

**(RE-E-230) DIGA CROSTOLO – STRUMENTAZIONE CONTROLLO  
INDAGINI GEOT. STRUT. E MIGLIORAMENTO DELLA SICUREZZA  
STRUTTURALE E IDRAULICA DELLA TRAVERSA**

**(FSC 2014-2020 DELIBERA CIPE N.54/2016)**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**RELAZIONE SULLE INDAGINI DEI MATERIALI E DELLE  
STRUTTURE**

<b>00C</b>	<b>10/01/2020</b>	Prima emissione	<b>RZZ</b>	<b>CNA</b>	<b>CCN</b>
<b>REV.</b>	<b>DATA</b>	<b>MODIFICHE</b>	<b>REDATTO</b>	<b>VERIFICATO</b>	<b>APPROVATO</b>

**IL PROGETTISTA:**

Dott. Ing. Paolo Cucino

**IL R.U.P.:**

Dott. Ing. Mirella Vergnani

**SWS<sup>TM</sup>**

ORDINE DEGLI INGEGNERI  
 DELLA PROV. DI TRENTO  
 Dott. Ing. PAOLO CUCINO  
 ISCRIZIONE ALBO N° 2216

M	I	W	P	0	3	7	M	S	T	0	0	1	0	1	R	0	0	1	0	1	0	0	C
N. COMMESSA							ELABORATO								PROGR.				REV.				



## INDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
1.1.	Oggetto della relazione .....	3
1.2.	Stato di fatto.....	3
<b>2.</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>6</b>
2.1.	Progetto esecutivo dell'opera .....	6
2.2.	Studi ed indagini condotti sulla diga .....	6
2.3.	Normative e linee guida .....	6
<b>3.</b>	<b>QUADRO CONOSCITIVO INIZIALE .....</b>	<b>8</b>
3.1.	Introduzione .....	8
3.2.	Progetto esecutivo originario (1983).....	8
3.3.	Indagine geognostica (Sacchetto Perforazioni Geotecnica S.r.l., Mar. 2006) .....	10
3.4.	Rilievo topografico (Geocom Parma S.r.l., Nov. 2017 e aggiornamento Dic. 2018) .....	11
3.5.	Calcolo dei volumi dell'invaso (Geocom Parma S.r.l., Mar. 2019) .....	12
<b>4.</b>	<b>DEFINIZIONE DEL PIANO DI INDAGINI.....</b>	<b>14</b>
4.1.	Scopo .....	14
4.2.	Livello di Conoscenza e Fattore di Confidenza .....	14
4.2.1.	Corpo diga .....	15
4.2.2.	Muri di testa degli argini .....	15
4.2.3.	Muri di sostegno arginature.....	16
4.2.4.	Diaframmi in calcestruzzo al piede delle arginature.....	17
4.2.5.	Tabella sinottica delle indagini strutturali.....	19
4.3.	Tipologie di indagini previste.....	20
4.3.1.	Indagini sulle caratteristiche geometriche del manufatto.....	20
4.3.2.	Indagini sullo stato di consistenza delle opere .....	20
4.3.3.	Indagini sulle caratteristiche dei materiali.....	21
4.3.4.	Indagini sulle caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni .....	21
4.3.5.	Indagini sulla caratterizzazione sismica dell'area .....	24
4.3.6.	Indagini sulla caratterizzazione idrogeologica .....	24
4.3.7.	Piano preliminare di caratterizzazione ambientale .....	24

4.4.	Ubicazione e quantità delle indagini .....	25
4.5.	Cronoprogramma .....	26
4.6.	Quadro economico .....	27

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1. Oggetto della relazione

La presente relazione è finalizzata ad illustrare e descrivere il piano di indagini volto ad aggiornare il quadro conoscitivo strutturale, geologico, geotecnico e sismico relativo alla Diga del Crostolo. La medesima si accompagna alla documentazione grafica allegata in cui si provvede alla localizzazione e identificazione delle singole tipologie di indagine prescritte.

### 1.2. Stato di fatto

La cassa di espansione sul torrente Crostolo, ubicata in località Rivalta nel comune di Reggio Emilia all'altezza della Vasca Corbelli, fu costruita a partire dal 1983 con lo scopo di proteggere la città di Reggio Emilia dalle esondazioni del corso d'acqua.

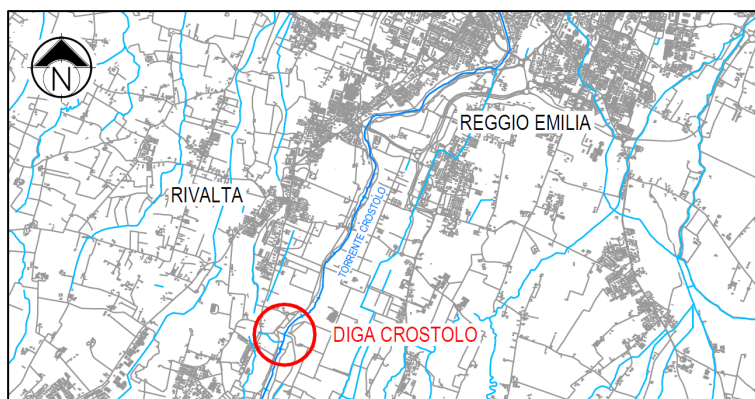


Figura 1 - Key plan di inquadramento



Figura 2: Foto aeree della diga sul torrente Crostolo

Larghezza sfioratore superficie	100	m
Larghezza luci di fondo	8.30	m
Altezza delle luci di fondo alla sezione di uscita	1.40	m
Quota del fondo sezione di ingresso della luce di fondo	102.84	m s.l.m.
Quota del fondo sezione di uscita della luce di fondo	98.24	m s.l.m.
Quota dello sfioratore di superficie	112.34	m s.l.m.
Quota di massimo invaso	114.68	m s.l.m.
Quota altezza massima argini	116.64	m s.l.m.
Capacità di scarico d'acqua delle due luci alla quota di massima regolazione della cassa	270	mc/s
Portata massima scarico di superficie alla quota di massimo invaso	680	mc/s
Volume di invaso alla quota di massima regolazione	1.65	Mmc
Volume di invaso alla quota di massima invaso	2.63	Mmc

Tabella 1: Caratteristiche geometriche e funzionali della diga e della cassa di espansione

La cassa di espansione è composta delle seguenti opere strutturali:

1. Corpo diga:
  - Paramento
  - Cunicolo di drenaggio
  - Diaframmi di schermatura in fondazione
  - Setti di ammorsamento nelle arginature
2. Vasca di dissipazione:
  - Soletta di fondo
  - Dispositivi dissipatori
3. Muri di testa degli argini:
  - Elevazione
  - Fondazione
  - Diaframmi di schermatura in fondazione
4. Arginature:
  - Diaframma in cls al piede
  - Tampone in argilla
  - Muri di sostegno



## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

---

### 2.1. Progetto esecutivo dell'opera

---

Il progetto esecutivo dell'opera, redatto in data 1 Ottobre 1983, e firmato dallo Studio di Ingegneria G. M. Susin di Padova, è composto da un totale di circa 50 elaborati (tavole e relazioni).

### 2.2. Studi ed indagini condotti sulla diga

---

- Mar. 2006 - Indagine geognostica, società Sacchetto Perforazioni Geotecnica S.r.l.
- Ott. 2015 - S. Orlandini, G. Moretti e M. Fiorentini, "Studio delle Interazioni tra Grandi Opere di Sbarramento Fluviale, Correnti Idriche Superficiali e Sotterranee, con Riferimento al Comportamento dei Manufatti e delle Arginature: Cassa di Espansione del Torrente Crostolo presso Puianello (Reggio Emilia)" Dipartimento di Ingegneria Enzo Ferrari Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia
- Nov. 2017 - Rilievo topografico del corpo diga e degli argini, società Geocom Parma S.r.l. in data
- Dic. 2018 - Aggiornamento di tutti i dati rilevati utilizzando la quota Ellissoidica del caposaldo V12, società Geocom Parma S.r.l.
- Mar. 2019 - Calcolo dei volumi della cassa del Torrente Crostolo, società Geocom Parma S.r.l.
- Sett. 2019 - M. Belicchi, "Relazione relativa alla definizione della scala di deflusso del manufatto limitatore della cassa di espansione sul T. Crostolo", AIPO

### 2.3. Normative e linee guida

---

- D.M. 14 gennaio 2008 (NTC08) - "Norme tecniche per le costruzioni";
- D.M. 17 gennaio 2018 (NTC18) - "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni";
- NTD14 - "Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)" Decreto Ministero Infrastrutture e Trasporti 26 giugno 2014;
- Istruzioni per l'applicazione della normativa tecnica di cui al D.M. 26.06.2014 e al D.M. 17.01.2018 - "Verifiche Sismiche delle grandi dighe, degli scarichi e delle opere complementari e accessorie", Luglio 2018, a cura della D.G. Dighe del M.I.T.;
- Linee-guida per la redazione e le istruttorie degli studi sismotettonici relativi alle grandi dighe, prodotte da INGV e diffuse ai Concessionari/Gestori con nota MIT-D.G. Dighe n. 0021530 del 27/09/2018.





### 3. QUADRO CONOSCITIVO INIZIALE

#### 3.1. Introduzione

La cassa d'espansione del Torrente Crostolo, caratterizzata da un corpo diga e da manufatti in terra, è da inquadrarsi come costruzione esistente ai sensi del Cap. 8 del NTC18.

Per la valutazione della sicurezza sismica dell'opera è necessario conseguire un livello di conoscenza adeguato sia rispetto alla geometria e ai dettagli costruttivi, sia rispetto alle caratteristiche meccaniche dei materiali.

Così come indicato al §C.8.A.1.B le fonti da considerare per l'acquisizione dei dati necessari sono:

- documenti di progetto con particolare riferimento a relazioni geologiche, geotecniche e strutturali ed elaborati grafici strutturali;
- eventuale documentazione acquisita in tempi successivi alla costruzione;
- rilievo strutturale geometrico e dei dettagli esecutivi;
- prove in-situ e in laboratorio.

Come sintetizzato nelle Sezioni 2.1 e 2.2, l'ente appaltante AIPO ha messo a disposizione dei progettisti il progetto esecutivo originario dell'opera ed alcuni studi svolti in epoche più recenti.

Di seguito si descrivono brevemente le informazioni messe a disposizione evidenziando le principali carenze conoscitive. Tali informazioni verranno acquisite durante la campagna di indagini integrativa oggetto della presente relazione (Sezione 4).

#### 3.2. Progetto esecutivo originario (1983)

Il progetto esecutivo dell'opera, redatto in data 1/10/1983, e firmato dallo Studio di Ingegneria G. M. Susin di Padova, è composto da un totale di circa 50 elaborati (tavole e relazioni). Il progetto è stato approvato con Voto del Consiglio Superiore dei LL.PP. (data 24/11/83, n° 502) con riserva di alcune modifiche non sostanziali al progetto. Di seguito si riporta per chiarezza il cartiglio impiegato su tutti gli elaborati di progetto.

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI MAGISTRATO PER IL PO	UFFICIO OPERATIVO DI PARMA
OPERE DI LAMINAZIONE DELLE PIENE SUL CROSTOLO PER LA DIFESA DI REGGIO EMILIA	
PROGETTO ESECUTIVO DELLA CASSA DI LAMINAZIONE	
STUDIO INGEGNERIA G. M. SUSIN VIA P. MARONCELLI 13a - 35100 PADOVA - ☎ 772484	DATA 1-10-1983
	SIGLA 1/F 330

Figura 3: Cartiglio del progetto esecutivo

Nell'ambito di tale progetto, oltre al rilevamento geologico e geomorfologico di campagna, sono stati eseguiti:

- N. 13 sondaggi trivellati a carotaggio continuo, di questi 9 ubicati nella zona di imposta dello sbarramento e 4 in corrispondenza delle briglie a monte dell'invaso;
- N. 19 sondaggi superficiali effettuati con escavatori e distribuiti all'interno dell'invaso.

Tali sondaggi hanno permesso di ricostruire la sequenza stratigrafica presente nell'area di intervento e di effettuare la valutazione in merito i) alla stabilità dei terreni di fondazione e delle sponde del manufatto e ii) alla tenuta della sezione di imposta e del bacino di invasos.

Successivamente all'approvazione, sono stati pertanto eseguiti nuovi rilievi di dettaglio e nuovi sondaggi geognostici integrativi, che hanno comportato l'aggiornamento delle verifiche e dei disegni di alcune parti d'opera e la verifica su modello fisico del funzionamento del manufatto limitatore (14/03/1984).

Il progetto esecutivo pervenuto allo scrivente si compone dei seguenti elaborati:

- Relazioni:
  - Relazione idrogeologica;
  - Relazione geologica;
  - Verifiche idrauliche;
  - Verifiche di stabilità;
  - Verifiche ad elementi finiti;
  - Relazione sul modello fisico della diga;
  - Relazione sondaggi geognostici.
- Elaborati grafici:
  - Inquadramento generale;
  - Profilo longitudinale e sezioni trasversali;
  - Manufatto;
  - Rilevato arginale;
  - Collegamento fra argine e manufatto;
  - Carta e sezione geologica.

### 3.3. Indagine geognostica (Sacchetto Perforazioni Geotecnica S.r.l., Mar. 2006)

Su incarico di AIPO è stata svolta una campagna di indagini geognostica comprendente le seguenti attività:

- n. 4 sondaggi a carotaggio continuo (S1B, S2B, S3A, S3B) spinti a profondità di 25 m p.c., con installazione di un piezometro Casagrande in corrispondenza di ciascun sondaggio, tranne che per il sondaggio S3A per il quale sono stati installati due piezometri a due diverse profondità;
- n. 2 sondaggi a distruzione di nucleo (S1A, S2A) con installazione di un piezometro Casagrande in corrispondenza di ciascun sondaggio;
- prelievo di campioni indisturbati tipo Osterberg;
- esecuzione di tre prove di permeabilità Lefranc.

Di seguito si riporta per chiarezza una planimetria con ubicazione dei sondaggi realizzati.

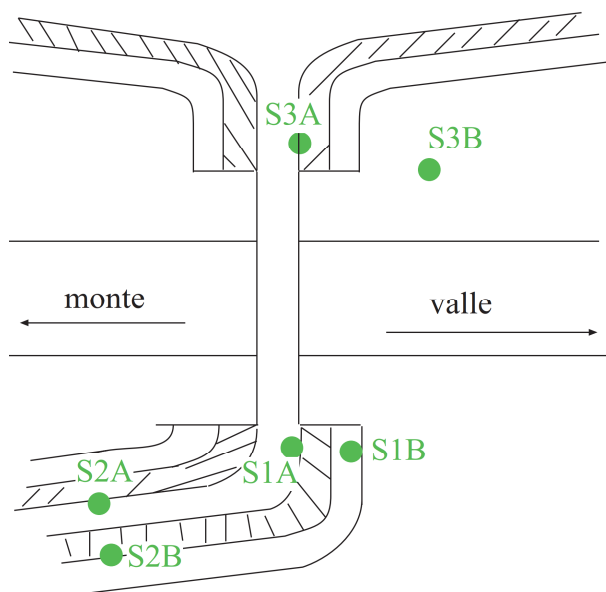


Figura 4: Stralcio planimetrico con ubicazione delle indagini svolte

### 3.4. Rilievo topografico (Geocom Parma S.r.l., Nov. 2017 e aggiornamento Dic. 2018)

Per corrispondere alle prescrizioni del Registro Italiano Dighe, si è reso necessario prevedere una serie di lavori topografici con la finalità di:

- materializzazione di caposaldi planimetrici ed altimetrici e delle mire sull'opera di sbarramento finalizzata all'avvio delle misure trigonometriche periodiche mediante stazione totale;
- materializzazione di caposaldi altimetrici sulle arginature finalizzata all'avvio delle misure periodiche di livellazione;
- rilievo dell'opera di sbarramento, nei lineamenti geometrici essenziali;
- rilievo dell'invaso a monte dello sbarramento finalizzato alla definizione delle curve "quota - volume invasato" e "quota - superficie liquida".

Fra questi lavori è stata prevista:

- Formazione di n° 1 Caposaldo plano-altimetrico denominato CS0;
- Formazione di n° 9 punti fissi di monitoraggio per la livellazione delle arginature destra e sinistra, posti ad interasse di 100 m circa;
- Formazione di n° 2 pilastri in cemento armato, sulla cui sommità sarà posizionata piastra di metallica di centrimento della stazione totale elettronica;
- Livellazione geometrica di precisione in andata e ritorno per il controllo altimetrico delle arginature, mediante rilievo dei 9 punti di controllo di cui al punto precedente;
- Rilievo topografico di dettaglio del corpo diga finalizzato alla modellazione 3D del manufatto;
- Installazione di n° 6 mire catarifrangenti sulla Cassa di Espansione posizionati centralmente in ognuno dei 6 conci.

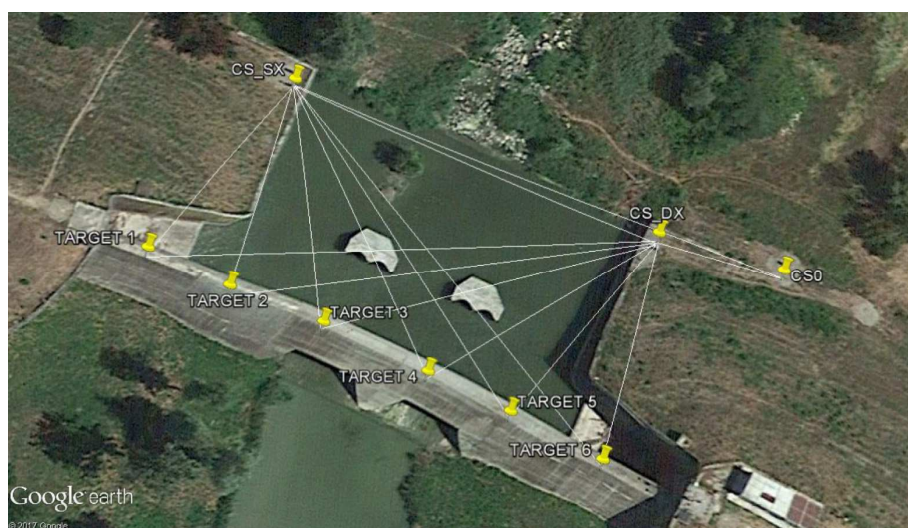


Figura 5: Posizione delle mire apposte sul corpo diga e dei capisaldi

Come da accordi con i responsabili AIPO, la società incaricata ha proceduto nel Dic. 2018 al ricalcolo di tutti i dati rilevati utilizzando il valore di quota ellissoidica del V12.

Il rilievo topografico condotto ha mostrato diverse differenze geometriche fra lo stato di fatto e quanto previsto in fase di progetto esecutivo. La tabella seguente sintetizza il suddetto raffronto.

	Progetto esecutivo 14/03/1984	Rilievo topografico Geocom S.r.l., 2017	
Coronamento	116.80	116.64	m s.l.m.
Ciglio soglia di sfioro	112.50	112.34	m s.l.m.
Fondo manufatto monte	102.80	102.84	m s.l.m.
Luci limitatrici:			
- quota baricentro luci	101.20	101.74	m s.l.m.
- larghezza luci	8.50	8.30	m
- altezza luci (sul piano verticale)	1.55+1.70	-	m
- altezza luci (ortogonale al flusso)	-	1.40	m
Fondo vasca dissipazione	98.30	98.24	m s.l.m.
Soglia uscita valle	100.30	100.24	m s.l.m.

Tabella 2: Raffronto dei principali dati geometrici di interesse

### 3.5. Calcolo dei volumi dell'invaso (Geocom Parma S.r.l., Mar. 2019)

A seguito dell'incarico ricevuto da AIPO, la società Geocom Parma S.r.l. ha creato un DTM completo e dettagliato unendo i dati del rilievo LIDAR 2008 e la scansione laser eseguita della Cassa di Espansione.

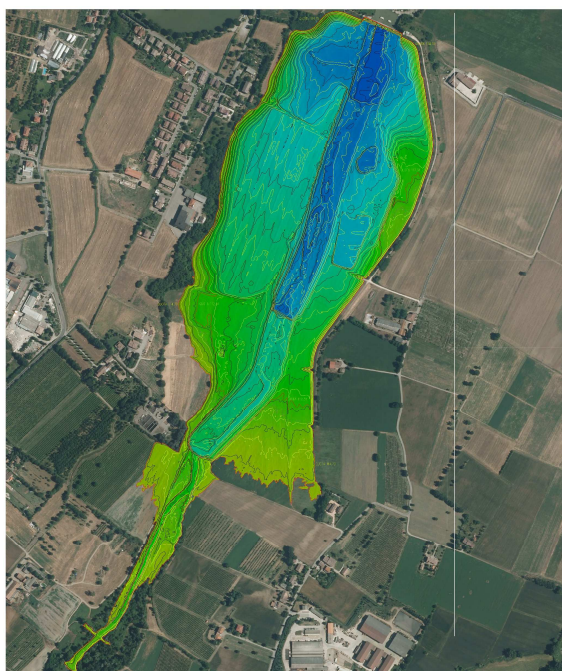


Figura 6: DTM della cassa di espansione

Il DTM, composto da celle con dimensioni  $1 \times 1 \text{ m}^2$ , ha permesso il calcolo dei volumi dell'invaso attraverso il software PDS2000 della ditta Teledyne. Di seguito il risultato del calcolo del volume in formato grafico.

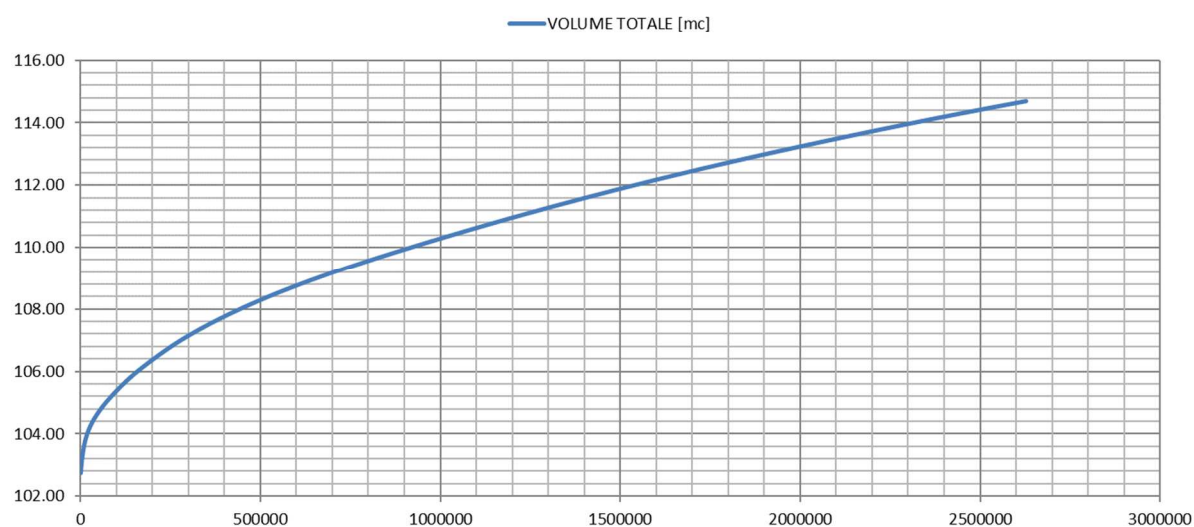


Figura 7: Volume dell'invaso calcolato dal DTM

## 4. DEFINIZIONE DEL PIANO DI INDAGINI

### 4.1. Scopo

Per quanto definito al §8.2 del DM 2018, la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi su opere esistenti devono tenere conto dei seguenti aspetti:

- la costruzione riflette lo stato delle conoscenze al tempo della sua realizzazione;
- possono essere insiti e non palesi difetti di impostazione e di realizzazione;
- la costruzione può essere stata soggetta ad azioni, anche eccezionali, i cui effetti non siano completamente manifesti;
- le strutture possono presentare degrado e/o modificazioni significative rispetto alla situazione originaria.

Il piano di indagini di seguito descritto ha pertanto lo scopo di sopperire alle informazioni di progetto che non è stato possibile reperire dalla documentazione ricevuta e valutare lo stato di consistenza delle opere alla data di redazione del presente studio di fattibilità.

### 4.2. Livello di Conoscenza e Fattore di Confidenza

Al fine di garantire il soddisfacimento delle verifiche di sicurezza dell'opera esistente si propone lo sviluppo di una campagna conoscitiva che permetta di raggiungere il Livello di Conoscenza LC2 sulle strutture, ai sensi della NTC18. Di seguito si riporta per chiarezza la tabella relativa ai Livelli di Conoscenza proposti dalla relativa circolare.

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>limitate</i> verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate</i> prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con limitate verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con limitate prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con limitate verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esaustive prove in-situ	Tutti	1.00



Tabella 3: Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile (Tabella C8.5.IV, Circolare NTC 2019)

#### 4.2.1. Corpo diga

In mancanza di indicazioni più specifiche, al fine di individuare il numero di prove sufficienti per la caratterizzazione del paramento della diga si considerano le indicazioni fornite nella circolare della NTC18 (Tabella 4) per edifici in calcestruzzo.

Livello di Indagini e Prove	Rilievo(dei dettagli costruttivi) <sup>(a)</sup>	Prove (sui materiali) <sup>(b)(c)(d)</sup>
	Per ogni elemento "primario" (trave, pilastro)	
<i>limitato</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m <sup>2</sup> di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
<i>esteso</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m <sup>2</sup> di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
<i>esaustivo</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m <sup>2</sup> di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio

Tabella 4: Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prove per edifici in calcestruzzo (Tabella C8.5V, Circolare NTC 2019)

Con riferimento alla tabella, si considera il corpo della diga formato da una parete verticale di valle di dimensioni 11.10m × 100m = 1110m<sup>2</sup> ed un paramento di monte, inclinato, di dimensioni 11.50m × 100m = 1150m<sup>2</sup>.

Di seguito si definisce il numero di indagini necessarie al raggiungimento dei diversi livelli di conoscenza.

Livello di indagini e prove	Livello di Conoscenza	Provini di cls (valle + monte)	Campioni di armatura (valle + monte)
Limitato	LC1	4+4	1+1
Esteso	LC2	8+8	2+2
Esaustivo	LC3	12+12	3+3

Tabella 5: Definizione del livello di indagini e numero di campioni per corpo diga

Dall'analisi degli elaborati grafici allegati si evince come la tipologia e quantità di indagini proposta garantisca il raggiungimento del Livello di Conoscenza LC2.

#### 4.2.2. Muri di testa degli argini

In mancanza di indicazioni più specifiche, al fine di individuare il numero di prove sufficienti per la caratterizzazione dei muri di testa degli argini si considerano le indicazioni fornite nella circolare della NTC18 (Tabella 4) per edifici in calcestruzzo.

Con riferimento alla tabella, si considerano i muri con elevazione di dimensioni 29.00m × 11.50m = 41m<sup>2</sup> e con fondazione di dimensioni 9.00m × 21.40m = 193m<sup>2</sup>.

Di seguito si definisce il numero di indagini necessarie al raggiungimento dei diversi livelli di conoscenza.

Livello di indagini e prove	Livello di Conoscenza	Provini di cls (spalla destra+sinistra)	Campioni di armatura (spalla destra+sinistra)
Limitato	LC1	1+1	1+1
Esteso	LC2	2+2	2+2
Esaustivo	LC3	3+3	3+3

Tabella 6: Definizione del livello di indagini e numero di campioni per elevazione e fondazione muri di testa argini

Dall'analisi degli elaborati grafici allegati si evince come la tipologia e quantità di indagini proposta garantisca il raggiungimento del Livello di Conoscenza LC2.

#### 4.2.3. Muri di sostegno arginature

In mancanza di indicazioni più specifiche, al fine di individuare il numero di prove sufficienti per la caratterizzazione dei muri di sostegno delle arginature (lato valle e monte, lato destro e sinistro) si considerano le indicazioni fornite nella circolare della NTC18 (Tabella 4) per edifici in calcestruzzo.

Con riferimento alla tabella, si elencano di seguito le caratteristiche geometriche salienti di tali opere.

Corpo strutturale		Sviluppo	Altezza media elevazione	Superficie elevazione
Valle	dx.	39.0m	6.70m	261.3m <sup>2</sup>
	sx.	39.0m	6.70m	261.3m <sup>2</sup>
Monte	dx.	52.0m	5.2m	270.4m <sup>2</sup>
	sx.	28.5m	6.6m	188.1m <sup>2</sup>

Tabella 7: Caratteristiche geometriche elevazione muri di sostegno arginature

Di seguito si definisce il numero di indagini necessarie al raggiungimento dei diversi livelli di conoscenza.

Livello di indagini e prove	Livello di Conoscenza	Provini di cls	Campioni di armatura
Limitato	LC1	1	1
Esteso	LC2	2	2
Esaustivo	LC3	3	3

Tabella 8: Definizione del livello di indagini e numero di campioni per elevazione muri di sostegno arginature

Dall'analisi degli elaborati grafici allegati si evince come la tipologia e quantità di indagini proposta garantisca il raggiungimento del Livello di Conoscenza LC2.

#### 4.2.4. Diaframmi in calcestruzzo al piede delle arginature

In mancanza di indicazioni più specifiche, al fine di individuare il numero di prove sufficienti per la caratterizzazione dei diaframmi in calcestruzzo ai piedi delle arginature si considerano le indicazioni fornite nella circolare della NTC18 (Tabella 4) per edifici in calcestruzzo.

Con riferimento alla tabella, si elencano di seguito le caratteristiche geometriche salienti di tali opere.

Corpo strutturale		Sviluppo	Altezza	Superficie
Monte	dx	60.0m	9.0m (105.80-96.80)	540.0m <sup>2</sup>
	sx.	75.0m	12.2m (107.0-94.80)	915.0m <sup>2</sup>

Tabella 9: Caratteristiche geometriche dei diaframmi al piede delle arginature

Di seguito si definisce il numero di indagini necessarie al raggiungimento dei diversi livelli di conoscenza.

Livello di indagini e prove	Livello di Conoscenza	Provini di cls	Campioni di armatura
Limitato	LC1	2	2
Esteso	LC2	4	4
Esaustivo	LC3	6	6

Tabella 10: Definizione del livello di indagini e numero di campioni per diaframmi lato destro

Livello di indagini e prove	Livello di Conoscenza	Provini di cls	Campioni di armatura
Limitato	LC1	3	3
Esteso	LC2	6	6
Esaustivo	LC3	9	9

Tabella 11: Definizione del livello di indagini e numero di campioni per diaframmi lato sinistro

Dall'analisi degli elaborati grafici allegati si evince come la tipologia e quantità di indagini proposta garantisca il raggiungimento del Livello di Conoscenza LC2.

#### 4.2.5. Tabella sinottica delle indagini strutturali

Di seguito si riporta la tabella sinottica relativa alle indagini strutturali.

TIPOLOGIA DI INDAGINE	QUANTITA'
<b>CORPO DIGA</b>	
- CLS 1a - Carotaggi diam. 102 profondi	10
- CLS 1b - Carotaggi diam. 102 superficiali	16
- CLS 2a - Microcarotaggi diam. 42/82 con videoispezione	4
- CLS 2b - Microcarotaggi diam. 42/82 con pacometro da foro	5
- ARM - Armatura	6
- VID - Videoispezione	1
<b>MURI TESTA ARGINI</b>	
- CLS 1a - Carotaggi diam. 102 profondi	4
- CLS 1b - Carotaggi diam. 102 superficiali	4
- CLS 2b - Microcarotaggi diam. 42/82 con pacometro da foro	8
- ARM - Armatura	6
- DIAM - Taglio con filo diamantato	2
- RAD - Indagine radar	4
<b>VASCA DI DISSIPAZIONE</b>	
- CLS 1a - Carotaggi diam. 102 profondi	3
- CLS 1b - Carotaggi diam. 102 superficiali	10
- CLS 2b - Microcarotaggi diam. 42/82 con pacometro da foro	7
- ARM - Armatura	10
- DIAM - Taglio con filo diamantato	2
- RAD - Indagine radar	2
<b>ARGINATURE</b>	
- CLS 1a - Carotaggi diam. 102 profondi	10
- CLS 1b - Carotaggi diam. 102 superficiali	6
- CLS 2b - Microcarotaggi diam. 42/82 con pacometro da foro	4
- ARM - Armatura	6
- DIAM - Taglio con filo diamantato	2

### 4.3. Tipologie di indagini previste

---

#### 4.3.1. Indagini sulle caratteristiche geometriche del manufatto

---

##### Microcarotaggi

Sono prescritti microcarotaggi sugli elementi strutturali in calcestruzzo per la caratterizzazione dal punto di vista tipologico e geometrico (posizione, spessori e materiali) delle strutture di fondazione e/o contro terra. I microcarotaggi saranno effettuati con sonda idraulica semovente ed utilizzando acqua chiara come fluido di raffreddamento e/o ripulitura.

L'attrezzatura e la strumentazione da utilizzarsi è costituita da:

- una carotatrice dotata di impianto di raffreddamento ad acqua munita di telaio guida per il carotaggio continuo;
- un sistema di carotieri costituito da tubi in acciaio inox filettati maschio/femmina assemblabili muniti di corone diamantate.

I microcarotaggi saranno realizzati con carotatori di diametro esterno  $\varnothing 82\text{mm}$  /  $\varnothing 42\text{mm}$ .

#### 4.3.2. Indagini sullo stato di consistenza delle opere

---

##### Endoscopie

Tali indagini sono state prescritte al fine di individuare principalmente tipologie e stratigrafie interne negli elementi indagati. Le endoscopie sono state condotte all'interno dei microcarotaggi strutturali.

L'apparecchiatura utilizzata per l'esecuzione delle indagini videoendoscopiche è costituita da un endoscopio snodabile, di lunghezza massima 3.5 m che consente di illuminare ed ispezionare zone altrimenti non visibili, come l'interno delle strutture murarie.

La luce generata da una sorgente viene portata alla zona da ispezionare tramite un fascio di fibre ottiche, mentre un altro fascio di fibre ottiche provvede a far tornare l'immagine all'oculare. Per ogni indagine sono state memorizzate alcune immagini fotografiche all'interno del foro.

#### 4.3.3. Indagini sulle caratteristiche dei materiali

---

##### **Prelievo di carote di calcestruzzo per prova di compressione monoassiale**

La perforazione per il prelievo di carote di calcestruzzo dovrà essere eseguita con rotazione a carotaggio continuo utilizzando carotatori di diametro esterno Ø102mm e diametro del campione estratto di Ø94mm.

Su tutti i punti di prelievo delle carote di calcestruzzo, verranno eseguite delle misure mediante magnetometro, per la determinazione della posizione delle armature principali e delle staffe in modo da escluderle dal percorso della corona diamantata.

L'attrezzatura e la strumentazione da utilizzarsi è costituita da:

- una carotatrice dotata di impianto di raffreddamento ad acqua munita di telaio guida per il carotaggio continuo;
- un sistema di carotieri costituito da tubi in acciaio inox filettati maschio/femmina assemblabili muniti di corone diamantate;
- sistema di aste filettate maschio/femmina assemblabili del diametro di 30 mm muniti di tricono a distruzione di nucleo.

#### 4.3.4. Indagini sulle caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni

---

Per quanto riguarda la caratterizzazione geologica, le indagini realizzate nell'ambito della progettazione della diga negli anni '80 e i sondaggi realizzati nel 2006 consentono di definire la stratigrafia del terreno sui cui poggia l'intera opera.

Meno evidenti sono gli aspetti legati alla caratterizzazione geotecnica di materiali che si ritiene opportuno meglio indagare, con la finalità di riconoscimento e definizione del modello geotecnico e delle proprietà dei materiali all'interno del volume geotecnico rappresentativo nell'ambito delle verifiche di stabilità dell'opera.

Si richiede quindi di effettuare le seguenti indagini:

- N. 6+1 sondaggi a carotaggio continuo (S01 ÷ S06 e T01) spinti a profondità variabili da 30m (nelle zone interessate alle verifiche di stabilità all'equilibrio) a 50m (verticali nel corpo diga ed argini, per indagare ad una profondità pari alla semilarghezza del rilevato), al fine di effettuare il riconoscimento litologico di dettaglio, effettuare prove in foro e permettere il prelievo di campioni.
- Prove in foro di sondaggio:

- Prove SPT in corrispondenza dei livelli sabbiosi;
- Prove pressiometriche (n. 20) al fine di verificare la rigidezza dei materiali e porla a confronto con i risultati delle prove sismiche;
- Prove di permeabilità (n. 18) al fine di indagare il comportamento dei materiali nei confronti della presenza di acqua e del flusso idrico;
- Prove di laboratorio su campioni indisturbati (materiali coesivi) e rimaneggiati (materiali incoerenti):
  - analisi granulometrica;
  - peso di volume;
  - contenuto d'acqua;
  - peso specifico dei grani;
  - limiti di Atterberg;
  - prova edometrica;
  - prova di taglio diretto;
  - prova triassiale U.U. con misura press. Interstiziale;
  - prova triassiale C.I.U;
  - prova con Colonna Risonante.
- N. 4 prove CPTU.

Il dettaglio viene riportato nella tabella seguente.



Campagna indagine 2019-2020					Prove in foro				Campionamento		Pocket penetrometrico	Terreni									
Id	Tipo Carotaggio / Distruzione	Lungh. [m]	Attrezzaggio	Porzione	SPT	Note	Pressiometrica	Permeabilità LeFranc	Indisturbati	Rimaneggiati		Granulometria	Peso naturale	Limiti Atterberg	Contenuto d'acqua naturale	Indice vuoti	Prova Edometrica	Taglio diretto	Prova Triassiale TxUU	Prova Triassiale TxCIU	Prova Colonna risonante
S_01	C	30	DH		3		2	2	7	3	sist.	4	4	4	4	4	2	1	1	2	1
S_02	C	30	DH		(1)		2	2	7	(1)	sist.	4	4	4	4	4	1	1		3	
S_03	C	40			(2)		2	2	7	(2)	sist.	4	4	4	4	4	1	1		3	
S_04	C	40			(2)		2	2	7	(2)	sist.	4	4	4	4	4	1	1		3	
S_05	C	50	DH	corpo della diga	6		2	1	(2)	6	sist.	3	3	3	3	3		2		(1)	
				zona sottostante	(2)	*	2	1	10	(1)		4	4	4	4	4	2	1	1	3	1
S_06	C	50		corpo della diga	6	**	1	1	(2)	6	sist.	3	3	3	3	3		2		(1)	
				zona sottostante	(4)		1	1	10	(2)		4	4	4	4	4	2	1		3	
T_01	C	30				*	2	2	7		sist.	4	4	4	4	4	1	1	1	2	
CPTU_01	30***																				
CPTU_02	30***																				
CPTU_03	30***																				
CPTU_04	30***																				
			Totale prove sito/laboratorio		29		16	14		26	11 verticali	34	34	34	34	34	10	11	3	19	2
*	non attesi strati sabbiosi profondi / attesi strati sabbiosi di limitato spessore																				
**	attesi strati sabbiosi profondi con spessori non trascurabili																				
***	oppure sino a che non raggiunge rifiuto																				

Tabella 12: Dettaglio campagna di indagine: Sondaggi, prove CPT e test in foro e laboratorio

#### **4.3.5. Indagini sulla caratterizzazione sismica dell'area**

Al fine di permettere di risalire al profilo verticale di Vs del sottosuolo attraverso lo studio delle onde superficiali si prevede di effettuare:

- n. 2 indagini di tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves), in corrispondenza delle aree più prossime all'opera di sbarramento;
- n.1 tomografia sismica onde Vp e n.1 elettrica in corrispondenza del sondaggio esistente S4 (lunghezza stendimenti 86m);
- n. 3 prove Down Hole (DH) in foro di sondaggio (30+30+50m), in corrispondenza del corpo della diga e nelle zone immediatamente a valle;
- n. 2 prove di laboratorio con Colonna Risonante.

#### **4.3.6. Indagini sulla caratterizzazione idrogeologica**

Il progetto esecutivo della cassa di laminazione realizzato nel 1983 evidenzia che la presenza del diaframma sotto la fondazione e la presenza di prevalenti depositi argillo-limosi di origine fluviolacustre fa sì che si possa considerare la tenuta della soglia "quasi assoluta" nei confronti di perdite per infiltrazioni.

Si ritiene tuttavia necessario realizzare indagini con traccianti: questa tipologia di prospezioni idrogeologiche con traccianti naturali e/o artificiali, verrà eseguita per riconoscere eventuali comunicazioni sotterranee tra parti del diaframma e i terreni a valle dello sbarramento al fine di verificare la tenuta del diaframma stesso.

Prima di procedere con le prove sarà necessario ricostruire la sequenza stratigrafica a monte e a valle dello sbarramento utilizzando le stratigrafie pregresse e quelle che verranno realizzata nell'ambito di tale studio (vedi paragrafo 4.3.4). L'obiettivo sarà quello di individuare gli orizzonti più permeabili che potrebbero essere in comunicazione tra di loro (monte/valle dello sbarramento) e all'interno dei quali verrà immesso il tracciante. In questo modo sarà possibile eseguire le prove con maggior precisione e con una maggiore certezza del risultato.

Si prevede di realizzare n. 2 prove con traccianti.

#### **4.3.7. Piano preliminare di caratterizzazione ambientale**

Si propone di realizzare in questa fase preliminare una prima caratterizzazione dei terreni, prelevando:

- N. 4 campioni alla profondità di -1 m e - 4 m da due dei sondaggi che verranno realizzati per la caratterizzazione geotecnica dei terreni (S\_01 e S\_02);
- N. 2 campioni di materiale presente all'interno della vasca di dissipazione (T\_01).

L'elenco di analiti da ricercare nei campioni di suolo e sottosuolo sarà, in questa fase, quello minimale riportato nell'Allegato 4 del DPR 120/2017 e riportato nella seguente tabella.

<b>Gruppo</b>	<b>Parametro</b>
Composti inorganici	Arsenico; Cadmio; Cobalto, Mercurio, Nichel; Piombo; Rame;Zinco.
Cromo	Cromo VI e Cromo Totale
Idrocarburi	Idrocarburi pesanti C>12, Idrocarburi leggeri C<12
Amianto	
Altri parametri	frazione < 2 mm, residuo 105°C, pH, FOC

#### 4.4. Ubicazione e quantità delle indagini

Per l'ubicazione delle indagini si rimanda ai seguenti elaborati grafici di progetto:

- MIWP037-MST001-01-D-001-01-00C
- MIWP037-MST001-01-D-002-01-00C
- MIWP037-MST001-01-D-003-01-00C
- MIWP037-MST001-01-D-004-01-00C
- MIWP037-MST001-01-D-005-01-00C



#### 4.6. Quadro economico

Il quadro economico è stato definito con riferimento ai prezziari indicati di seguito:

- Elenco regionale dei prezzi delle opere pubbliche e di difesa del suolo della Regione Emilia-Romagna come previsto dall'art. 33 della L.R. n. 18/2016, per l'anno 2019 - pubblicato sul Bollettino Ufficiale della Regione Emilia-Romagna N. 173 - Parte Seconda – N. 217 del 03 LUGLIO 2019 e approvato con deliberazione della Giunta Regionale N. 1055 del 24 GIUGNO 2019;
- A.L.I.G. Associazione Laboratori Ingegneria e Geotecnica 2015.

Le indagini prescritte ammontano ad un totale di 264.160,70 euro (IVA esclusa).

Per maggiori dettagli si rimanda al computo metrico estimativo (elaborato MIWP037-BOQ001-01-R-001-01-00C).

#### QUADRO ECONOMICO

##### A) LAVORI

per lavori a base d'asta soggetti a ribasso	€ 264.160,70
per costi della sicurezza (non soggetti a ribasso)	€ 7.839,30
<b>Importo complessivo lavori</b>	<b>272.000,00</b>

##### B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMM.NE

per rivalsa I.V.A. (22%)	€ 59.840,00
per coordinamento sicurezza in fase di progettazione e esecuzione	€ 9.900,00
per incentivo funzioni tecniche art. 113 del dLgs. 50/2016 (2%)	€ 5.440,00
per spese tecniche	€ 1.500,00
per contributo ANAC	€ 225,00
per imprevisti ed arrotondamenti	€ 1.095,00
<b>Importo somme a disposizione dell'Amministrazione</b>	<b>€ 78.000,00</b>

**IMPORTO TOTALE PERIZIA € 350.000,00**

10/01/2020

