



MINISTERO DELLE  
INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI

# FSC

Fondo per lo Sviluppo  
e la Coesione

## PIANO OPERATIVO FONDO SVILUPPO E COESIONE INFRASTRUTTURE 2014 - 2020

DELIBERE CIPE N. 54 DEL 01.12.2016 / N. 12 DEL 28.02.2018  
C.U.P. E35G18000100007

### CONSORZIO DI BONIFICA "VELIA"

Località Piano della Rocca, 84060 - PRIGNANO CILENTO (SA)

Tel. 0974/837206 - Fax. 0974/837154 - Pec: consorziovelia@pec.it - www.consorziovelia.com

## INTERVENTI PER L'INCREMENTO DELLA SICUREZZA DELLE DIGHE CARMINE E NOCELLITO NEL COMUNE DI CANNALONGA (SA)

**ESECUZIONE DI INDAGINI GEOGNOSTICHE, DI LABORATORIO E INSTALLAZIONE DI  
TUBI INCLINOMETRICI PER IL MONITORAGGIO DEI DISSESTI MANIFESTATI IN  
DESTRA IDROGEOLOGICA DEL CORONAMENTO DELLA DIGA CARMINE**

Elaborato	<b>01</b>	Scala	-	Data	Settembre 2022	Revisione	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6
-----------	-----------	-------	---	------	----------------	-----------	---

Contenuti elaborato	<b>Piano delle indagini</b>
---------------------	-----------------------------

<b>TIPOLOGIA ELABORATO</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Descrittivo	<input checked="" type="checkbox"/> Grafico	<input type="checkbox"/> Calcolo
<input type="checkbox"/> Economico	<input type="checkbox"/> Sicurezza	<input type="checkbox"/> Disciplinare - Contrattuale	<input type="checkbox"/> Altro

<b>PROGETTISTA</b> Velia Ingegneria e Servizi Srl Loc. Piano Della Rocca 84060 PRIGNANO CILENTO (SA) Tel. 0974/837206 fax 0974/837154 - Pec: veliaingegneria@pec.it <b>Ing. Gaetano Suppa</b> Iscritto all'Albo degli Ingegneri di Salerno n. 1854 dal 12.09.1983 Consulente - Waterways Srl	<b>R.U.P.</b> <b>Ing. Giancarlo Greco</b> Iscritto all'Albo degli Ingegneri di Salerno n. 5168 dal 11.09.2006
--	---

Rif. archivio digitale: 43.2021/Ve.Ing.



# Esecuzione di indagini geognostiche, di laboratorio e installazione di tubi inclinometrici per il monitoraggio dei dissesti manifestati in destra idrogeologica del coronamento della diga Carmine

## PIANO DI INDAGINI

### 1. PREMESSA

#### 1.1. Descrizione delle attività

Le attività consistono nell'esecuzione di indagini geognostiche in sito, installazione di tubi inclinometrici e prove di laboratorio finalizzate alla caratterizzazione dello sbarramento della Diga del Carmine. I criteri e l'analisi di dettaglio sono basati su:

- la documentazione disponibile e fornita dal Concessionario;
- le informazioni contenute nei verbali di visita di vigilanza semestrali redatti, a seguito delle visite in sito, dai funzionari dell'Ufficio per le Dighe del Ministero delle Infrastrutture del compartimento di Napoli.
- le analisi e le valutazioni formulate dal Prof. Geol. Pantaleone De Vita nel "Programma di indagini geognostiche e di monitoraggio dei dissesti manifestati in destra idrogeologica del coronamento della Diga del Carmine" nell'ambito della consulenza scientifica riguardante lo "Studio per la comprensione dei dissesti interessanti la diga del Carmine".

### 2. PROBLEMATICHE FESSURATIVE CORONAMENTO DIGA

Nell'ambito della sopracitata consulenza scientifica, il Prof. Geol. Pantaleone De Vita ha effettuato due sopralluoghi alla diga del Carmine in data 17 e 22 agosto 2022 durante i quali ha effettuato rilievi osservazionali, fotografici e aereofotografici mediante l'impiego di un drone.

Dall'esame dei rilievi e delle osservazioni, ha caratterizzato i dissesti ed il quadro fessurativo, così come descritto nei punti seguenti:

- 1) Il tappetino di asfalto della strada che percorre il coronamento è interessato complessivamente da un diffuso quadro fessurativo caratterizzato da lesioni complessivamente ad andamento da parallelo a leggermente obliquo alla direzione di allungamento e con frequenza spaziale da sporadica, nel settore in sinistra idrografica (Fig. 1) a persistente, nel settore in destra idrografica (Fig. 2), per ritornare di nuovo a sporadica nella strada di accesso alla torre di presa, in destra idrografica (Fig. 3).



Fig.1 - Fessurazioni in sinistra idrografica



Fig.2 - Fessurazioni in destra idrografica



Fig.3 - Fessurazioni in destra idrografica, strada accesso alla torre di presa



- 2) Nel settore in destra idrografica, le lesioni descrivono nel loro complesso un andamento arcuato che verrà di seguito dettagliato sulla base dell'analisi delle foto da drone.
- 3) Le lesioni non hanno continuità nelle zanelle e nei cordoli in cls delimitanti la strada che percorre il coronamento. Questi elementi rigidi appaiono non essere interessati da un quadro fessurativo apprezzabile, se non per un punto posto approssimativamente al centro della strada che percorre il coronamento (V9) (Fig. 4), nel quale è stata osservata una lesione nella zanella in cls con continuità nel giunto del cordolo in cls, di apertura millimetrica e senza rigetto tra le parti.



Fig.4 - Fessurazioni cordolo strada coronamento

- 4) Le lesioni sono riconducibili dal punto di vista cinematico come movimenti da trazione, senza spostamento relativo tra le parti, con aperture da millimetriche a centimetriche; queste ultime si manifestano solo nel settore in destra idrografica. Non sono apprezzabili rigetti altimetrici significativi tra i settori giustapposti alle lesioni; essi, pertanto, se presenti, sono contraddistinti da valori millimetrici.
- 5) Nel settore in destra idrografica del coronamento, le lesioni, per la maggiore ampiezza, sono state riempite da bitume per impedire l'infiltrazione dell'acqua. Inoltre, sempre in questo settore, su prescrizione del Servizio Dighe, è stato effettuato uno scavo esplorativo per verificare l'integrità del nucleo in argilla la cui sommità è stata riscontrata alla profondità di circa 1 m dal piano stradale. Infine, in questo settore sono effettuate misure periodiche di spostamento tra le parti giustapposte alle lesioni principali, mediante misure effettuate con calibro rispetto a due chiodi topografici che fungono da caposaldo. Tali misurazioni non hanno evidenziato spostamenti significativi negli ultimi anni.

- 6) Dopo la curva in corrispondenza dell'innesto con la spalla in destra idrografica, il tappetino di asfalto della strada, che conduce alla torre di presa, presenta lesioni di lunghezza metrica in prossimità della linea di mezzeria, ad andamento circa parallelo alla strada stessa (Fig. 3). Anche in questo caso le lesioni sono state sarcite con bitume per impedire l'infiltrazione dell'acqua piovana. In questo settore, un segmento del contenimento in c.a., alto circa 3.0 m, appare aver subito una leggera rotazione verso valle, in corrispondenza di un giunto. Ciò ha comportato un disallineamento in testa di circa 2 cm in testa al muro (Fig. 5).



Fig.5 – Muro di contenimento in c.a, con leggera rotazione verso valle

- 7) Nella parte terminale della strada di accesso alla torre di presa, in corrispondenza della connessione alla passerella in acciaio, il piano stradale presenta lesioni arcuate (Fig. 6) ed è apprezzabile un abbassamento pluricentimetrico dello stesso connesso alla ben evidente disconnessione e rotazione del muro di valle in c.a.



Fig.6 – Fessurazioni in destra idrografica in corrispondenza della connessione alla passerella

Nel settore in destra idrografica della strada che percorre il coronamento, ed in corrispondenza della spalla, il quadro fessurativo appare caratterizzato da una maggiore frequenza spaziale. Inoltre, la maggiore ampiezza dell'apertura nonché l'andamento complessivamente arcuato dell'insieme delle lesioni, potenzialmente indicatori di un fenomeno di instabilità del corpo diga, hanno indotto ad un esame più approfondito basato sull'esame di ortofoto storiche Google Earth, riprese in 5 febbraio 2013, 31 marzo 2016 e giugno 2019 (Fig. 7) e di aereofotografie riprese mediante drone il 17 agosto 2022 (Fig. 8).



Fig.7 – Lesioni su sequenza storica ortofoto Google Earth



Fig.8 – Lesioni su aereofotografie riprese mediante drone



In base all'analisi della suddetta documentazione è stato possibile caratterizzare il quadro fessurativo presente nel settore in destra idrografica della strada di accesso al coronamento, come descritto nei punti seguenti:

- 1) La prima evidenza di lesione è documentata nella ortofoto Google Earth del 5 febbraio 2013, sebbene in maniera limitata dalla bassa risoluzione della fotografia. Pertanto, il fenomeno è da attribuire ad una data antecedente. Nella suddetta ortofoto è apprezzabile solo una lesione principale e l'ubicazione del pozzetto esplorativo, molto probabilmente perché demarcati dalla presenza del bitume di riempimento.
- 2) La successiva ortofoto Google Earth del 31 marzo 2016 mostra una progressione del quadro fessurativo con la comparsa di nuove lesioni sia nel settore in destra idrografica precedente alla spalla che successivo alla stessa.
- 3) L'ortofoto Google Earth del giugno 2019 (giorno non precisato) mostra un quadro fessurativo ancora più ampio e molto simile all'attuale, caratterizzato da una maggiore continuità e connessione tra le lesioni che formano chiaramente un andamento complessivamente arcuato.
- 4) Le aereofotografie rilevate da drone a differente quota consentono di effettuare le osservazioni di seguito descritte:
  - a) Nel settore in destra idrografica della strada che percorre il coronamento sono presenti due lesioni ad andamento rispettivamente subparallelo e leggermente obliquo rispetto alla direzione di allungamento del coronamento la cui posizione è all'incirca localizzabile nel primo e secondo terzo della larghezza della strada.
  - b) Nel settore della strada, successivo alla curva, quindi in corrispondenza dell'inserzione nella spalla, è presente una lesione principale collocata approssimativamente nel primo quarto della larghezza della strada.
  - c) Nel settore intermedio, corrispondente alla curva, le lesioni descritte nei precedenti punti a e b perdono continuità lasciando il posto a due lesioni ad andamento trasversale che delimitano un nucleo centrale integro.
  - d) L'aereofotografia ripresa a quota più elevata (Fig. 15) consente di inquadrare in maniera più ampia il settore in destra idrografica della strada che percorre il coronamento e quello successivo che conduce alla torre di presa. In questa foto sono collocabili spazialmente anche le lesioni successive descritte al precedente punto 6.

Considerando le risultanze delle recenti indagini geognostiche condotte sul corpo diga per l'adeguamento sismico dell'opera eseguito dall'azienda INGEO s.r.l. nonché le caratteristiche costruttive del corpo diga e la natura dei materiali che sono stati utilizzati per la costruzione (Fig. 9) sono state formulate delle ipotesi circa le cause del dissesto:

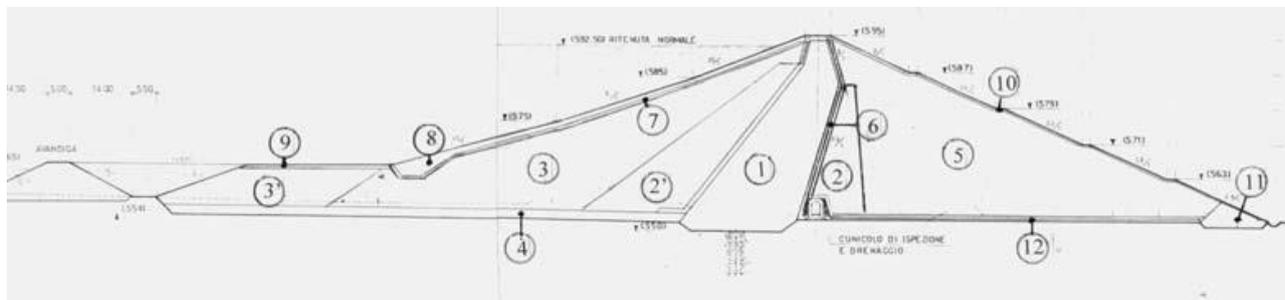


Fig.9 – Caratteristiche costruttive del corpo diga

### Ipotesi 1

In considerazione che il nucleo in materiale argilloso (1 in Fig. 9) si estende in altitudine fino quasi alla quota del coronamento, essendone stata rilevata l'estremità superiore a circa un metro di profondità al disotto del tappetino di asfalto, è possibile ipotizzare che il materiale argilloso possa subire variazioni di contenuto d'acqua durante il decorso stagionale e pertanto essere soggetto ad espansione con conseguente rottura del tappeto di asfalto con sforzo di trazione pura.

In base a tale ipotesi, il fenomeno di dissesto sarebbe piuttosto superficiale e risolvibile mediante un'adeguata impermeabilizzazione del coronamento.

### Ipotesi 2

In considerazione della struttura della tipologia zonata del corpo diga, non è possibile escludere in questa sede di programmazione di indagini un fenomeno di scorrimento del materiale del contronucleo di monte rispetto allo stesso materiale del nucleo o di un cedimento differenziale tra le due tipologie di materiali. Tale fenomeno sembrerebbe essere dimostrato dall'andamento circa parallelo delle lesioni al coronamento e dal posizionamento delle stesse all'incirca nella linea di mezzzeria della strada. Tuttavia, è da rilevare che tale ipotesi non è supportata da evidenze di spostamenti verticali differenziali tra le parti giustapposte alle lesioni.

Infine, è da evidenziare che il dissesto che interessa il muro di contenimento a monte della strada di accesso alla torre di presa non appare avere relazioni con l'evoluzione del corpo diga, quindi con il quadro fessurativo che interessa il tappetino di asfalto, quanto piuttosto essere riconducibile alla spinta del terreno da monte che ne ha indotto la rotazione verso valle in corrispondenza del giunto.

Infine, anche il dissesto presente nella parte terminale della strada di accesso alla torre di presa, in corrispondenza della connessione della passerella in acciaio è riconducibile alla rotazione del muro di valle per spinta del rinterro e non a fenomeni dissesto del corpo diga.

### 3. DEFINIZIONE DELLE INDAGINI IN SITO E IN LABORATORIO

Al fine di verificare le ipotesi riguardanti le cause del dissesto, manifestantisi mediante una serie di lesioni con cinematica da trazione pura, nella consapevolezza dell'indeterminazione della profondità alla quale detto fenomeno possa manifestarsi (ipotesi 1 ed ipotesi 2), si suggerisce la programmazione delle indagini di seguito descritte.

- a) Tre sondaggi a carotaggio spinti fino al substrato roccioso (Fig. 10), quindi profondi 40 m in base alle indicazioni del sondaggio S3, effettuato nell'ambito della campagna di indagini programmata per l'adeguamento sismico dell'opera. Nella fattispecie, uno dei sondaggi dovrebbe essere realizzato mediante la tecnica del carotaggio continuo, mentre gli altri due con quella della distruzione di nucleo. La profondità di 40 m è motivata dall'intenzione di raggiungere una profondità a cui è rinvenibile il substrato, quindi una condizione di stabilità in base alla quale sarà possibile escludere qualunque eventuale fenomeno profondo.
- b) Nella perforazione a carotaggio continuo dovrebbero essere eseguite prove SPT e prelevati campioni indisturbati dei materiali costituenti il contronucleo ed il nucleo, da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio per l'accertamento delle proprietà indice e meccaniche.
- c) Installazione nell'ambito delle tre perforazioni di tubi inclinometrici, da sottoporre a monitoraggio basato su misurazioni periodiche.

In base all'ipotesi di ubicazione dei tubi inclinometrici, le misurazioni periodiche effettuate sugli stessi potrebbero consentire di accertare la profondità alla quale si manifesta il fenomeno di rottura quindi comprenderne le cause e pertanto programmare gli interventi risolutivi.



Fig.10 – Ubicazioni sondaggi



Nella tabella seguente si riporta nel dettaglio le indagini geognostiche, le installazioni di tubi inclinometrici previsti e le prove di laboratorio previste.

Tipologia	n°	Profondità
Sondaggio geognostico a carotaggio continuo	1	40 m
Sondaggio verticale a distruzione di nucleo	2	40 m
Prelievo di campioni indisturbati	6	-
Standard Penetration Test	12	-
Installazione tubi inclinometrici	3	40
Analisi granulometrica con setacci per caratteristiche fisiche e chimiche UNI CEN ISO 17892-4	6	-
Analisi granulometrica per sedimentazione con densimetro UNI CEN ISO 17892-4	6	-
Determinazione dei limiti di liquidità e plasticità UNI CEN ISO 17892-2	6	-
Determinazione del contenuto d'acqua allo stato naturale UNI CEN ISO 17892-1	6	-
Determinazione del peso dell'unità di volume allo stato naturale mediante fustella tarata UNI CEN ISO 17892-1	6	-
Determinazione del peso specifico dei granuli con il metodo del picnometro UNI CEN ISO 17892-2	6	-
Prova triassiale consolidata non drenata (C.I.U.) UNI CEN ISO 17892-9	3	-
Prova di compressione edometrica fino a 3200 Kpa ed elaborazione per determinazione dei coefficienti $C_v$ , $K_{Eed}$ e dei vari diagrammi UNI CEI ISO 17892-5	3	-

#### 4. SUPERVISIONE E ADATTAMENTO DELLE INDAGINI PREVISTE

Le indagini effettuate nell'ambito del presente progetto saranno adeguatamente supervisionate, sia per gli interventi in campo, sia per le prove di laboratorio, in modo da garantire le indagini in forma mirata al conseguimento delle informazioni necessari ad avvalorare le ipotesi formulate.

Le indagini previste sono soggette ad adattamenti e modifiche in funzione del progresso del lavoro e delle informazioni acquisite.