incastro nel suolo;
N_c, N_q, N_γ	= fattori adimensionali di capacità portante.

Tale espressione può essere notevolmente semplificata: nell'ipotesi di strati granulari non plastici né coesivi (sabbie granulometricamente selezionate «pulite»), il primo termine s'approssima a zero: qua, in realtà, la componente della coesione è quasi sempre presente e sensibile, ma ai presenti fini può essere trascurata, tutto a favore della sicurezza.

Dimostrandosi la componente d'attrito laterale trascurabile per fondazioni dirette, anche il secondo termine s'azzerà, cosicché il carico-limite sarà espresso soltanto in funzione del terzo fattore N_γ , che si ricava dall'apposito abaco in rapporto ai diversi valori dell'angolo d'attrito φ , in ipotesi, per le sabbie a matrice coesiva, compresi tra 25 e 30°.

Per raffronto con altre indagini condotte dallo scrivente relatore in zone limitrofe per interventi di ben maggior incidenza – vedansi gli studi per il raddoppio della «Declassata» e per l'adeguamento della S.R. 66 «Pistoiese» –, in via molto cautelativa il carico strutturale dei manufatti una volta risagomati, ripartito su base d'appoggio unitaria, può stimarsi pari a una pressione $q_{st} \cong 0,9 \text{ kN/m}^2$ ed il corrispondente carico d'esercizio $q_{ex} \cong 1,2 \text{ kN/m}^2$.

Assunto un coefficiente di sottofondo $K \leq 12 \text{ kN/m}^3$, la pressione-limite q_{lim} che possa produrre deformazioni del suolo – il quale, si ricordi, non appare aver finora manifestato apprezzabili cedimenti – può ricavarsi tramite il modello di WINKLER $k \geq q_{ult} \cong 3,5 \text{ kN/m}^2$, ricorrendo per entrambi a stime pessimistiche, in favore della sicurezza.

Tale valore, affinché soddisfi le condizioni di sicurezza, deve mantenersi inferiore a quello del carico ammissibile q_{am} che s'ottiene dal quoziente del carico-limite q_{lim} – altrove ricavato da saggi geognostici – per il fattore di sicurezza $f_s = 2,5$ prescritto per legge, ovverosia: $q_{am} \equiv q_{lim} : f_s \geq q_{ex} \Rightarrow (3,5 : 2,5) = 1,4 \text{ kN/m}^2 \geq 1,2 \text{ kN/m}^2$.

Le grandezze ottenute paiono ampiamente compatibili con l'intervallo di valori-indice attribuito a questo tipo di suoli: in termini indicativi simili pressioni sono dello stesso ordine di grandezza di quelle che l'opera originaria imprimeva sugli identici piani di posa per cui, agli effetti geomeccanici, resta dimostrata la capacità portante delle base fondale.

Qualora, invece, non possa esser raggiunta in scavo una base fondale portante e si debba ricorrere a fondazioni semi-profonde su palificate, andranno svolte in corso d'opera opportune indagini mirate mediante prove di carico su pali singoli e multipli, secondo le procedure indicate al punto C.5 «Fondazioni su pali» del D.M. 11 marzo 1988.

Per quanto riguarda i rilevati arginali su cui trovano appoggio le arcate di sostegno dell'impalcato, in previsione di scavi per sottofondazioni, la stabilità a breve termine dei fronti di scavo può ricavarsi mediante la formula di TAYLOR (1937) dell'altezza critica $H_c = N_c c_u / \gamma$ (nella quale c_u è la coesione non-drenata, γ – come sopra – il peso di volume ed N_c , il fattore di stabilità predeterminato) che ipotizza la rottura al piede di un fronte di data altezza lungo una superficie riferita al cerchio d'attrito in funzione della resistenza a taglio rapido caratteristica del materiale.

Ipotizzando, per uno strato di terreno selezionato e compattato spesso 5 metri, per un fronte di scavo verticale ($\beta = 90^\circ$), un fattore di stabilità $N_c = 3,9$, una coesione non-drenata $c_u = 4,5 \text{ t/m}^2$ ed un peso di volume $\gamma = 1,8 \text{ t/m}^3$, s'ottiene un'altezza critica $H_c = 9,5 \text{ m}$, grandezza ampiamente compatibile con le previsioni di progetto.

La stabilità a medio ed a lungo termine sarà poi funzione della bontà delle procedure costruttive e dell'idoneità delle caratteristiche geomeccaniche dei materiali coinvolti, da verificare attentamente in corso d'opera.

Occorre infine considerare tutti i processi potenzialmente suscettibili di pregiudicare l'integrità e la funzionalità dei manufatti in relazione della risposta attesa nei terreni di posa di fronte a sollecitazioni esterne quali, in particolare:

- fenomeni d'instabilità dei pendii ed altri dissesti idrogeologici in genere;
- cedimenti totali e differenziali del piano d'appoggio indotti da tensioni statiche o dinamiche;
- scosse sismiche che, in determinate occorrenze morfologiche e/o litologiche, arrivino ad amplificare le tensioni d'esercizio o riducano la resistenza del piano d'appoggio (i c.d. «effetti sismici di sito»).

Una volta verificata la praticabilità degli interventi rispetto alla statica dei luoghi attraverso l'esclusione delle prime due occorrenze, resta da esaminare l'eventualità di sollecitazioni dinamiche come quelle impresse da scosse sismiche

3.3. MODELLIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA D'IMPOSTA.

Tutti i comuni dell'area pratese sono in varie maniere classificati come zone sensibili ad eventi sismici: nelle prime perimetrazioni era assegnato un grado di *pericolosità* riferito alla ricorrenza storica di eventi noti superiori a date intensità, per ambiti d'estensione comunale, che corrispondeva a gradi di *sismicità* differenziati sulla base dei danni.

Nel riordino della classificazione sismica del territorio nazionale, il D.M. LL.PP. 19 marzo 1982 aveva poi attribuito all'intero gruppo dei comuni pratesi un grado di sismicità medio-alto, pari a $S = 9$, corrispondente alla *II categoria*.

L'O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, integrata dalla successiva O.P.C.M. n. 3519 del 28 aprile 2006 aggrega tali comuni in un'omogenea «Zona 2» (caratterizzata da $A_g/g = 0,25$), arealmente sovrapponibile alla *II categoria*.

Con D.G.R. n. 431 del 19 giugno 2006, la Regione Toscana ha operato un'ulteriore riclassificazione del proprio territorio, nella quale i comuni di Prato e Poggio a Caiano insistono nella «Zona 3S» suscettibile di declassificazione.

Sotto l'aspetto topografico, l'area in esame può esser associata alla *Categoria T1* della tabella 3.2.IV delle norme, identificata dall'occorrenza di «*Superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\beta \leq 15^\circ$* ».

Sotto l'aspetto stratigrafico, l'area è assimilata alla *Categoria C* della tab. 3.2.II, definita «*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s*» (ovvero con $N_{SPT,30} = 15 \div 50$ per terreni grossolani e $c_u = 70 \div 250$ kPa per quelli fini).

Qui la modellizzazione sismica dei suoli indagati, in ossequio alle *Norme Tecniche per le Costruzioni* di cui al D.M. 14 gennaio 2008, s'avvale dei risultati dell'indagine sismica a rifrazione messa in atto per la progettazione della vicina cassa d'espansione, che ha individuato gli spettri delle onde *P* ed *Sh* mediante due stendimenti di 24 geofoni.

L'accelerogramma che descrive la propagazione delle onde sismiche nei primi 30 metri sottosuolo dà come risultato $V_{s,30} \cong 350$ m/s nel primo allineamento e $V_{s,30} \cong 355$ m/s nell'altro, valori entrambi compresi nel *range* superiore ma compatibili con quanto sia lecito aspettarsi in sedimenti granulari saturi con coesione non-drenata $c_u = 70 \div 250$ kPa.

Per le tipologie d'intervento considerate, insistenti nel settore posto a cavallo del confine Prato – Poggio a Caiano, il periodo di 50 anni della «*vita nominale*» dei manufatti coincide con il periodo di riferimento dato per il coefficiente d'uso commisurato al ciclo di superamento dello *stato-limite di danno*: dal momento che la periodicità di un sisma con effetti distruttivi (*stato limite ultimo*) è in pratica quasi il decuplo (475 anni), ne consegue che la «*resilienza*» dei manufatti supera largamente il tempo di ritorno dell'evento critico atteso.

Trovandoci tuttavia in presenza di falda freatica sub-affiorante, una riserva permane circa la presenza nel sottosuolo di livelli granulari saturi a dominanza sabbiosa, suscettibili produrre in caso di terremoto fenomeni di «*liquefazione*».

La liquefazione dei terreni si produce quando, in seguito ad un evento sismico, il sottosuolo subisce sollecitazioni cicliche tali da indurre nel terreno stesso un brusco peggioramento delle sue proprietà meccaniche in conseguenza di un riassetto interno della mutua disposizione dei granuli in un assetto più denso, con moto pseudo-fluidale.

Le occorrenze critiche sono rappresentate, nello specifico, dalla soggiacenza di spessori significativi di:

- sabbie sature fini (passanti $\varnothing < 5\mu$) con frazione argillosa inferiore al 20% e indice di plasticità $I_p < 10$;
- sabbie sature medie (passanti $\varnothing < 74\mu$) con frazione limosa inferiore al 10%;
- sabbie sature monogranulari omogenee a debole coesione (scarsa resistenza ai saggi penetrometrici *SPT*).

Giacché gli studi empirici sulla suscettibilità alla liquefazione (SHERIFF & ISHIBASCHI, 1978) hanno dimostrato che il rischio di liquefazione, massimo in presenza di sabbie monogranulari, scompare in presenza di frazione fine ben assortita, avendo verificato che lo strato d'appoggio superficiale è costituito da limi o sabbie con matrice coesiva in proporzione prossima o superiore al 30% e che il letto macro-granulare presenta un'elevata resistenza, senza ricorrere ad ulteriori verifiche analitiche, si può a priori escludere che nel sito d'imposta possano verificarsi simili fenomeni.

Si può parimenti escludere l'insorgenza di fenomeni d'instabilità secondaria sismicamente indotti (cedimenti totali o differenziali), avendo verificato l'assenza di occorrenze predisponenti, quali:

- ammassi macro-granulari incoerenti ad assortimento eterogeneo (ciottolame sciolto misto a sabbie);
- livelli pelitici inconsolidati (argille plastiche e limi a granulometria prevalente molto fine);
- terre poco addensate, materiali sciolti di risulta, brusche transizioni tra litotipi di diversa consistenza.

Possono infine esser esclusi cedimenti differenziali indotti da sovraccarichi, in quanto è ragionevole presumere che le nuove strutture non imprimano pressioni apprezzabilmente superiori a quelle esercitate in origine.

4.0. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il progetto d'intervento prevede di conservare la funzione portante dei manufatti esistenti, opzione confortata dalle verifiche e dalle analisi strutturali svolte circa la consistenza e lo stato di conservazione dei portali in funzione dei carichi di progetto e delle sollecitazioni idrauliche, che hanno indicato l'idoneità delle strutture progettate dall'ing. Manetti – 180 anni fa – a sostenere il nuovo impalcato (come già avevano fatto con l'opera storica).

Analisi più specifiche circa le caratteristiche meccaniche delle strutture da porre in opera saranno sviluppate in fase di progettazione definitiva, mediante apposite verifiche sulla composizione interna delle pile e delle fondazioni.

Per quanto riguarda l'adeguatezza geomeccanica dei terreni d'appoggio, la situazione esaminata, confortata da dati di letteratura, contribuisce a comporre un quadro rassicurante, nel quale le proprietà statiche del sito d'imposta si dimostrano tali da permettere d'escludere pregiudizi alla funzionalità dei manufatti: a livello comparativo con altri interventi già attuati, si rileva che terreni con capacità meccaniche più scadenti sopportano altrove carichi maggiori.

Indipendentemente dalla consistenza locale del suolo, il consolidamento dei manufatti risulterà sempre praticabile, giacché, in caso di scadenti qualità della base fondale, sarà sufficiente asportare i livelli corticali di terreno a debole consistenza perché i rilevati possano trovar appoggio su un substrato capace di sostenerne il carico, ovvero – in caso di profondità eccessiva dello stesso – si potrà ricorrere ad opportune fondazioni su pali spinte fino agli strati portanti.

Per quanto concerne la risposta dei manufatti a sollecitazioni sismiche, è stata esclusa la possibilità di effetti locali d'amplificazione legati ad assetti del sottosuolo ed è stato verificato che, d'altra parte, i tempi di ritorno di eventi potenzialmente distruttivi superano largamente la «vita nominale» della normale usura delle opere.

Per quanto attiene al rischio idraulico, si rileva che, sebbene il sito d'imposta ne sia solo marginalmente interessato, trovandosi sopraelevato di oltre 5 metri sul piano di campagna, le problematiche connesse sono state affrontate da quest'Amministrazione, di concerto con la Regione, il Genio Civile e l'Autorità di Bacino dell'Arno e, mediante un simile approccio coordinato, sono in corso di risoluzione con il completamento dei dispositivi di regime idraulico.

Dalla modellazione idraulica è emerso che nella sezione d'interesse la massima quota del pelo libero raggiunta tra i vari scenari considerati, è pari a +39,50 m s.l.m., cosicché il nuovo ponte è stato progettato in modo che l'intradosso dell'impalcato si trovi a +41,00 m s.l.m., in maniera da garantire un idoneo franco (1,50 m) rispetto alla massima quota di piena, tenuto conto sia delle incertezze di calcolo, sia del possibile transito di materiale flottante sull'acqua.

Ipotizzando che durante la piena duecentennale le pile potessero andar sommerse da un battente d'acqua di un metro, una stima approssimata della spinta idrodinamica sulle loro basi – considerando in via cautelativa una corrente di 10 m/s – ha permesso d'escludere l'insorgenza di fenomeni di ribaltamento o di stati tensionali critici per i manufatti.

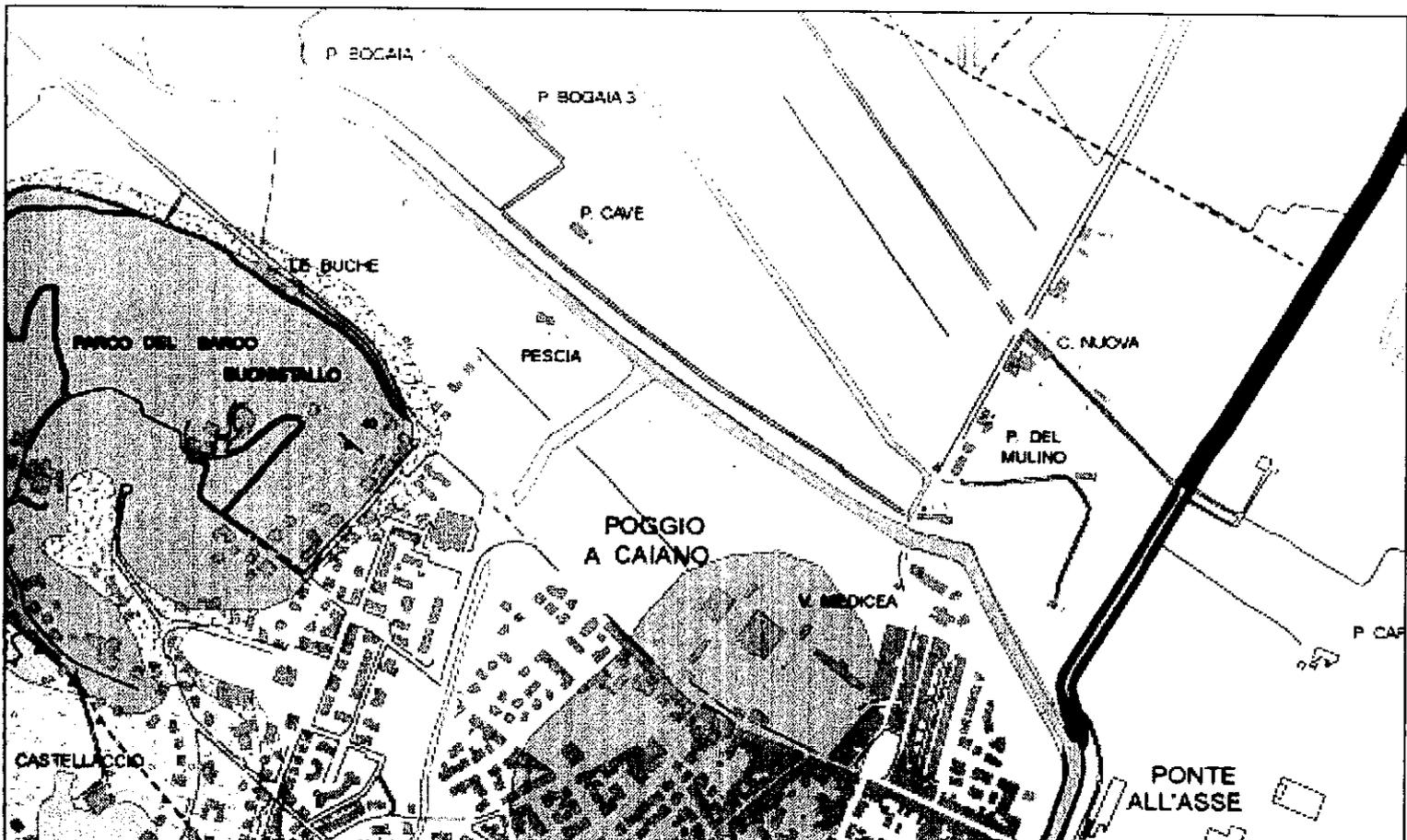
Resterà da verificare, tramite appositi saggi di scavo da eseguire in corso d'opera, se le ipotesi di progetto in effetti corrispondano con le caratteristiche reali dei terreni d'imposta: qualora si presentassero situazioni d'incongruenza – peraltro poco probabili allo stato delle conoscenze – sarà possibile ricorrere alle contromisure del caso, già previste (palificate), che andranno applicate limitatamente alle zone critiche sulla base di quanto dovesse emergere dai saggi.

In conclusione si può affermare che non sussistono impedimenti d'ordine litostratigrafico, idraulico od idrogeologico alla messa in atto dell'intervento, che si dimostra quindi «fattibile» sotto il duplice profilo geologico e geotecnico, nonché «compatibile» con la conformazione fisica del territorio, il che soddisfa i requisiti di legge.

Prato, 25 settembre 2013

dott. geol. Aldo Giovannini





Tav. QC_GEO_01 GEOLOGIA

Depositi di natura antropica

- deposito antropico
- discariche RSU
- ravanetti-detriti di cava (Secc. XI-XX)

Depositi di accumulo

- frane attive
- frane non attive
- corpi detritici indifferenziati
- depositi eluviali
- depositi colluviali
- travertini e depositi travertinosi

Alluvioni Terrazze

- alluvioni terrazzate di II ordine
- alluvioni terrazzate di I ordine
- alluvioni recenti
- alluvioni di alveo
- conoidi di piccole dimensioni
- conoidi di grandi dimensioni
- depositi lacustri e fluviali vall'anchiani
- gottolami di Montepiano

- oliviti olivitici ed arenaceo-olivitici
- oliviti basaltici
- oliviti gabbri
- oliviti serpentinitici
- oliviti diasprires
- oliviti olivitici
- argille a palombini
- calcari a calcarenite
- diasprires
- olivitici ed arenacei olivitici
- basalti massivi e breccie basaltiche
- basalti a pillows e breccie basaltiche
- gabbri
- serpentinitic

UNITA' SUB-LIGURI

Unità Sestola - Vidiclatice

- arenacee di Sestola
- marne di Bagno
- membro di Bargi
- argille variegate con calcarenite
- marne di Marmoreto

Stralcio dalla tavola QC_GEO_01 del PTC della Provincia di Prato