

IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE RINNOVABILE IDROELETTRICA DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI SANT'ILARIO D'ENZA (RE)

COMMITTENTE

RINNOVALT

INDIRIZZO

VIA GIOVANNI BATTISTA PIRELLI, 27
20124 MILANO (MI)
+390292875126

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

RESPONSABILE DEL PROGETTO

FAVERO
ENGINEERING

VIA GIOVANNI BATTISTA PIRELLI, 27
20124 MILANO (MI)
+39 0292875126
faveroengineering@pec.it

CONSULENZA TECNICO-AMBIENTALE

GEOLAMBDA
Engineering S.r.l.

VIA A. DIAZ, 22
26845 CODOGNO (LO)
+39 0377433021
geolambda@geolambda.viapec.it

CONSULENTI

ACUSTICA: Ing. DAVIDE GRIONI - STUDIO GRIONI

Via V. Emanuele II 46, 26845, Codogno (LO) - +39 0377220792 - amministrazione.grioni@gmail.com

ITTILOGIA: Dott. NICOLA POLISCIANO

Via Torino 24, 21030, Cugliate Fabiasco (VA) - +39 3420491616 - nicola.polisciano@tiscali.it

REV.	DATA	DESCRIZIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO
00	Maggio 2026	PRIMA EMISSIONE	Ing. A. Lunardi	Ing. A. Lunardi	Ing. F. Favero
01					
02					
03					
04					
05					

ELABORATO

TITOLO

**DOCUMENTAZIONE TECNICA GENERALE
RELAZIONE PRELIMINARE DELLE STRUTTURE**

DETTAGLI DEL DISEGNO

SCALA GENERALE

SCALA PARTICOLARE

ARCHIVIO

FILE

DTG_006

STILE DI STAMPA

FAVERO ENGINEERING.ctb

CODIFICA

FASE PROGETTUALE

DEFINITIVO

CATEGORIA

DTG

PROGRESSIVO

0 0 5

REVISIONE

00

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	4
3.1	Ubicazione dell'area di intervento	4
4	DESCRIZIONE GENERALE DEGLI INTERVENTI.....	7
4.1	Opera di presa.....	8
4.2	Canale di derivazione	9
4.3	Edificio centrale	10
4.4	Canale di restituzione delle portate.....	12
5	METODOLOGIA DI RIFERIMENTO	13
5.1	CRITERI GENERALI DI PROGETTO DELLE MEMBRATURE.....	13
6	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	19
6.1	CALCESTRUZZO STRUTTURALE C25/30	19
6.2	ACCIAIO IN BARRE AD ADERENZA MIGLIORATA PER CEMENTO ARMATO SALDABILE	20
7	PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO	21
8	ANALISI DELLE AZIONI	21

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la **Relazione preliminare delle strutture** dell'impianto idroelettrico che la società Rinnovalt Srl intende realizzare nel comune di Sant'Ilario D'Enza (RE).

La presente relazione contiene la sintesi delle procedure di dimensionamento e di verifica strutturale dei manufatti che costituiscono l'oggetto della progettazione.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il dimensionamento e la verifica delle strutture saranno condotti in conformità alla Normativa Nazionale vigente, ed in particolare, nel rispetto delle disposizioni del DM 17/01/2018 (NTC 2018).

3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

3.1 Ubicazione dell'area di intervento

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto idroelettrico sulla sponda destra del Torrente Enza, nel territorio comunale di Sant'Ilario d'Enza, a valle della località Chiavicone (Figura 1). L'area interessata dall'intervento è identificata all'interno della sezione 200060 della Carta Tecnica Regionale (C.T.R.).

Le opere principali si sviluppano su area demaniale, ad eccezione di un tratto del cavidotto di connessione, che interessa parzialmente il mappale 194 del foglio catastale n. 20 del Comune censuario di Sant'Ilario d'Enza.

In prossimità del sito individuato è presente una briglia trasversale sul torrente Enza, la quale determina un salto idraulico naturale. Tale dislivello risulta idoneo ad essere valorizzato per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, rappresentando un elemento funzionale alla realizzazione dell'impianto.



Figura 1 - Ubicazione dell'area di intervento

Di seguito sono fornite le coordinate per identificare i punti principali dell'impianto:

VERTICI PERIMETRO IMPIANTO	COORDINATE GEOGRAFICHE WGS84 UTM ZONE 32N EPSG 32632		
	N-LAT	E-LONG	DESCRIZIONE
1	613420.9471	4954841.7066	INIZIO CANALE DI DERIVAZIONE
2	613416.5784	4954833.7146	INIZIO CANALE DI DERIVAZIONE
3	613340.2931	4954896.9208	EDIFICIO CENTRALE
4	613333.5858	4954886.8499	EDIFICIO CENTRALE
5	613328.0167	4954905.0971	EDIFICIO CENTRALE
6	613321.3094	4954895.0263	EDIFICIO CENTRALE
7	613178.7544	4955006.4703	FINE CANALE DI SCARICO
8	613184.4145	4954962.2629	FINE CANALE DI SCARICO

Le opere principali si sviluppano su area demaniale, fatta eccezione per un tratto del cavidotto di connessione, che interessa la seguente particella:

COMUNE	FOGLIO	PARTICELLA
SANT'ILARIO D'ENZA (RE)	20	194

Trattandosi di un'area demaniale non direttamente associata a particelle catastali, per agevolare l'inquadrimento spaziale dell'intervento si riportano di seguito le particelle limitrofe più prossime all'area di progetto:

COMUNE	FOGLIO	PARTICELLA
SANT'ILARIO D'ENZA (RE)	20	185
SANT'ILARIO D'ENZA (RE)	20	193
SANT'ILARIO D'ENZA (RE)	20	194
SANT'ILARIO D'ENZA (RE)	20	195
SANT'ILARIO D'ENZA (RE)	20	272

Di seguito si riporta uno stralcio della planimetria catastale.

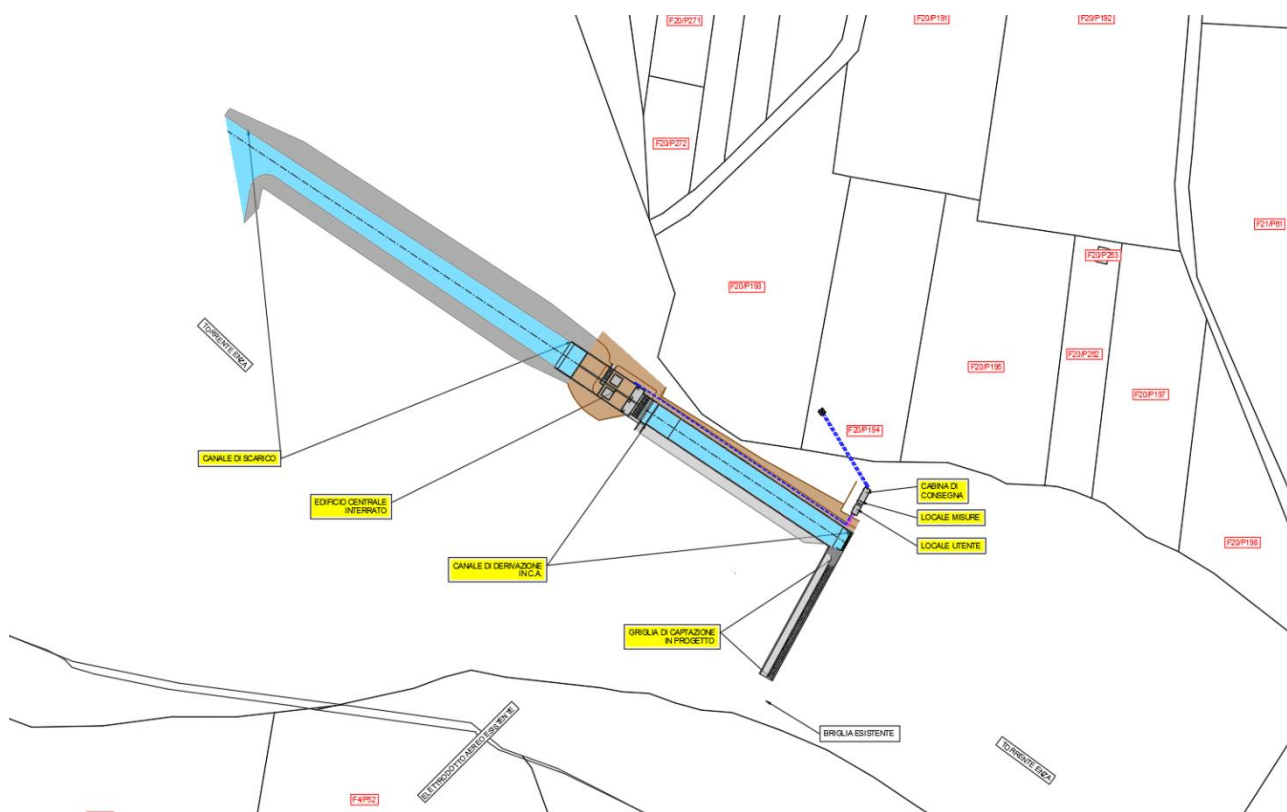


Figura 2 - Inquadramento dell'area di progetto su Mappa Catastale

4 DESCRIZIONE GENERALE DEGLI INTERVENTI

L'impianto in progetto, localizzato in sponda destra al torrente Enza, che si sviluppa a valle della briglia esistente è costituito da: un'opera di presa, un canale di derivazione a cielo aperto, un edificio centrale ed un canale di scarico a cielo aperto. Si riporta di seguito una descrizione sintetica di questi elementi caratteristici.

- L'**opera di presa** è localizzata, indicativamente a quota altimetrica di 65,45 m s.l.m. (quota briglia esistente) ed è costituita da una griglia di captazione della lunghezza di 50 m posizionata in adiacenza al muro della briglia esistente. La captazione avverrà su circa la metà della lunghezza della briglia esistente, lasciando la portata in transito sulla restante parte della briglia come deflusso del DMV.
- Il **canale di derivazione** a cielo aperto, che collega l'opera di presa all'edificio centrale, ha una lunghezza di circa 90 m ed ha la funzione di sedimentatore. La sezione del canale è dimensionata in modo tale da garantire all'acqua una velocità sufficientemente bassa da permettere il deposito della sabbia all'interno del canale stesso, impedendone il passaggio attraverso le turbine.
- L'**edificio centrale** è posizionato al termine del canale di derivazione ed ha una lunghezza complessiva di circa 42,0 m. La struttura verrà realizzata interrata ad eccezione del fronte rivolto a sud-est dove si intesta il canale di derivazione e dove sono posizionati gli sgrigliatori e le paratoie. L'interno dell'edificio sarà diviso in tre ambienti: il locale macchine (turbine e generatori) e quadri elettrici, locale trasformatore, locale deposito;
- Il **canale di restituzione** collega l'edificio centrale all'alveo naturale del Torrente Enza, avrà sezione trapezia e sarà realizzato a cielo aperto;

Di seguito si espone la relazione tecnica generale inerente alla descrizione dei luoghi allo stato attuale ed in particolare delle opere e degli interventi previsti in progetto.

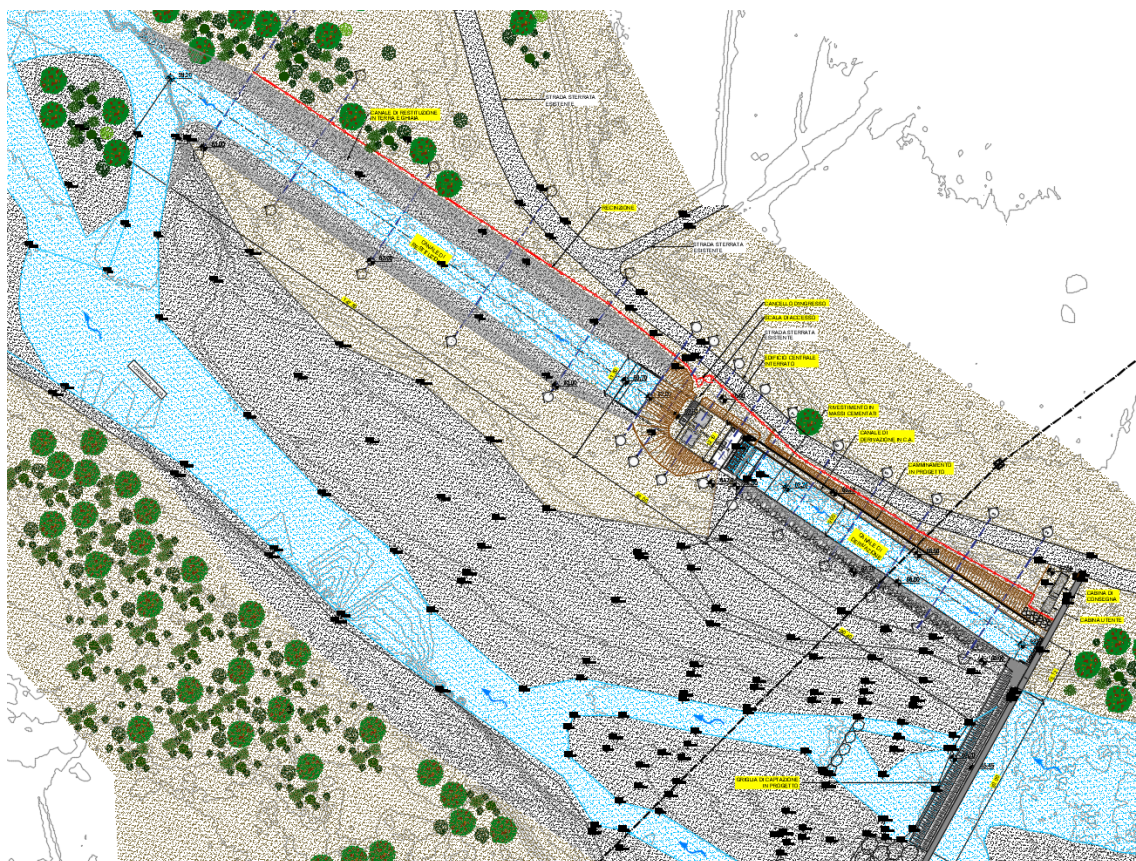


Figura 3 - Planimetria opere in progetto

4.1 Opera di presa

La briglia esistente ha una lunghezza di circa 200m, il Torrente Enza transita nella zona centrale e più bassa della briglia che ha una estensione di circa 100 m. Circa a metà della briglia è presente una scala di risalita dei pesci realizzata in massi ciclopici. Il presente progetto prevede la realizzazione di una griglia di captazione avente un'estensione di 50 m. La griglia verrà realizzata dalla scala di risalita dei pesci alla sponda destra dell'alveo ed avrà una pendenza di 5° per una lunghezza di 1,7 m, avrà una luce tra le barre di 15 mm e sarà composta da un tondo superiore con saldato al di sotto un piatto. La camera di carico sottostante alla griglia sarà a sezione crescente e partirà da una profondità di 1,45 m per arrivare ad una profondità di 3,45 m nella zona terminale a ridosso della vasca di carico; la larghezza rimarrà costante a 2 m lungo tutta la camera. Al termine della griglia saranno presenti due paratoie di larghezza 2 m e di altezza 3 m. La prima paratoia posizionata longitudinalmente al flusso dell'acqua denominata "paratoia dissabbiatrice" verrà aperta nel caso fosse necessario effettuare la pulizia della ghiaia e della sabbia accumulata nella camera di carico sotto la griglia di captazione. La seconda paratoia denominata "paratoia di derivazione" sarà aperta ad impianto funzionante e chiusa ad impianto fermo o in caso di apertura della "paratoia

dissabbiatrice". Le paratoie saranno accessibili per manutenzione grazie ad una passerella pedonale posizionata sopra il canale di carico e in adiacenza alla briglia.

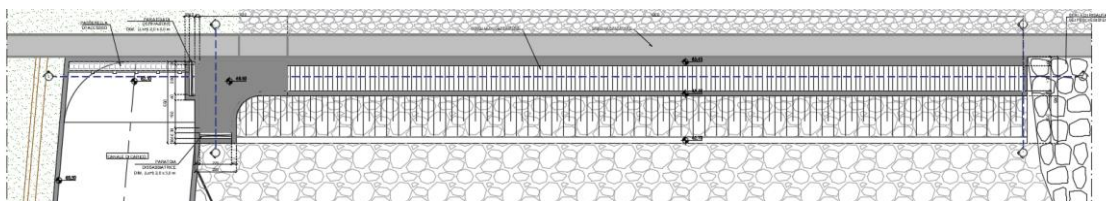


Figura 4 - Pianta opera di presa

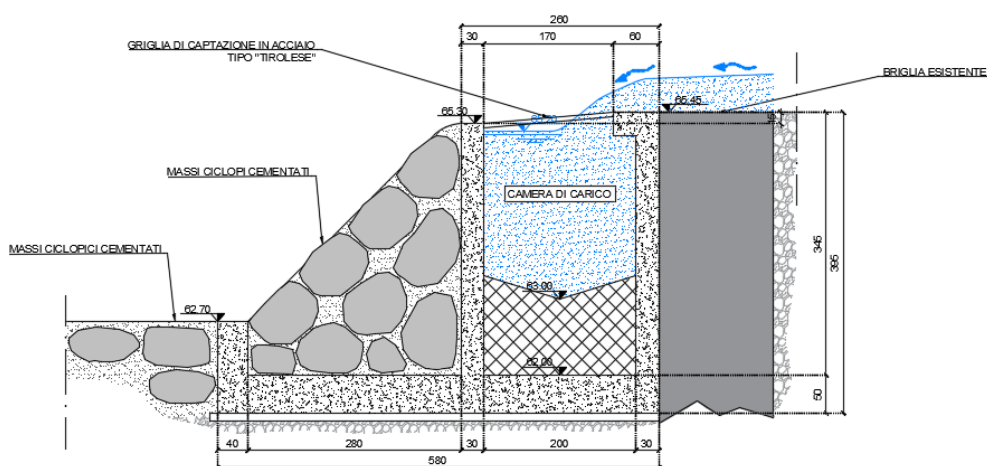


Figura 5 - Sezione opera di presa

4.2 Canale di derivazione

Per convogliare le acque derivate verso l'edificio centrale è prevista la realizzazione in sponda destra di un canale a cielo aperto a sezione rettangolare della lunghezza di 90 m. La larghezza del canale sarà di 9,0 m. Il fondo e i muri del canale verranno realizzati in calcestruzzo armato. La sommità della parete sinistra sarà a quota 66,00 m s.l.m., mentre la sommità della parete destra sarà a quota 66,50 m s.l.m. La scelta di realizzare la parete di sinistra più bassa di 0,5 m è data dal fatto che tale muro può fungere da sfioro in caso di piena. Sul lato esterno della parete sinistra verrà realizzata una scogliera cementata, sia per garantire il deflusso dell'acqua sfiorata in caso di piena, sia per minimizzare l'impatto paesaggistico del canale. Il muro destro fungerà da contenimento del terreno arginale e la parte alta del muro stesso fungerà da parapetto tra il camminamento da realizzare lungo il canale ed il canale stesso. Il canale avrà un fondo in pendenza che partirà da quota 62.70 m s.l.m. fino ad arrivare alla quota di 61.50 m s.l.m.

4.3 Edificio centrale

L'edificio centrale, ubicato sulla sponda destra del T. Enza su area demaniale sarà interamente realizzato in calcestruzzo armato e la parte di struttura eccedente il piano campagna sarà interrata ad eccezione del fronte sud-est vista la presenza del canale di derivazione. La copertura dell'edificio sarà una copertura verde. L'accesso pedonale ai locali sarà permesso da una scaletta posta sul fronte nord-ovest che dal piazzale esterno posto a quota 66.50 m s.l.m. conduce a quota 63.50 m s.l.m., piano di imposta dei locali. Sopra entrambi i gruppi turbine inoltre sarà presente una botola per consentire il sollevamento dall'alto dei componenti delle turbine.

Internamente l'edificio sarà essenzialmente composto dai seguenti locali:

- Il locale turbine e quadri di bassa tensione avrà dimensioni utili interne di 7,7 m x 11,5 m. Nel locale saranno alloggiati i due gruppi di produzione (turbine Kaplan e relativi generatori), i quadri elettrici di comando e controllo saranno posizionati sullo stesso piano (quota 63,50 m s.l.m.) delle turbine.
- In adiacenza al locale turbine saranno presenti due ulteriori locali, il primo dove verranno alloggiati il trasformatore e il quadro di media tensione ed il secondo adibito a deposito dove sarà presente anche il gruppo elettrogeno.

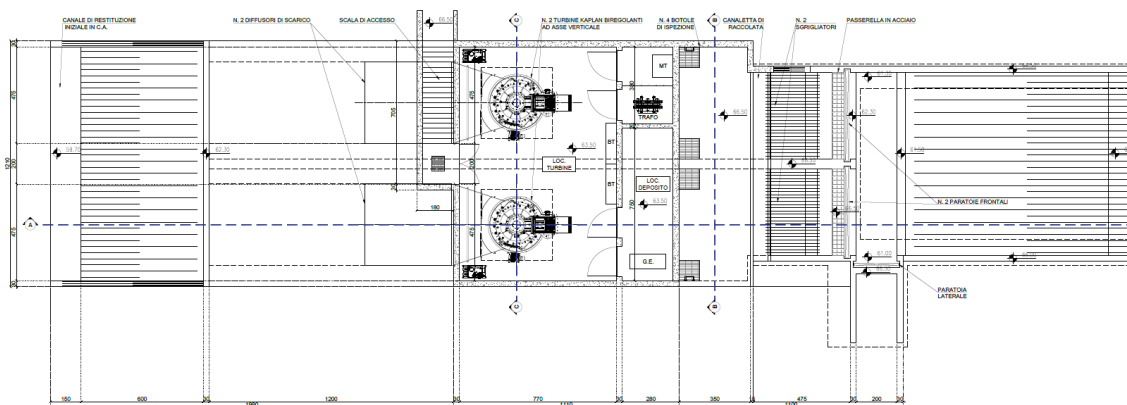


Figura 6 - Estratto pianta edificio centrale

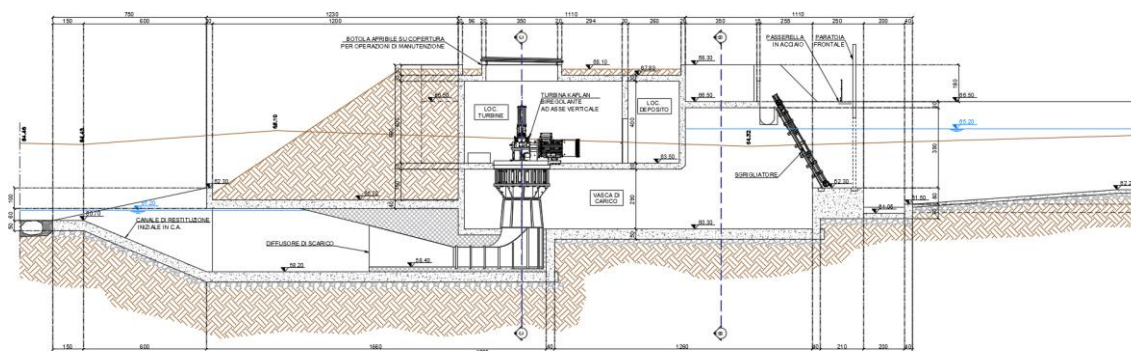


Figura 7 - Sezione longitudinale edificio centrale

Al di sotto del locale turbine è presente la vasca di carico dove attraverso il distributore l'acqua entra in contatto con le pale della turbina. Al di sotto di essa in direzione del canale di scarico, si sviluppa lo scarico interrato avente una lunghezza di circa 24,0 m e costituito nella prima parte da un diffusore in acciaio e nella seconda da una struttura scatolare in calcestruzzo.

Il fronte sud-est sarà caratterizzato dalla presenza di due griglie una per turbina atte ad impedire il passaggio di materiale grossolano dal canale di derivazione alla camera di carico. Ogni griglia sarà mantenuta pulita da uno sgrigliatore a pettine che raccoglierà l'eventuale materiale fermatosi davanti alla griglia e lo convoglierà in una canaletta di raccolta. Oltre alle griglie saranno presenti le "paratoie frontali" per la chiusura della derivazione, aventi dimensione 4,25 x 3,70 m e la "paratoia laterale" per lo scarico del canale di carico avente dimensione 2,0 x 2,5 m.

Per impedire l'accesso all'area della centrale dalle persone non addette si è prevista la delimitazione delle aree attorno all'edificio con recinzione metallica. Lungo la strada di accesso è quindi previsto un idoneo cancello manuale.

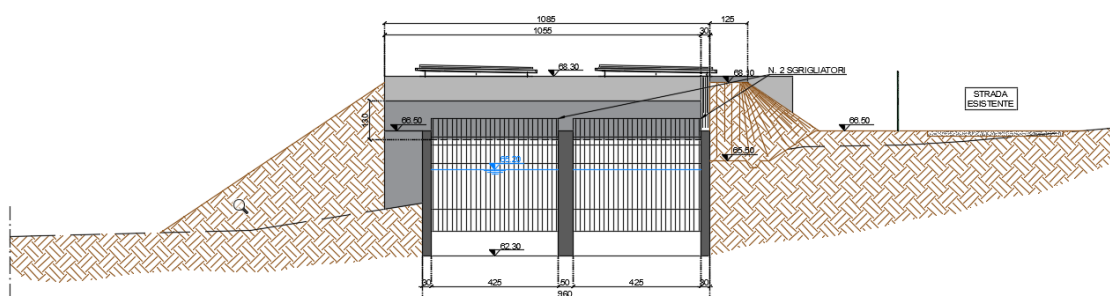


Figura 8 - Prospetto Nord

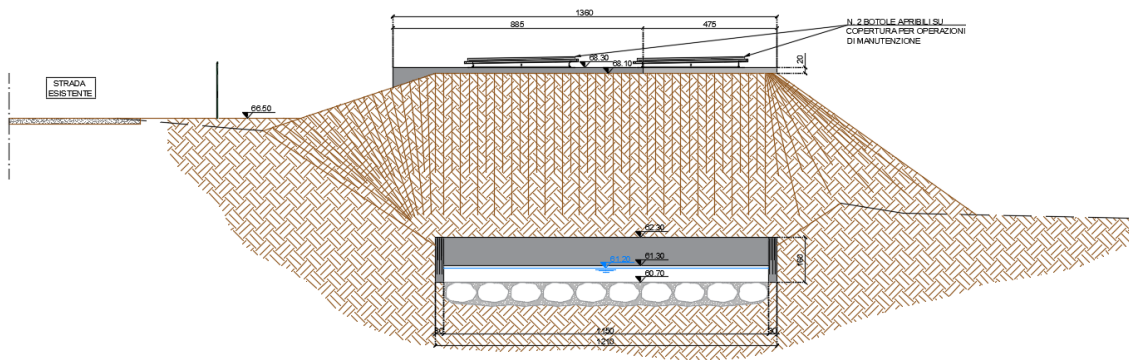


Figura 9 - Prospetto Sud

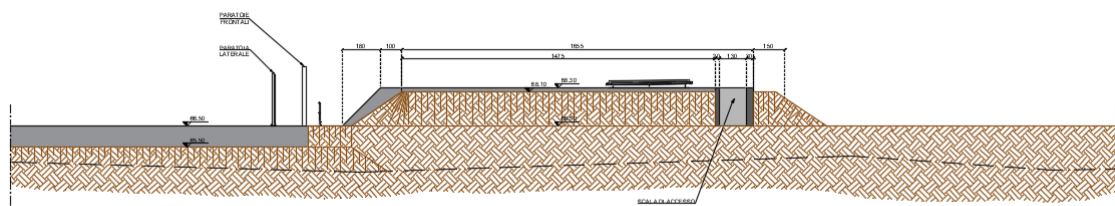


Figura 10 - Prospetto Ovest

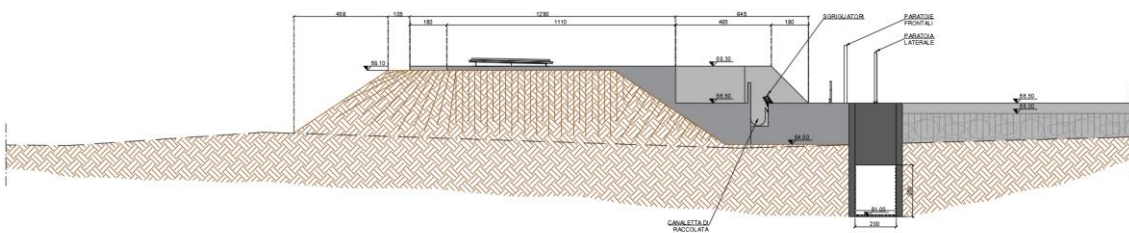


Figura 11 - Prospetto Est

4.4 Canale di restituzione delle portate

In uscita dal canale di scarico dell'edificio centrale, inizierà il canale di restituzione a sezione trapezia a cielo aperto, questo avrà una lunghezza di circa 148 m ed una pendenza dell'1,0 %, partendo da una quota di 60.70 m s.l.m. e giungendo ad una quota di 59.20 m s.l.m. Il canale sarà realizzato in terra.

5 **METODOLOGIA DI RIFERIMENTO**

5.1 **CRITERI GENERALI DI PROGETTO DELLE MEMBRATURE**

Il metodo di verifica utilizzato è quello semiprobabilistico, considerando lo stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione.

Combinazioni di carico

Per tali verifiche si fa riferimento alle seguenti combinazioni di carico:

- Combinazione SLU (fondamentale, sismica ed eccezionale);
- Combinazioni SLE (rara, quasi permanente e frequente).

La simbologia comune a tutte le combinazioni di carico trattate dalla Normativa entrata in vigore il 17 gennaio 2018 è la seguente:

- G_1 : azioni dovute ai pesi propri degli elementi strutturali (permanenti);
- G_2 : peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- Q_{ki} : azioni variabili;
- E : azioni dovute al sisma;
- A_d : azioni eccezionali;
- γ_{Gi} , γ_{Qi} : coefficienti parziali per le azioni (Tabella 2.6.I);
- ψ_i : coefficienti di combinazione delle azioni variabili, definiti in funzione della categoria di appartenenza delle stesse (Tabella 2.5.I).

Combinazione Fondamentale (SLU)

$$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2} + \dots$$

Combinazione Eccezionale (SLU)

$$A_d + G_1 + G_2 + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

Combinazione Sismica (SLU)

$$E + G_1 + G_2 + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

Combinazione Rara (SLE)

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02}Q_{k2} + \dots$$

Combinazione Frequente (SLE)

$$G_1 + G_2 + \psi_{11}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

Combinazione Quasi Permanente (SLE)

$$G_1 + G_2 + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

Verifiche agli stati limite ultimi

Le verifiche strutturali sono effettuate secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3), nella quale i parametri di resistenza del terreno (M1) ed i coefficienti di resistenza globale (R3) sono unitari, mentre alle azioni permanenti e variabili sono applicati i coefficienti del gruppo A1.

Nelle tabelle che seguono si riportano per chiarezza i valori dei coefficienti utilizzati, coerentemente con le indicazioni riportate nelle NTC 2018.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0i}	Ψ_{1i}	Ψ_{2i}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Le verifiche strutturali sono condotte confrontando le azioni agenti (E_d) con le azioni resistenti (R_d) e verificando che sia rispettata la condizione $E_d \leq \frac{R_K}{\gamma_M}$.

Verifiche agli stati limite di esercizio

Verifica a fessurazione

Il valore di calcolo dell'apertura delle fessure è stato ottenuto, secondo le indicazioni del paragrafo C.4.1.2.2.4.6 delle Istruzioni per l'applicazione delle NTC, tramite l'espressione $w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{s\max}$, dove ε_{sm} è la deformazione unitaria delle barre di armatura e $\Delta_{s\max}$ è la distanza massima fra le fessure.

La distanza massima fra le fessure può essere valutata con l'espressione:

$$\Delta_{s\max} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\Phi}{\rho_{eff}}$$

in cui:

$$k_3 = 3.4$$

$$d' = \text{copriferro}$$

$$k_1 = 0.80 \text{ per barre ad aderenza migliorata}$$

$$k_2 = 0.50 \text{ nel caso di flessione semplice e } 1.00 \text{ nel caso di trazione semplice}$$

$$k_4 = 0.425$$

Φ = diametro delle barre di armatura tesa

$$\rho_{eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

A_s = area dell'armatura tesa

$A_{c,eff} = h_{c,eff} \cdot b$, con b larghezza della sezione

$h_{c,eff}$ = valore minimo tra: $2.5 \cdot (h - d)$, $(h - x)/3$, $h/2$

La deformazione unitaria delle barre di armatura può essere calcolata con l'espressione:

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

dove:

σ_s = tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata

$k_t = 0.6$ per carichi di breve durata e 0.4 per carichi di lunga durata

f_{ctm} = resistenza media a trazione del calcestruzzo

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

E_s = modulo elastico dell'acciaio

E_{cm} = modulo elastico del calcestruzzo

Il valore di calcolo dell'apertura delle fessure non deve superare i valori nominali $w_1 = 0.2$ mm, $w_2 = 0.3$ mm, $w_3 = 0.4$ mm secondo quanto riportato nella Tab. 4.1.IV delle NTC 2018.

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

w_1, w_2, w_3 sono definiti al § 4.1.2.2.4, il valore w_k è definito al § 4.1.2.2.4.5.

Come è possibile notare dalla tabella sopra riportata, il valore limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione. (Cap. 4.1.2.2.4.3 e Cap. 4.1.2.2.4.4, NTC 2018).

Verifica delle tensioni di esercizio

Si è verificato che la massima tensione di compressione del calcestruzzo σ_c rispettasse le limitazioni:

$$\sigma_c \leq 0.45 \cdot f_{ck} \text{ per quanto riguarda la combinazione frequente}$$

$$\sigma_c \leq 0.60 \cdot f_{ck} \text{ per quanto riguarda la combinazione rara}$$

e che la massima tensione dell'acciaio σ_s rispettasse la limitazione:

$$\sigma_s \leq 0.80 \cdot f_{yk} \text{ per quanto riguarda la combinazione rara.}$$

Limitazione delle deformazioni

Le NTC prescrivono un controllo sulla snellezza dell'elemento da verificare, in particolare, per travi e solai con luci non superiori ai 10 m è possibile omettere la verifica delle inflessioni, ritenendola implicitamente soddisfatta, se il rapporto di snellezza $\lambda = L / h$ tra luce e altezza rispetta la limitazione:

$$\lambda \leq K \cdot \left[11 + \frac{0.0015 \cdot f_{ck}}{\rho + \rho'} \right] \cdot \left[\frac{500 \cdot A_{s,eff}}{f_{yk} \cdot A_{s,calc}} \right]$$

dove

f_{ck} = resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo [MPa]

ρ = rapporto d'armatura tesa

ρ' = rapporto d'armatura compressa

$A_{s,eff}$ = armatura tesa presente nella sezione più sollecitata

$A_{s,calc}$ = armatura di calcolo presente nella sezione più sollecitata

f_{yk} = tensione di snervamento caratteristica dell'armatura [MPa]

K = coefficiente correttivo, che dipende dallo schema strutturale.

I valori da attribuire a K sono riportati in Tab. C.4.1.1 della Circolare Esplicativa delle NTC 2018, insieme con i valori di λ calcolati assumendo.

Tabella C4.1.1 Valori di K e snellezze limite per elementi inflessi in c.a. in assenza di compressione assiale

Sistema strutturale	K	Calcestruzzo molto sollecitato $\rho=1,5\%$	Calcestruzzo poco sollecitato $\rho=0,5\%$
Travi semplicemente appoggiate, piastre incernierate mono o bidirezionali	1,0	14	20
Campate terminali di travi continue o piastre continue monodirezionali o bidirezionali continue sul lato maggiore	1,3	18	26
Campate intermedie di travi o piastre mono o bidirezionali	1,5	20	30
Piastre non nervate sostenute da pilastri (snellezza relativa alla luce maggiore)	1,2	17	24
Mensole	0,4	6	8

Per travi a T e piastre nervate caricate da tramezzi che possano subire danni a causa di inflessioni eccessive, i valori dati dalla formula sopra descritta devono essere moltiplicati per il rapporto $7/l$, essendo l la luce di calcolo in m.

Per piastre non nervate la cui luce maggiore ecceda 8.5 m, caricate da tramezzi che possano subire danni a causa di inflessioni eccessive, i valori dati dalla medesima formula devono essere moltiplicati per il rapporto $8.5/l$, con l in m.

6 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

E' previsto l'utilizzo dei seguenti materiali:

- Calcestruzzo strutturale di classe C25/30 (strutture di fondazione e di elevazione);
- Acciaio saldabile in barre ad aderenza migliorata per cemento armato tipo B450C.

6.1 CALCESTRUZZO STRUTTURALE C25/30

Il calcestruzzo in oggetto presenta le seguenti caratteristiche:

- Resistenza caratteristica a compressione cubica a 28 giorni: $R_{ck} \sim 30.00 \text{ MPa}$
- Resistenza caratteristica a compressione cilindrica a 28 giorni: $f_{ck} \sim 25.00 \text{ MPa}$.

La minima classe di resistenza prescritta per la tipologia di calcestruzzo è la C25/30.

La classe di esposizione XC2 si riferisce al calcestruzzo armato ordinario immerso in acqua o terreni non aggressivi (fondazioni e strutture di contenimento liquidi).

A partire dai valori di resistenza caratteristica del calcestruzzo cilindrica e cubica a 28 giorni, rispettivamente f_{ck} e R_{ck} , è possibile calcolare i parametri di resistenza del calcestruzzo da utilizzarsi nei calcoli.

La resistenza di calcolo del calcestruzzo f_{cd} è pari a:

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0.85 \cdot 25}{1.50} = 14.16 \text{ MPa}$$

dove:

$\alpha_{cc} = 0.85$ è un parametro che tiene conto dei fenomeni a lungo termine del calcestruzzo (viscosità)

$\gamma_c = 1.50$ è il coefficiente parziale di sicurezza del materiale

$f_{ck} = 25.00 \text{ MPa}$ è la resistenza caratteristica a compressione cilindrica a 28 giorni.

Si calcola a questo punto la resistenza caratteristica media f_{cm} con:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 25.00 + 8 = 33.00 \text{ MPa}$$

La resistenza media a trazione f_{ctm} è pari a:

$$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3} = 0.30 \cdot 25.00^{2/3} = 2.56 \text{ MPa}$$

La resistenza media a trazione f_{ctk} è pari a:

$$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} = 0,7 * 2.56 = 1.79 \text{ MPa}$$

La resistenza a trazione di calcolo f_{ctd} è pari a:

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C = 1.79 / 1.5 = 1.19 \text{ MPa}$$

dove γ_C è il coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo.

Infine si valuta il modulo elastico E_{cm} del calcestruzzo.

$$E_{cm} = 22\,000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} = 22000 * 3.30^{0.3} = 31\,475 \text{ N/mm}^2$$

6.2 ACCIAIO IN BARRE AD ADERENZA MIGLIORATA PER CEMENTO ARMATO SALDABILE

Tipo di acciaio B450C, controllato in stabilimento

Tensione caratteristica di snervamento: f_{yk} : 450 MPa

Tensione caratteristica di rottura: f_{tk} : 540 MPa

La resistenza a snervamento di progetto f_{yd} è pari a:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{450}{1.15} = 391.3 \text{ MPa}$$

dove $\gamma_s = 1.15$ è il coefficiente parziale di sicurezza dell'acciaio.

7 PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO

Sulla base dei contenuti esposti nella "Relazione geologica" (DTG_031), i parametri assunti ai fini dei calcoli strutturali sono i seguenti.

Unità Tv	Si tratta di terreno vegetale di spessore rilevato pari a ca. 0.6 m.
Unità A	È un deposito granulare (sabbia e ghiaia), mediamente addensato e di discrete caratteristiche geotecniche; rielaborando i valori penetrometrici, sono stati calcolati angoli d'attrito $\Phi = 28^\circ\text{-}30^\circ$ e moduli di deformazione $E = 150\text{-}200 \text{ kg/cm}^2$.
Unità B	A partire da ca. 4 m di profondità, i valori di Nspt aumentano significativamente, suggerendo il passaggio ad un deposito che si differenzia da quello sovrastante per un aumento della granulometria e/o dello stato di addensamento, tale da indurre rapidamente al rifiuto strumentale ($\Phi = 32^\circ\text{-}33^\circ$; $E = 250\text{-}350 \text{ kg/cm}^2$).

8 ANALISI DELLE AZIONI

Azioni permanenti strutturali: G₁

Per il calcolo del peso proprio degli elementi strutturali si è assunta una densità del calcestruzzo armato pari a $\gamma_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$.

Azioni permanenti non strutturali: G₂

Spinta del terreno – S_t

Il coefficiente di spinta attiva è stato calcolato con l'espressione:

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi)}{\sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

dove:

α = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale del paramento di monte del muro

φ = angolo di attrito del terreno considerato

δ = angolo di attrito terreno –muro

β = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale del terreno a tergo del muro

L'espressione generale per il calcolo della spinta attiva agente su uno sviluppo lineare di struttura di altezza h è:

$$S_a = 0.5 \cdot \gamma_t \cdot K_a \cdot h^2 - 2c\sqrt{K_a} \cdot h \text{ (kN)}$$

dove:

γ_t = peso specifico del terreno considerato (kN/m³)

h = altezza dello strato di terreno considerato (m)

c = coesione del terreno considerato (kN/m²)

Spinta dell'acqua – S_w

L'espressione generale per il calcolo della spinta dell'acqua agente su uno sviluppo lineare di struttura di altezza h è:

$$S_w = 0.5 \cdot \gamma_w \cdot h^2 \text{ (kN)}$$

dove:

γ_w = peso specifico dell'acqua (kN/m³)

h = altezza del livello d'acqua rispetto al piano di fondazione (m).

Peso dell'acqua – P_w

Il peso delle masse d'acqua gravanti sul manufatto è stato calcolato assumendo il peso specifico dell'acqua pari a $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$.

Azioni variabili: Q_{ki}

Sovraccarico di servizio per manutenzione (Categoria H1 – Tabella 3.1.II, NTC 2008) – q_s

Si assume un valore del sovraccarico di servizio sulla soletta di copertura pari a 0.50 kN/m^2 .

Carico neve

Il carico provocato dalla neve sulla copertura sarà valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i q_{sk} C_E C_t = 1.44 \text{ kN/m}^2$$

dove:

q_s = il carico della neve sulla copertura;

$\mu_i = 0.8$ = coefficiente di forma

$q_{sk} = 1.50 \text{ KN/m}^2$ valore caratteristico del carico neve al suolo, con $a_s = 65$ (quota del suolo sul livello del mare nell'intorno degli interventi da realizzare)

$C_E = 1$ = coefficiente di esposizione

$C_t = 1$ = coefficiente termico

Azione sismica: E

Verrà svolta un'analisi sismica di tipo lineare modale (cap. 7.3.3.1 delle NTC).

Il comune di Sant'Ilario d'Enza (RE), all'interno del quale si sviluppano le opere in progetto, è caratterizzato dai seguenti valori dei parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

COMUNE DI SANT'ILARIO D'ENZA			
T_R (anni)	a_g (g)	F_o	T_C^* (s)
30	0,045	2,492	0,242
50	0,056	2,511	0,260
72	0,066	2,506	0,268
101	0,075	2,499	0,274
140	0,086	2,489	0,280
201	0,099	2,487	0,282
475	0,140	2,444	0,287
975	0,180	2,423	0,297
2475	0,238	2,449	0,310

dove:

T_R = periodo di ritorno di riferimento;

a_g (g) = accelerazione orizzontale massima al sito;

F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

Per valutare il periodo di ritorno in anni, si è definito il periodo di riferimento dell'azione sismica:

$$V_R = V_N * C_u = 50 * 1 = 50 \text{ anni}$$

dove:

V_N = vita nominale della costruzione, pari a 50 anni, perché si tratta di un'opera ordinaria con importanza normale;

C_u = coefficiente d'uso pari a 1, poiché si tratta di una costruzione in classe d'uso II.

Si è poi fatto riferimento alla tabella 3.2.I delle Norme Tecniche:

dove:

V_N = vita nominale della costruzione, pari a 50 anni, perché si tratta di un'opera ordinaria con importanza normale;

C_u = coefficiente d'uso pari a 1, poiché si tratta di una costruzione in classe d'uso II.

Si è poi fatto riferimento alla tabella 3.2.I delle Norme Tecniche:

Stato limite		P_{VR} : Probabilità di superamento del periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO (stato limite di operatività)	81%
	SLD (stato limite di danno)	63%
Stati limite ultimi	SLV (stato limite di salvaguardia della vita)	10%
	SLC (stato limite di prevenzione del collasso)	5%

Utilizzando l'espressione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

si è potuto calcolare il valore del periodo di ritorno per ognuno degli stati limite considerati nel periodo di riferimento di 50 anni:

Stato limite		Periodo di ritorno T_R (anni)
Stati limite di esercizio	SLO	30
	SLD	50
Stati limite ultimi	SLV	475
	SLC	975

Le verifiche in condizioni sismiche, nel caso in esame, vengono condotte allo SLV per gli stati limite ultimi.

Per quanto riguarda il comune di Sant'Ilario d'Enza (RE) si esplicitano nel seguito i parametri sismici caratteristici per terreni di categoria del sottosuolo B e categoria topografica T1, determinati attraverso l'impiego del software "Spettri NTC ver. 1.0.3".

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato lir8LV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_s	0,140 g
F_s	2,446
T_c	0,287 s
S_g	1,200
C_c	1,412
S_T	1,000
q	3,000

Parametri dipendenti

S	1,200
η	0,333
T_b	0,135 s
T_c	0,405 s
T_d	2,159 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_g \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10(5 + g)} \geq 0,55 \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; § 3.2.3.5})$$

$$T_b = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_c = C_c \cdot T_g \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_d = 4,0 \cdot a_s / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_b \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_b \cdot \left[\frac{T}{T_b} + \frac{1}{\eta \cdot F_b} \left(1 - \frac{T}{T_b} \right) \right]$$

$$T_b \leq T < T_c \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_b$$

$$T_c \leq T < T_d \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_b \cdot \left(\frac{T_c}{T} \right)$$

$$T_d \leq T \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_b \cdot \left(\frac{T_c T_d}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ moltiplicando con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,168
$T_b \leftarrow$	0,135	0,137
$T_c \leftarrow$	0,405	0,137
	0,489	0,113
	0,572	0,097
	0,656	0,085
	0,739	0,075
	0,823	0,067
	0,906	0,061
	0,990	0,056
	1,074	0,052
	1,157	0,048
	1,241	0,045
	1,324	0,042
	1,408	0,039
	1,491	0,037
	1,575	0,035
	1,658	0,033
	1,742	0,032
	1,825	0,030
	1,909	0,029
	1,992	0,028
	2,076	0,028
$T_d \leftarrow$	2,159	0,028
	2,247	0,028
	2,335	0,028
	2,422	0,028
	2,510	0,028
	2,598	0,028
	2,685	0,028
	2,773	0,028
	2,861	0,028
	2,948	0,028
	3,036	0,028
	3,123	0,028
	3,211	0,028
	3,299	0,028
	3,386	0,028
	3,474	0,028
	3,562	0,028
	3,649	0,028
	3,737	0,028
	3,825	0,028
	3,912	0,028
	4,000	0,028

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dell