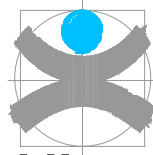




**Provincia di Pistoia**



**Publiacqua**



Autorità Idrica Toscana



PROGETTO DEFINITIVO

**INTERVENTI PER L'INCREMENTO DELLA SICUREZZA DELLA DIGA DI GIUDEA A GELLO**

|               |                            |                         |
|---------------|----------------------------|-------------------------|
| Tavola        | Titolo:                    | SCALA                   |
| <b>ALL. L</b> | <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b> | DATA <b>MAGGIO 2018</b> |



Sede Firenze Via De Sanctis,49/51 - 50136 - Cod.Fisc. e P.I.V.A. 06111950488

Organizzazione con Sistema di Gestione Integrato Certificato in conformità alle normative ISO9001 - ISO14001 - OHSAS18001 - SA8000

|  |  |
|--|--|
| <b>PROGETTISTI:</b><br><br>Dott. Ing. Giovanni Simonelli<br><br><b>GEOLOGIA:</b><br><br>Geo. Filippo Landini | <b>COLLABORATORI:</b><br><br>Verifiche di stabilità<br>Ing. David Settesoldi<br><br>Indagini Idrauliche<br>Ing. Leonardo Duranti<br><br>Indagini Geologiche<br>Geol. Carlo Ferri |
|--|--|

|  |  |
|--|--|
| <b>ESPROPRI:</b><br><br>Geom. Andrea Patriarchi<br>Geom. Matteo Masi | <b>COMMESSA IT:</b><br><br>INGT-TPLPD-PBAAC252 |
|--|--|

|   |   |
|---|---|
| <b>COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:</b><br><br>Dott. Ing. Benedetta Centoni | <b>RESPONSABILE COMMITTENTE:</b><br><br>Ing. Cristiano Agostini |
|---|---|

|   |  |
|---|--|
| <b>DIRETTORE TECNICO INGEGNERIE TOSCANE:</b><br><br>Ing. Mario Chiarugi | <b>RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:</b><br><br>Ing. Leonardo Rossi |
|---|--|

| REV. | Data        | DESCRIZIONE/MOTIVO DELLA REVISIONE | REDATTO | CONTROLLATO / APPROVATO |
|------|-------------|------------------------------------|---------|-------------------------|
| 01   | MAGGIO 2018 | PROGETTO DEFINITIVO                | FERRI   | LANDINI/CHIARUGI        |

**Sommario**

|    |  |    |
|----|--|----|
| 1  | Premessa.....  | 2  |
| 2  | Quadro normativo.....  | 2  |
| 3  | Caratteristiche generali del sistema acquedottistico.....          | 2  |
| 4  | Analisi storica dell'invaso Giudea .....                           | 3  |
| 5  | Caratteristiche generali del progetto di adeguamento.....          | 7  |
| 6  | Quadro geologico regionale.....                                    | 9  |
| 7  | Quadro geologico locale.....                                       | 9  |
| 8  | Quadro geomorfologico.....   | 10 |
| 9  | Quadro idrogeologico .....   | 11 |
| 10 | Analisi cartografia strumenti urbanistici.....                     | 11 |
| 11 | Analisi cartografia P.T.C.P. ....                                  | 12 |
| 12 | Analisi cartografia P.A.I. ....                                    | 13 |
| 13 | Analisi della classificazione sismica regionale .....              | 13 |
| 14 | Analisi geologica e litologica.....                                | 14 |
| 15 | Analisi idraulica e idrologica .....                               | 15 |
| 16 | Analisi sismica locale.....  | 15 |
| 17 | Indagini geotecniche storiche .....                                | 16 |
| 18 | Indagini geotecniche eseguite nell'anno 2012.....                  | 18 |
| 19 | Indagini sismiche storiche .....                                   | 20 |
| 20 | Indagini sismiche 2012.....  | 21 |
| 21 | Indagini geotecniche 2013/2014 (sondaggi a carotaggio continuo)... | 21 |
| 22 | Conclusioni.....   | 22 |

## 1 Premessa

La presente relazione geologica è redatta a completamento del progetto di adeguamento dello sbarramento della Giudea in località Gello nel Comune di Pistoia.

L'incarico affidato da Publiacqua Spa ad Ingegnerie Toscane prevede il recupero della struttura esistente a scopo acquedottistico, poichè si rende necessaria l'integrazione della risorsa idrica disponibile nell'area pistoiese, attualmente servita dal sistema acquedottistico della pianura Prato-Pistoia.

L'intervento si inserisce in un contesto più ampio di corretta gestione del territorio, attraverso una riqualificazione e recupero della struttura della diga attualmente inutilizzabile.

## 2 Quadro normativo

- D.L. 29 marzo 2004 n. 79;
- D.M. 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni";
- C.S.L.P. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008;
- Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n°617 del 02/02/2009;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3519 del 28/04/06;
- D.M. 11/03/88;
- Del.G.R.T. n.431/06 sulla classificazione sismica del territorio regionale;
- L.R. 21/2012;
- D.P.C.M. 06/05/2005 (PAI);
- D.P.C.M. 226 del 05/11/99;
- Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pistoia;
- Strumenti Urbanistici del Comune di Pistoia.

## 3 Caratteristiche generali del sistema acquedottistico

L'invaso di Gello è valutato fra le riserve idriche potenziali dell'acquedotto pistoiese che a sua volta è inserito nel più vasto sistema metropolitano che da Firenze passa per Prato e si collega a Pistoia con una condotta di adduzione che rende possibile l'integrazione fra le risorse locali e la principale risorsa di ambito che comprende l'invaso di Bilancino, il fiume Arno.

Fra le risorse locali annoveriamo molti corsi d'acqua superficiali a regime torrentizio che in periodi di prolungata siccità non permettono derivazioni tali da soddisfare il fabbisogno idropotabile.

Dalla stessa derivazione si può immettere acqua nell'omonimo vaso come scorta da utilizzare al bisogno.

Il ruolo dell'invaso si conferma quindi dal punto di vista acquedottistico quello di un serbatoio di riserva il cui esercizio è collegato funzionalmente all'omonimo potabilizzatore per garantirne continuità di esercizio anche in occasione di siccità prolungate; eventi questi ultimi sempre più ricorrenti per i noti cambiamenti climatici in atto.

Il volume totale dell'invaso inizialmente definito in 900.000 mc, può essere ragionevolmente rivalutato sulla base degli investimenti effettuati da Publiacqua (collegamento FI-PO-PT e distrettualizzazione della rete pistoiese) della cui efficacia abbiamo avuto dimostrazione anche nell'anno 2012 (anno ad alta criticità) in cui il sistema metropolitano ha permesso di mantenere buoni livelli di servizio sul territorio pistoiese con una integrazione media pari a 40 l/sec.

La medesima integrazione potrebbe essere assicurata da un bacino di 300.000 mc con prelievi variabili da 30 a 40 l/sec per tre mesi conferendo all'intero sistema maggiore flessibilità e continuità di servizio ovvero garantendo maggiore disponibilità ai comuni limitrofi anch'essi collegati al sistema metropolitano.

La rivalutazione del volume utile dell'invaso permetterà di raggiungere l'obiettivo acquedottistico di cui sopra e permetterà di realizzare un intervento di messa in sicurezza idraulica ed aggiornamento sismico sull'attuale sbarramento.

L'orientamento progettuale maturato è quindi quello di realizzare un invaso da 300.000 mc come meglio illustrato nel seguito.

#### 4 Analisi storica dell'invaso Giudea

Di seguito si elenca la storia dell'invaso giudea dalla progettazione allo stato attuale:

- In data 09/02/1963 l'ufficio del Genio Civile invia al S.D. con nota n°1607 riceve il **progetto di massima** relativo alla costruzione di una diga in terra dell'altezza di 28 m e capacità di 600.000 mc a scopo potabile sul Rio di Fontanacci.
- In data 23/04/1963 il S.D. con nota n°506 esprime un preliminare parere tecnico in linea di massima favorevole alla eseguibilità con prescrizione di effettuare più ampie e particolareggiate indagini geotecniche sul materiale da costruzione costituito da alto tenore di argilla. Lo studio doveva comprendere la ricerca e l'esame anche dei materiali più sabbiosi da destinare alla costruzione dei contro nuclei; infine stabiliva che si dovesse richiedere il parere del competente Servizio Idrografico sulla portata di massima piena e sul trasporto solido del corso d'acqua interessato dall'invaso.
- In data 15/01/1964 l'ufficio del Genio Civile di Pistoia con nota n°493 invia il **progetto esecutivo** datato 16/06/1963 a firma dell'Ing. Vittorio Uzzani che prevedeva:
  - Derivazione dal torrente Vincio di Brandeglio a mezzo tubazione DN 600;
  - Costruzione di diga di ritenuta per serbatoio di 600.000 mc di capacità sul Rio di Fontanacci;
  - Utilizzo a mezzo di acquedotto del relativo impianto di potabilizzazione.
- In data 05/06/1964 il S.D. con nota n°1597 espresse il parere che il caso non fosse sufficientemente documentato per quanto riguarda la situazione geologica, le verifiche di stabilità e le prove geotecniche pertanto omise di inoltrarlo all'esame del Consiglio Superiore. Si chiedevano maggiori

approfondimenti sulla stabilità delle pendici di sinistra dove erano presenti manifestazioni sorgentizie e franose; un numero maggiore di cerchi critici nella verifica di stabilità che interessassero anche il terreno di fondazione; prove geotecniche sui materiali da costruzione saturi.

- In data 20/07/1965 emessa relazione geologica del geologo Prof. Albizo Berti.
- In data 29/09/1965 con nota n°11860 l'Ufficio del Genio Civile trasmette nuovo progetto esecutivo datato 20/09/1965 a firma dell'Ing. Vittorio Uzzani con adeguamento alla nota 1597 del 1964 del S.D..
- In data 31/01/1966 il S.D. propone di approvare il nuovo progetto esecutivo del 20/09/1965 con aggiunta di nuove osservazioni.
- In data 17/03/1966 la Quarta Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ritiene il progetto meritevole di approvazione con voto n°437 non ravvisando l'utilità di realizzare la protezione bituminosa sul paramento di monte.
- In data 05/07/1966 la Quarta Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con nota n°2649 approva lo schema del foglio di condizioni vincolante la costruzione e l'esercizio dello sbarramento; atto successivamente firmato dal concessionario in data 22/07/1966 Rep. N°7768 e registrato a Pistoia il 27/07/1966 al n°6198 Vol. 62.
- Maggio 1968 inizio lavori dall'Impresa Costruzioni Idrauliche e Stradali s.n.c. di Firenze con disboscamento e scorticamento.
- In data 22 agosto 1968 sopralluogo del S.D. con vari accertamenti sui lavori in corso con esito favorevole. Ne è seguito l'inizio della posa in opera della terra per il rilevato e la realizzazione del drenaggio al piede del paramento di valle.
- Nel primo anno di costruzione i lavori si sono sviluppati principalmente nella zona in sinistra.
- Durante la stagione invernale 1968-1969 i lavori, anche a causa delle abbondanti precipitazioni, sono stati sospesi. Alla data della sospensione erano stati messi in opera circa 45.000 mc di materiale.
- In data 21/02/1969 con nota n°582 il S.D. ha approvato l'elaborato relativo alla sistemazione dello scarico di fondo ed annessa presa con prescrizioni.
- In aprile del 1969 sono ripresi i lavori eseguendo il drenaggio come prescritto dal S.D. ed altre operazioni.
- Nel novembre 1969 il rilevato ha raggiunto la quota di 141,26 m e sono stati sospesi i lavori per la stagione invernale.
- Nel maggio 1970 riprendono i lavori.
- Nel giugno 1970 il rilevato raggiunge quota 145,26 m con il drenaggio completato al piede di valle della diga e la messa in opera della scogliera in luogo del rivestimento bituminoso come suggerito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.
- Nell'agosto 1970 si raggiunge la quota di coronamento.
- Nel settembre 1970 viene completato lo scarico di superficie e la scogliera sul paramento di monte.
- Nell'ottobre 1970 viene eseguita la bitumatura del coronamento.
- In data 10/11/1970 con nota n°9375 l'Ufficio del Genio Civile di Pistoia comunica che l'ente concessionario chiede di invasare il serbatoio per un'altezza di 8 m (quota 134,26 m s.l.m.).

- In data 13/11/1970 i lavori sono stati ultimati con una quota di ritenuta di 147,76 m s.l.m. con una capacità del serbatoio di 850.000 mc.
- In data 18/05/1971 il S.D. effettua un sopralluogo in base alla richiesta dell'ente concessionario di invasare il serbatoio per un'altezza di 8 m.
- In data 13/07/1971 con nota n°1787, sulla base del sopralluogo del 18/05/1971 impartiva una serie di prescrizioni.
- In data 03/11/1971 con nota 9268 l'ufficio del Genio Civile di Pistoia informava sulla pressoché completa realizzazione delle prescrizioni ultime del S.D. e rinnovava la richiesta di un maggiore invaso rispetto ai 140 m s.l.m. imposto come limite dal S.D..
- In data 28/11/1971 l'ufficio del Genio Civile di Pistoia compie un sopralluogo le cui risultanze sono favorevoli. A seguito di questo sopralluogo il S.D. rilascia il proprio nulla osta al raggiungimento della quota di 146,26 m s.l.m. facendo presente che il concessionario deve tenere sotto controllo lo sbarramento e comunicare periodicamente i risultati delle misure prescritte.
- Nel gennaio 1972 si verifica un modesto smottamento nella pendice a monte dell'invaso e al di sopra del pelo liquido.
- Nel gennaio 1973 si verifica un modesto smottamento nella parte superiore del paramento di valle, lato sinistro.
- Con nota 395 in data 27 aprile 1973 della Direzione Generale delle Acque e Impianti Elettrici fu dato incarico dal Ministero dei Lavori Pubblici ad una commissione costituita dal Prof. Ing. Lamberto Canali (Presidente del Magistrato per il Po) e il Dott. Ing. Paolo di Bernardino (Ingegnere superiore del Genio Civile) di procedere ai sensi dell'art. 14 del Regolamento Dighe approvato con D.P.R. 1 novembre 1959 n°1363 al **collaudo** dello sbarramento in terra in località Giudea a Gello sul Rio di Fontanacci fatto costruire dal Comune di Pistoia.
- In data 22/09/1973 la commissione incaricata procede alle operazioni di collaudo.
- In data 15/10/1973 la commissione incaricata emette l'atto di collaudo ai sensi dell'art. 14 del Regolamento Dighe approvato con D.P.R. del 01/11/1959 n°1363; ; l'opera è stata eseguita secondo il progetto approvato, salvo adattamenti condivisi dal S.D..
- In data 12/02/1974 il Ministero dei Lavori Pubblici approva gli atti di collaudo, ai sensi dell'art. 14 del Regolamento Dighe approvato con D.P.R. del 01/11/1959 n°1363.
- Nel periodo 1975-1990, oltre alla manutenzione, sono stati effettuati solo modesti lavori di pavimentazione e risagomatura della strada di coronamento. La diga in questo intervallo di tempo è rimasta in esercizio.
- Dal 1979 l'Amministrazione Comunale rileva i valori piezometrici della curva di saturazione.
- Estate 1990 svuotamento, durante il quale il paramento interno ha manifestato cedimenti.
- In data 01/12/1990 il Provveditorato con nota n°881 dispone il permanente svaso del serbatoio.
- In data 14/02/1991 il S.D. con nota n° 8743 prescrive l'indirizzo progettuale da seguire per il ripristino funzionale del serbatoio.
- 1991: indagini a cura del Comune di Pistoia e a firma Italgeo sui fenomeni di instabilità che hanno danneggiato la diga.

- 1992: relazione tecnica per il ripristino funzionale dell'invaso a firma Ing. Baldovin.
- 1993: indagini a cura del Comune di Pistoia e a firma Geotecna riguardanti la stabilità delle sponde, caratteristiche delle nuove opere di scarico, aumento della capacità del bacino ed infine il reperimento dei materiali da costruzione.
- 1994: esaurimento movimenti cominciati nel 1990 con gli interventi di bonifica.
- Nell'aprile 1995 viene redatto dalla Soc. Geotecna a firma dell'Ing. Giuseppe Baldovin il progetto esecutivo degli interventi per il ripristino funzionale per l'aumento della capacità di vaso e per l'adeguamento al D.M. 24/03/1982 n°44; inviato dal Comune di Pistoia al Servizio Nazionale Dighe.
- In data 13/06/1996 riunione tra Servizio Nazionale Dighe e Soc. Geotecna all'Ufficio Coordinamento e Controllo Dighe in Esercizio, in merito al progetto esecutivo degli interventi per il ripristino funzionale, per l'aumento della capacità di vaso e per l'adeguamento al D.M. 24/03/1982 n°44. Sono richiesti chiarimenti e adempimenti.
- Nel settembre 1996 redatta dalla Soc. Geotecna nota integrativa al progetto esecutivo degli interventi per il ripristino funzionale, per l'aumento della capacità di vaso e per l'adeguamento al D.M. 24/03/1982 n°44, in merito agli adempimenti richiesti nella riunione del 13/06/1996.
- Il Servizio Nazionale Dighe, con nota SDI/7860 del 16 Dicembre 1996, lo ha ritenuto meritevole di approvazione "ai sensi dell'art. 1 della legge 21/10/1994 n.584 ed in conformità di quanto disposto dall'art. 5 del D.P.R. n. 1363 dell'01/11/1959, subordinatamente all'osservanza delle prescrizioni indicate nella relazione istruttoria".
- Nel 2003, ai sensi dell'art. 12 comma 1 della legge 36/1994, l'A.T.O. 3 Medio Valdarno del Servizio Idrico Integrato ha affidato a Publiacqua S.p.A. in gestione il servizio ed in concessione tutti gli impianti, le opere e le canalizzazioni esistenti e quelli che sarebbero stati in seguito realizzati nell'Ambito. Publiacqua S.p.A. è quindi diventata titolare della gestione dell'impianto di Gello a Pistoia di cui fa parte la Diga di Giudea, manifestando l'intendimento di dar corso al ripristino funzionale dell'invaso di Gello in accordo a quanto previsto nel proprio Piano Operativo Triennale.
- Il 27 Novembre 2003 Publiacqua Ingegneria S.p.A. ha affidato all'A.T.I. Interstudio s.r.l.-Geotecna Progetti s.r.l. l'aggiornamento e l'adeguamento del Progetto Esecutivo delle opere di ripristino funzionale ed adeguamento del bacino della Giudea, nonché la Direzione Lavori delle stesse.
- Nel frattempo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3376/2004, contenente le "modalità di attivazione del Fondo per interventi straordinari della Presidenza del Consiglio dei Ministri istituito, ai sensi dell'art. 32 bis del D.L. 30 Settembre 2003 n. 269, convertito con modificazioni dalla Legge 24 Novembre 2003 n. 326", ha previsto nell'ambito del Piano degli interventi di adeguamento sismico e miglioramento sismico (Ordinanza 3376/2004 - Art. 1, comma 4, lettera C) uno stanziamento per la Diga di Giudea.
- A seguito delle prescrizioni richiamate nella lettera Prot. SDI/7860 del 16 Dicembre 1996 di approvazione del Progetto Esecutivo da parte del

Servizio Nazionale Dighe è stata prodotta la relazione geologica con gli adempimenti. In particolare: vengono "definite le specifiche su tipo, modalità e frequenza delle prove, in sito ed in laboratorio, previste in progetto per l'accertamento dell'idoneità del materiale costituente la parte residua del rilevato diga esistente, ai fini dell'inserimento nel Foglio Condizioni per la costruzione"; vengono previste tipologie di strumenti diverse dai piezometri "a tubo aperto" per il monitoraggio delle sponde in considerazione della bassa permeabilità dei terreni; è stata accertata con opportune indagini la reale stratigrafia dei terreni coinvolti dallo scavo della galleria; sono state effettuate indagini specifiche per la valutazione quantitativa delle condizioni di impermeabilità della formazione interessata dagli scavi di ampliamento della capacità d'invaso. Si presentano altresì gli studi, le indagini e le calcolazioni relativi alle verifiche dinamiche della diga e del placcaggio sponda sinistra ed alle opere di scarico, come da richiesta del R.I.D. in sede di Conferenza dei Servizi. Infine vengono introdotti alcuni adattamenti di tracciato e di consistenza delle opere di scarico (sbocco scarico di fondo e canale di restituzione al T. Tazzera) resisi necessari a seguito di specifiche richieste dei proprietari fondiari a parziale salvaguardia dell'integrità dei loro possedimenti. Tali variazioni tengono in considerazione anche i risultati delle indagini geognostiche e geotecniche svolte lungo il nuovo tracciato della galleria dello scarico di fondo.

## 5 Caratteristiche generali del progetto di adeguamento

Sulla base delle condizioni sopra riportate e sulla base della geometria dell'invaso è stato individuato un intervento che prevede le seguenti caratteristiche:

- Quota del nuovo coronamento: 143,30 m slm;
- Quota del nuovo sfioratore di superficie: 140 m slm;
- Scarico di fondo: non modificato

L'intervento prevede di abbassare la quota del coronamento di circa 7m; verrà inoltre scavato al piede dell'attuale sfioratore fino a riportarsi alla quota di circa 130 m slm.

Alla quota 140 m slm corrisponde un volume d'invaso di circa 350.000 mc mentre il volume morto alla quota del canale di derivazione (134 m slm) è di circa 100.000 mc.

Il volume utile per la derivazione dalla condotta di alimentazione dell'acquedotto è quindi pari a circa 250.000 in conformità con le richieste del Gestore del Servizio Idrico. Tale volume può essere ulteriormente incrementato utilizzando un sistema di alimentazione dell'acquedotto mediante pescaggio con piattaforma galleggiante (come del resto attualmente avviene) per utilizzare i volumi posti al di sotto della quota 134 m slm.

In prima approssimazione la pendenza del paramento di monte del rilevato di sbarramento è stata assegnata circa come 1/3 mentre quella di valle 1/4. Con questa ipotesi il volume di scavo con la quota del nuovo coronamento posta a 143 m slm è di circa 230.000 mc.



Lo scarico di superficie sarà realizzato nella stessa posizione ma dall'attuale quota di 147.76 m slm verrà portato alla quota di 140 m slm, con un abbassamento di oltre 7 m.

Lo scavo sarà svasato sui due fianchi per un'estensione areale tale da non compromettere la stabilità del pendio.

La larghezza dello sfioro viene confermata in 10.6 m con un battente atteso di circa 50cm per l'evento di piena con tempo di ritorno di 1000 anni.

L'altezza della diga dell'invaso, considerando invariata la quota minima del piede di valle pari a 118.2 m slm, risulta di 24.8 m.

Il franco necessario corrispondente per l'altezza di 25 m risulta pari a 1.76 m mentre il franco netto che tiene conto anche degli eventuali fenomeni di onde generate da vento o sisma risulta di 2.06 m.

Con le ipotesi progettuali il franco di sicurezza sarebbe di 2.5 m, quindi superiore rispetto a quello richiesto e con la possibilità di abbassare ulteriormente il coronamento.

## 6 Quadro geologico regionale

L'area dove si trova l'invaso è ubicata al piede dei rilievi dell'Appennino centro-settentrionale, poco più in quota rispetto al margine nord-occidentale della pianura di Firenze-Prato-Pistoia.

Il bacino intermontano di Firenze-Prato-Pistoia, bacino lacustre di età villafranchiana (circa 1.5 milioni di anni) derivante da una depressione strutturale originatasi a seguito di una fase tettonica distensiva riferibile al Pliocene e successiva alla fase parossistica dell'orogenesi appenninica, dal punto di vista geologico è delimitato da due alti strutturali (horst): la dorsale Pistoia-Montale-Calvana-M.Morello-Fiesole-Settignano a nord, ove affiorano estesamente le Unità Liguri (Liguridi), e la dorsale M.Albano-Pian dei Cerri-Impruneta a sud, costituita largamente dal Macigno della Falda Toscana.

L'invaso è impostato sulle Liguridi (Formazione di Sillano) ed è lambito dal sovrascorrimento delle Unità Liguri (Liguridi) sulla Falda Toscana (Formazione delle Marne di Marmoreto). Le Liguridi sono porzioni della litosfera oceanica della Tetide ligure e dell'area oceanica di transizione al margine continentale adriatico scagliate ed impilate in falde sopra il margine continentale africano (Unità Toscane) durante la tettonogenesi appenninica.

## 7 Quadro geologico locale

Di seguito si riporta un estratto della Relazione Geologica allegata al progetto *"Opere strutturali di messa in sicurezza idraulica ed approvvigionamento idropotabile in località Gello e Laghi Primavera"* Progetto Esecutivo, Invaso Giudea in Località Gello 2007.

*"Nella zona circoscritta al bacino della Giudea, il limite tra la formazione argillitica, qui identificata come Formazione alloctona di Sillano (Cretaceo), di derivazione Ligure (Dominio Ligure), e la prima formazione lapidea affiorante più a Nord, denominata Formazione delle Marne di Marmoreto (Oligocene Sup.-Miocene Inf.), anch'essa alloctona ma di pertinenza del Dominio Toscano, decorre, con un andamento planimetrico circa allineato lungo una direttrice NE-SO, in corrispondenza della sponda NO del bacino, ove presenta una giacitura ad alto angolo di inclinazione (circa 70°). Nella carta geologica regionale, tale limite è interpretato come un originario contatto tettonico di sovrascorrimento, lungo il quale si è verificato, in fase orogenica, la sovrapposizione della più vecchia unità liguride sulle più giovani formazioni toscane, anche se sono da considerare, dato il contesto geostrutturale regionale, possibili successive rimobilizzazioni dello stesso contatto secondo differenti cinematismi.*

*Gli studi sulla tettonica attiva condotti a scala regionale nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica (Bartolini et Al., 1982) e, più recentemente, a supporto del progetto "Inventario delle faglie attive e dei terremoti ad esse associabili" del territorio nazionale, sviluppato dal GNDT Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti (si veda p.e. Galadini et Al., 2000), hanno, infatti, evidenziato, in corrispondenza di tale zona di contatto, una probabile attività di*

*faglie a prevalente movimento normale durante il Pleistocene Inferiore. Non risultano, invece, evidenze di attività nell'intervallo più recente, compreso tra il Pleistocene Superiore e l'Olocene.*

*Proprio in corrispondenza della sponda NO dell'invaso, detto limite appare poi localmente dislocato da alcune faglie trasversali a direzione E-O e circa N-S, mostranti una cinematica obliqua con forte componente diretta. Di queste, la faglia principale, a direzione circa meridiana, ubicata nel settore centrale della sponda, non risulta direttamente visibile in affioramento, ma sembra trovare riscontro nella presenza di alcuni elementi geomorfologici osservabili sul posto e nell'evidente dislocazione che ivi subisce il contatto tra le argilliti e le marne, confermata anche dai recenti sondaggi. In alcuni affioramenti ubicati ... lungo l'incisione del Fosso della Casaccia, sono inoltre state rilevate alcune mesofaglie mostranti orientazioni e cinematismi congruenti con quelli ipotizzati per tale faglia principale. L'altra faglia individuata sulla sponda, di rango inferiore alla precedente per rigetto e persistenza, affiora in corrispondenza di una piccola incisione ove risulta visibile parte del piano di faglia con i relativi indicatori cinematici (slikensides). Nel complesso, dette faglie risultano congruenti, per orientazione e cinematica, con il campo di sforzi tettonico regionale, avente massima estensione circa NNE-SSO, che...è ritenuto responsabile della genesi ed evoluzione, a partire dal Pleistocene Inferiore, del bacino di Firenze-Pistoia, al cui margine NO si colloca l'area in esame".*

## **8 Quadro geomorfologico**

Di seguito si riporta un estratto della Relazione Geologica allegata al progetto "Opere strutturali di messa in sicurezza idraulica ed approvvigionamento idropotabile in località Gello e Laghi Primavera" Progetto Esecutivo, Invaso Giudea in Località Gello 2007.

*"L'area ricade in un settore pedemontano ampiamente occupato, verso Sud-Est, da una formazione essenzialmente argillitica tenera, che dà luogo ad una tipica morfologia del paesaggio caratterizzata da basse colline con profili dolci e sommità arrotondate. Nella porzione di NO, invece, l'area esaminata registra l'affioramento di formazioni sedimentarie clastiche a consistenza lapidea e composizione prevalentemente pelitica ed arenaceo pelitica, maggiormente resistenti all'erosione, che danno corpo, verso Nord, ai primi contrafforti rocciosi dell'Appennino Pistoiese...oltre ai noti fenomeni di dissesto gravitativi occorsi sul paramento di monte della diga, il rilevamento eseguito ha confermato la presenza, sulla sponda sinistra dell'invaso, di un'altro dissesto che interessa la formazione argillitica circa 50 m a monte dello sbarramento. Indizi della presenza di ulteriori settori in erosione o di incipiente dissesto per instabilità corticale sono poi osservabili, sulla stessa sponda, anche poco più a monte e sono già stati adeguatamente segnalati negli studi precedenti. Un altro fenomeno franoso, ma di modeste dimensioni è stato, infine, individuato presso la coda dell'invaso, sul pendio che costituiva, precedentemente alla costruzione del bacino artificiale, la zona di testata del F.sso dei Catenacci. Tale piccolo dissesto, a carattere corticale ed attualmente in stato quiescente, si sviluppa interamente a quote superiori a quella del massimo invaso di progetto (q. 549,65 m) e, pertanto, non risulta direttamente interessato dalla presenza del serbatoio. Esso non mostra*

*attualmente alcun segno di attività in atto, nè sono riconoscibili in superficie elementi morfologici indicatori di recenti riattivazioni. Risulta, invece, estesamente mantellato da una fitta e continua copertura boschiva costituita da alberi di alto fusto, che attesta il perdurare ivi di condizioni di sostanziale stabilità anche nella fascia più corticale del pendio”.*

## **9 Quadro idrogeologico**

La Formazione di Sillano, essendo costituita da prevalenti frazioni argillitiche, ha solitamente una permeabilità *“molto scarsa”*. La circolazione delle acque sotterranee è strettamente connessa alle caratteristiche litologiche, stratigrafiche e strutturali, ed avviene infatti per permeabilità secondaria, ossia attraverso le fratture della roccia. La presenza di interstrati marnosi o argillosi riduce di norma la permeabilità, anche attraverso i prodotti di alterazione che ne derivano causando il riempimento delle discontinuità.

L'individuazione di acquiferi in litologie di questo tipo è molto difficile e comporta conoscenze dettagliate della struttura geologica; la permeabilità, diversa nelle diverse zone, risulta infatti in relazione alla litologia prevalente e alla densità di fratture che possono essere allargate dalla dissoluzione chimica della parte calcarea, fino a costituire vie preferenziali alla circolazione.

In corrispondenza delle coperture colluviali sono presenti falde semilibere alimentate per infiltrazione da scorrimenti superficiali.

Il rilievo su cui si trova l'invaso costituisce area di alimentazione per la pianura alluvionale attraverso l'infiltrazione delle acque meteoriche, poi restituite alla falda profonda della pianura alluvionale.

Nel passato si sono verificate piccole emergenze d'acqua lungo le sponde interne dell'invaso, riferibili alla presenza nella matrice argillitica di grossi blocchi lapidei isolati (olistoliti) fratturati e sedi di acquiferi stagionali.

Subito a monte dell'invaso, al piede di un piccolo dissesto a carattere corticale, è presente una modesta emergenza d'acqua che alimenta, a invaso vuoto, un piccolo scolo. Come si osserva nella Relazione geologica del 2007: *“L'ubicazione precisa del punto di emergenza non è facilmente individuabile in loco, ma appare comunque posizionabile a quote prossime a quella del previsto massimo invaso”*.

## **10 Analisi cartografia stumenti urbanistici**

Come osservabile nella tavola P.a.28 *“destinazioni d'uso del suolo e modalità di intervento nelle aree di pianura e nelle aree urbane di montagna e di collina”*, allegata al Regolamento Urbanistico del Comune di Pistoia, l'area in oggetto è tra quelle *“a destinazione speciale, art.92 – aree per bacini idrici ed opere di salvaguardia idraulica”*.

Secondo l'art. 92 delle Norme Tecniche di Attuazione del Regolamento Urbanistico: *“.. sono zone destinate alla realizzazione di bacini per l'approvvigionamento idrico del Comune di Pistoia ovvero per la realizzazione di opere strutturali finalizzate alla messa in sicurezza idraulica del territorio..”*.

Nella Tavola 17c dello *"Stato di Attuazione del P.R.G."*, allegata al Piano Strutturale del Comune di Pistoia, l'area concentrica attorno allo specchio d'acqua è considerata tra le *"zone agricole con vincolo di rispetto"*; esternamente a questa sono presenti invece *"Zone boschive e forestali"*.

Ai sensi del R.D. n°3267 del 1923 e del D.L. n° 42 del 2004, l'area è rispettivamente sottoposta a vincolo idrogeologico e vincolo paesaggistico.

La Carta della Pericolosità per fattori geologici, allegata al Piano Strutturale, individua l'area attorno all'invaso in classe 3 – pericolosità geologica media, per *"aree in cui non sono presenti fenomeni attivi, tuttavia le condizioni geologico-tecniche e morfologiche sono tali da far ritenere che esse si trovino al limite dell'equilibrio e/o possano essere interessate da fenomeni di amplificazione della sollecitazione sismica o di liquefazione"*.

La carta di Pericolosità Idraulica del territorio comunale *"Carta della pericolosità idraulica per fattori idraulici"*, allegata al Piano Strutturale, individua l'area di progetto del nuovo depuratore nella classe di Pericolosità Idraulica P.I.1, comprendente *"aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni: a) non vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni; b) sono in situazione favorevole di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a m 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda"*.

## **11 Analisi cartografia P.T.C.P.**

Dalla cartografia di supporto al P.T.C. della Provincia di Pistoia (SIT Provincia di Pistoia), tavola P10 (fragilità degli acquiferi), si osserva che l'area di progetto si colloca in un'area caratterizzata da Vulnerabilità *"bassa"*, per la presenza di litotipi poco permeabili.

La tavola di progetto P09 *"fragilità sismica"* della cartografia allegata alla Variante Generale al P.T.C. della Provincia di Pistoia, individua i terreni interessati dal progetto come in classe di *"pericolosità sismica alta"*.

Secondo le Norme contenute nel PTC: *"Nell'ambito delle aree che rientrano in tale classe è necessario valutare prioritariamente le seguenti fenomenologie connesse con gli elementi di pericolosità riportati nel Regolamento 26/R della L.R. 3 Gennaio 2005, n. 1:*

- *amplificazione per morfologie sepolte nelle zone connesse con al bordo della valle e/o aree di raccordo con il versante;*
- *amplificazione stratigrafica prodotta dalla differenza di risposta sismica tra substrato e copertura;*
- *amplificazione differenziata del moto del suolo e dei cedimenti prodotta nelle zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse;*
- *meccanismi di focalizzazione delle onde in corrispondenza di contatti tettonici, faglie, sovrascorrimenti e sistemi di fratturazione.*

*In classe 4 è necessario effettuare una campagna di indagini geofisiche di superficie, tarate attraverso sondaggi geotecnici ed indagini sismiche in foro"*.

## 12 Analisi cartografia P.A.I.

In questo paragrafo vengono considerati i tematismi di pericolosità geomorfologica e idraulica ai sensi della normativa vigente in materia di pericolosità e di rischio idraulico costituita dal Piano di Bacino stralcio "Riduzione del Rischio Idraulico" e "Assetto Idrogeologico" dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno:

Il progetto ricade in area classificata a pericolosità geomorfologica P.F.2 – media, per la quale, all'art. 12 delle Norme di Attuazione si prevede che: *"Nelle aree P.F. 2 è consentita ogni tipologia di intervento prevista dagli strumenti di governo del territorio purché l'intervento garantisca la sicurezza, non determini condizioni di instabilità e non modifichi negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell'area e nella zona potenzialmente interessata dall'opera e dalle sue pertinenze. Nelle aree P.F.2 e P.F.1 si persegue l'obiettivo di integrare il livello di sicurezza alle popolazioni, mediante la predisposizione prioritaria da parte degli enti competenti ai sensi della legge 24 febbraio 1992, n. 225 di programmi di previsione e prevenzione"*.

La cartografia non riporta alcun tematismo per l'area in studio in merito alla pericolosità idraulica.

## 13 Analisi della classificazione sismica regionale

In base all'Ordinanza O.P.C.M. n° 3519 del 28/04/06 e Del. G.R. n. 431 del 19/06/06 (Riclassificazione sismica del territorio regionale), il Comune di Pistoia era in classe 2 ed è rimasto in tale classe. Il livello di protezione precedente non è quindi diminuito, le costruzioni devono continuare ad essere progettate e realizzate con le azioni sismiche della zona 2.

In relazione a quanto specificato nella succitata Del. n. 431 del 19/06/06, si considerano per le zone 2 i seguenti parametri:

- accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag/g)= 0,15-0,25.
- accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastica (ag/g)= 0,25.

Ai sensi degli allegati al D.P.G.R 26/R 2007 il grado di pericolosità sismica è S3 per la presenza nell'area dell'invaso di coltri detritiche di alterazione del substrato roccioso e/o coperture colluviali, con possibile effetto di *"Amplificazione diffusa del moto del suolo dovuta alla differenza di risposta sismica tra substrato e copertura dovuta a fenomeni di amplificazione stratigrafica"*, oltre che *"Contatti tettonici, faglie, sovrascorrimenti e sistemi di fatturazione"* che possono portare a *"meccanismi di focalizzazione delle onde"*.

Nelle aree classificate a grado di pericolosità sismico elevato S3 e con possibile amplificazione stratigrafica, quale quella di progetto, secondo il D.P.G.R 53/R 2011: *"nelle zone stabili suscettibili di amplificazione locali caratterizzate da un alto contrasto di impedenza sismica tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri, è realizzata una campagna di indagini geofisica (ad esempio profili sismici a riflessione/rifrazione, prove sismiche in foro, profili MASW) e geotecniche (ad esempio sondaggi, preferibilmente a c.c.) che definisca*

*spessori, geometrie e velocità sismiche dei litotipi sepolti al fine di valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica dei terreni tra coperture e bedrock sismico. Nelle zone di bordo della valle, per quanto attiene alla caratterizzazione geofisica, è preferibile l'utilizzo di prove geofisiche di superficie capaci di effettuare una ricostruzione bidimensionale del sottosuolo (sismica a rifrazione/riflessione) orientate in direzione del maggior approfondimento del substrato geologico e/o sismico".*

Sullo sbarramento dell'invaso sono state effettuate varie indagini geofisiche più avanti elencate.

## **14 Analisi geologica e litologica**

Di seguito si riporta un estratto della Relazione Geologica allegata al progetto "Opere strutturali di messa in sicurezza idraulica ed approvvigionamento idropotabile in località Gello e Laghi Primavera" Progetto Esecutivo, Invaso Giudea in Località Gello 2007.

*"Dal punto di vista litologico, la formazione delle argilliti di Sillano risulta costituita, nel settore del bacino della Giudea, da litotipi argillitici e siltosi con struttura scagliosa, in cui sono inclusi blocchi e brandelli di rocce lapidee prevalentemente calcaree, arenacee e marnose, con dimensioni variabili dal decimetro a diversi metri. La struttura riconoscibile nelle argilliti è più propriamente interpretabile come un "fabric" di origine tettonica, definito dalla presenza penetrativa di molteplici piani di taglio con superficie liscia o striata e spaziatura millimetrica, aventi andamento irregolare e talvolta caotico. Tale particolare struttura è il risultato delle intense deformazioni subite dall'originario protolite, probabilmente riconducibile ad una formazione di tipo fliscioide a predominante argillosa, prima, durante e dopo la sua messa in posto nell'area, che hanno prodotto la disgregazione degli strati più competenti in spezzoni e blocchi, disperdendoli, secondo un assetto caotico, in una matrice argillosa ripetutamente fagliata e deformata. Allo stato attuale, questa componente argillosa tettonizzata risulta condizionare, in maniera determinante, il comportamento reologico e le caratteristiche meccaniche della formazione argillitica alla scala delle opere in progetto. La struttura delle argilliti è riconoscibile, nell'area di interesse, in corrispondenza di alcuni limitati affioramenti, ove le stesse risultano sempre verticalizzate in vicinanza del contatto con le Marne di Marmoreto. Più a Sud, le stesse appaiono invece disposte, come in parte deducibile dall'analisi delle carote dei sondaggi eseguiti lungo il tracciato della futura galleria in progetto e presso la sezione diga, con un assetto circa sub-orizzontale o, comunque, poco inclinato. La Formazione di Marmoreto che, come detto, viene a diretto contatto con le argilliti presso la sponda NO dell'invaso, risulta invece costituita da prevalenti calcilutiti di colore nocciola, marne e marne siltose chiare con struttura spesso scagliettata. Si tratta di una formazione essenzialmente pelitica organizzata in strati e banchi talora anche spessi, in cui possono trovarsi intercalati locali livelli di areniti grossolane di colore marrone e di siltiti. Nei pochi affioramenti osservabili in zona, la formazione risulta sempre fratturata, soprattutto nelle immediate vicinanze del contatto con le argilliti, benché con fratture spesso sigillate da calcite o da riempimenti di materiali fini cementati. Nell'areale che comprende la sponda NO*

*dell'invaso della Giudea, le Marne di Marmoreto presentano un assetto generale immergente, a medio angolo verso SE, al di sotto delle argilliti di Sillano...L'unità arenaceo-pelitica del Macigno Toscano, stratigraficamente sottostante alle Marne di Marmoreto, affiora decisamente più a Nord e ad Ovest dell'invaso, ove costituisce i primi contrafforti appenninici. Nel settore più prossimo all'area di interesse, il Macigno risulta presentare un assetto strutturale piuttosto irregolare, caratterizzato da giaciture degli strati molto variabili e talora passanti ad immersioni opposte nel giro di pochi metri. Ciò è da ricondurre alle significative deformazioni tettoniche subite da tale formazione rocciosa che, in base a quanto osservato in sito, parrebbero essersi esplicate, in questo settore, secondo assi strutturali costantemente orientati in direzione meridiana. Litologicamente il Macigno risulta costituito da arenarie torbiditiche quarzoso-feldspatiche da medio-fini a grossolane, di colore grigio o grigio verde, in strati da spessi a molto spessi, a cui si intercalano strati sottili di arenarie fini, siltiti, argilliti e argilliti siltose. In destra del T. Tazzera, circa 600 m ad Ovest dell'invaso della Giudea, il Macigno risulta direttamente a contatto con le argilliti della F.ne di Sillano senza l'interposizione delle Marne di Marmoreto, ivi non più affioranti. Tale particolare assetto risulta verosimilmente dalla presenza di dislocazioni, probabilmente in parte sepolte al di sotto delle alluvioni del T. Tazzera, che hanno alterato gli originari contatti tra le formazioni, interrompendo la continuità della locale successione stratigrafica. Tale situazione è osservabile, per esempio, lungo la sponda Ovest del T. Tazzera, a Sud della località "Casa Nuova".*

## **15 Analisi idraulica e idrologica**

I corsi d'acqua del territorio in esame hanno un regime di tipo torrentizio; le precipitazioni nell'area presentano un valore massimo che normalmente si verifica in autunno e in primavera.

Il reticolo idrografico risulta ben sviluppato a causa della scarsa permeabilità delle litologie presenti e dell'intensa tettonizzazione dell'area; a lunghi tratti i corsi d'acqua si presentano a corso artificiale, talora tombati o arginati, e defluiscono secondo una direzione prevalente NO-SE.

I principali corsi d'acqua dell'area sono: il Fosso della Casaccia a nord, il Rio Tazzera a sud e il Fosso Fontanacci subito a valle dell'invaso.

## **16 Analisi sismica locale**

L'area nel recente passato è stata oggetto di indagini di tipo geofisico con lo scopo di caratterizzare geodinamicamente i terreni di fondazione del corpo diga.

L'effettuazione di una prova di tipo Down-hole alla base del Bacino idrico della Giudea, fino alla profondità utile del foro pari a 30m, ha permesso l'analisi dei campi di velocità delle onde di compressione P, delineando valori compresi tra circa 600 m/s e 2980 m/s; i valori delle onde di taglio SH variano invece in un intervallo compreso tra circa 250 m/s e 890 m/s.

Si individuano 3 intervalli di velocità medie intervallari a partire dalla quota -30m dal p.c. fino alla quota -1m dal boccaforo. Tali intervalli sono caratterizzati dalle seguenti profondità e velocità delle onde P e SH medie: per i terreni



compresi tra -30m e -19m, il valore medio di velocità intervallare delle onde P (Vp) è di 2774 m/s, quello delle onde SH (Vs) è di 800 m/s; tra -18m e -7m circa, il valore medio di velocità delle onde P (Vp) è di 2511 m/s, quello delle onde SH (Vs) è di 523 m/s; tra -6m e -1m circa, il valore medio di velocità delle onde P (Vp) è di 926 m/s, quello delle onde SH (Vs) è di 282 m/s (per i dettagli si rimanda alla Relazione Geologica Progetto Esecutivo Invaso Giudea in località Gello, del luglio 2007).

|   | Intervallo profondità | Vp       | Vs      |
|---|-----------------------|----------|---------|
| 1 | -6m/-1m               | 926 m/s  | 282 m/s |
| 2 | -18m/-6m              | 2511 m/s | 523 m/s |
| 3 | -30/-18m              | 2774 m/s | 800 m/s |

## 17 Indagini geotecniche storiche

Non considerando le indagini eseguite durante la progettazione e costruzione, dopo il crollo del paramento di monte sono state eseguite le prime indagini geognostiche da parte del Comune di Pistoia mediante sondaggi, prove penetrometriche e saggi con escavatore. Sui campioni indisturbati o rimaneggiati sono state eseguite prove di laboratorio geotecnico.

Nel corpo diga sono stati perforati nel 1991, a cura di Italgeo, quattro sondaggi (S1-S4) spinti fino dentro la formazione di base non alterata. I sondaggi S1 ed S4 sono stati perforati dal coronamento diga, mentre i fori S3 ed S2 sono stati ubicati sul paramento di monte coinvolto nella frana.

Nei sondaggi, oltre al prelievo di campioni indisturbati dei materiali arginali e del terreno di fondazione, sono state eseguite prove penetrometriche discontinue SPT e di permeabilità.

Non è stato comunque individuata la superficie di scorrimento della frana, mentre dall'esame delle carote è stato riconosciuto il passaggio tra i materiali del rilevato ed i terreni di fondazione. Questi ultimi appartenenti al "Complesso eterogeneo" sono rappresentati da argilloscisti scagliettati di colore giallastro, con inclusi lapidei e quindi riferibili alla parte superficiale alterata della formazione geologica di base (Relazione Geologica Aprile 1995 Dott. Geol. Ernesto Motta).

*Al fine di adempiere alle specifiche prescrizioni sinteticamente richiamate nel paragrafo precedente, è stata recentemente approntata una campagna di investigazioni integrative che ha interessato la zona di imposta dello sbarramento, la sponda nord-occidentale del bacino di invaso ed il versante sinistro del T. Tazzera, sede della galleria dello scarico di fondo del serbatoio. Tali indagini integrano le precedenti investigazioni eseguite, negli anni 1991 e 1993, a supporto delle fasi di studio di supporto al Progetto Esecutivo e consistenti, nel dettaglio, in sondaggi terebrati nel corpo del rilevato diga (sondaggi Italgeo 1991) ed in trincee geognostiche, con prelievo di campioni per prove di laboratorio, eseguite sulle sponde del bacino e sul fondo dell'invaso (indagini Geotecna 1993).*

Tenendo a riferimento le richieste del S.N.D., le recenti indagini integrative, concluse nella primavera 2007, sono state primariamente indirizzate all'approfondimento dei seguenti aspetti:

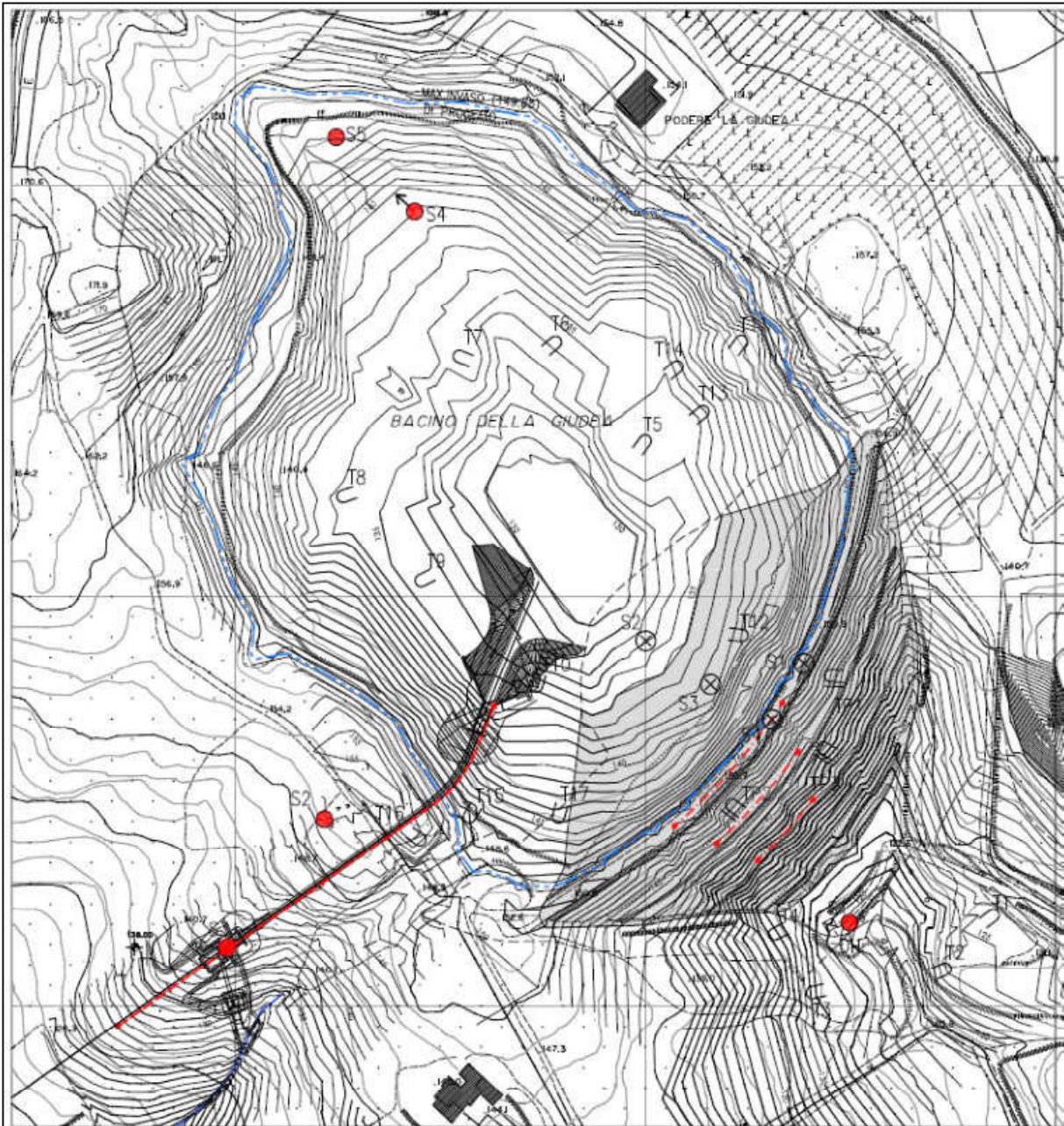
- accertamento della composizione litologica e dell'assetto geologico-strutturale delle formazioni costituenti la sponda di monte (Nord-Ovest) del bacino di ritenuta e valutazione delle caratteristiche di tenuta della stessa sponda in relazione alle previste operazioni di riprofilatura;
- verifica delle caratteristiche stratigrafiche, geotecniche e di risposta sismica della formazione argillitica di sedime del rilevato diga;
- disamina delle condizioni geologiche, geomorfologiche e geotecniche del settore sede della nuova galleria dello scarico di fondo e delle opere idrauliche connesse.

Le indagini complessivamente esperite sono consistite in:

- esecuzione, con restituzione su base topografica in scala 1:2000, di un rilievo geologico e geomorfologico di dettaglio dell'area interessata dalle opere e dal bacino di invaso, completato con l'ausilio di analisi fotointerpretative di fotogrammi aerei zenitali in scala 1:7500 circa (Volo 1998 Regione Toscana);
- esecuzione, nella zona della galleria, presso la sponda NO del bacino ed in vicinanza dell'area di imposta del rilevato diga esistente, di n. 5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S1÷S5/2007), per complessivi 130 m di perforazione, con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati rappresentativi dei diversi litotipi attraversati. I campioni sono stati successivamente sottoposti, in laboratorio, a specifiche prove di caratterizzazione fisico-meccanica;
- esecuzione di una prova geofisica tipo Down-Hole entro il foro S1/2007, di lunghezza 30 m, finalizzata alla ricostruzione del profilo di variazione delle velocità delle onde sismiche di compressione e di taglio entro i litotipi di fondazione del corpo diga;
- esecuzione di n. 3 profili sismici a rifrazione lungo il tracciato della nuova galleria dello scarico di fondo, aventi lo scopo di individuare le principali variazioni litologiche e meccaniche della formazione che sarà interessata dagli scavi in sotterraneo e dalla realizzazione dei manufatti agli imbocchi.

L'ubicazione delle indagini integrative descritte è riportata nella planimetria di sintesi di cui all'All. C.1 "Planimetria riepilogativa delle indagini", sulla quale sono state indicate, per completezza, anche le indagini pregresse e l'impronta schematica delle opere in progetto.

Le stratigrafie dei sondaggi integrativi sono poi raccolte nell'All.C.2, mentre i risultati delle prove geofisiche Down-Hole e degli stendimenti di sismica a rifrazione sono riportati, rispettivamente, negli Allegati C.3 e C.4.



## 18 Indagini geotecniche eseguite nell'anno 2012

Le indagini precedenti si sono sviluppate principalmente sul terreno di fondazione, sui versanti del bacino e sull'area del futuro scarico di fondo del progetto del 1996 e del 2007, che prevedeva principalmente un rifacimento completo del rilevato e un suo innalzamento.

A parte alcune indagini che hanno interessato il rilevato esistente nel 1996, per rispondere ad una richiesta specifica del Registro Italiano Dighe relativamente la stabilità del rilevato allo stato attuale, è stato deciso di integrare i dati disponibili sul rilevato con una campagna di prove penetrometriche e un'indagine sismica trasversalmente al rilevato.

Quindi, oltre ad aver acquisito le indagini pregresse disponibili operate sul corpo diga, è stata condotta una campagna geognostica originale.

La campagna geognostica 2012 è consistita in:

- n. 11 prove penetrometriche CPT distribuite in vari punti del corpo diga in modo di consentire una parametrizzazione dello stesso; 3 prove sono state eseguite sul coronamento, 4 prove sul paramento di valle e 3 alla base del paramento di monte; l'ultima prova è stata eseguita sul margine del riempimento successivo al crollo del 1990;
- n. 1 stendimento sismico a rifrazione con acquisizione delle onde P ed SH, elaborato con tecnica tomografica lungo la perpendicolare al coronamento del rilevato.

La campagna ha permesso di ampliare le conoscenze del rilevato e di effettuare un'analisi preliminare del progetto del nuovo bacino ridotto rispetto al bacino originario. Considerando infatti che il progetto prevede un abbassamento del rilevato di sbarramento di 7 metri, le analisi delle prove penetrometriche si sono concentrate nella parte inferiore che resterà in posto dopo le operazioni di rimozione e rimodellamento delle terre.

Per quanto riguarda la rimozione della terra e il suo successivo allontanamento dall'area di cantiere, al fine di dare le prime indicazioni sono stati ricavati dati indiretti dalle prove penetrometriche eseguite, utilizzando soltanto i valori relativi ai terreni che verranno rimossi. Sono state eseguite inoltre indagini di laboratorio geotecnico per individuare le caratteristiche granulometriche dei terreni e procedere alla classificazione AASHO degli stessi.

Di seguito viene presentata la tabella relativa ai terreni che verranno rimossi, con i relativi valori medi ricavati dalle prove penetrometriche

L'analisi delle caratteristiche geotecniche medie si è concentrato nel caso delle prove P1, P3 e P4 dalla quota di -4,5 m a quella di -9 metri da p.c., mentre per le prove P5, P6, P7 e P8 si sono sviluppate nei primi 5 metri da p.c.

I valori sotto riportati sono medi per ogni prova:

| NOME PROVA | ANGOLO D'ATTRITO | COESIONE NON DRENATA (MEDIA) |
|------------|------------------|------------------------------|
| P1         | 32°              | 0,91 kg/cm <sup>2</sup>      |
| P4         | 32°              | 0,83 kg/cm <sup>2</sup>      |
| P3         | 29,9°            | 0,97 kg/cm <sup>2</sup>      |
| P5         |                  | 0,41 kg/cm <sup>2</sup>      |
| P6         | 33,5°            | 0,99 kg/cm <sup>2</sup>      |
| P7         | 34,9°            | 1,13 kg/cm <sup>2</sup>      |
| P8         | 35,4°            | 1,28 kg/cm <sup>2</sup>      |

La prova P5 è quella più prossima al lago e risulta avere argilla in alcuni strati molto plastica, probabilmente per il contatto con l'acqua del lago e perché è la zona in cui si convogliano le acque piovane provenienti dal coronamento. Questa infatti è la zona nella quale non si riesce ad accedere con il penetrometro.

Per quanto riguarda la classificazione dei terreni:

Punto di      Quota      Passante 200      WI      IP      Indice      classificazione

| campionamento |     |       |    |    |    | AASHHO       |
|---------------|-----|-------|----|----|----|--------------|
|               |     | %     | %  | %  |    |              |
| 8             | 1m  | 22,67 | 36 | 23 | 13 | A-1          |
| 9             | 1m  | 51,77 | 35 | 22 | 13 | A-6          |
| 11            | 1m  | 57,75 |    |    |    | da A-4 a A-7 |
| 12            | 1m  | 58,88 | 38 | 24 | 14 | A-6          |
| 12            | 5,5 | 63,45 | 47 | 23 | 14 | A-7-5        |
| 7             | 2,5 | 74,35 | 43 | 22 | 21 | A-7-5        |
| 6             | 8,5 | 80,89 | 48 | 28 | 20 | A-7-5        |
| 11            | 5,5 | 81,96 | 55 | 28 | 27 | A-7-5        |
| 5             | 8,5 | 28,21 | 35 | 19 | 16 | A 2-6        |
| 10            | 2,3 | 65,91 | 47 | 24 | 23 | A-7-5        |
| 13            | 4,5 | 69,59 | 46 | 25 | 21 | A-7-5        |

Per quanto riguarda la modellazione geotecnica del rilevato che resterà in loco, allo stato attuale si utilizzano i valori delle prove disponibili dalle indagini precedenti (anni 90) che sono valori ricavati da indagini di laboratorio geotecnico e risultano molto più cautelativi rispetto alle prove penetrometriche.

## 19 Indagini sismiche storiche

Le indagini sismiche nel corso della progettazione esecutiva del 2007 si sono concentrate sul paramento di valle e alla base del rilevato. Di seguito si riporta l'estratto della descrizione dalla relazione geotecnica del 2007

### *INQUADRAMENTO DINAMICO DELL'IMPOSTA E DEL RILEVATO ESISTENTE*

*Ai fini della ricostruzione del profilo di velocità delle onde sismiche di taglio entro i terreni di fondazione della diga ed all'interno del rilevato di sbarramento esistente, sono state eseguite alcune indagini geofisiche nelle zone di diretto interesse per le opere.*

*In particolare nei terreni di fondazione della diga è stata eseguita, entro il sondaggio verticale S1/2007 di lunghezza 30 m, ubicato presso il piede di valle dell'esistente sbarramento (All. C.1), una prova in foro con metodologia Down-Hole, con ricostruzione del profilo di variazione delle velocità di propagazione delle onde Vs e Vp nel sottosuolo e valutazione dei principali parametri dinamici dei terreni.*

*I risultati della prova geofisica Down-Hole eseguita nel foro del sondaggio S1/2007 (All. C.3) confermano, sostanzialmente, la successione stratigrafica dedotta dall'analisi del carotaggio, evidenziando, per i depositi alterati più superficiali (strato eluviale ed argilliti alterate), valori medi della velocità delle onde elastiche di compressione Vp pari a 926 m/s e Vp medie superiori a 2500 m/s (2511-2774 m/s) per la formazione inalterata profonda. Analogamente, le velocità medie di propagazione delle onde di taglio Vs crescono da 282 m/s per i primi a 523÷800 m/s per la seconda.*

*Il parametro Vs30 calcolato dai risultati della prova Down-Hole, seguendo le indicazioni della Ordinanza della Presidenza del Consiglio 3274/2003, risulta*

pari a 506 m/s e permette di classificare la formazione argillitica di fondazione del rilevato diga nell'ambito della categoria di suolo tipo B.

Per la caratterizzazione dinamica dei materiali costituenti l'attuale corpo della diga sono stati, invece, eseguiti, a varie quote, alcuni profili di sismica a rifrazione basati sulla misura delle velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (prove MASW).

I 3 profili realizzati sono ubicati, per la precisione, sulla strada di coronamento e sul paramento di valle della diga, precisamente in corrispondenza delle banchine di quota 143 e 135 circa (All. C.1). Gli stendimenti sono stati orientati secondo la direzione longitudinale del rilevato.

L'elaborazione delle acquisizioni MASW (All. D.8) ha permesso di ricostruire, attraverso il corpo del rilevato di sbarramento, dei profili di variazione delle Vs, in una e due dimensioni.

## 20 Indagini sismiche 2012

A completamento delle indagini dei progetti precedenti è stata realizzata un'indagine di sismica a riflessione e rifrazione lungo l'asse principale della struttura del rilevato, che ha permesso d'individuare 4 gruppi di terreno in base alle variazioni di velocità.

|   | Vp            | Vs          |
|---|---------------|-------------|
| 1 | 390/410 m/s   | 170/215 m/s |
| 2 | 750/1250 m/s  | 240/365 m/s |
| 3 | 1250/1880 m/s | 383/471 m/s |
| 4 | 3300 m/s      | 1066 m/s    |

La ricostruzione così eseguita sembra individuare correttamente la presenza del materiale di riporto della struttura, anche se all'interno della medesima rileva un aumento di velocità, che nell'interpretazione geofisica è assimilato al materiale argillitico alterato il quale caratterizza la formazione in posto. Una lettura attenta della prova penetrometrica CPT 1 ci permette di notare un passaggio tra -21 m dall'attuale p.c. di coronamento e la fine della prova medesima a -28 m da p.c., probabilmente materiale maggiormente consolidato.

## 21 Indagini geotecniche 2013/2014 (sondaggi a carotaggio continuo)

Allo scopo di verificare le caratteristiche litologiche e geotecniche del paramento della diga, sono stati eseguiti nel settembre 2013 tre sondaggi geognostici a carotaggio continuo S1, S2, S3 spinti fino alle profondità rispettivamente di 37, 40 e 37 m. I fori sono stati effettuati sul coronamento della diga. Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono stati estratti 3 campioni indisturbati per ciascun sondaggio, prelevati mediante campionatore a pressione tipo Shelby, e 1 campione disturbato per ciascun sondaggio, estratto con

carotiere. Al termine delle perforazioni i fori di sondaggio sono stati poi attrezzati con un tubo per misure piezometriche.

Per verificare, in corrispondenza del sito di imposta diga, le caratteristiche litologiche e geotecniche della Formazione di Sillano che costituisce il terreno di fondazione dell'opera di sbarramento, è stato eseguito tra il 21/10/2014 e il 24/10/2014 un sondaggio geognostico a carotaggio continuo (S4) spinto fino alla profondità di 45 m. Il foro è stato effettuato sul coronamento della diga da una posizione localizzata tra i sondaggi S2 e S3 realizzati precedentemente (a 5m da S3 verso S2). Nel corso dell'esecuzione del sondaggio sono stati estratti 8 campioni indisturbati, prelevati mediante campionatore a pressione tipo Shelby, e 1 campione disturbato, estratto con carotiere. Nel sondaggio sono state inoltre eseguite prove penetrometriche SPT. Nei casi in cui la prova SPT ha preceduto il prelievo del campione è stata effettuata una manovra di carotaggio per "ripulire" il foro (rivestito fino alla profondità di 36 m dal coronamento diga). Al termine della perforazione il foro di sondaggio è stato poi attrezzato con due tubi per misure piezometriche da effettuarsi sia nel basamento che nel corpo diga con profondità di messa in posa 45 m e 25 m; diametri 1,5" e 1" rispettivamente.

Maggiori dettagli sono riportati nell'elaborato L4 del presente progetto definitivo.

## **22 Conclusioni**

La presente relazione ha permesso di avere un inquadramento geologico dell'area dell'intervento in progetto e di presentare un quadro generale della situazione del rilevato attuale.

Sono state raccolte tutte le indagini storiche disponibili e le stesse sono state integrate con indagini che si sono sviluppate negli ultimi due anni, utilizzando: penetrometrie statiche, sondaggi a carotaggio continuo, indagini sismiche di superficie e indagini di laboratorio sia geotecnico che ambientale.

A conclusione del lavoro d'indagine geologica si è ottenuta un'ampia conoscenza del rilevato, dei terreni di fondazione e di quelli adiacenti.