






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



PROGETTO DEFINITIVO

Tavola/Elaborato: ET.04b	Nome Elaborato: RELAZIONE GEOMORFOLOGICA	Scala: -
		Data: 01/04/2022

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

Rev.	Data	Descrizione / Motivo della revisione	Redatto	Controllato / Approvato
03	01/04/2022	Terza Emissione	Fiaschi / Ferri	Settesoldi
02	09/09/2020	Seconda Emissione	Fiaschi / Ferri	Settesoldi
01	27/12/2019	Prima Emissione	Fiaschi / Ferri	Settesoldi

Proprietà riservata. Vietata la riproduzione e la diffusione

Interventi per l'incremento della sicurezza della diga di Giudea a Gello – Comune di Pistoia (PT)

ET.04Abis - Relazione geomorfologica – modifica a seguito dell'interlocuzione istruttoria del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Dipartimento per le Infrastrutture, i Sistemi Informativi e Statistici - Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche – Divisione 4 Coordinamento istruttorie progetti e vigilanza lavori del 19/06/2020 e del parere del 27/07/2021 (registro ufficiale U.0015609)

INDICE

1	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	2
1.1	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	2
1.2	GEOMORFOLOGIA DI DETTAGLIO.....	2

1 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

1.1 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

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.

Osservando le cartografie comunali e regionale di carattere geomorfologico, 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%.

1.2 GEOMORFOLOGIA DI DETTAGLIO

Nell'agosto 2020 è stato eseguito un rilievo geomorfologico di dettaglio dell'area in studio. In aggiunta a ciò, è stata eseguita una fotointerpretazione multitemporale del sito analizzando i seguenti fotogrammi messi a disposizione dalla Regione Toscana:

- Fotogramma c0486_001_952 del 06/08/1988
 - Volo CGR SPA Parma - Quota 2000 m
- Fotogramma c0485_002_511/512 e 513 del 04/10/1989
 - Volo CGR SPA Parma - Quota 2800 m
- Fotogramma c0469_001_3476/3477/3450 e 3451 del 13/04/1990
 - Volo CGR SPA Parma - Quota 1400 m
- Fotogramma c0510_006a/b_1148/1150/1152/1188/1190 e 1192 del 06/10/1993 (Fig. 1)
 - Volo CGR SPA Parma - Quota 5000 m
- Fotogramma c0567_007b_544/546/548 e 550 del 19/06/1995
 - Volo ALI TOSCANE - Quota 5000 m
- Fotogramma c0634_022b_1242 e 1243 del 22/04/1998 (Fig. 1)
 - Volo AVIORIPRESE - Quota 1100 m
- Fotogramma c0810_019_186/186/187/204 e 205 del 13/10/2007
 - Volo IAS - Quota 1100 m

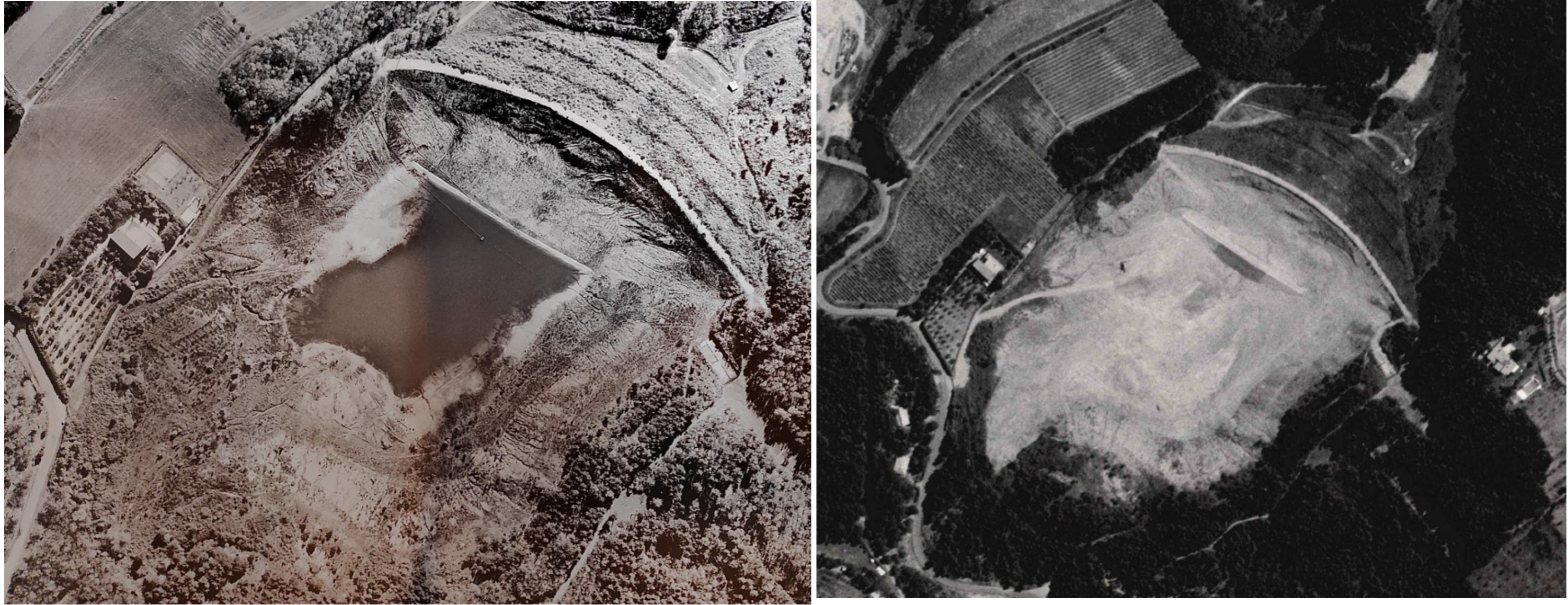


Fig. 1 – A sinistra fotogramma aereo del 1998, a destra fotogramma aereo del 1993

Per quanto riguarda il quadro geomorfologico di area vasta, esterno al bacino della Giudea, esso non risulta coerente con quanto indicato nella cartografia a supporto del vigente P.S. comunale e del Database Geomorfologico della Regione Toscana (vedi Tav. GEO.02). In particolare, dai rilievi geomorfologici eseguiti non risulta la presenza delle frane quiescenti lungo il versante esterno Sud-Ovest. Nello stesso versante sono state rilevate delle erosioni incanalate per rivoli.

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 sono verificati, 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 (Fig. 2).

In particolare, per quanto riguarda il paramento di monte siamo in presenza di una frana quiescente stabilizzata (a seguito di interventi antropici) che interessa approssimativamente tutto il versante antropico di monte con una lunghezza al coronamento di circa 260 ml. Il complesso franoso è costituito da più nicchie di scivolamento rotazionale che si sono venute a formare a partire dal 1990, hanno interessato il bordo interno del coronamento e che sono proseguite nel corso degli anni fino a raggiungere una parziale stabilità (quiescenza) a partire dal 1993/1994 in concomitanza con la realizzazione degli interventi di bonifica al piede del versante (riprofilatura e realizzazione della tura).

Il Prof. Colombo nella relazione tecnica del 1990 a supporto del progetto di massima per il consolidamento della diga descriveva tale movimento franoso come segue:

Durante lo svuotamento dell'esate 1990, il paramento interno, a partire dal bordo interno del coronamento a quota m l m 150,06 ha manifestato dei cedimenti che si sono sempre più accentuati al proseguire dello svuotamento stesso, con formazione di alcuni cretti longitudinali lungo l'asse del coronamento sul manto bituminoso. Il movimento di scoscendimento ha interessato tutto il paramento interno della diga per una lunghezza di circa 260 m rispetto alla lunghezza totale del coronamento di 296 m. Si è creato quindi un'ampia nicchia a partire dall'alto; mentre sulla parte del paramento interno in prossimità del minimo invaso utile si è manifestato un'ampio rigonfiamento a quota m.l.m. 134; in prossimità di questo la lunghezza orizzontale del movimento, ove il materiale si è seduto risulta di circa 138 m.

Le cause del dissesto potranno essere più dettagliatamente descritte quando saranno state effettuate le indagini geognostiche e geotecniche previste.

Tuttavia di massima si può affermare che le cause vanno ricercate nella concomitanza di 2 fattori: la notevole scarsa permeabilità del materiale che compone il paramento interno della diga, e gli svuotamenti totali, rapidi e ripetuti cui la diga è stata sottoposta in 20 anni.

La suddetta descrizione è confermata anche nello studio del Prof. Ing. Giuseppe Baldwin del 1995 a supporto del progetto esecutivo di intervento per il ripristino funzionale per l'aumento della capacità e per l'adeguamento del D.M. 24/03/1982 n.44 in cui si dichiara quanto segue:

I dissesti sono stati ampiamente analizzati nelle relazioni del prof. P.Colombo, alle quali si rimanda per una disamina completa.

Interventi per l'incremento della sicurezza della diga di Giudea a Gello – Comune di Pistoia (PT)

ET.04Abis - Relazione geomorfologica – modifica a seguito dell'interlocazione istruttoria del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Dipartimento per le Infrastrutture, i Sistemi Informativi e Statistici - Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche – Divisione 4 Coordinamento istruttorie progetti e vigilanza lavori del 19/06/2020 e del parere del 27/07/2021 (registro ufficiale U.0015609)



Fig. 2 - Estratti delle ortofoto scattate sopra il bacino della Giudea nel 1978 (post-operam – foto sopra) e nel 1998(post-franamento e realizzazione della tura al piede di monte dello sbarramento – foto sotto). Fonte Geoscopio – Regione Toscana

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 invaso massimo di circa 65.000 m³.

La suddetta tura è stata realizzata utilizzando parte dei terreni franati e parte di quelli derivanti dal rimodellamento della porzione di paramento di monte franata nel 1990.

Alla luce di tutte le indagini geognostiche e geofisiche eseguite dal 1990 ad oggi, non è possibile definire una superficie di scivolamento certa che discrimini la parte franata dal terreno in posto e conseguentemente permetta di definire un volume certo di terreno franato.

Già nella documentazione del Prof. Colombo (1990) e del Prof. Ing. Baldwin 1995 non viene definita alcuna superficie di scivolamento certa, ovvero evidenziata dalle risultanze delle indagini geognostiche eseguite. In particolare, nella relazione del Prof. Ing. Baldwin del 1995 si riporta quanto segue:

Non è stato comunque individuata la superficie di scorrimento della frana, mentre è stato riconosciuto dall'esame delle carote, il passaggio tra i materiali del rilevato ed i terreni di fondazione.

Con una trincea (T12) si è cercato anche di individuare la superficie di scorrimento dello scoscendimento, che ha interessato il rilevato diga, senza tuttavia riuscire nell'intento.

- **Nei sondaggi del '91 non è stata individuata la superficie di scorrimento della frana, mentre è stato riconosciuto il passaggio tra i materiali del rilevato e i terreni di fondazione.**

Anche le indagini geognostiche e geofisiche che si sono succedute dal 2007 ad oggi non hanno mostrato alcuna presenza di superfici di scivolamento certe. Oltretutto le nuove indagini (dal 2007 ad oggi) sono state eseguite su un paramento completamente rimodellato e che quindi presenta una condizione geomorfologica completamente diversa rispetto al contesto post-frana del 1990. A titolo di esempio si riporta il confronto fra i risultati delle prove penetrometriche eseguite lungo il paramento di monte e quelle eseguite lungo il paramento di valle del corpo diga (Fig. 4). In entrambi i casi si riscontrano valori di resistenza alla punta e resistenza laterale comparabili e quindi associabili a terreni aventi le stesse caratteristiche geotecniche (al netto delle minime differenziazioni litologiche presenti nel corpo diga ed illustrate nel § 3.2 dell'elaborato ET.04a) senza alcuna evidenza di terreni allentati dal fenomeno gravitativo o con caratteristiche geotecniche scadenti associabili alla presenza di un corpo franoso rilevante e relative superfici di scivolamento a resistenza nettamente minore.

Tuttavia, il Prof. Colombo, a conclusione del suo studio 1990 (poi riportato anche nello studio del Prof. Ing. Baldwin del 1995), ha definito una possibile superficie di scivolamento basata su una back analysis di stabilità che ha evidenziato un corpo di frana con uno spessore massimo di circa 10 m che coinvolge l'intero paramento di monte (Fig. 3). Preme sottolineare che tale superficie di scivolamento è figlia di una back analysis e come dichiarato dallo stesso Prof. Colombo e dallo stesso Prof. Ing. Baldwin non presenta alcun riscontro con le risultanze delle prove geognostiche, sia dirette che indirette, eseguite sul corpo diga.

SUOLO	PESO SP. LIMIDO	PESO SP. SATURO	COESIONE	ANGOLO D'ATTR.	PRESS. PORI
No	Kg/mc	Kg/mc	Kg/mq	Grad	
1	2000.00	2100.00	500.00	25.00	.00
2	2000.00	2100.00	1000.00	20.00	.00
3	2100.00	2200.00	.00	30.00	.00
4	2100.00	2200.00	.00	45.00	.00
5	2000.00	2100.00	500.00	25.00	.00

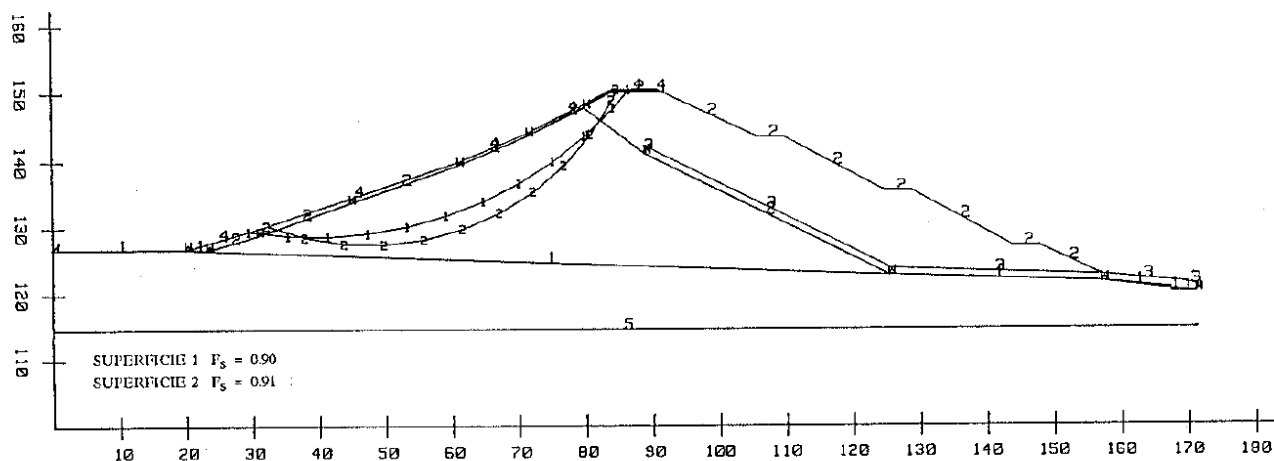


Fig. 3 - Estratti delle ortofoto scattate sopra il bacino della Giudea nel 1978 (post-operam – foto sopra) e nel 1998 (post-franamento e realizzazione della tura al piede di monte dello sbarramento – foto sotto). Fonte Geoscopio – Regione Toscana

In virtù di ciò, e a conclusione di tutte le indagini geognostiche e geofisiche eseguite dal 1990 ad oggi (vedi § 11 e allegati ET.04 C, D, E, F, G ed H), è possibile ipotizzare che il franamento del paramento di monte ha interessato solo scaglie superficiali del terreno del corpo diga associato agli svasi rapidi del bacino ed ha raggiunto una condizione temporanea di stabilità (quiescenza) a partire dal 1994. La superficie di scivolamento individuata dagli studi di back analysis del Prof. Colombo, allo stato attuale delle conoscenze, risulta estremamente cautelativa e non rispondente con le risultanze delle indagini geognostiche e geofisiche susseguitesi dal 1990 ad oggi, come anche evidenziato dagli stessi Prof. Colombo e Baldwin nei loro elaborati. Tuttavia, il progetto attuale, oggetto della presente documentazione si pone come obiettivo, oltre all'asportazione di tutto il materiale franato del paramento di monte (aspetto che potrà essere definito con maggior dettaglio in fase esecutiva o in fase di cantiere), anche la riduzione dell'altezza del corpo diga (circa 7 m) con conseguente riduzione della pendenza dei paramenti di monte e di valle da un valore di circa 1:2 ad un valore di circa 1:3,75. Queste modifiche vanno nella direzione cautelativa auspicata anche nella documentazione del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti nelle varie osservazioni pervenute durante il procedimento istruttorio del progetto definitivo. Inoltre, la pendenza di progetto del paramento di monte (come anche del paramento di valle) sarà di circa 15°, cautelativamente inferiore alla pendenza critica individuata dal Prof. Ing. Baldwin e pari a circa 20° (con coesione di circa 0,2 Kg/cm²). Comunque, se in fase esecutiva o in fase di cantiere emergessero condizioni o evidenze geomorfologiche/geotecniche che definiscono un quadro geomorfologico/geologico tecnico non compatibile con alcuni aspetti progettuali, i medesimi aspetti verranno modificati in coerenza con il quadro geomorfologico/geotecnico evidenziato. Ricordiamo nuovamente che allo stato attuale delle conoscenze non è possibile definire con certezza una superficie di scivolamento e conseguentemente una volumetria certa del corpo di frana. Tale aspetto è in

Interventi per l'incremento della sicurezza della diga di Giudea a Gello – Comune di Pistoia (PT)

ET.04Abis - Relazione geomorfologica – modifica a seguito dell'interlocuzione istruttoria del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Dipartimento per le Infrastrutture, i Sistemi Informativi e Statistici - Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche – Divisione 4 Coordinamento istruttorie progetti e vigilanza lavori del 19/06/2020 e del parere del 27/07/2021 (registro ufficiale U.0015609)

coerenza con quanto indicato dal Prof. Colombo e dal Prof. Ing. Baldwin nei loro studi del 1990 e del 1995 al netto della definizione di una superficie di scivolamento, effettuata dal Prof. Colombo e confermata dal Prof. Baldwin, figlia di una modellazione in back analysis e che come indicato da entrambi i professori nei loro elaborato, non ha mostrato alcun riscontro, in termini di superficie di scivolamento con quanto è emerso dalle risultanze delle indagini geognostiche eseguite.

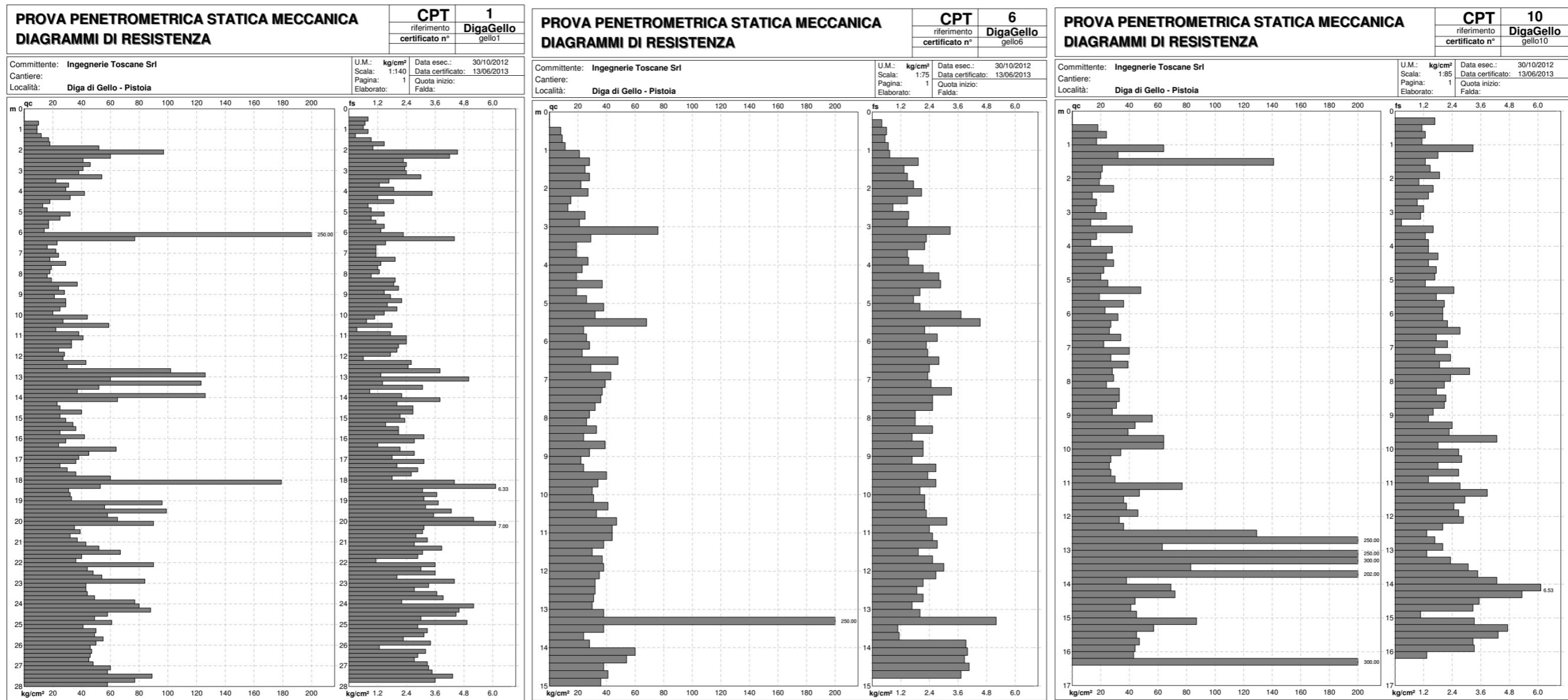


Fig. 4 – Confronto fra prove penetrometriche eseguite sul corpo diga. CPT 1 eseguita sul coronamento del corpo diga, CPT 6 eseguita lungo il paramento di monte e CPT 10 eseguita lungo il paramento di valle. Indagini del 2012

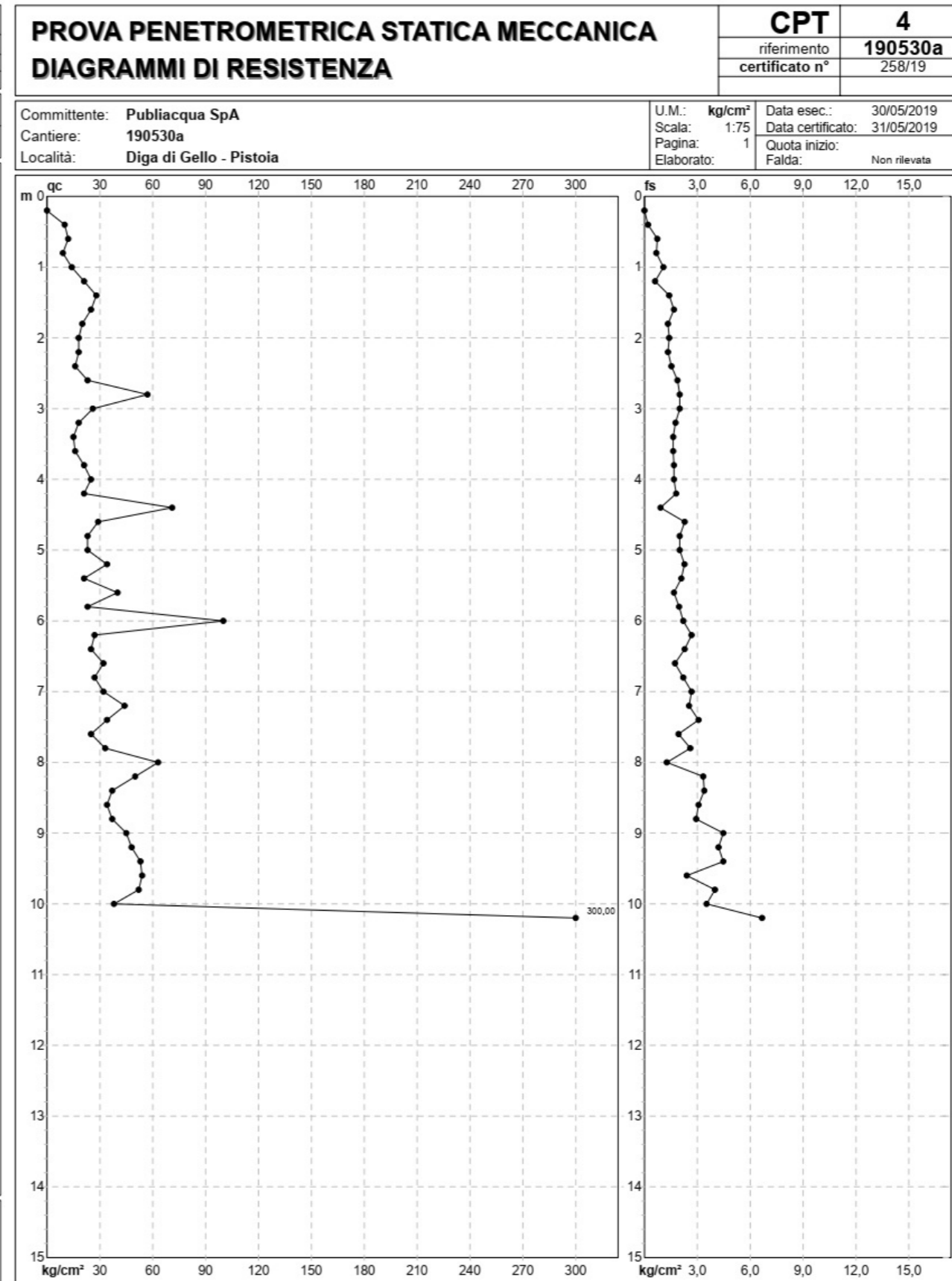
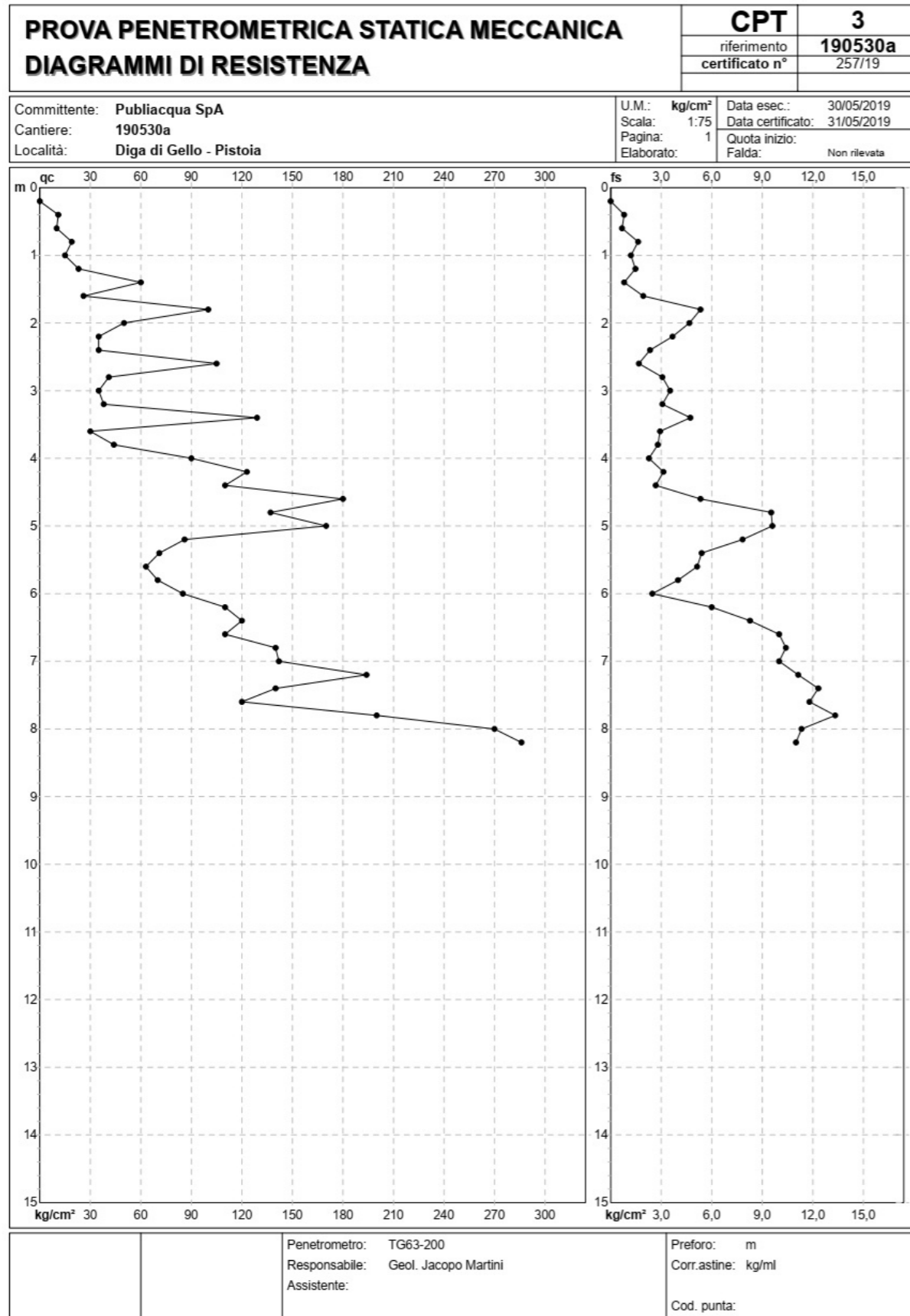


Fig. 5 – Risultati delle prove penetrometriche CPT 3 e CPT 4 eseguite nel 2019 lungo la sponda sinistra dell'invaso

Per quanto riguarda la sponda sinistra, la situazione risulta più complessa in quanto al corpo di frana rilevato nella campagna d'indagine del 1991 si aggiungono ampie aree adiacenti al suddetto che mostravano segni di potenziale instabilità con possibili fenomeni di scivolamento superficiale. Il corpo di frana si è sviluppato, come indicato dallo studio del Prof. Ing. Baldwin del 1995, nell'autunno del 1990 ed ha visto come causa scatenante la rottura di una tubazione a monte della scarpata. Nel documento del Prof. Ing. Baldwin è riportata la seguente descrizione:

Nell'invaso, in sponda sinistra poco a monte dell'argine, si è sviluppato nell'autunno '90 uno scivolamento rotazionale che ha in parte messo a nudo il substrato. La zona coinvolta ha una larghezza di circa 50 m tra le quote 140 e 155 m s.m. e presenta all'intorno fenomeni di erosione regressiva. Fenomeni di erosione superficiale di circa 60-70 m di larghezza interessano sempre la sponda sinistra tra la frana segnalata e il podere Giudea. L'erosione pare imputabile sia all'elevata pendenza della pendice in quel tratto, sia a perdite d'acqua concentrate provenienti dalla rottura di una tubazione.

Il dissesto ha coinvolto solo la facies alterata (cappellaccio) della formazione argilloscistosa (Complesso eterogeneo) di base.

Allo stato attuale e a seguito del rilievo geomorfologico e della fotointerpretazione multitemporale (1988 – 2007 – vedi sopra per l'elenco dei fotogrammi utilizzati) è stato possibile evidenziare, per la sponda sinistra, la presenza di segni di attività nella porzione centrale dalla strada di monte fino alla base del versante. Le altre porzioni del versante a Nord e a Sud della zona attiva mostrano segni di quiescenza senza evidenze di instabilità attiva. Le indagini geognostiche e geofisiche eseguite hanno mostrato una stratigrafia caratterizzata da tre orizzonti:

- Un primo orizzonte di materiale franato/allentato a componente prevalentemente coesiva (argilla limosa) dello spessore massimo di circa 3 m.
- Un secondo orizzonte costituito dal substrato argilloscistico alterato (cappellaccio)avente uno spessore medio di circa 12/13 m.
- Un terzo orizzonte costituito dal substrato in posto (con basso grado di alterazione decrescente con la profondità) con velocità delle onde Sh superiori agli 800 m/sec. Tale assetto è confermato anche dalle prove penetrometriche e dalle indagini geofisiche eseguite lungo la sponda sinistra (Fig. 6)

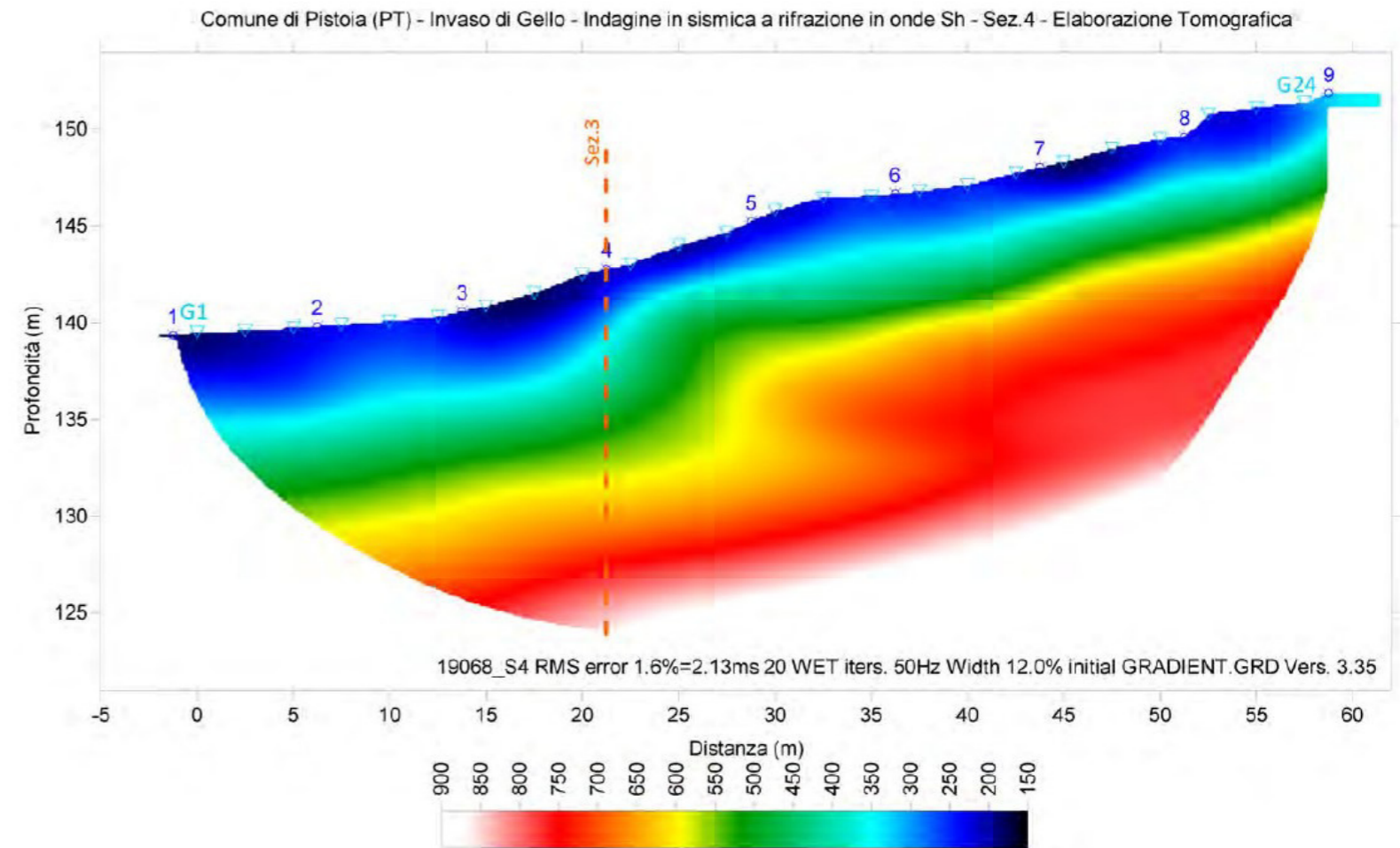
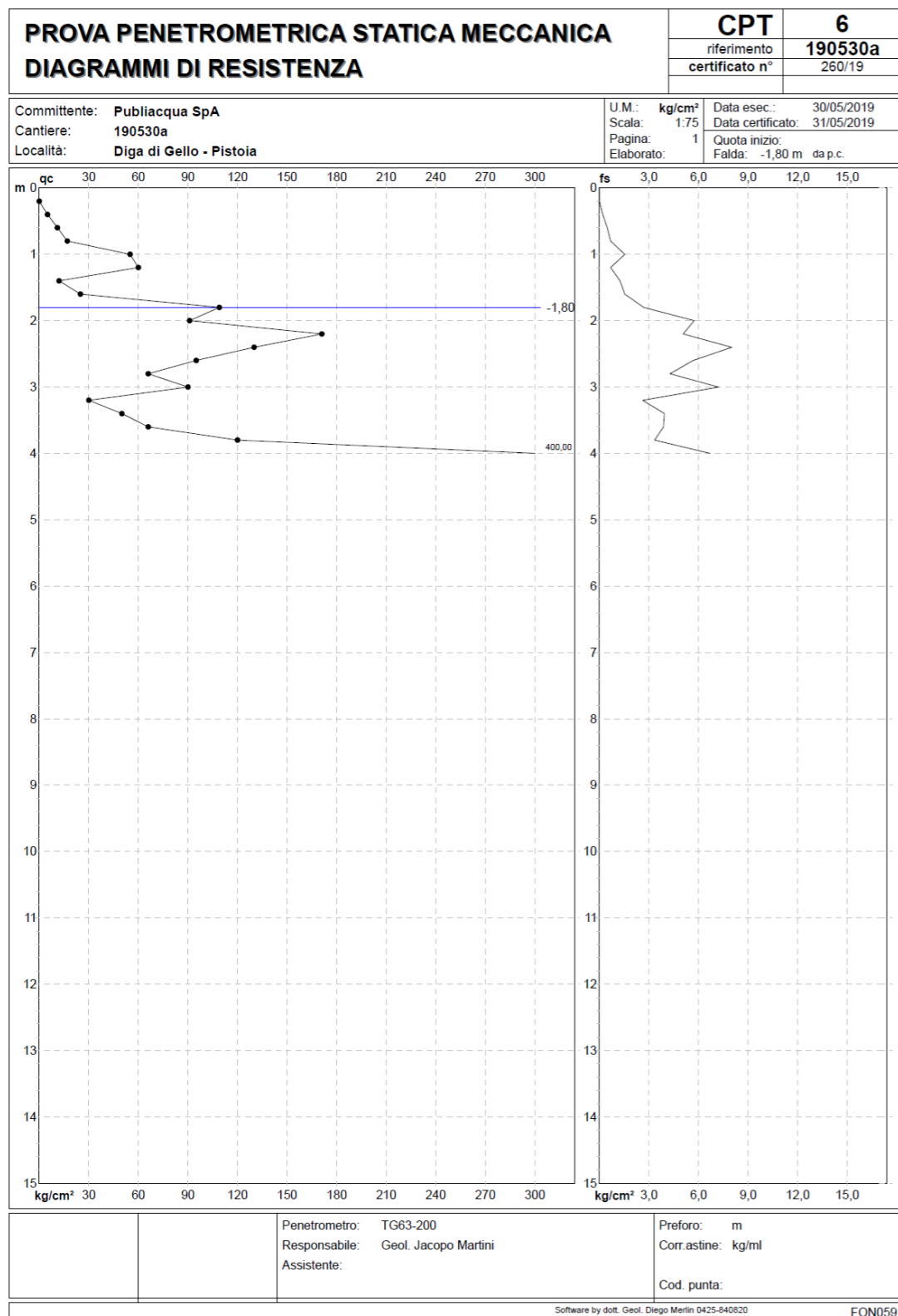


Fig. 6 – A sinistra risultanza della prova penetrometrica statica CPT6 lungo la sponda sinistra. A destra risultanza dell'indagine sismica e rifrazione onde S lungo la sponda sinistra

Le indagini geognostiche eseguite nel 2019 e i campioni prelevati e sottoposti a prove geotecniche di laboratorio nel 2020 hanno permesso di definire i seguenti parametri caratteristici:

- Corpo di frana
 - Coesione residua C' – 0 kPa (cautelativa)
 - Coesione non drenata CU – 40 kPa
 - Angolo di taglio residuo - 14.3°
- Substrato alterato
 - Coesione C' – 22 kPa
 - Coesione non drenata – 100 kPa
 - Angolo di taglio – 23,4°
- Substrato
 - Coesione C' - 24 kPa
 - Coesione non drenata – 150 kPa
 - Angolo di taglio - 23,6°

La scelta dei suddetti parametri si è basata sui risultati delle indagini geognostiche eseguite dal 1991 ad oggi. In particolare, per il corpo di frana sono stati presi a riferimento i risultati delle prove geotecniche di laboratorio eseguite sui campioni prelevati a settembre 2020, per quanto riguarda la coesione e l'angolo di attrito residuo mentre per la coesione non drenata si è fatto riferimento ai valori stimati dalle prove penetrometriche statiche eseguite sulla sponda sinistra. Stessa cosa riguarda la coesione non drenata e drenata del substrato alterato, stima basata sui risultati delle prove penetrometriche statiche eseguite sulla sponda sinistra. Tali valori sono stati naturalmente confrontati con i risultati delle indagini geognostiche e geotecniche eseguite sui terreni alla base del corpo diga. Per quanto riguarda invece il substrato non alterato si è fatto riferimento alle prove che hanno intaccato il substrato geologico alla base del corpo diga in quanto il substrato presente al di sotto del corpo diga è lo stesso che è presente sulla sponda sinistra al di sotto del cappellaccio di alterazione.

Sulla base della presenza della suddetta criticità geomorfologica sono state eseguite le verifiche di stabilità della porzione di versante suddetta al fine di controllare il livello di criticità della stessa.

Per i dettagli sulle verifiche di stabilità suddette, sui parametri geotecnici utilizzati per le suddette verifiche, sugli interventi di messa in sicurezza del versante e sul sistema di monitoraggio delle condizioni geomorfologiche si rimanda agli elaborati ET.07, ET.08, ET.08, ET.10, ET.11, ET.12 ed EG.49.

Per quanto riguarda le venute d'acqua rilevate durante le visite di vigilanza lungo il versante della sponda sinistra, in fase di progettazione esecutiva verranno eseguire dei controlli sulla tubazione di monte così' da verificare eventuali perdite associate alla suddetta tubazione.

Sulle restanti sponde dell'invaso, non sono emerse, né in fase di rilievo geomorfologico né in fase di fotointerpretazione segni di instabilità associabili a corpi franosi quiescenti o attivi. Sono emerse invece segni di erosione superficiale estese sia alla sponda di monte (Nord-Ovest) che alla sponda destra (Sud-Ovest) con locali evidenze di erosione incanalate per rivoli in prossimità delle zone di raccordo fra una sponda e l'altra (oltre che lungo il versante di valle della sponda destra). Sempre lungo la sponda destra e lungo la sponda di monte (Nord-Ovest) sono presenti alcune scarpate d'erosione prevalentemente concentrate lungo la sponda di monte.

Per i dettagli sugli aspetti geomorfologici di dettaglio derivanti dal rilievo geomorfologico e dalla fotointerpretazione e sui dettagli degli aspetti in profondità dei dissesti presenti lungo la sponda sinistra si rimanda agli elaborati GEO.03 e GEO.06.

Interventi per l'incremento della sicurezza della diga di Giudea a Gello – Comune di Pistoia (PT)

ET.04Abis - Relazione geomorfologica – modifica a seguito dell'interlocuzione istruttoria del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Dipartimento per le Infrastrutture, i Sistemi Informativi e Statistici - Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche – Divisione 4 Coordinamento istruttorie progetti e vigilanza lavori del 19/06/2020 e del parere del 27/07/2021 (registro ufficiale U.0015609)