

**INTERVENTI DI ADEGUAMENTO DELLA DIGA DI GIUDEA
A GELLO NEL COMUNE DI PISTOIA (PT)**



PROGETTO DEFINITIVO

Elaborato	Nome Elaborato:	Scala:
ET27	RELAZIONE MONITORAGGIO	-
		Data:
		09/10/2020

Settore:  Sede Firenze Via de Sanctis, 49 Cod. Fiscale e P.I. 06111950488 <small>Organizzazione dotata di Sistema di Gestione Integrato certificato in conformità alla normativa ISO9001 - ISO14001 - OHSAS18001 - SA8000</small>	
PROGETTAZIONE : PROGETTISTA - PROJECT MANAGER : ING. GIOVANNI SIMONELLI GEOLOGO: DOTT. GEOL. FILIPPO LANDINI ESPROPRI: GEOM. ANDREA PATRIARCHI	COLLABORATORI : DOTT. GEOL. CARLO FERRI GEOM. MATTEO MASI
CONSULENTI TECNICI :  ING. DAVID SETTESOLDI  DOTT. GEOL. SIMONE FIASCHI  ING. GIOVANNI CANNATA	COMMESSA I.T. : INGT-TPLPD-PBAAC252 RESPONSABILE COMMITTENTE : ING. CRISTIANO AGOSTINI
DIRETTORE TECNICO INGEGNERIE TOSCANI : ING. ANDREA DE CATERINI	RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO : ING. LEONARDO ROSSI

Rev.	Data	Descrizione / Motivo della revisione	Redatto	Controllato / Approvato
01	09/10/2020	Prima Emissione	Ferri	Simonelli

INDICE

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO GENERALE.....	4
2.1	Inquadramento geografico del territorio e ubicazione dell'invaso	5
2.2	Caratteristiche infrastrutturali	8
2.2.1	<i>Interventi di miglioramento previsti da progetto</i>	<i>10</i>
2.2.1.1	Caratteristiche principali degli scarichi	13
2.2.1.2	Accessi alla diga	13
3	SISTEMA DI MONITORAGGIO	14
3.1	Stazione metereologica e pluvio-idrometrica.....	15
3.2	Piezometri	17
3.3	Controllo perdite.....	19
3.4	Controllo degli spostamenti piano-altimetrici della struttura di sbarramento	20
3.5	Controllo degli spostamenti piano-altimetrici della SPONDA SINISTRA	22
3.6	Controllo scarico di fondo.....	23
3.7	Tolleranze tecniche di misura ammissibili previste	24
3.8	Eventi sismici significativi e azioni connesse.....	25

1 PREMESSA

Il presente piano di monitoraggio descrive le attività di monitoraggio e controllo della Diga Giudea di Gello.

Le dighe si collocano infatti tra le opere di ingegneria che presentano un alto potenziale di pericolosità in caso di crollo per l'incolumità delle persone e dell'ambiente a valle dello sbarramento medesimo. Per i suddetti motivi, tali strutture necessitano di un continuo controllo e monitoraggio del loro comportamento durante l'esercizio.

Il comportamento della diga deve essere verificato mediante misure effettuate sia direttamente sul corpo della struttura e nel bacino dell'invaso artificiale sia mediante misurazioni ambientali.

La relazione è finalizzata alle modalità con la quale sarà condotto il sistema di monitoraggio della struttura di ritenuta, del bacino invasato e la descrizione dettagliata della relativa strumentazione impiegata.

2 INQUADRAMENTO GENERALE

La diga oggetto del progetto di gestione si trova in località Gello nel Comune di Pistoia, circa 4 Km a nord – ovest del centro urbano di Pistoia (Figura 1).

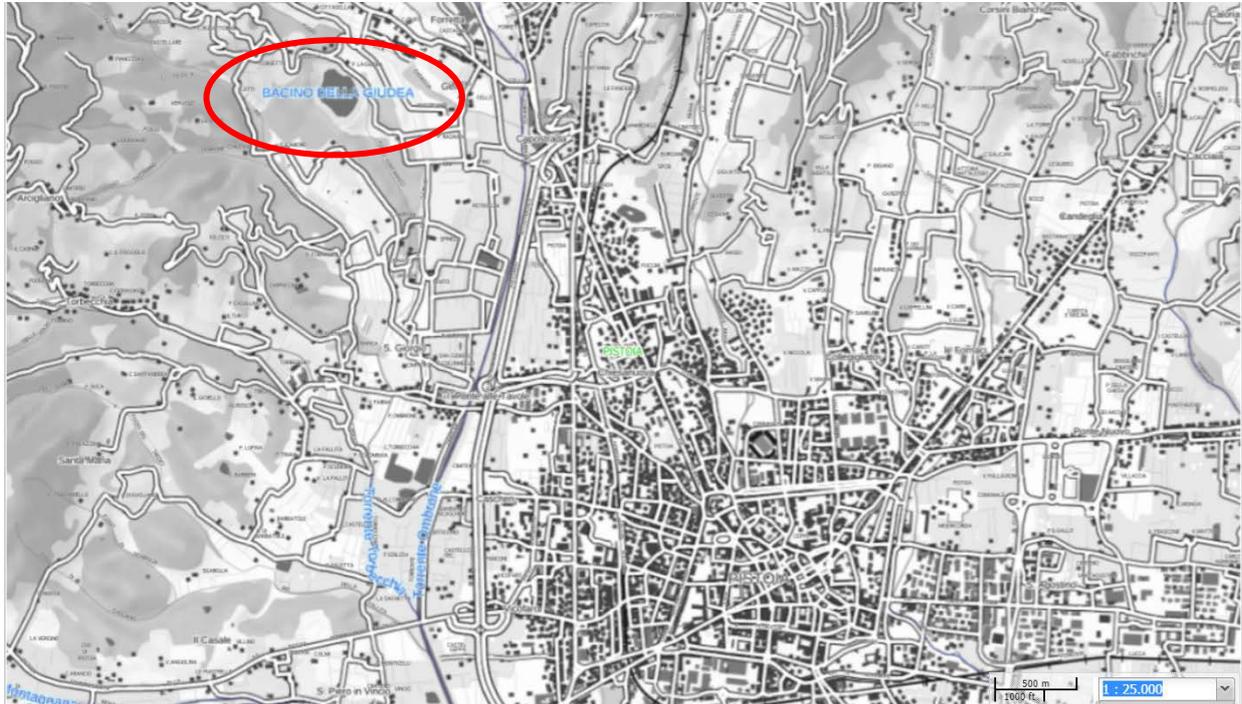


Figura 1 – Inquadramento dell'area di intervento

L'ubicazione della diga può essere espressa attraverso le coordinate della linea mediana del coronamento (Gauss Boaga, fuso ovest); la tabella che segue ne riporta le coordinate:

Punto	Nord	Est
Centrale	4869143.761	1651268.792
Spalla destra	4869043.178	1651149.342
Spalla sinistra	4983021.117	1637763.337

Tabella 1 – Coordinate della linea mediana del coronamento

Lo sbarramento è stato realizzato sul Fosso dei Fontanacci che più a valle diventa Il Fosso del Tazzera e infine arrivano al Torrente Torbecchia. Il Fosso dei Fontanacci drena un bacino che in corrispondenza dello sbarramento è di circa **0,15 Km²**. L'area collinare drenata dal reticolo ha un'altitudine media pari a 138 m s.l.m..

Il Torrente Torbecchia si immette dopo 1,50 Km nel Torrente Ombrone ad ovest dell'abitato di Pistoia, sottendendo un bacino di circa 10 Km². Il Torrente Ombrone a monte dell'immissione sottende un'area di circa 150 Km².

2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL TERRITORIO E UBICAZIONE DELL'INVASO

L'area oggetto degli interventi è sita nella porzione centrale del Comune di Pistoia ad una distanza di circa 3,5 Km in direzione Nord-Ovest dal centro del capoluogo comunale (vedi Tav.GEO.01)

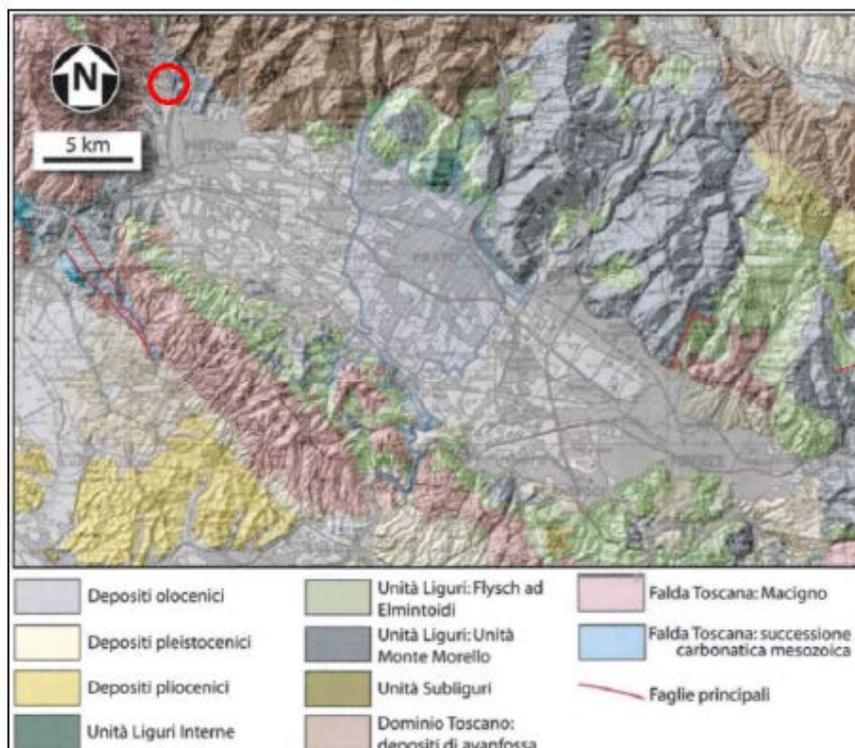
Dal punto di vista morfologico, l'area oggetto degli interventi, è posta sui rilievi collinari cretaco paleogenici a margine della piana villafranchiana Firenze-Prato-Pistoia (margine Nord-Ovest). La diga è posta sul crinale di una dorsale morfologica ad andamento circa Nord-Ovest/Sud-Est che funge da spartiacque fra il torrente Tazzera ad Ovest e il fosso della Casaccia ad Est. La diga, in uscita, ha come canale di scolo di valle il fosso Fontanacci.

Nel suddetto contesto morfologico, fra Maggio 1965 e Novembre 1970, è stato realizzato l'invaso antropico oggetto del presente elaborato. L'area d'intervento è posta ad una quota media assoluta di circa 130/150 m s.l.

Il serbatoio della Giudea è caratterizzato da contributi idrici derivati da una presa sul Torrente Vincio di Brandeglio che sottende un bacino imbrifero di circa 13 kmq, mentre il bacino diretto del serbatoio è praticamente trascurabile. L'area del bacino dell'invaso della Giudea è riportata nella Tavola EG.01.

Dal punto di vista morfologico, l'area oggetto degli interventi, è posta sui rilievi collinari cretaco paleogenici a margine della piana villafranchiana Firenze-Prato-Pistoia (margine Nord-Ovest). La diga è posta sul crinale di una dorsale morfologica ad andamento circa Nord-Ovest/Sud-Est che funge da spartiacque fra il torrente Tazzera ad Ovest e il fosso della Casaccia ad Est. La diga, in uscita, ha come canale di scolo di valle il fosso Fontanacci.

Nel suddetto contesto morfologico, fra Maggio 1965 e Novembre 1970, è stato realizzato l'invaso antropico oggetto del presente elaborato. L'area d'intervento è posta ad una quota media assoluta di circa 130/150 m s.l.m.



Da un punto di vista geologico, il suddetto contesto si inserisce nel quadro dell'evoluzione dell'Appennino Settentrionale. Una prima fase di natura compressiva, avvenuta durante il primo innalzamento della catena appenninica (Oligocene – Miocene), ha portato alla sovrapposizione delle formazioni appartenenti al dominio ligure su quelle del dominio toscano. A partire dal Miocene inf./

Pliocene, è iniziata una grande fase distensiva, in cui i movimenti verticali lungo le grandi superfici tettoniche, hanno creato una morfologia a bacini e catene alternate (depressioni e dorsali tettoniche. Nella piana Firenze-Prato-Pistoia, durante la fase distensiva, il progressivo abbassamento del bacino, veniva compensato dal notevole trasporto solido dei corsi d'acqua, tra cui il fiume Bisenzio rivestiva un ruolo predominante, grazie al forte sollevamento dell'area appenninica di origine, con conseguente deposizione di materiale macroclastico associato alla forma morfologica di conoide. Terminata nell'Olocene la fase sedimentaria suddetta, i corsi d'acqua suddetti hanno cominciato ad incidere le loro conoidi variando progressivamente il loro tracciato e diminuendo con il tempo la granulometria del materiale deposto (Consumi et al., 2016).

In considerazione di quanto sopra espresso la successione stratigrafica dell'area in esame viene così ad essere costituita dall'alto verso il basso in ordine cronologico dalle seguenti unità litologiche (vedi Tav. GEO.04):

- **Depositi alluvionali recenti (b) – Pliocene**

- **Merne di Marmoreto (MMA) – Ruperliano p.p. – Chattiano p.p**

- **Formazione di Sillano (SIL) – Cretacico sup. - Paleocene**

- **L'unità litologica delle alluvioni recenti (b)** è caratterizzata da una composizione eterometrica e polimitica anche su lungo il corso dei torrenti principali la granulometria è normalmente grossolana e sovente monomitica (arenaria) fino allo sbocco nelle pianure, dove si possono riconoscere anche conoidi di deiezione. Lungo gli alvei sono talvolta riconoscibili, ma non differenziabili, depositi riferibili a fenomeni di colata detritica. Nella pianura è possibile su vasta scala una differenziazione granulometrica fra prevalentemente grossolani e prevalentemente fini. Secondo la geologia riportata nel Database Geologico della Regione Toscana (<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/geologia.html>), nella porzione di interesse per il presente studio, risulta una prevalenza di depositi granulari rispetto ai depositi coesivi. Lo spessore dei depositi alluvionali recenti e attuali è generalmente ridotto lungo le valli secondarie dove di rado supera la decina di metri. Nella zona di piana, invece, tale spessore può raggiungere 30-40 m. Tale unità affiora a valle del bacino della Giudea, a Sud-Ovest, Nord-Est e Sud-Est della dorsale morfologica sul cui crinale è posto la diga in oggetto.
- **L'unità litologica delle Marne di Marmoreto (MMA)** è caratterizzata da marne e marne calcaree grigio-verdi o verdi, dure ed a frattura scagliosa, marne argillitico-siltose, alternate a strati sottili di areniti a grana media, talvolta spessi fino ad 1 m, areniti manganesiferi e siltiti. A luoghi questa formazione è costituita da marne argillitico-siltose, grigio-scure, a cui si intercalano argilliti cinerine e varicolari e strati sottili di siltiti. La stratificazione e la continuità laterale degli strati silicoclastici spesso non sono riconoscibili. Le fratture (talvolta abbondanti) di apertura centimetrica ed estensione metrica, sono riempite da più generazioni di vene di calcite, che in alcuni casi formano un fitto reticolo. All'interno della formazione si possono intercalare lenti di debris flow, con clasti di calcilutiti silicee (prevalenti), marne e calcareniti in alcuni casi con una tessitura di argille a blocchi. La formazione si è presumibilmente deposta in un ambiente di scarpata tettonicamente instabile. A causa dell'intenso piegamento, lo spessore della formazione è difficilmente determinabile; Dallan et alii (1981) lo valutano in alcune centinaia di metri. Tale unità affiora immediatamente a monte del bacino della Giudea coinvolgendo la sponda NO dell'invaso.
- **La Formazione del Sillano (SIL)** è caratterizzata da argilliti e argilliti marnose a frattura aciculare (da grigie a grigio-scure, grigio-verdi e grigio-marroni) a cui si alternano strati medi e spessi di calcari marnosi e strati sottili di calcareniti, arenarie fini e siltiti. La formazione è spesso deformata e scompaginata; infatti le argilliti solitamente mostrano una tessitura scagliosa, mentre gli strati coerenti hanno continuità laterale; a luoghi la formazione è costituita da argilliti di colore marrone-chiaro o rosso vinaccia. All'interno della formazione sono inoltre presenti depositi di debris flow matrice sostenuti ed olistoliti. I primi sono costituiti da una matrice argillitica e da clasti di calcilutiti silicee con atine di alterazione ruggine o ocra, mentre su sezioni fresche hanno un colore grigio; gli olistoliti sono costituiti da blocchi di calcari marnosi, da breccie calcaree grossolane cementate, con granuli e clasti spigolosi e da ammassi di serpentiniti. La formazione presenta uno spessore reale stimato di circa 200-300 m.

Tale unità affiora in corrispondenza del bacino della Giudea.

Da punto di vista **morfologico** generale, l'area in studio si pone lungo una dorsale pedemontana morfologica ad andamento circa NO-SE. A partire dal 1965 tale dorsale, per una porzione della sua area di crinale, è stata oggetto di interventi antropici al fine di realizzare l'attuale bacino della Giudea. Il progetto, oltre a prevedere lo scavo dell'invaso ha visto la messa in opera di un corpo diga di valle costituito da uno sbarramento in terra alto circa 32 m nel suo punto di massima.

In termini di area vasta l'area interessata dal presente studio risulta relativamente stabile con la sola presenza di alcune frane quiescenti poste lungo il versante SO della dorsale in indagine (vedi Tav.GEO.02). Tali frane non interessano direttamente l'area del bacino della Giudea in quanto poste a debita distanza a valle dello stesso. Tale assetto è confermato sia dal Database Geomorfologico della Regione Toscana sia dalla cartografia geomorfologica realizzata a supporto del vigente Piano Strutturale del Comune di Pistoia (PT).

In termini di acclività l'area dell'invaso presenta basse pendenze (inferiori al 5%) ad eccezione delle sponde dell'invaso e dello sbarramento di valle che presentano una pendenza superiore al 5% con picchi superiori al 15%. All'esterno dell'area antropica di interesse le pendenze risultano variabili da <5% dell'area di crinale fino a valori mediamente comprese fra 10% e 15%.

Nel 2019 è stato eseguito un rilievo geomorfologico di dettaglio dell'area in studio. Per quanto riguarda il quadro geomorfologico di area vasta, esterno al bacino della Giudea, esso risulta pressochè coerente con quanto indicato nella cartografia a supporto del vigente P.S. comunale e del Database Geomorfologico della Regione Toscana (vedi Tav. GEO.02). All'interno del bacino della Giudea si riscontrano invece alcune criticità geomorfologiche che è stato opportuno approfondire con il combinato disposto del rilievo geomorfologico e dei risultati delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite nel corso degli anni.

A partire dal 1990 si è verificato sia sulla sponda sinistra dell'invaso che sul paramento di monte del corpo diga dei dissesti franosi classificabili come a scivolamento rotazionale che hanno interessato ampie aree dei due settori suddetti e che hanno portato al momentaneo arresto del funzionamento dell'invaso antropico.

A seguito dei franamenti suddetti, nel 1993, fu realizzata una tura al piede di monte del rilevato antropico al fine di riprendere parzialmente il funzionamento dell'opera con un vaso massimo di circa 65.000 m³. La suddetta tura è stata realizzata utilizzando i terreni franati e quelli derivanti dal rimodellamento della porzione di paramento di monte franata nel 1990.

L'idrografia del territorio comunale di Pistoia è costituita da numerosi corsi d'acqua, a carattere torrentizio e di medie/modeste dimensioni ma molto articolati, che convogliano le acque (attraverso i tributari maggiori) nel Torrente Ombrone (Figura 2). Il reticolo idrografico, generalmente inciso e con tratti d'alveo in approfondimento, si presenta ben organizzato e modella una morfologia a forte energia di rilievo, segno evidente di un attuale ringiovanimento del territorio.

All'interno degli alvei dei corsi d'acqua principali sono inoltre presenti numerosi tratti di sponda soggetti ad erosione laterale.

Interventi di adeguamento della diga di Giudea a Gello nel Comune di Pistoia (PT)

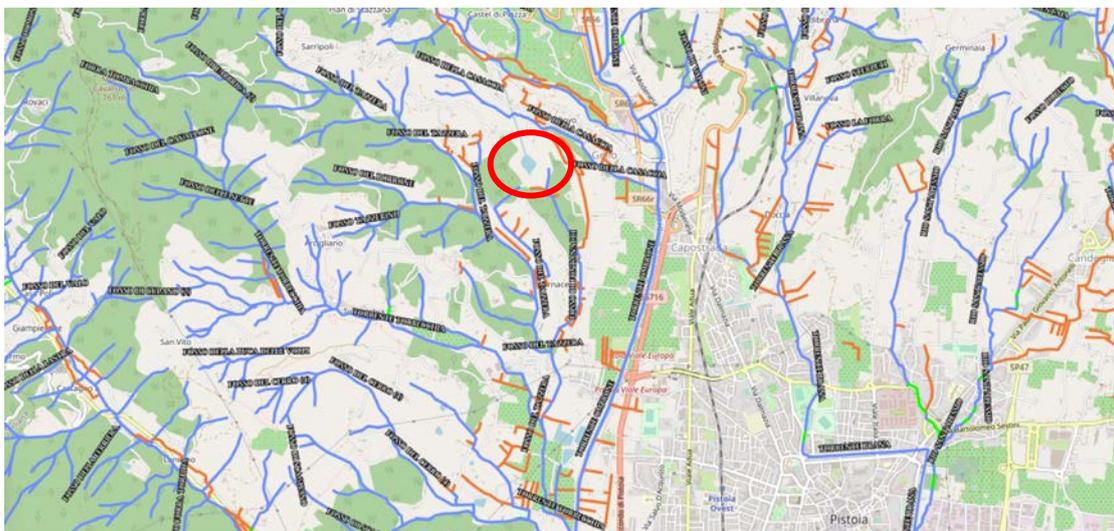


Figura 2 – Reticolo idrografico areale di intervento – Fonte Lamma Regione Toscana

I terreni di fondazione della diga sono costituiti della **Formazione del Sillano (SIL)** caratterizzata da argilliti e argilliti marnose a frattura aciculare (da grigie a grigio-scure, grigio-verdi e grigio-marroni) a cui si alternano strati medi e spessi di calcari marnosi e strati sottili di calcareniti, arenarie fini e siltiti

2.2 CARATTERISTICHE INFRASTRUTTURALI

Lo sbarramento di Giudea di Gello attualmente è costituito da un rilevato in terra omogenea con dreni inclusi nel corpo diga e nell'unghia di valle. Il coronamento è posto a 150 m s.l.m. mentre le berme sul paramento di valle hanno una larghezza di circa 3 m e si trovano ad una quota di circa 143, 135 e 127 m s.l.m..

Le caratteristiche geometriche sono state ricavate da un rilievo topografico di dettaglio condotto nel novembre 2020.

Il progetto prevede di portare il coronamento alla quota della prima berna di 143 m, ma con un asse spostato verso l'invaso di circa 15 m e mantenere le quote di 135 e 127 per le berme di valle con pendenze molto più dolci pari a 1:4,25.

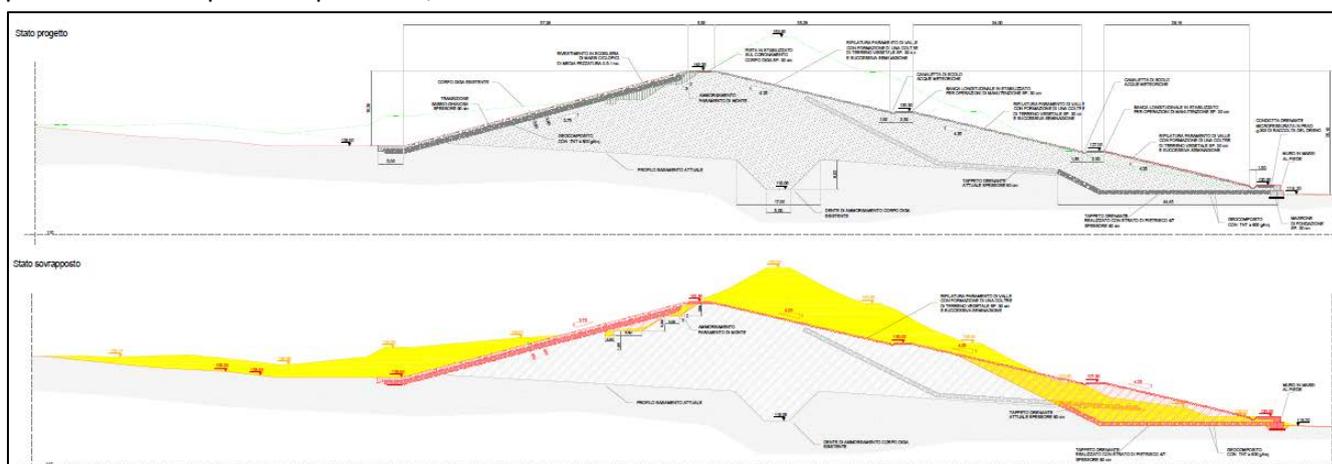


Figura 3 – Sezione diga di progetto Tav EG.14 sezioni caratteristiche diga

Le caratteristiche attuali dello sbarramento sono le seguenti:

Dati principali della diga

- Class. Tip. della diga ai sensi del D.M. 24/03/82 Diga in materiali sciolti con terra omogenea

Interventi di adeguamento della diga di Giudea a Gello nel Comune di Pistoia (PT)

• Altezza della diga ai sensi del D.M. 24/03/82	31,9
• Altezza della diga ai sensi del L. 584/1994 [m]	31,9
• Altezza massima ritenuta [m]	23,26
• Quota del coronamento [mslm]	150,06
• Larghezza del coronamento [m]	6
• Franco ai sensi del D.M. n. 44 del 24/03/82 [m]	1,8
• Franco netto ai sensi del D.M. n. 44 del 24/03/82 [m]	1,8
• Sviluppo del coronamento [m]	293,5
• Volume della diga [m3]	260'000

Dati principali del serbatoio

• Quota massimo invaso [mslm]	148,26
• Quota massima regolazione [mslm]	147,76
• Quota minima regolazione [mslm]	134,00
• Quota minima al piede diga lato monte [mslm]	125,0
• Quota minima al piede diga lato valle [mslm]	118,2
• Volume totale invaso [m3]	754.600
• Volume utile di regolazione [m3]	707.850
• Volume morto [m3]	44.000
• Superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso [km2]	0,15
• Sup. del bac. imbrifero allacciato con derivazione dal T. Vincio [km2]	13,0
• Portata di massima piena di progetto [m3/s]	6,8 (6,0+0,8)
• Portata massima derivazione dal T. Vincio [m3/s]	0,8
• Superficie dello specchio liquido alla quota di :	
○ massimo invaso [m2]	77.300
○ massima regolazione [m2]	73.400
○ minima regolazione [m2]	16.985
• Pendenze paramento di monte	~2/1, 2.5/1, 3.2/1, 5/1
• Pendenza paramento di valle	~2/1

Dati principali dello scarico di superficie

• Caratteristiche tipologiche	Soglia grossa rettilinea in sponda destra
• Quota di soglia [mslm]	147,76
• Sviluppo della soglia [m]	10,80
• Portata esitata [m3/s]	6,8
• Tirante sulla soglia in corrispondenza della portata esitata [m]	0,5
• Liv. serbatoio in corrispondenza della portata esitata [mslm]	148,26

Dati principali dello scarico di fondo

• Caratteristiche tipologiche	Tubazione in acciaio Ø450
• Quota dell'imbocco [mslm]	126,26
• Portata esitata [m3/s]	1,23
• Liv. serbatoio in corrispondenza della portata esitata [mslm]	147,76

Dati principali dell'opera di derivazione

- | | |
|---|---------------------------|
| • Caratteristiche tipologiche | Tubazione in acciaio Ø400 |
| • Quota dell'imbocco [mslm] | 134,00 |
| • Portata esitata [m3/s] | 0,46 |
| • Livello nel serbatoio in corrispondenza della portata esitata | 147,76 |

A valle della diga in sponda sinistra sono collocati gli impianti di potabilizzazione e i locali adibiti a foresteria.

Il deflusso delle portate di piena rilasciate dagli scarichi di superficie è regolato idraulicamente da uno sfioratore, mai completato, in considerazione che l'apporto al bacino avviene dal Torrente Vincio, che può essere chiuso in caso di eventi estremi

Ad oggi l'invaso è autorizzato in gestione provvisoria con limitazione di vaso alla quota massima di 134.5m slm.

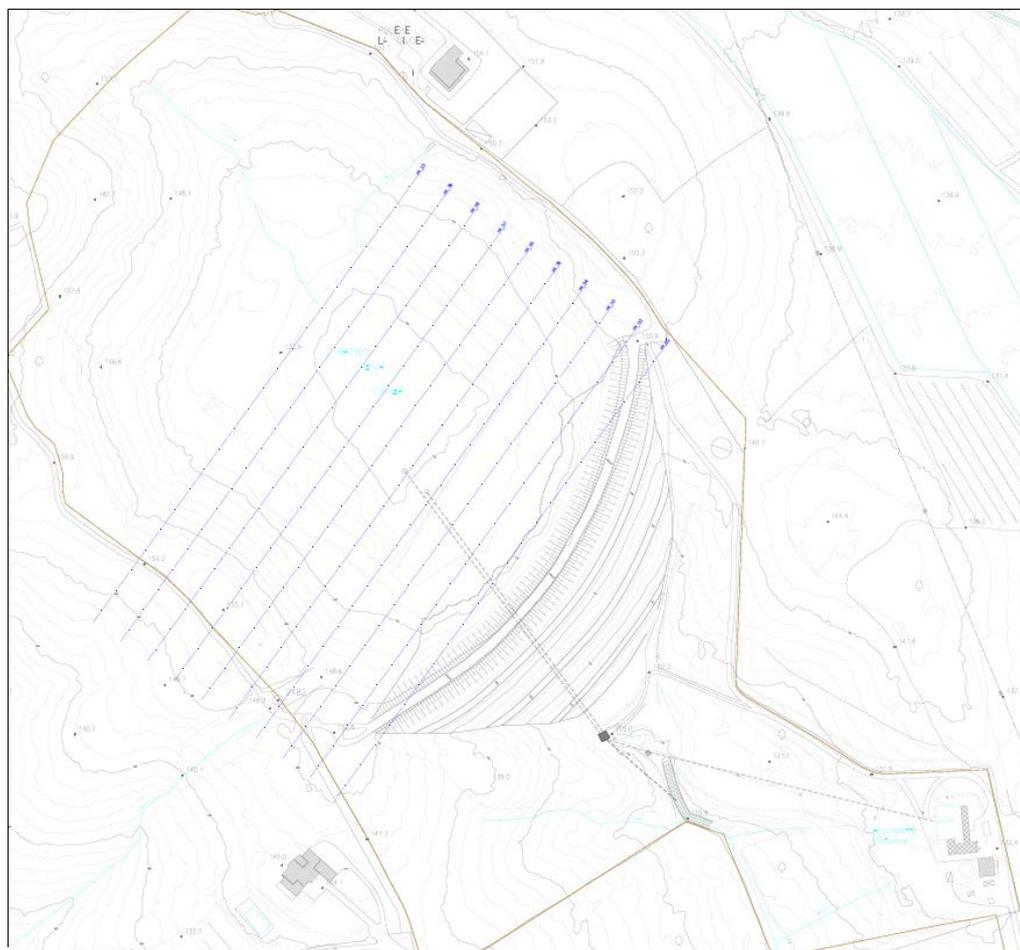


Figura 4 – Stato attuale della Diga Giudea di Gello (Tav EG.05 progetto)

2.2.1 INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO PREVISTI DA PROGETTO

L'interventi che andranno ad interessare la Diga Giudea di Gello sono relativi all'adeguamento dello sbarramento, la capacità di smaltimento dello sfioratore di superficie, e alla realizzazione delle necessarie opere accessorie.

Il suddetto progetto definitivo prevede di ottenere la sicurezza idraulica dell'invaso mediante un abbassamento complessivo della quota massima del coronamento.

Le condizioni al contorno per la definizioni degli interventi di messa in sicurezza sono le seguenti:

- Il gestore Publiacqua ha individuato nel volume di 250.000-300.000 mc la capacità necessaria al fine di garantire l'approvvigionamento idropotabile della rete acquedottistica di Pistoia;
- Necessità di individuazione del sito di destinazione delle terre movimentate e rimosse dal rilevato arginale.

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: 143.3 m slm;
- Quota del nuovo sfioratore di superficie: 140 m slm;
- Quota minima piede di valle 118.2 m s.l.m. non modificato;
- Scarico di fondo: 128.0 m s.l.m. (testa pozzetto);
- Condotta di alimentazione dal T. Vincio non modificata;
- Sistema di derivazione 130.0 m s.l.m. (testa pozzetto).

L'intervento prevede di abbassare la quota del coronamento di circa 7m e inoltre di scavare anche al piede dell'attuale tura fino a riportarsi alla quota di circa 128 m slm con il piede di monte del coronamento. I pozzetti di presa sono tenuti 1.0 m più alti del fondo con la realizzazione di un volume morto di circa 3000 mc. In corrispondenza dello scarico di fondo verrà realizzata una depressione del terreno al fine di farlo

affiorare e valutarne lo stato di manutenzione.

Le pendenze di progetto dei paramenti di monte e di valle saranno rispettivamente 1:3.75 e 1:4.25. La lunghezza del coronamento sarà di circa 205m, la quota al piede del paramento di valle rimarrà di 118.2m con un'altezza del nuovo invaso di 25.1m.

Alla quota 140 m slm, corrisponderà un volume d'invaso di circa 281.300 mc mentre il volume morto alla quota della derivazione (130 m slm) è di circa 13.000 mc.

Il volume utile per la derivazione dalla condotta di alimentazione dell'acquedotto è quindi pari a circa 268.300 e quindi conforme con le richieste del Gestore del Servizio Idrico.

Di seguito si riportano degli estratti delle tavole di progetto, la planimetria nella tavola EG13, mentre la sezione caratteristica del corpo diga nella tavola EG14..

2.2.1.1 CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEGLI SCARICHI

- **Scarico di superficie:** sarà costituito da un canale di scarico in c.a. a sezione rettangolare, tracciato attraverso la sponda destra della diga, e con quota di sfioro a 140,00 m s.l.m., recapitanti nel Fosso del Tazzera attraverso una vasca di dissipazione che si raccorda al fosso con un canale a sezione rettangolare in c.a..
- **Scarico di fondo:** resterà nella configurazione attuale, sono previsti:
 - o realizzazione di un pozzetto a monte con sommità alla quota di 128.0 m s.l.m. protetto con grigliato in acciaio;
 - o prolungamento a valle previo raccordo con la condotta attuale e spostamento delle valvole nel nuovo edificio di manovra.
 - o prima di procedere alla realizzazione delle suddette opere si provvederà ad effettuare una video ispezione della condotta in modo da valutarne lo stato di conservazione. Se del caso saranno successivamente identificati gli interventi di manutenzione necessari.

2.2.1.2 ACCESSI ALLA DIGA

L'accesso alla diga può avvenire attraverso una strada di servizio non asfaltata che a partire dalla Via di san Giorgio, in località Gello porta all'impianto di potabilizzazione posto a piede diga. L'accesso al coronamento è possibile grazie ad una strada di servizio che porta sia al coronamento che al pozzetto di derivazione presente al piede del rilevato. Per accedere all'area di invaso si può anche percorrere la strada di Sarripoli, dove è presente un cancello da cui si accede direttamente all'invaso.



Figura 6 ubicazioni accessi allo sbarramento da Google Earth

3 SISTEMA DI MONITORAGGIO

Per le grandi opere come le dighe per l'appunto, il sistema di monitoraggio è fondamentale per l'individuazione di eventuali criticità che possono sopraggiungere all'invaso e alle strutture o opere a esso connesse durante il normale esercizio.

Lo **stato della condizione di un'opera** si determina misurando le **deformazioni o gli spostamenti**, cercando successivamente di capire se sono compatibili con le capacità strutturali di progetto, in questo modo è quindi possibile definire lo stato di salute e di conseguenza la garanzia del grado di sicurezza.

Un sistema di misura per il controllo di una diga e del suo bacino artificiale è rappresentato dall'insieme coordinato di più strumenti e apparecchiature atte a rilevare le grandezze fisiche e a trasformare ed elaborare le informazioni acquisite.

Durante l'esercizio della diga i controlli forniscono infatti degli elementi utili ad individuare il comportamento dell'opera sia nel suo insieme che nei punti di particolare interesse mettendone in evidenza l'evoluzione nel tempo.

La diga durante tutta la sua vita in opera è infatti sottoposta alle variazioni dell'ambiente che la circonda ed è soggetta ai fenomeni atmosferici e climatici che insistono nell'area in cui è inserita.

A tali fenomeni, la struttura risponde a sua volta in maniera congrua alle caratteristiche costruttive e tecniche che la competono.

Nell'osservazione del comportamento della Diga Giudea di Gello vengono quindi rilevate i due seguenti gruppi di grandezze:

- *Grandezze Ambientali* che rappresentano le misure delle variabili che inducono dei cambiamenti alla struttura e al bacino artificiale.
- *Grandezze Effetto* che rappresentano la risposta della struttura di ritenuta alle variazioni indotte dalle grandezze ambientali.

Tipologia di Grandezza	Misura	Strumentazione	Frequenza di misura
Ambientale	Temperatura Aria	Stazione metereologica	Oraria (in continuo)
	Precipitazioni		
	Livello liquido invasore	Idrometro	Giornaliera
Effetto	Livelli Piezometrici	Piezometro	Settimanale
	Quantità e torbidità delle Perdite	Stramazzo e torbidimetro	Settimanale
	Collimazione Coronamento e banca	Stazione totale	Semestrale
	Controllo stato e apertura scarico di fondo	Controllo visivo e Misuratore di portata	Mensile

Tabella 2 - Grandezze fisiche e strumentazione di misura

3.1 STAZIONE METEOROLOGICA E PLUVIO-IDROMETRICA

I dati ambientali di maggior interesse per il monitoraggio della Diga Giudea di Gello sono costituiti, come riportato nella Tabella 2, dalle seguenti misure:

- Temperatura aria e acqua.
- Precipitazioni.
- Livello idrometrico dell'invaso.

Per la misura dei volumi e dell'intensità delle piogge che insistono nell'area dove è sita la Diga viene impiegata la stazione pluvio-idrometrica sul fiume Ombrone a Pistoia Pontelungo Valle (codice TOS01004839) i dati sono forniti dal SIR (Servizio Idrologico Regionale).

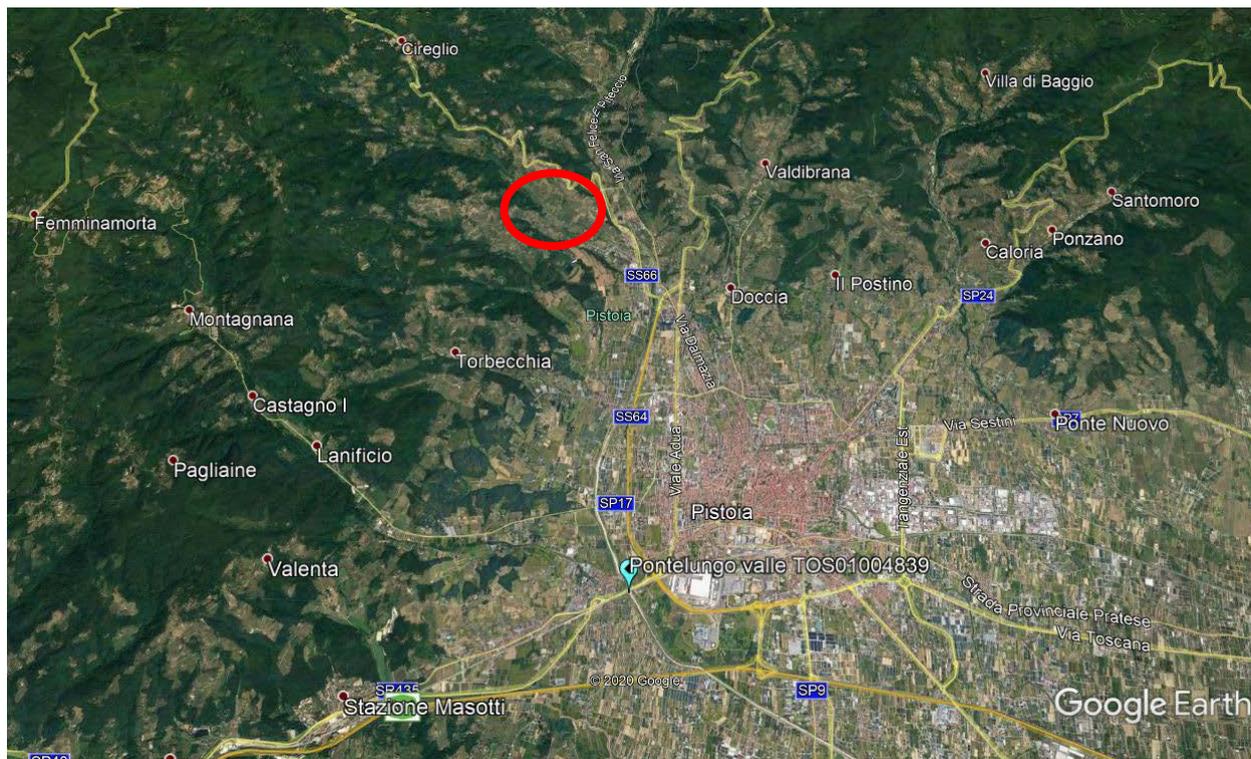


Figura 5 – Individuazione stazione pluvio-idrometrica

Per la registrazione dei dati atmosferici di temperatura, è stata prevista in prossimità del coronamento della diga **una stazione di misura meteorologica**.

La strumentazione è costituita principalmente da due elementi fondamentali:

- la stazione base;
- il gruppo di sensori di rilevamento e misura.

I sensori raccolgono le informazioni meteo e le trasmettono alla stazione base. Il trasferimento avviene via radio o via cavo direttamente al display e al Pc a cui essa è collegata.

In questo modo la stazione meteorologica digitale consente la memorizzazione in tempo reali dei dati raccolti e rende possibile una previsione per varie ore o consente al software di analizzare e comparare le variazioni meteorologiche attraverso grafici e diagrammi per un periodo prolungato.



Figura 6 – Esempio di stazione Metereologica

Il livello idrometrici dell'acqua invasata all'interno dell'invaso artificiale, e il relativo volume idrico, verrà rilevato impiegando sia un asta idrometrica che verrà posta lungo il paramento di monte, sia da una cella di pressione ventilata che permetterà di misurare: livello dell'acqua pressione dell'acqua, temperatura dell'acqua sul fondo.

In caso di eventi di idrologici di particolare importanza (venti di piena significativi) i livelli di invaso vengono registrati ogni **15 minuti**, i dati vengono registrati su apposito registro così come il livello al colmo raggiunto durante l'evento e saranno sempre consultabili in diretta dalla sede di telecontrollo aziendale.



Figura 7 – Esempio di cella di pressione

3.2 PIEZOMETRI

I piezometri sono strumenti che vengono impiegati per la misura diretta o indiretta (a seconda della tipologia dello strumento) della quota piezometrica di una massa liquida nel sottosuolo.

Attualmente non sono presenti piezometri attivi

Gli strumenti che saranno impiegati per il monitoraggio della Diga Giudea di Gello dopo la costruzione saranno costituiti da n° 6 piezometri tipo Casagrande e da n° 6 piezometri a tubo aperto posti in parallelo rispetto ai precedenti. Il posizionamento in coppia dei due tipi di strumenti consentirà sia una migliore accuratezza della misura della linea di saturazione del corpo diga sia la validazione e il controllo della correttezza della misura.

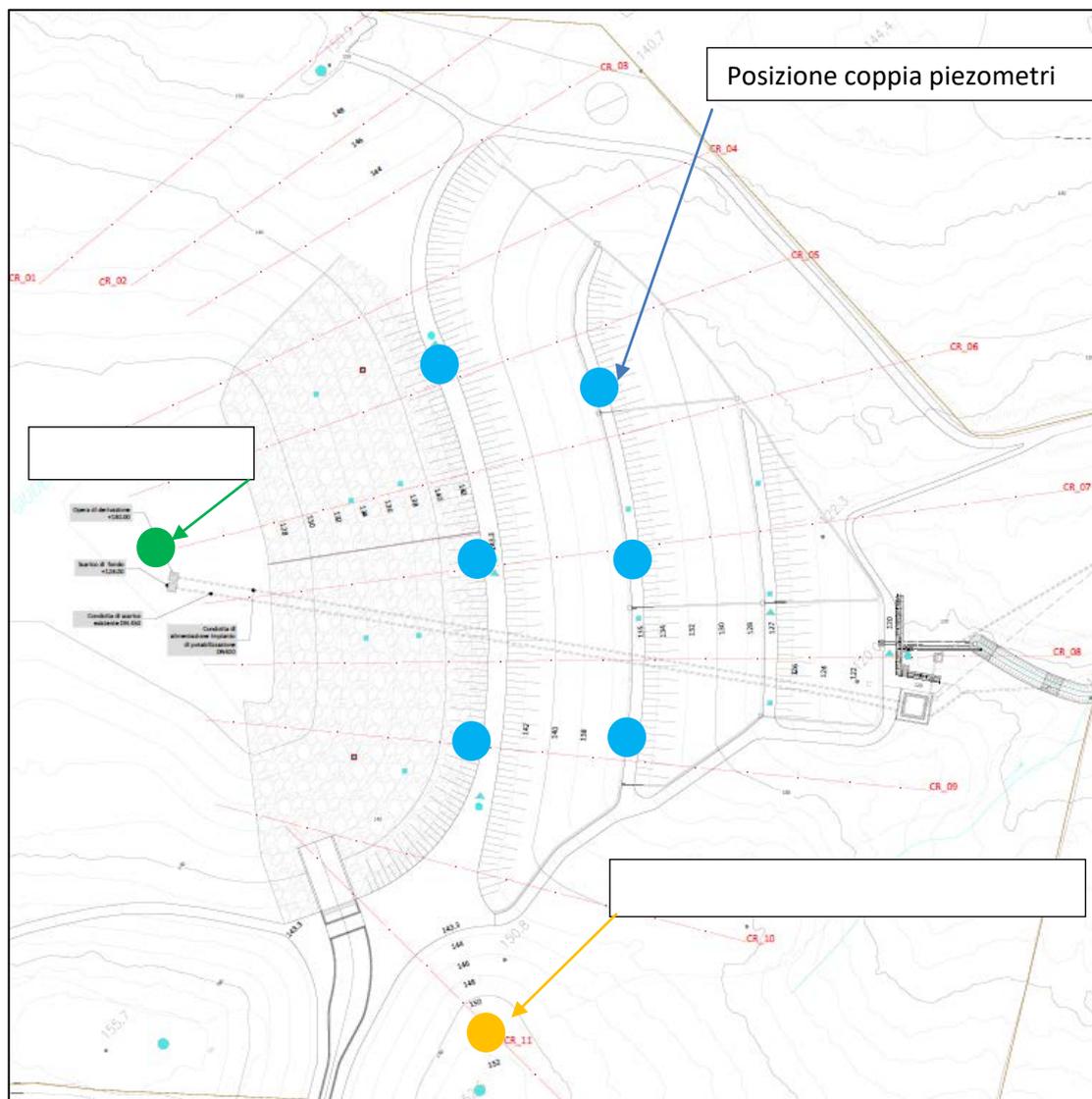


Figura 8 – Planimetria ubicazione piezometri corpo diga

Entrambi i tipi di piezometri sono costituiti da una serie di tubi collegati fra loro ed inseriti nel terreno all'interno di un foro di sondaggio.

I piezometri a tubo aperto alla base del tubo sono dotati di uno o più tubi fessurati che consentono all'acqua di entrare e risalire nella tubazione attraverso il filtro di sabbia e ghiaietto ottenuto riempiendo l'intercapedine tra il tubo e le pareti del foro.

Il **piezometro Casagrande** viene solitamente utilizzato per le misure freatiche in terreni mediamente permeabili; alla base della tubazione è posto un elemento filtrante isolato dal resto del foro: in tal modo verrà rilevata la pressione dell'acqua nello strato in cui è installata. La misura del livello dell'acqua all'interno dei piezometri a tubo aperto e di Casagrande viene comunemente effettuata mediante il freaticometro elettrico in caso di necessità potrà essere collegato ad una centralina di acquisizione dati in continuo.

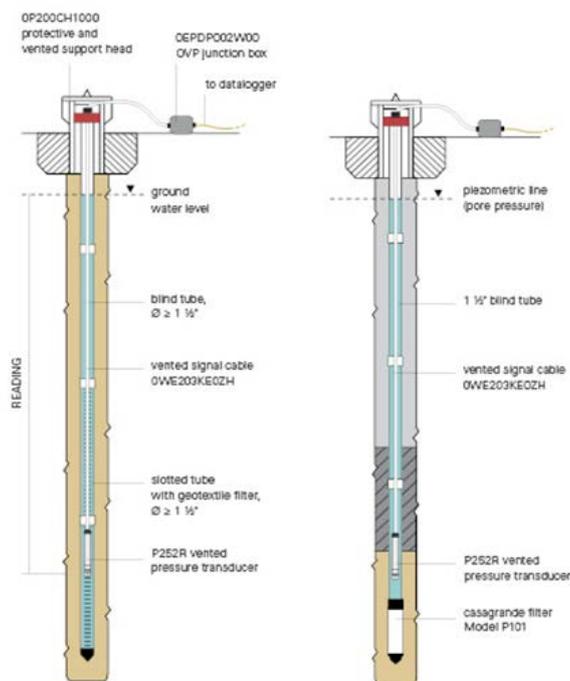


Figura 9 – Piezometro a tubo aperto (a sinistra) e Piezometro Casagrande (a destra)

Caratteristiche tecniche

Modello	Casagrande
Diametro Esterno Filtro	55 mm
Lunghezza Filtro	250 mm
Porosità	20 μ (altre porosità disponibili su richiesta)
Attacchi filtro	n. 2 da 1/2" gas
Tubi	PVC
Lunghezza tubi	3 mt
Filettatura tubi	M-M gas da 1/2" gas con manicotto F-F
Modello	Tubo aperto
Tubo	PVC con scanalature longitudinali
Diametro Tubo	1" e 1 1/2
Lunghezza tubi	M-M gas gas con manicotto F-F
Larghezza fessure	0,5 mm. Possibile rivestimento in geotessuto
Tappo di fondo	PVC

Figura 10 – Caratteristiche tecniche piezometri. Fonte Pizzi Instruments

I 6 punti di misura sono posti 3 sul coronamento e 3 sulla prima banca intermedia. La misurazione verrà condotta con cadenza **settimanale** mediante la registrazione dei livelli in un'opportuna centralina elettrica di controllo e registrazione dei dati rilevati e comunque a seguito eventi sismici significativi.

3.3 CONTROLLO PERDITE

La quantità delle perdite è funzione del livello idrico nel bacino artificiale e dipende dalle caratteristiche e dal comportamento della diga. **Andando quindi a misurare la quantità delle perdite si ottiene un buon indicatore delle condizioni strutturali e di funzionamento della diga.**

Le perdite sono valutate mediante l'utilizzo dei drenaggi presenti alla base del corpo diga, le acque drenate sono convogliate fino al punto più depresso della vasca di raccolta munita di stramazzo per la misura della portata e torbidimetro.

Lo scopo principale dello stramazzo è quello di trasformare un valore di livello idrico in una misura di portata istantanea del canale a cui è applicato. Lo stramazzo causa una variazione del livello idrico nella vasca a monte direttamente proporzionale alla variazione di portata. La misura viene effettuata attraverso un trasduttore di livello o di pressione.

La strumentazione per la misura delle portate è composta da:

- una vasca di calma;
- uno stramazzo di sezione nota (triangolare, rettangolare o altro);

Oltre alla misurazione della portata di filtrazione viene monitorata anche la qualità dell'acqua da un punto di vista di contenuto di solidi presenti in essa.

La torbidità risulta infatti fondamentale per evidenziare possibili trasporti di materiale solido che costituisce il paramento da parte delle acque di filtrazione. La misura viene condotta mediante il prelievo, dall'acqua che stramazza a valle del dreno, di un campione liquido ed analizzato mediante il torbidimetro in dotazione al gestore della Diga. Il rilevamento verrà condotto con cadenza **settimanale** tuttavia, in caso di anomalie nei dati registrati, verranno effettuate misure più ravvicinate con cadenza giornaliera o ogni **12 ore**.

3.4 CONTROLLO DEGLI SPOSTAMENTI PLANO-ALTIMETRICI DELLA STRUTTURA DI SBARRAMENTO

Il controllo degli spostamenti viene effettuato con rilievo topografico semestrale di 24 capisaldi ubicati fra coronamento (monte e valle) e banca, utilizzando 4 punti fissi situati sulle spalle della diga.

Per effettuare il rilievo viene impiegato una stazione totale che permette di memorizzare i punti da monitorare e quando viene posizionata sul pilastrino dopo pochi minuti è in grado di battere i punti già prefissati nel primo rilievo. Permette di effettuare la misura dello spostamento relativo di più punti disposti lungo diversi allineamenti. I punti da controllare sulla diga vengono invece materializzati da pilastrini poggianti su micropali su cui verrà poi applicata la mira in fase di misura.

Il punto di posizionamento, detto stazione, del cannocchiale di misura e della mira fissa sarà posto su un'opportuna piattaforma in calcestruzzo, fondata su pali, ai lati del coronamento della diga. Il punto di collimazione è stato scelto in modo da ritenersi esente da possibili spostamenti e variazioni altimetriche della struttura di ritenuta, oltre al suddetto punto fisso altri 4 vengono posti sulle spalle, su pilastrini fondati su micropali in calcestruzzo. Le mire mobili di collimazione, posizionate su dei pilastrini fondati su micropali in calcestruzzo, sono poste in corrispondenza del coronamento della diga e lungo la banca intermedia sul paramento di valle.

Il pilastrini in cui saranno posizionate le mire di misura sono in numero pari a **23**, posti rispettivamente:

- N° **13** sul coronamento della diga.
- N° **10** lungo il corpo della diga, lato valle.

Specifiche tecniche minime

- 1) Deviazione standard ISO-17123-3
- 2) Deviazione standard ISO-17123-4
- 3) Coperto, nessuna foschia, visibilità 40 km, no riverbero,
- 4) Portata fino a 1000 m, riflettore GPH1P
- 5) Oggetti in ombra, cielo coperto, Scheda Grigio Kodak (rifless. 90%)
- 6) Distanza > 500 m 4 mm+2 ppm

Interventi di adeguamento della diga di Giudea a Gello nel Comune di Pistoia (PT)

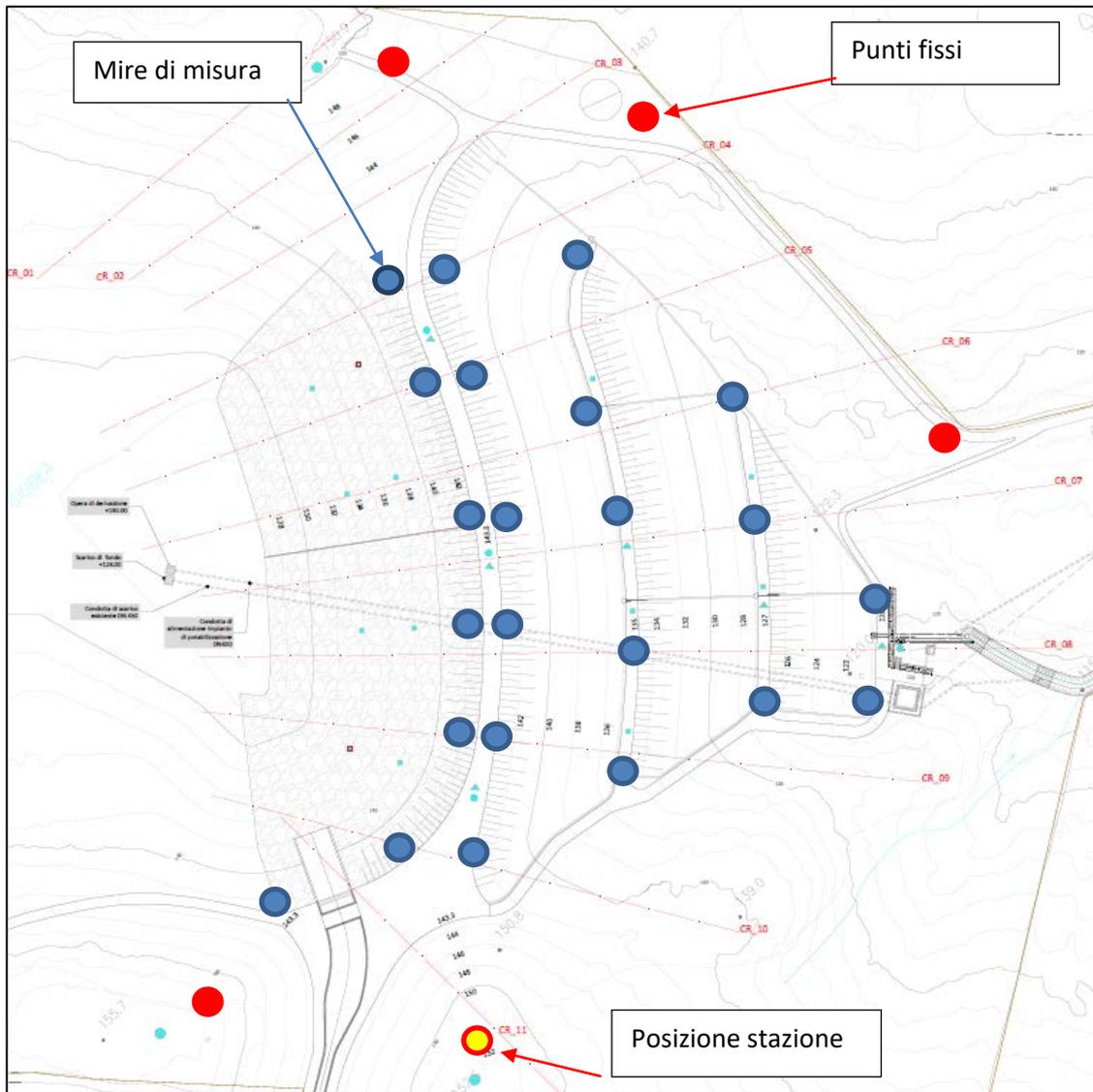


Figura 11 – Stazione totale



Figura 12 – Stazione totale

3.5 CONTROLLO DEGLI SPOSTAMENTI PLANO-ALTIMETRICI DELLA SPONDA SINISTRA

Il controllo degli spostamenti viene effettuato con rilievo topografico semestrale di 6 capisaldi ubicati sulla sponda sinistra sempre utilizzando i punti fissi e la posizione della stazione totale del controllo degli spostamenti dello sbarramento.

fra coronamento (monte e valle) e banca, utilizzando 4 punti fissi situati sulle spalle della diga.

Per effettuare il rilievo viene impiegato una stazione totale che permette di memorizzare i punti da monitorare e quando viene posizionata sul pilastrino dopo pochi minuti è in grado di battere i punti già

Le misure vengono effettuate con cadenza **semestrale** e comunque a seguito eventi sismici significativi (riferimento).

3.6 CONTROLLO SCARICO DI FONDO

Gli scarichi di fondo sono dei manufatti di vitale importanza per l'utilizzazione e la gestione degli invasi. La garanzia dell'efficienza di tali organi di manovra è infatti fondamentale per la sicurezza e il funzionamento dell'impianto stesso, oltre che per la sicurezza idrogeologica delle aree poste a valle in occasione di piene significative.

Le loro principali funzionalità in corrispondenza degli eventi di piena riguardano il soddisfacimento delle seguenti esigenze:

- garantire la funzionalità degli scarichi di fondo a fronte dei fenomeni di interrimento;
- ricostituire il trasporto solido a valle degli sbarramenti;
- modulare le condizioni di deflusso a valle degli sbarramenti, ricorrendo alle possibilità di laminazione dell'invaso.

Ne risulta quindi di estrema importanza il loro corretto ed ottimale funzionamento nei casi in cui se ne richieda la loro apertura. Per tali motivi risulta necessario predisporre periodicamente, con cadenza **mensile**, un controllo della regolare funzionalità, il controllo sarà effettuato anche a seguito eventi sismici significativi (riferimento).

Il controllo dello scarico di fondo è finalizzato all'analisi visiva e tecnica dello stato strutturale e funzionale del suddetto manufatto di evacuazione delle portate liquide.

La verifica consiste in un test controllato che implica le seguenti operazioni:

- 1 Apertura graduale della valvola dello scarico di fondo, con una velocità di circa XXX m/s, fino a totale apertura del manufatto per rilasciare la massima portata a valle.
- 2 Mantenimento dello scarico di fondo aperto per un tempo pari a XXX minuti.
- 3 Chiusura graduale della valvola dello scarico di fondo, con una velocità di circa XXX m/s, fino a totale interruzione della portata di rilascio.

Durante le fasi 1 e 3 dovranno essere verificati la tenuta e l'integrità del sistema oleodinamico che consente la movimentazione degli organi mobili di apertura e chiusura della valvola di scarico.

Durante tutte e tre le fasi del test di controllo verrà inoltre monitorata a valle del manufatto la portata rilasciata e le relative variazioni idrometriche dei livelli liquidi del bacino di invaso. Tutte le manovre saranno effettuate adottando ogni cautela al fine di determinare un incremento graduale delle portate rilasciate a valle, e comunque sempre nel rispetto del Documento di Protezione Civile.

Prima dell'apertura e dopo la chiusura dello scarico sarà inoltre condotta un'ispezione visiva del condotto di scarico, al fine di evidenziare sia l'integrità strutturale delle pareti interne e dei manufatti presenti, sia di rilevare la presenza di possibili corpi estranei trasportati dallo scarico che potrebbero provocare danneggiamenti o ostruzioni al suddetto manufatto.

3.7 TOLLERANZE TECNICHE DI MISURA AMMISSIBILI PREVISTE

Grandezza Misurata	Tolleranza ammissibile
Temperatura	$\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$
Pluviometria	$\pm 10 \%$ della misura
Livello di invaso (idrometro ad ultrasuoni)	$\pm 1 \text{ cm}$
Livelli Piezometrici	10 cm
Perdite	$\pm 0.05 \text{ l/s}$
Spostamenti altimetrici	$\pm 1 \text{ mm}$

Tabella 3 – Tolleranze di misura ammissibili

In caso di fuori servizio il tempo T previsto per il ripristino della strumentazione di controllo (sia per misure ordinarie che misure di controllo in occasione di fenomeni sotto osservazione) è:

Tipo di misura o strumento	T
Pluviometria	10 gg
Livello di invaso (idrometro ad ultrasuoni)	15 gg
Livelli Piezometrici	10 gg
Perdite	10 gg
Spostamenti altimetrici	60 gg

Tabella 4 – Tempi di ripristino per

3.8 EVENTI SISMICI SIGNIFICATIVI E AZIONI CONNESSE

Per valutare la “significatività” di un evento sismico si fa riferimento alla curva di regressione $D=f(M)$ così definita (D = distanza della diga dall’epicentro in km; M = magnitudo del sisma, gradi della scala Richter):

M	4	5	6	7	8
D (km)	25	50	80	125	200

Tabella 5 – Valori stimati per la curva $D=f(M)$

Ciò premesso, si definisce significativo ogni evento sismico:

- avvertito direttamente in diga
- caratterizzato da una magnitudo (M_0) e da una distanza epicentro-diga (D_0) tali che il punto (M_0D_0) risulti ubicato **non al di sopra** della curva di riferimento $D=f(M)$.

La valutazione di significatività di ciascun evento sismico è effettuata direttamente dal Gestore, previa acquisizione dei parametri M_0 e D_0 da fonti ufficiali (IGNV, Protezione Civile,...). L’Ufficio Periferico di Firenze del Registro Italiano Dighe ha comunque la facoltà di richiedere un’asseverazione straordinaria indipendentemente dalla significatività dell’evento.

A seguito di eventi sismici, come prima definiti, il Gestore:

- effettuerà con immediatezza un sopralluogo sullo sbarramento e sulle sponde;
- acquisirà ex-novo le misure essenziali per la sicurezza (spostamenti piano altimetrici e freaticimetrie);
- verificherà la funzionalità degli organi di scarico;
- invierà all’Ufficio Periferico una asseverazione straordinaria appena possibile.