



Valle Dora Energia

PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE IMPIANTO IDROELETTRICO SALBERTRAND - CHIOMONTE

VALLE DORA ENERGIA s.r.l.
L'AMMINISTRATORE DELEGATO
(dott. arch. Giuseppe Garbati)

a cura di:

 SOCIETA' DI INGEGNERIA STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI	prof. ing. Alessandro Paoletti 	dott. ing. Giovanni Battista Peduzzi 	dott. ing. Filippo Malingegno
	L'Amministratore Delegato (dott. ing. Roberto Garbati) 	Il Direttore Produzione Idroelettrica (p.i. Luigi Bonifacino) 	Il Responsabile Project Management (dott. Andrea Verlucca Moreto)

Titolo:

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE CIVILI E PREDIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE

Revisioni:	N°	Descrizione		Data	
	0	EMISSIONE PER VERIFICA ASSOGGETTABILITÀ V.I.A.		APRILE 2012	
Numero Elaborato:	Tipologia	Commessa	Documento	Numero	Scala
	PD	442-04	AT	A.03.03	

INDICE

1.	PREMESSA.....	2
2.	LA NUOVA CONDOTTA FORZATA N°3.....	3
2.1	CALCOLO DEL DIAMETRO OTTIMALE	3
2.2	DIMENSIONAMENTO DELLA CONDOTTA	5
2.2.1	Spessore nominale della condotta	7
2.2.2	Verifica statica degli spessori adottati – Aspetti teorici	10
2.2.3	Calcolo delle sollecitazioni e verifica statica	17
2.3	DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI ANCORAGGIO DEI VERTICI.....	21
2.3.1	Considerazioni generali	21
2.3.2	Normativa adottata	22
2.3.3	Caratteristiche dei materiali.....	23
2.3.4	Ancoraggio con tiranti in acciaio	23
2.3.5	Ancoraggio con blocchi in cemento armato.....	28
3.	PONTE TUBO SUL CANALE DI DERIVAZIONE DI SERRE LA VOUTE	
	35	
3.1	CONSIDERAZIONI GENERALI	35
3.2	NORMATIVA E MATERIALI	37
3.2.1	Normativa adottata	37
3.3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	37
3.3.1	Acciaio.....	38
3.3.2	Calcestruzzo spalle	39
3.4	DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA.....	39
3.4.1	Descrizione generale	39
3.4.2	Analisi dei carichi.....	40
3.4.3	Combinazioni di carico ed azioni generalizzate.....	40
3.4.4	Verifiche	42
3.5	SELLA DI APPOGGIO	42
3.6	PALIFICATA DI FONDAZIONE	43

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

4. RISANAMENTO CANALE DI DERIVAZIONE A SERRE LA VOUTE .	48
4.1 CONSIDERAZIONI GENERALI	48
4.2 NORMATIVA E MATERIALI	50
4.2.1 Normativa adottata	50
4.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	51
4.3.1 Acciaio.....	51
4.3.2 Calcestruzzo	52
4.4 TIPOLOGIE DI INTERVENTO	52
4.4.1 Basso degrado.....	52
4.4.2 Medio degrado.....	54
4.4.3 Alto degrado	58
5. ALLEGATO A: RILIEVO DELLE ARCADE EFFETTUATO DA IREN ENERGIA	64
6. CENTRALE DI CHIOMONTE	65
6.1 PREMESSA	65
6.2 INQUADRAMENTO SISMICO	66
6.3 NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO.....	68
6.4 PREDIMENSIONAMENTO STRUTTURE.....	70

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

1. PREMESSA

La presente relazione tecnica descrive i criteri ed i procedimenti di calcolo seguiti nella fase di progettazione delle opere civili e di pre-dimensionamento delle strutture: In particolare nei capitoli successivi vengono affrontati gli aspetti riguardanti:

1. la nuova condotta forzata n°3 sul versante tra l'area di Ramat e la nuova centrale di Chiomonte;
2. i blocchi di ancoraggio della nuova condotta forzata dell'impianto idroelettrico di Salbertrand-Chiomonte;
3. il nuovo ponte tubo in località Serre la Voute ed il risanamento strutturale del relativo canale di derivazione a Salbertrand;
4. il risanamento strutturale del canale di derivazione a Salbertrand;
5. la nuova centrale a Chiomonte.

In relazione alla condotta forzata (punto 1.), nel ribadire i dimensionamenti già eseguiti, si riportano di seguito alcuni cenni alle procedure di calcolo.

2. LA NUOVA CONDOTTA FORZATA N°3

Per quanto attiene al dimensionamento della condotta, sono stati di fatto verificati e vengono qui confermati i calcoli sviluppati nell'ambito dello studio di fattibilità preliminare.

È da osservare che i parametri che concorrono all'analisi di minima passività, in particolare il costo unitario dell'acciaio in opera ed il valore dei certificati energetici, hanno subito nell'ultimo biennio notevoli variazioni e tuttora si registrano progressive modifiche. Allo stato attuale, in relazione agli obiettivi che la presente progettazione definitiva si prefigge, non è pertanto possibile introdurre ulteriori approfondimenti nei dimensionamenti già eseguiti.

Si ritiene che, se all'atto della progettazione esecutiva-costruttiva per la fattiva realizzazione dell'opera potranno essere confermate tutte le considerazioni sviluppate in ordine allo sfruttamento dei livelli idrici nella vasca di Ramat, all'analisi delle regole gestionali dell'impianto, ai costi unitari dei materiali e dell'energia, non saranno registrabili variazioni di rilievo dei diametri ottimali e degli spessori ad oggi individuati. Viceversa potranno essere ottimizzati i dimensionamenti ripercorrendo le consuete calcolazioni del caso.

2.1 CALCOLO DEL DIAMETRO OTTIMALE

Il dimensionamento di una condotta forzata viene condotto con i tradizionali calcoli di minima passività finalizzati all'individuazione dei diametri che

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

assicurano il miglior compromesso tra il costo dell'opera ed i mancati ricavi dovuti all'energia perduta per effetto delle perdite di carico lungo la condotta.

La funzione passività è composta dalla somma di due termini, uno economico e costruttivo (r_c), l'altro idraulico (P_e).

Il primo termine è rappresentato dalla passività relativa al costo della condotta:

$$r_c = r [\pi \tau_m c_m \sum_i (D_i s_i L_i) + c_i]$$

dove:

r = tasso di interesse, ammortamento e manutenzione impianto

c_m = costo dell'acciaio in opera

D_i = diametro del tronco generico di condotta

s_i = spessore del tronco D_i di condotta

L_i = lunghezza del tronco generico di diametro costante D_i

τ_m = peso specifico dell'acciaio

c_i = costo delle opere connesse alla scelta del tronco di diametro D_i

Il secondo termine è rappresentato dalla mancata produzione a causa delle perdite di carico nella condotta:

$$P_e = 9,8 \sum_k c_k [\sum_j \eta_j Q_j T_j \sum_i (J_{ji} L_i)]$$

dove:

P_e = passività di esercizio

η_j = rendimento delle turbine per la portata Q_j

c_k = prezzo di vendita dell'energia prodotta

Q_j = portata turbinata

T_j = ore annue di funzionamento alla portata Q_j

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

J_{ji} = cadente piezometrica nel tratto L_i per la portata Q_j

La funzione “passività relativa al costo della condotta” cresce al crescere dei diametri adottati, mentre la funzione “passività relativa alla mancata produzione” decresce al crescere dei diametri; esiste pertanto per la funzione somma delle due passività un punto di minimo che garantisce la massima convenienza per l'impianto.

Gli spessori vengono calcolati con la formula di Mariotte:

$$s = \frac{\gamma * Y * D}{2 * \sigma_{adm}}$$

dove:

Y = carico idraulico statico (comprensivo della maggiorazione del 20% per tener conto della sovrappressione dovuta al colpo d'ariete) [m]

D = diametro condotta [m]

σ_{adm} = sforzo ammissibile nell'acciaio [N/mq]

γ = peso specifico dell'acqua [N/m³]

La cadente J è stata calcolata con la formula di Chezy nella forma di Strickler:

$$J = Q^2 / A^2 R^{4/3} K_s^2$$

I dati di input adottati per il calcolo della funzione di passività conducono ad individuare una condotta DN990 mm quale diametro ottimale che la minimizza.

2.2 DIMENSIONAMENTO DELLA CONDOTTA

Il crescente costo del materiale rende in linea generale conveniente la

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

rastremazione del diametro della condotta all'aumentare della pressione di esercizio, per limitare lo spessore s della condotta. Nel contempo può risultare più conveniente mantenere costante il diametro, aumentando lo spessore al crescere della pressione d'esercizio.

Solitamente si opera un cambiamento di diametro o di spessore della condotta ogni 150÷200 m di salto circa; ciò poiché, in base all'espressione di minima passività:

$$D_i = D_{rif} \sqrt[7]{(H_{rif}/H_i)}$$

dove:

D_i = diametro condotta nel tronco generico [m]

H_i = carico idrostatico nella sezione D_i [m]

D_{rif} = diametro di riferimento pari al diametro della condotta nella sezione di recapito [m]

H_{rif} = carico idrostatico nella sezione di recapito [m],

la rastremazione dei diametri appare poco efficace in relazione a H_{rif} (in funzione del fattore $1/7$) se non per elevate cadute.

Nel dimensionamento della condotta di progetto, individuato il diametro ottimale (DN990 mm), si è ritenuto di trovare il migliore compromesso tra le due considerazioni svolte adottando due differenti diametri (1000 mm e 950 mm) e tre spessori.

2.2.1 Spessore nominale della condotta

La condotta forzata n°3 è caratterizzata dalle seguenti dimensioni e grandezze:

<u>Tratto</u>	<u>Lunghezza</u>	<u>Diametro</u>	<u>Quota di monte</u>	<u>Quota di valle</u>	<u>Pendenza</u>
	[m]	[mm]	[m.s.l.m.]	[m.s.l.m.]	[%]
1	31,07	1000	962,70	958,55	13,47
2	73,39	1000	958,55	910,00	88,21
3	93,80	1000	910,00	855,20	71,96
4	31,18	1000	855,20	829,75	141,23
5	18,70	1000	829,75	819,40	66,47
6	20,79	1000	819,40	802,8	132,59
7	27,65	1000	802,8	784,35	89,47
8	40,26	1000	784,35	748,59	193,3
9	26,68	950	748,59	729,99	97,23
10	156,21	950	729,99	648,65	61,00
11	70,00	950	648,65	648,59	0,00

Tabella 1 – Caratteristiche geometriche della condotta forzata

Nella determinazione degli spessori da attribuire ad ogni tratto, si considera:

- uno spessore nominale, che tenga conto della pressione complessiva agente sulla tubazione;
- uno spessore cosiddetto di usura, di norma pari ad 1 o a 2 mm, finalizzato a salvaguardare nel tempo le caratteristiche di resistenza della condotta, soggette al progressivo processo di consumo delle tubazioni durante la vita di servizio dell'opera.

Lo spessore da assegnare ad ogni tratto della condotta è definito dalla somma dei due spessori così definiti.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Nel dimensionamento si deve in ogni caso tener conto che lo spessore complessivo non può comunque essere inferiore a 8 mm per i tratti diritti ed a 9 mm per i tratti curvi e pezzi speciali, come prescritto dalla “*Specifica Tecnica Generale, ENEL –MID 12 (maggio 1998)*” di riferimento.

Per ogni tratto della condotta forzata si è calcolato lo spessore nominale attraverso la formula di Mariotte suddetta con sforzo ammissibile dell'acciaio adottato pari a 186,8 N/mm².

La pressione totale massima agente è data dalla somma della pressione statica e della massima sovrappressione generata dal colpo di ariete. Quest'ultima è cautelativamente calcolata nella misura del 20% della pressione presente in condizioni statiche. L'applicazione di una tale sovrappressione appare cautelativa rispetto ai valori deducibili dall'applicazione delle formule di Allievi-Michaud.

Nella Tabella 2 seguente sono riportate le pressioni in gioco tratto per tratto.

<i>Tratto</i>	<i>H_{statica}</i> <i>[m]</i>	<i>ΔH_{colpo d'ariete}</i> <i>[m]</i>	<i>H_{tot}</i> <i>[m]</i>
1	13.19	2.64	15.83
2	61.47	12.35	74.09
3	116.54	23.31	139.85
4	141.99	28.40	170.39
5	152.34	30.47	182.81
6	168.94	33.79	202.73
7	187.39	37.48	224.87
8	223.15	44.63	267.78
9	241.75	48.35	290.10
10	323.09	64.62	387.71
11	323.15	64.63	387.78

Tabella 2 – Pressione idrostatica lungo la condotta forzata

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Gli spessori nominali teorici risultanti dalla semplice applicazione della formula di Mariotte sono presentati nella seguente Tabella 3.

<u>Tratto</u>	<u>Spessore (e)</u> [mm]
1	0.42
2	1.94
3	3.67
4	4.47
5	4.80
6	5.32
7	5.90
8	7.03
9	7.23
10	9.67
11	9.67

Tabella 3 – Spessori risultanti dall'applicazione della formula di Mariotte

Gli spessori nominali inferiori a 7 mm vengono comunque considerati pari a 7 mm, valore minimo ammesso dalla specifica di riferimento (ENEL –MID 12). Gli spessori nominali definiti devono essere verificati in funzione di diverse condizioni di carico (ENEL –MID 12) ed opportunamente aumentati per garantire il franco di sicurezza richiesto dalla norma di applicazione.

In ogni caso deve come detto essere sempre considerato un sovrappessore che tenga conto dei fenomeni di progressiva usura cui sono soggette le virole metalliche durante la vita di servizio dell'opera. Questi fenomeni possono condurre ad una riduzione dello spessore della condotta stessa, causando la riduzione della vita attesa, rotture improvvise della condotta durante l'esercizio, riduzione generale della resistenza, problemi puntuali di usura.

Lo spessore di usura da adottare per condotte diritte è pari di norma ad 1 mm e per condotte in curva e pezzi speciali pari a 2 mm.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

In virtù degli sforzi e dei carichi cui la condotta deve essere sottoposta e dei fenomeni d'usura, sono stati adottati i seguenti spessori per il dimensionamento della condotta forzata n°3 Ramat-Chiomonte, così come riportato in Tabella 4.

<u>Tratto</u>	<u>Diametro</u> [mm]	<u>Spessore (e)</u> [mm]
1	1000	8
2	1000	8
3	1000	8
4	1000	11
5	1000	11
6	1000	11
7	1000	11
8	1000	11
9	950	16
10	950	16
11	950	16

Tabella 4 – Spessori di progetto

2.2.2 Verifica statica degli spessori adottati – Aspetti teorici

Determinati il diametro interno della condotta e lo spessore di ogni tratto, è necessario eseguire una verifica del dimensionamento in tre diverse condizioni di carico (normale, saltuaria, eccezionale), valutando di volta in volta lo stato di sollecitazione del materiale, definito mediante le tre tensioni principali.

Nel caso di condotte con piccola curvatura o diritte, gli sforzi principali agiscono rispettivamente nella direzione circonferenziale, longitudinale e radiale (rispettivamente σ_c , σ_l e σ_r); quest'ultima, data la sua esiguità, può essere di norma trascurata.

Lo stato di sollecitazione del materiale si riduce così ad uno stato piano caratterizzato dalle tensioni principali σ_c e σ_l , rispettivamente circonferenziale e longitudinale.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Per la verifica di resistenza si valuta, in ogni punto della condotta, la tensione equivalente e la si confronta, con un opportuno coefficiente di sicurezza, al carico di snervamento del materiale (pari a 355 N/mm² per il tipo di acciaio adottato).

La tensione equivalente σ_E viene calcolata con la formula di Henky – Von Mises:

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_c^2 + \sigma_L^2 - \sigma_c \cdot \sigma_L}$$

La verifica deve essere condotta rispetto allo spessore nominale della tubazione, trascurando cioè lo spessore d'usura.

Per ciascuno dei tratti in cui è stata suddivisa la condotta forzata, si è eseguita l'analisi dello stato di sollecitazione considerando una configurazione a vertici bloccati (da blocchi di ancoraggio in c.a. o da tiranti) rappresentativa della situazione di progetto.

La verifica è stata svolta in base alle prescrizioni della “*Specifica Tecnica Generale, ENEL - MID 12 (maggio 1998)*”, che riporta le specifiche tecniche di riferimento per i calcoli di resistenza e stabilità elastica, nonché le caratteristiche delle forniture di condotte forzate in acciaio per impianti idroelettrici.

Le azioni di diversa natura che inducono sollecitazioni negli elementi delle condotte devono essere determinate per le tre condizioni di carico dette, e per ciascuna di esse deve essere verificato lo stato tensionale della condotta, combinando le azioni secondo lo scenario più sfavorevole.

2.2.2.1 Condizione di carico normale

Le azioni comprese in questa condizione di carico sono quelle agenti durante il normale esercizio della condotta, cioè riferite alla pressione interna massima corrispondente alla maggiore tra:

- a) la pressione corrispondente al livello statico massimo nella vasca di carico, aumentata della sovrapressione di colpo d'ariete massima di esercizio;
- b) la pressione corrispondente al massimo livello statico nella vasca di carico, aumentata della sovrapressione massima determinata dall'oscillazione massima, che si realizza nei transitori di moto vario.

Le tensioni considerate sono:

1. pressione riferita al massimo livello statico;
2. sovrapressione maggiore tra quelle descritte nel punto a) e b);
3. peso della tubazione e dell'acqua in esso contenuto;
4. azioni derivanti dal materiale di ricoprimento;
5. azioni di neve o vento;
6. azioni derivanti dall'attrito sulle selle d'appoggio e nei giunti di dilatazione;
7. azioni derivanti da impedita dilatazione termica (effetto di Poisson, $\pm 10^{\circ}\text{C}$);
8. azioni dovute a spinte idrauliche su fondi, variazioni di sezioni, curve, etc.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Le azioni di cui al punto 1, 2, 3, 4, 7 e 8 sono da considerarsi permanenti; le restanti sono da considerarsi accidentali.

2.2.2.2 Condizione di carico saltuaria

Le azioni da considerare agenti in questa condizione a tubazione vuota e durante il riempimento e lo svuotamento della stessa sono:

1. peso della tubazione;
2. peso dell'acqua contenuta nella tubazione;
3. azioni derivanti da materiale di ricoprimento;
4. azioni derivanti da neve e vento;
5. azioni derivanti dall'attrito sulle selle d'appoggio e nei giunti di dilatazione;
6. azioni derivanti dalla variazione termica (effetto di Poisson, $\pm 30^{\circ}\text{C}$).

La variazione termica assunta pari a $\pm 30^{\circ}\text{C}$ esprime la variazione più critica per le tubazioni all'aperto. Le azioni di cui al punto 1 e 3 sono da considerarsi permanenti; le restanti devono essere valutate come accidentali.

2.2.2.3 Condizione di carico eccezionale

I carichi eccezionali si calcolano combinando:

- le azioni agenti nella condizione di carico normale (solo quelle a carattere permanente) con quelle di carattere eccezionale;
- le azioni agenti nelle condizioni di carico saltuario con quelle di carattere eccezionale.

Le azioni di carattere eccezionale da considerarsi sono:

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

1. la depressione all'interno delle tubazioni provocata dal mancato funzionamento dei manufatti di entrata d'aria in occasione della chiusura dell'organo di intercettazione (100 kPa);
2. le sovrappressioni conseguenti alle prove idrauliche in officina ed in opera;
3. le sovrappressioni dovute al difettoso funzionamento degli organi di regolazione delle macchine;
4. le azioni derivanti da particolari condizioni di trasporto e montaggio, cementazione di tubi intasati e iniezioni a tergo dei rivestimenti metallici.

Le azioni di cui ai punti 1 e 4 non devono essere considerate concomitanti.

L'unica azione da considerarsi permanente tra quelle di interesse è il peso della condotta.

2.2.2.4 Analisi dello stato di sollecitazione del materiale

Le forze che sollecitano la condotta forzata possono essere ricondotte: alla pressione idrostatica; alle sovrappressioni del colpo di ariete; alle escursioni termiche. A queste vanno poi aggiunte le azioni accidentali, quali i cedimenti degli appoggi, la presenza di carichi accidentali, per esempio nel caso in esame la neve, ecc..

Nella verifica statica, come detto nelle diverse condizioni di carico devono essere definite le sollecitazioni agenti lungo le direzioni circonferenziali, longitudinali e radiali.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Le sollecitazioni circonferenziali tengono conto della pressione esercitata dal fluido sulla parete della condotta aumentata della sovrappressione maggiore tra quella conseguente al colpo d'ariete e derivante oscillazioni nei transitori di moto vario. La sollecitazione corrispondente alla pressione viene definita facendo ricorso alla seguente espressione:

$$\sigma_c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot s}$$

dove:

- il termine p tiene conto sia della pressione di esercizio che della sovrappressione detta;
- D è il diametro effettivo della tubazione in mm;
- s è lo spessore del tratto di condotta sottoposto a verifica.

Le sollecitazioni longitudinali derivano da azioni di natura diversa. Nel condurre la verifica statica, si sono presi in considerazione i seguenti sforzi:

- 1) tensione massima di flessione dovuta all'effetto trave nel tronco di condotta di lunghezza l, appoggiato agli estremi a selle d'appoggio, determinata con la seguente formula:

$$\sigma_l = \pm \frac{(P_c + P_w) \cdot l \cdot \cos \beta}{3 \cdot \pi \cdot s \cdot D^2}$$

dove:

- P_c (N) è il peso della condotta di lunghezza l;
- P_w il peso dell'acqua della condotta contenuta all'interno del tratto di condotta di lunghezza l, (N);
- β l'angolo che l'asse della condotta forma con l'orizzontale.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

- 2) tensione massima di flessione dovuta alla componente assiale del peso proprio della condotta:

$$\sigma_2 = \pm \frac{P_{tot} \cdot \sin \beta}{2 \cdot A_{res}}$$

dove:

- P_{tot} è il peso (N) della condotta vuota per il tratto considerato, compreso tra due successivi blocchi di ancoraggio;
 - A_{res} è l'area resistente (m^2) della condotta.
- 3) tensione massima di flessione dovuta alla dilatazione termica impedita; le sollecitazioni di trazione o compressione dovute ad abbassamento o innalzamento di temperatura in un tronco fissato agli esterni sono date da:

$$\sigma_3 = \pm \alpha \cdot E \cdot \Delta t$$

essendo:

- α il coefficiente di dilatazione termica dell'acciaio pari a $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;
 - E il modulo di Young di $2,06106 \text{ (N/mm}^2\text{)}$;
 - Δt la variazione di temperatura ($^\circ\text{C}$), funzione della condizione di carico che si sta verificando.
- 4) tensione massima di flessione dovuta all'effetto Poisson, tiene conto della dilatazione trasversale impedita della condotta che induce sforzi longitudinali che si sviluppano completamente quando essa è vincolata agli estremi; è determinata con la formula:

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

$$\sigma_4 = \nu \sigma_c$$

in cui ν è il modulo di Poisson pari a 0,3.

- 5) tensione derivante dalla copertura nevosa della condotta, caratterizzata da uno sforzo specifico di $0,538 \text{ N/mm}^2$, secondo la normativa vigente.
- 6) tensione derivante dall'attrito tra condotta e sella d'appoggio. Il coefficiente considerato, in coerenza agli appoggi realizzati tra superfici metalliche non lubrificate, è assunto pari a 0,4.

La sollecitazione longitudinale totale è data dalla somma delle componenti sopra descritte, parallele all'asse della tubazione.

La componente radiale di sollecitazione può essere trascurata, data la sua esiguità, essendo la condotta pressoché rettilinea.

La sollecitazione ideale rispetto cui eseguire la verifica statica della condotta è determinata con la formula di Henky – Von Mises.

2.2.3 Calcolo delle sollecitazioni e verifica statica

La verifica statica della condotta forzata in esame si basa sulle seguenti ipotesi:

- condotta a tronco rettilineo con diametro interno costante, su appoggi ad interasse costante;
- condotta bloccata fra due successivi blocchi di ancoraggio;
- condotta liscia, priva cioè di scabrezza nei termini delle calcolazioni idrauliche;
- deformazione longitudinale impedita.

La verifica è stata condotta in riferimento alle principali azioni agenti e alle tre diverse condizioni di carico, come presentate e descritte nei precedenti paragrafi.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Nelle seguenti Tabella 5, Tabella 6, Tabella 7 sono riportati gli sforzi agenti nelle diverse condizioni di carico citate.

Tratto	σ_{CIRCONF}	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_5	σ_6	σ_{LONGITUD}
n	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
1	51.04	0.02	0.00	3.33	0.07	0.04	54.50	49.89
2	94.39	0.29	0.00	15.57	0.36	0.07	110.68	95.91
3	130.56	0.32	0.00	29.39	0.31	0.09	160.68	140.26
4	23.32	0.16	0.00	25.07	0.44	0.02	49.01	72.73
5	29.07	0.07	0.00	26.90	0.30	0.02	56.34	78.49
6	22.56	0.11	0.00	29.83	0.43	0.02	52.93	86.16
7	31.67	0.12	0.00	33.08	0.36	0.03	65.26	96.03
8	24.25	0.25	0.00	26.27	0.48	0.03	51.27	76.19
9	23.06	0.13	0.00	27.03	0.37	0.03	50.63	78.23
10	133.96	0.58	0.00	36.12	0.28	0.18	171.13	152.25
11	18.94	0.00	0.00	36.13	0.00	0.10	55.17	104.42

Tabella 5 – Sforzi agenti sulla condotta forzata in condizioni di carico normale

Tratto	σ_{CIRCONF}	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_5	σ_6	σ_{LONGITUD}
n	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
1	0	51.04	0.02	0	0	0.07	0.04	51.17
2	0	94.39	0.29	0	0	0.36	0.07	95.10
3	0	130.56	0.32	0	0	0.31	0.09	131.29
4	0	23.32	0.16	0	0	0.44	0.02	23.95
5	0	29.07	0.07	0	0	0.30	0.02	29.45
6	0	22.56	0.11	0	0	0.43	0.02	23.11
7	0	31.67	0.12	0	0	0.36	0.03	32.18
8	0	24.25	0.25	0	0	0.48	0.03	25.00
9	0	23.06	0.13	0	0	0.37	0.03	23.60
10	0	133.96	0.58	0	0	0.28	0.18	135.01
11	0	18.94	0.00	0	0	0.00	0.10	19.04

Tabella 6 – Sforzi agenti sulla condotta forzata in condizioni di carico saltuario

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Tratto	σ_{CIRCONF}	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_5	σ_6	σ_{LONGITUD}
n	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
1	0.10	51.04	0.02	0.00	0.03	0.07	0.04	51.20
2	0.10	94.39	0.29	0.00	0.03	0.36	0.07	95.13
3	0.10	130.56	0.32	0.00	0.03	0.31	0.09	131.32
4	0.10	23.32	0.16	0.00	0.03	0.44	0.02	23.98
5	0.10	29.07	0.07	0.00	0.03	0.30	0.02	29.48
6	0.10	22.56	0.11	0.00	0.03	0.43	0.02	23.14
7	0.10	31.67	0.12	0.00	0.03	0.36	0.03	32.21
8	0.10	24.25	0.25	0.00	0.03	0.48	0.03	25.03
9	0.10	23.06	0.13	0.00	0.03	0.37	0.03	23.63
10	0.10	133.96	0.58	0.00	0.03	0.28	0.18	135.04
11	0.10	18.94	0.00	0.00	0.03	0.00	0.10	19.07

Tabella 7 – Sforzi agenti sulla condotta forzata in condizioni di carico eccezionale

Per ciascun tratto di condotta, note le caratteristiche geometriche della condotta (Tabella 1), è calcolato lo sforzo equivalente σ_{id} , applicando la formula di Henky - Von Mises, ed è posto a confronto con lo sforzo di snervamento.

La verifica è condotta assumendo un fattore di sicurezza il cui valore è fissato dalla Norma MID applicata, in particolare deve verificarsi che:

$$\frac{\sigma_{snerv}}{\sigma_{id}} \geq f_s$$

dove σ_{snerv} è la tensione di snervamento, assunta pari a quella di un acciaio tipo S355J2G4 (355 N/mm²) e f_s è il fattore di sicurezza minimo, assunto in funzione della condizione di carico applicata come da Tabella 8.

Condizione di carico	f_s
normale	2,30
saltuaria	1,84
eccezionale	1,50

Tabella 8 – Valori minimi teorici del coefficiente di sicurezza

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Come di seguito evidenziato, tutti i tratti di condotta soddisfano la verifica statica, essendo il valore del rapporto tra la tensione ammissibile del materiale e la tensione ideale superiore al fattore di sicurezza minimo imposto.

Si riportano in Tabella 9 i valori minimi del rapporto tra la σ_{snerv} e la σ_{id} , valutato sia nell'ipotesi di condotta vuota che in quella di condotta piena.

TRATTO	F_{S,MIN}
1	6,94
2	3,70
3	2,53
4	4,88
5	4,52
6	4,12
7	3,70
8	4,66
9	4,54
10	2,33
11	3,40

Tabella 9 – Valori minimi teorici del coefficiente di sicurezza

La verifica effettuata non considera il possibile impiego di giunti di dilatazione lungo la nuova condotta.

2.3 DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI ANCORAGGIO DEI VERTICI

2.3.1 Considerazioni generali

La condotta esistente è ancorata lungo il pendio attraverso due prevalenti tipologie di sostegni: in presenza di cambiamenti di pendenza del versante sono realizzati dei blocchi di calcestruzzo, con base di appoggio su roccia a gradoni, nei quali risulta immersa nel getto la condotta esistente. Questi blocchi sono distinti a seconda che il profilo longitudinale del tratto sia concavo o convesso.

Nei tratti intermedi, sono posizionate delle opere di appoggio di dimensioni inferiori (selle di appoggio), poste ad una distanza di 6 o 12 m.

La nuova condotta forzata n°3 si svilupperà completamente lungo il versante montuoso, seguendo il medesimo tracciato altimetrico dell'esistente, come è possibile verificare dagli elaborati di progetto.

Come trattato nella *Relazione generale descrittiva - atto A.01.02*, è previsto di demolire tutti i blocchi di ancoraggio esistenti e di ricostruirne ex-novo in numero inferiore, introducendo nel presente pre-dimensionamento in alcuni vertici un sistema di bloccaggio-ancoraggio con tiranti in acciaio.

In particolare in questa sede si prevede di eseguire blocchi in c.a. in corrispondenza dei vertici n°1, 3, 5 e 7 e infilaggio di tiranti in acciaio nei vertici n°2, 4, 6, 8, 9 e 10.

Tale soluzione è alternativa, ma funzionalmente equivalente, alla realizzazione dei soli blocchi di ancoraggio in tutti i vertici, come nell'attuale configurazione. In sede di progettazione esecutiva questo dettaglio costruttivo dovrà essere definito e più approfonditamente calcolato.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

2.3.2 Normativa adottata

Si riportano le principali norme vigenti assunte come riferimento nella presente relazione:

- *Legge 5/11/1971 n° 1086* "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica".
- *D.M. 14/09/2005 ° 159* "Norme tecniche per le costruzioni".
- *D.M. Min. LL.PP. 11/03/1988* "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- *D.M. Min. LL.PP. 09/01/1996* "Norme tecniche per l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche".

A tale riguardo si segnala, preliminarmente, come sia stata applicata la previgente normativa tecnica (D.M. 16/01/96) rispetto alle NTC 2008, secondo quanto riportato al comma 3 dell'art. 20 del Decreto Legge n.248/2007 e nella Circolare 5 Agosto 2009 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti:

«Per le costruzioni e le opere infrastrutturali iniziate, nonché per quelle per le quali le amministrazioni aggiudicatrici abbiano affidato lavori o avviato progetti definitivi o esecutivi prima dell'entrata in vigore della revisione generale delle norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti 14 settembre 2005, continua ad

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

applicarsi la normativa tecnica utilizzata per la redazione dei progetti, fino all'ultimazione dei lavori e all'eventuale collaudo».

2.3.3 Caratteristiche dei materiali

2.3.3.1 Acciaio

Acciaio per armatura di strutture in c.a.(tiranti)

- Barre ad aderenza migliorata	acciaio tipo	Fe B 44 K
- Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yt} > 440$	N/mm^2
- Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} > 550$	N/mm^2
- Tensione ammissibile	$\sigma = 260$	N/mm^2
- Resistenza di calcolo a rottura	$\sigma = 374$	N/mm^2

2.3.3.2 Calcestruzzo per iniezioni

- Resistenza cubica caratteristica	Rck	30,00	N/mm^2
- Resistenza cilindrica $f_{ck} = 0,83$	Rck	24,90	N/mm^2
- Resistenza calcolo $f_{cd} = 0,83 \times f_{ck} / 1,6$		13,22	N/mm^2
- Resistenza calcolo $f'_{cd} = 0,80 \times f_{cd}$		10,60	N/mm^2
- Tensione massima in esercizio	σ_c	11,20	N/mm^2
- Tensione max in esercizio solo compressione σ'_c		7,85	N/mm^2
- Resistenza caratteristica a trazione	f_{ctm}	2,60	N/mm^2
- Resistenza calcolo a trazione	f_{ctd}	1,14	N/mm^2

2.3.4 Ancoraggio con tiranti in acciaio

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Ogni struttura di ancoraggio assorbe carichi la cui risultante è scomposta in direzione verticale ed orizzontale. La componente verticale è assorbita dalla roccia; la componente orizzontale invece è contrastata da dei tiranti di nuova realizzazione ancorati in roccia e di seguito dimensionati.

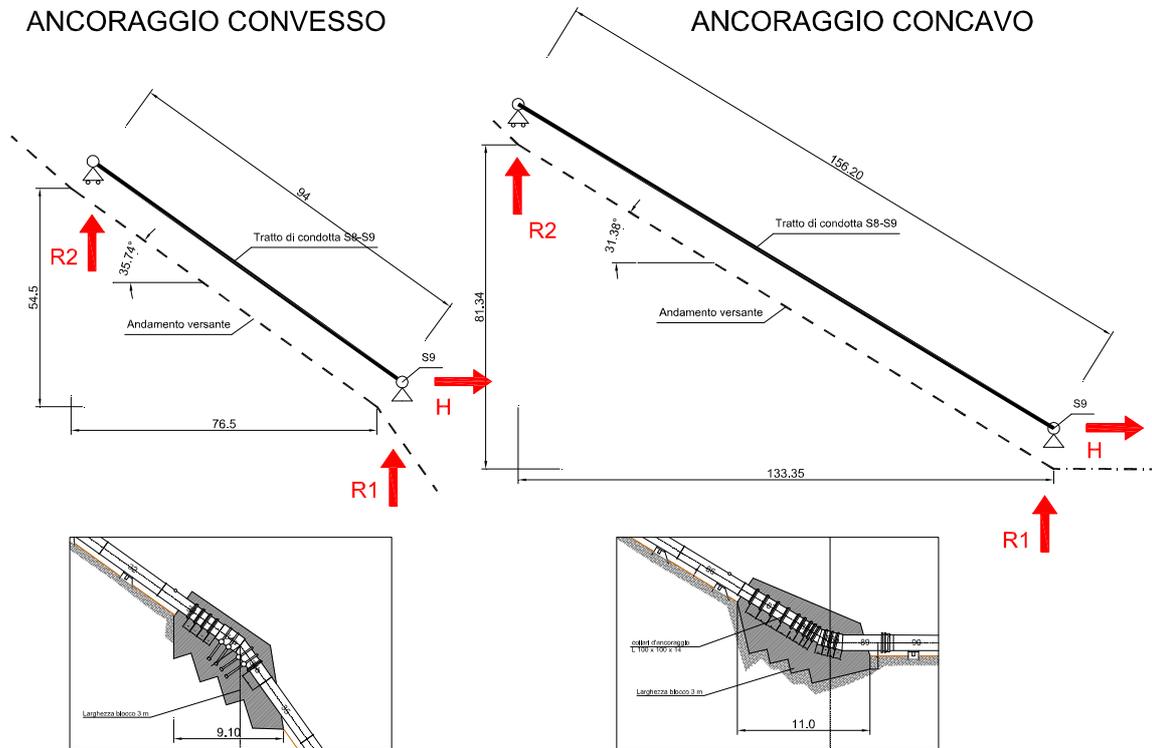
Per il dimensionamento dell'ancoraggio dei tiranti si considera roccia compatta le cui caratteristiche sono desunte dalle indagini effettuate nella zona ed utilizzate per il progetto definitivo. È necessario tuttavia, al momento della realizzazione dei tiranti, effettuare dei collaudi a campione con delle prove di trazione ad ancoraggio avvenuto.

2.3.4.1 Modello strutturale e Analisi dei carichi

I vertici analizzati sono il n°3 per il tratto convesso e il n°9 per quello concavo.

Il modello di calcolo considerato ha la funzione di determinare la massima reazione orizzontale agente sull'ancoraggio e contrastata dai tiranti. Per la sua determinazione, si analizza il tratto di condotta a monte attraverso il seguente schema statico:

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte



Ancoraggio convesso

Tubazione D 1000 mm e 8 mm - I carichi considerati sono:

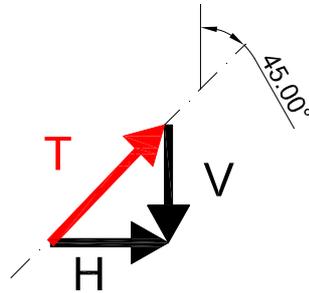
- Peso proprio tubazione: 2,009 KN/ml
- Acqua: $(1.00^2 \times \pi / 4) \times 10 =$ 7,85 KN/ml
- Carico totale: $N = 94m \times (2,009 + 7,85) =$ 926,80 KN

Ancoraggio concavo

Tubazione D 950 mm e 16 mm - I carichi considerati sono:

- Peso proprio tubazione: 3,81 KN/ml
- Acqua: $(0,95^2 \times \pi / 4) \times 10 =$ 7,08 KN/ml
- Carico totale: $N = 156,2m \times (3,81 + 7,08) =$ 1.701,74 KN

2.3.4.2 Dimensionamento dei tiranti



In base al modello strutturale sopra esposto di un'asta isostatica, si ricavano le reazioni:

Ancoraggio convesso

$$R1=R2=N/2= 463,40 \text{ KN}$$

$$H = N \times 76,5 / (2 \times 54,5) = \sim 650 \text{ KN}$$

Ancoraggio concavo

$$R1=R2=N/2=850,87 \text{ KN}$$

$$H = N \times 76,5 / (2 \times 54,5) = \sim 1.195 \text{ KN}$$

I tiranti sono realizzati con un'inclinazione di 45° dalla verticale; la reazione orizzontale dell'ancoraggio si scompone in due componenti: una verticale che, sommata ai carichi della tubazione R1 si scarica a terra attraverso il blocco in calcestruzzo o una piastra in acciaio, ed una in direzione dell'asse del tirante. Le forze quindi assorbite dai tiranti stessi sono:

Ancoraggio convesso

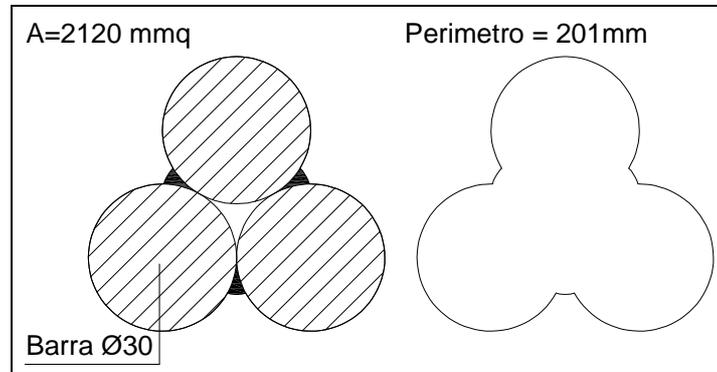
$$T = H / \text{sen}(45^\circ) = 919 \text{ KN}$$

Ancoraggio concavo

$$T = H / \text{sen}(45^\circ) = 1690 \text{ KN}$$

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Ogni tirante è composto da 3 barre $\phi 30$ saldate tra loro per un'area totale di 2120 mm^2 .



Il dimensionamento è effettuato considerando i carichi a rottura con un'amplificazione tramite coefficiente pari a 1,5.

Si dispongono 2 tiranti per l'ancoraggio convesso ($1,5 \times 919/2 = 689 \text{ KN}$) e n°4 tiranti per quello concavo ($1,5 \times 1690/4 = 634 \text{ KN}$)

La resistenza a rottura della barra composta è:

$$N_{rd} = 2120 \times 374 = 792,88 \text{ KN} > 689 \text{ KN}$$

Il tratto di ancoraggio è disposto a partire da una lunghezza di perforazione pari a $8 \div 8,5 \text{ m}$, in modo da effettuare l'ancoraggio all'esterno del cuneo di rottura del terreno.

La lunghezza del bulbo è la massima dei seguenti valori:

Aderenza calcestruzzo – roccia

Disponendo un diametro di perforazione pari a 200 mm ed utilizzando un coefficiente di sicurezza pari a 3, la lunghezza del bulbo è:

$$\pi \cdot d \cdot L \cdot f_{ctd} = 3 \cdot 583,2 \cdot 10^3$$

$$L = \frac{3 \cdot 583,2 \cdot 10^3}{\pi \cdot 200 \cdot 1,14} = 2443 \text{ mm}$$

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

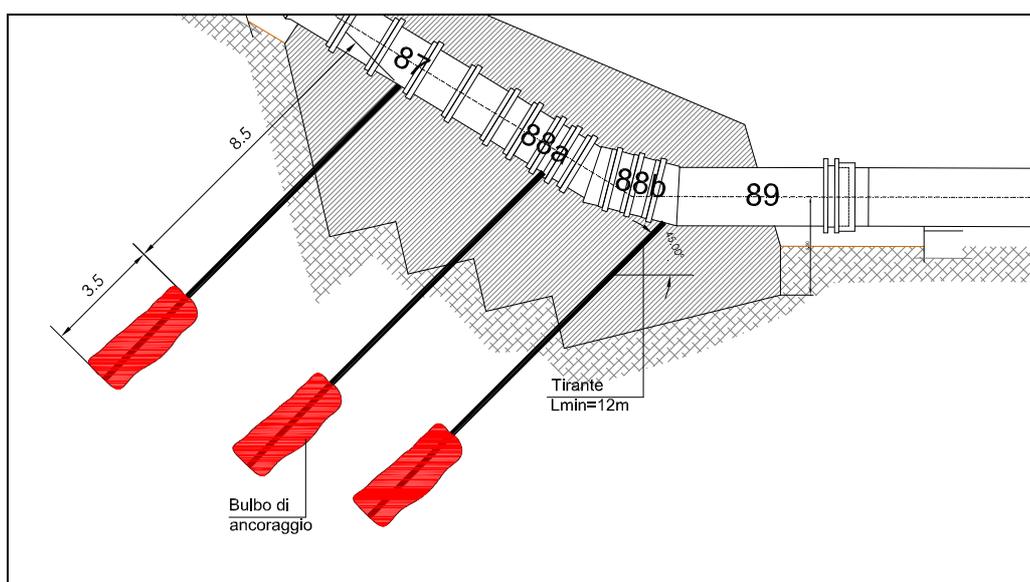
Aderenza barre di acciaio – calcestruzzo

La superficie unitaria di contatto tra acciaio e calcestruzzo è di $201 \text{ mm}^2/\text{mm}$. La forza di aderenza minima necessaria è pari a quella di rottura della barra di acciaio.

$$f_{ctd} \cdot L \cdot 201 = 374 \cdot 2120$$

$$L = \frac{374 \cdot 2120}{1.14 \cdot 201} = 3460 \text{ mm}$$

La lunghezza del bulbo di progetto assunta è di 3,5m.



2.3.5 Ancoraggio con blocchi in cemento armato

Si è provveduto a dimensionare i blocchi di ancoraggio in tutte quelle curve che presentano un angolo di deviazione maggiore di 5° ; per deviazioni angolari minori, le sollecitazioni sono state considerate trascurabili.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

I blocchi d'ancoraggio si rendono necessari in corrispondenza di tutti quei punti in cui, lungo la condotta, la risultante delle pressioni sulla sezione a monte differisce, in modulo e direzione, da quella sulla sezione di valle; si hanno pertanto blocchi d'ancoraggio in corrispondenza dei cambiamenti di pendenza della condotta, delle variazioni di direzione in pianta, delle riduzioni di diametro, delle diramazioni, delle testate terminali dei tubi e degli organi di chiusura.

La condotta forzata in oggetto è del tipo chiuso (ovvero senza giunti di dilatazione) con vertici fissi (blocchi d'ancoraggio in c.a. o con tiranti in acciaio).

La rinuncia all'uso di giunti di dilatazione implica, prudenzialmente, che la condotta viene sollecitata anche dalla forza che nasce a causa dell'impedita dilatazione termica.

2.3.5.1 Dimensionamento dei blocchi d'ancoraggio

Nel calcolo sono state prese in considerazione le seguenti forze, uguali in modulo ma aventi direzioni diverse:

- spinta idrostatica sull'area netta delle sezioni a monte e a valle:

$$S = \pi (D^2/4) p$$

- forza per effetto di variazione di temperatura:

$$T_t = \pi D s E \alpha \Delta t$$

Nelle precedenti formule i simboli hanno il seguente significato:

D = diametro interno della tubazione;

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

s = spessore della tubazione;

p = pressione d'esercizio massima (ovvero la pressione statica, incrementata del 20% per tener conto del sovraccarico di colpo d'ariete) nel punto considerato;

E = modulo di elasticità dell'acciaio, pari a 206.000 MPa;

α = coefficiente di dilatazione termica dell'acciaio, pari a $0,000012 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

Δt = variazione termica rispetto alla temperatura di bloccaggio.

In base a quanto indicato nel Capitolato Tecnico Generale per la fornitura di condotte forzate in acciaio – ENEL (MID 12), si assume $\Delta t = 30^\circ$ (per condotte posate su versante).

Non sono state prese in considerazione le forze di attrito fra la condotta e il terreno o le eventuali selle d'appoggio e le componenti, nella direzione dell'asse della tubazione, del peso della tubazione e dell'acqua in essa contenuta, in quanto trascurabili rispetto alle forze appena citate.

A favore di sicurezza, è stato anche trascurato il peso del terreno sovrastante il blocco e la spinta passiva del terreno circostante, che contribuirebbero alla stabilità del blocco stesso.

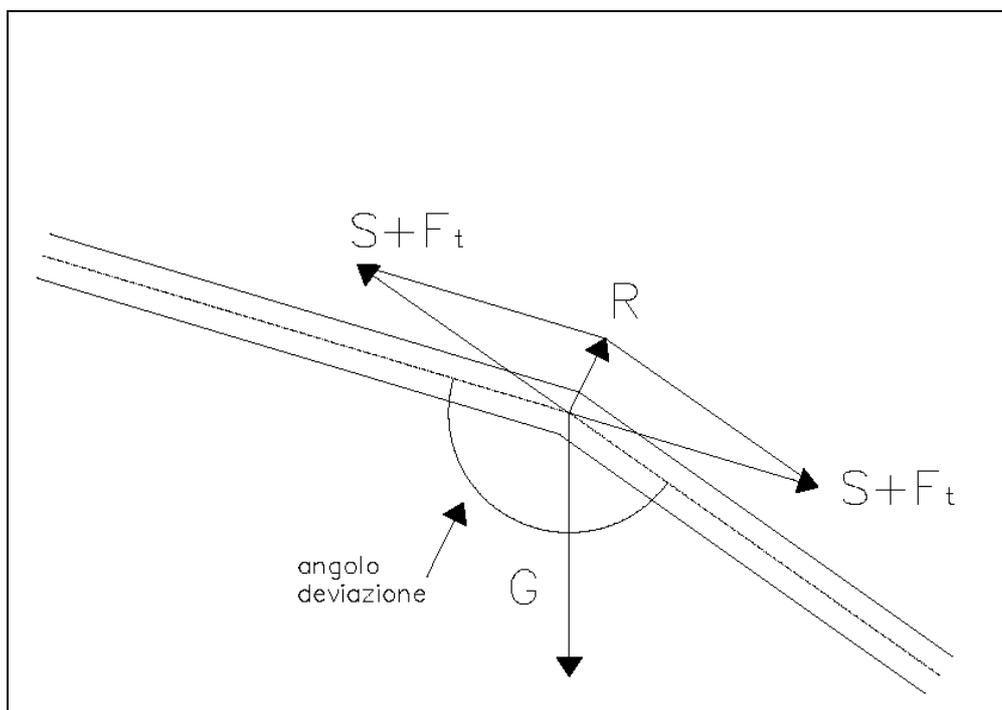


Figura 1 – Schema delle forze considerate agenti in un vertice altimetrico

Calcolate le forze che agiscono in ogni singolo vertice, il cui punto di applicazione è nel punto d'incontro degli assi delle due tratte di condotta, si trova la risultante R delle forze trasmesse dalla condotta al blocco d'ancoraggio: essa è diretta come la bisettrice dell'angolo al centro individuato dalle due livellette della condotta, a monte e a valle del vertice (Figura 1).

Il peso del blocco G è stato determinato facendo in modo che sia soddisfatta la verifica a scorrimento, con un fattore di sicurezza F_s minimo di 1,3.

Determinato il peso del blocco, ipotizzando un peso specifico del calcestruzzo armato pari a 2.200 kg/m^3 , si calcola il volume di calcestruzzo necessario e le dimensioni indicative (altezza H , larghezza B , lunghezza L) del blocco, ipotizzandolo di forma prismatica.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

In particolare, si procede ipotizzando innanzitutto il peso del blocco d'ancoraggio, dopodichè si determina la risultante totale (data dalla composizione della risultante R delle forze esterne sulla condotta con il peso G del blocco) e la si scompone in una componente orizzontale e una verticale, considerando, per semplicità, che il piano di posa del blocco sia orizzontale.

La componente verticale R_v , moltiplicata per il coefficiente d'attrito tra calcestruzzo e terreno, che si considera circa pari a 0,5 (nell'ipotesi di sagomare la superficie inferiore del blocco con "denti di sega" in calcestruzzo, in modo da migliorare l'aderenza calcestruzzo – terreno), rappresenta la cosiddetta "forza di taglio resistente".

Il rapporto fra tale forza e quella di taglio sollecitante (data dalla componente orizzontale della risultante, R_o) deve essere maggiore o uguale del citato coefficiente di sicurezza allo slittamento, pari a 1,3.

In caso contrario si ripete il calcolo incrementando il peso del blocco.

$$\frac{0,5 \times R_v}{R_o} \geq 1,3$$

Un'ulteriore verifica effettuata riguarda il massimo carico sopportabile dal terreno, assunto pari a $1,5 \text{ kg/cm}^2$. Tale verifica è risultata sempre ampiamente soddisfatta per ogni blocco.

Dal punto di vista realizzativo, deve essere esclusa, mediante opportuni accorgimenti, la possibilità che si formino correnti d'acqua tra il blocco ed il terreno, in modo da evitare la nascita di una sottopressione che andrebbe a peggiorare la stabilità del blocco.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Inoltre, data la struttura della condotta, formata da tratti rettilinei bloccati agli estremi, la condizione più pericolosa si presenta per i massimi fenomeni di dilatazione termica, di fronte ai quali la condotta stessa si comporta come un'asta caricata di punta nella quale sono possibili condizioni di criticità per instabilità dell'equilibrio elastico.

Le massime dilatazioni possono aversi per innalzamenti della temperatura della condotta vuota in concomitanza dell'assenza dell'effetto longitudinale di contrazione prodotto dalla pressione interna (effetto Poisson); si consiglia pertanto, in fase costruttiva, per ridurre gli effetti delle dilatazioni durante l'esercizio, di effettuare la chiusura dei montaggi alle più alte temperature ambiente possibili.

In Tabella 10 sono riportati i pesi e le dimensioni dei blocchi d'ancoraggio dimensionati per la condotta forzata di diametro 950 ÷ 1000 mm.

I blocchi in corrispondenza dei vertici altimetrici sono individuati dalla sezione S numerata, indicata sul profilo altimetrico.

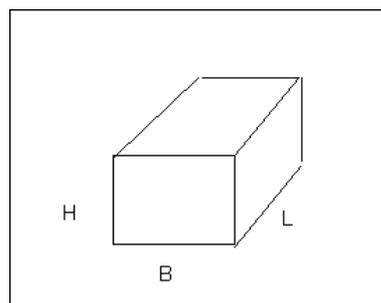


Figura 2 – Schematizzazione del blocco d'ancoraggio

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

n°sez	angolo dev. [°]	inclinazione della spinta da equilibrare rispetto all'orizzontale [°]	carico statico [m]	Peso blocco [t]	B [m]	H [m]	L [m]	tipo curva	
S1	34	66	13,19	247,50	7,5	5	3	convessa	all'aperto
S2	6	52	61,74	34,65	3,5	1,5	3	concava	all'aperto
S3	16	45	116,54	290,40	11	4	3	convessa	all'aperto
S4	21	46	141,99	171,60	6,5	4	3	concava	all'aperto
S5	19	46	152,34	356,40	12	4,5	3	convessa	all'aperto
S6	11	43	168,94	108,90	5,5	3	3	concava	all'aperto
S7	21	38	187,39	475,20	12	6	3	convessa	all'aperto
S8	18	37	223,15	313,50	9,5	5	3	concava	all'aperto
S9	13	42	241,75	193,05	6,5	4,5	3	concava	all'aperto
S10	31	74	323,09	99,00	10	1,5	3	concava	all'aperto

Tabella 10 - Dimensionamento dei blocchi d'ancoraggio per le curve altimetriche della condotta forzata

Si noti che il peso dei blocchi passa da un minimo di circa 247,5 t nella parte di condotta a monte, a un massimo di 470 t per il blocco della sezione S7 che è in assoluto il più critico, perchè oltre ad avere un carico idrostatico elevato, presenta un angolo di deviazione di circa 21°, inferiore solo all'angolo di deviazione che risulta caratterizzato da un angolo di deviazione maggiore, circa 34°, ma da un carico idrostatico nettamente inferiore. Si noti inoltre che, nelle curve altimetriche concave, i blocchi risultano più piccoli rispetto a quelli siti in curve convesse di simile deviazione angolare e carico idrostatico, poiché nelle curve concave la componente verticale della risultante ha lo stesso verso del peso del blocco, e dunque contribuisce alla stabilità.

3. PONTE TUBO SUL CANALE DI DERIVAZIONE DI SERRE LA VOUTE

3.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

Nel presente capitolo vengono riportate le analisi relative al dimensionamento del tratto di condotta in acciaio – ponte tubo - relativo all'impianto idroelettrico di Salbertrand-Chiomonte in Val Susa.

L'opera, individuata alla progressiva 180 m circa del canale di derivazione partendo da monte, attualmente è rappresentata da una condotta in acciaio di diametro 1,70 m sorretta da un ponteggio metallico in tubi Innocenti creato nel 1957.

L'intervento consiste nel sostituire il tratto con un tubo metallico autoportante, poggiante sulle spalle in cemento esistenti. La luce di calcolo assunta per il dimensionamento è di 32 m.

La condotta sarà composta da elementi di lunghezza modulare giuntati in sito tramite saldatura testa a testa; gli elementi sono costituiti da tratti di tubo di lunghezza pari a 3÷4 m, definibile in base all'accessibilità in cantiere dei mezzi di trasporto. Gli estremi del tubo appoggeranno a delle selle in acciaio realizzate in maniera tale da consentire eventuali spostamenti in asse dovuti alle normali dilatazioni termiche ma da impedire rotazioni dovute ad effetti torsionali.

L'acciaio fornito dovrà essere zincato o trattato con apposite vernici in grado di proteggere la struttura dalla corrosione. I collegamenti dei vari tratti saranno trattati successivamente a saldatura avvenuta.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Il trasporto dei materiali avviene predisponendo una pista fino a valle dell'opera; le tubazioni saranno successivamente trasportate in sito attraverso l'utilizzo di mezzi cingolati in grado di arrampicarsi lungo le scarpate.

La tubazione in progetto è sorretta alle estremità da due spalle in calcestruzzo di nuova realizzazione accostate alle spalle esistenti in modo da non trasmettere nessun tipo di sollecitazione alla vecchia struttura.

Le dimensioni delle spalle sono di 3,0 m di larghezza, 1,5 m di profondità e 3,20 m di altezza. Il sistema di fondazioni è costituito da una palificazione di 18 micropali in acciaio $\phi 139,7$ spessore 8 mm e lunghezza 21 m. i micropali sono trivellati ed iniettati con biacca; il diametro di perforazione previsto è di 190 mm.

La lavorazione nel tratto interessato della condotta comporta la chiusura della stessa fino ad opera finita.

Le fasi costruttive si possono riassumere:

- chiusura della condotta e svuotamento dalle acque;
- smontaggio del ponteggio per poter permettere la rimozione della tubazione esistente;
- trivellazione dei micropali ed iniezione con boiaccia;
- realizzazione delle spalle;
- posizionamento dei vincoli in acciaio con i relativi tirafondi;
- trasporto in cantiere dei tratti di tubo e posa degli stessi.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

La posa si effettuerà partendo da un vincolo e sfruttando il ponteggio esistente come opera di sostegno provvisoria. I vari elementi verranno accostati e saldati fino al raggiungimento dell'intero sviluppo del tratto.

Verniciatura con appositi materiali per la protezione anticorrosiva dei tratti saldati

3.2 NORMATIVA E MATERIALI

3.2.1 Normativa adottata

Si riportano le principali norme vigenti assunte come riferimento nella presente relazione

Legge 5/11/1971 n° 1086: "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica".

D.M. 14/09/2005 ° 159: "Norme tecniche per le costruzioni".

CNR 10011: "Costruzioni in acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione".

Eurocodice UNI EN3: "Progettazione delle strutture in acciaio".

D.M. Min. LL.PP. 11/03/1988: "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

A tale riguardo si segnala, preliminarmente, come sia stata applicata la previgente normativa tecnica (D.M. 16/01/96) rispetto alle NTC 2008, secondo

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

quanto riportato al comma 3 dell'art. 20 del Decreto Legge n.248/2007 e nella Circolare 5 Agosto 2009 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti:

«Per le costruzioni e le opere infrastrutturali iniziate, nonché per quelle per le quali le amministrazioni aggiudicatrici abbiano affidato lavori o avviato progetti definitivi o esecutivi prima dell'entrata in vigore della revisione generale delle norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti 14 settembre 2005, continua ad applicarsi la normativa tecnica utilizzata per la redazione dei progetti, fino all'ultimazione dei lavori e all'eventuale collaudo».

3.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.3.1 Acciaio

Acciaio da carpenteria metallica

Acciaio tipo Fe 360

- Tensione di rottura	f_{ptk}	=	360	N/mm ²
- Tensione di snervamento	f_{pyk}	=	235	N/mm ²
- Modulo elastico	E	=	206000	MPa
-Tensione ammissibile	σ	=	160	MPa
	τ	=	92	MPa

Acciaio tipo Fe 510

- Tensione di rottura	f_{ptk}	=	510	N/mm ²
- Tensione di snervamento	f_{pyk}	=	335	N/mm ²

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

- Modulo elastico	$E =$	206000 MPa
- Tensione ammissibile	$\sigma =$	240 MPa
	$\tau =$	138.6 MPa

Acciaio per armatura di strutture in c.a.

Barre ad aderenza migliorata: acciaio tipo Fe B 44 K

- Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yt} \geq$	440	N/mm ²
- Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq$	550	N/mm ²
- Tensione ammissibile	$\sigma =$	260	N/mm ²

3.3.2 Calcestruzzo spalle

Resistenza caratteristica Rck 25 MPa

Metodo semplificato:

- Resistenza di calcolo a compressione	$\sigma_c =$	7.81 MPa
- Tensione tangenziale ammissibile	$\tau_{c0} =$	0.505 MPa
- Modulo elastico	$E =$	28500 Mpa

3.4 DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA

3.4.1 Descrizione generale

Lo schema strutturale consiste in un'asta con appoggio-appoggio calcolata con una luce di calcolo di 32 m.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

L'elemento tubolare è costituito da un diametro di 1800mm (nominale 1828,2 mm) con spessore 16 mm.

La zona è classificata, in base alla nuova normativa sismica, in III categoria. I dati relativi consistono:

- categoria del suolo (vedi *Relazione geotecnica – atto A.02.02*): A
- valori per il sisma verticale: S=1,0; Tb=0,05s; Tc=0,15s; Td=1,0s
- valori per il sisma orizzontale: S=1,0; Tb=0,05s; Tc=0,40s; Td=2,0s
- accelerazione orizzontale massima $a_g=0,15$ g

3.4.2 Analisi dei carichi

Peso proprio (P):	7,15 KN/ml
Acqua (si considera l'intera area interna al tubo) (W):	25,35 KN/ml
Accidentali (neve) sulla passerella (ACC):	7,62 KN/ml

3.4.3 Combinazioni di carico ed azioni generalizzate

Si analizzano due combinazioni di carico ottenute dalle tipologie di carico precedentemente descritte combinate con i seguenti coefficienti (l'azione sismica considerata è sia orizzontale che verticale):

Combinazione 1:esercizio $1 \times P + 1 \times PP + 1 \times W + 1 \times ACC$

Combinazione 2:sisma verticale $1 \times P + 1 \times PP + 1 \times W + 0.2 \times ACC + S_v$
+ $0.3 \times S_h$

Combinazione 3:sisma orizzontale $1 \times P + 1 \times PP + 1 \times W + 0.2 \times ACC + 0.3$
 $\times S_v + S_h$

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Dall'analisi si ottengono le seguenti azioni generalizzate massime (momento in mezzeria e taglio all'appoggio):

COMB.	M3	M2	T2	T3	Meq	Teq
1	5137.0	0	642.1	0	5137.0	642.1
2	5011.6	484.6	585.5	30.3	5035.0	586.3
3	4553.0	1617.0	556.9	101.1	4831.6	566.0

Tabella 11

Con M3 e T2 momento e taglio in direzione verticale, M2 e T3 azioni agenti trasversalmente al tubo. I valori sono espressi in KN e m.

Allo stesso modo si elencano le deformate massime della struttura e le reazioni vincolari.

DEFORMATA MASSIMA [mm]		
COMB.	U3 (verticale)	U2 (trasversale)
1	72.5	0
2	68.9	5.5
3	63.7	18.3

Tabella 12

REAZIONI [KN]		
COMB.	RV (verticale)	RH (trasversale)
1	642.1	0
2	585.5	30.29
3	556.86	101.6

Tabella 13

3.4.4 Verifiche

In mezzeria il momento massimo è di 5137,0 KNm. Le caratteristiche geometriche della sezione sono:

spessore	16	mm
Diametro esterno	1828,8	mm
W	40865172,86	mm ³
A	91121,27	mm ²
I	37443373475,67	mm ⁴

Tabella 6

La verifica della sezione risulta:

$$\sigma_s = \frac{M}{W} = \frac{5137,0 \cdot 10^6}{40865173} = 125,7 \text{ MPa} \quad \text{Verificato}$$

All'appoggio il taglio massimo è di 642,13 KN

$$\tau = 2 \cdot \frac{T}{A} = 2 \cdot \frac{642130}{91121} = 14,1 \text{ MPa} \quad \text{Verificato}$$

3.5 SELLA DI APPOGGIO

Il vincolo è costituito da due piastre tagliate a 'semicerchio' in modo da creare la sagoma di appoggio del tubo in acciaio. Le piastre sono saldate alla piastra di base tramite irrigidimenti.

Per consentire alla struttura liberi movimenti dovuti alle dilatazioni termiche ed a cedimenti differenziali delle spalle per eventuali movimenti del terreno di fondazione, la piastra di base del vincolo è dotata di fori, in corrispondenza dei tirafondi, asolati in direzione trasversale e longitudinale all'asse della condotta.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

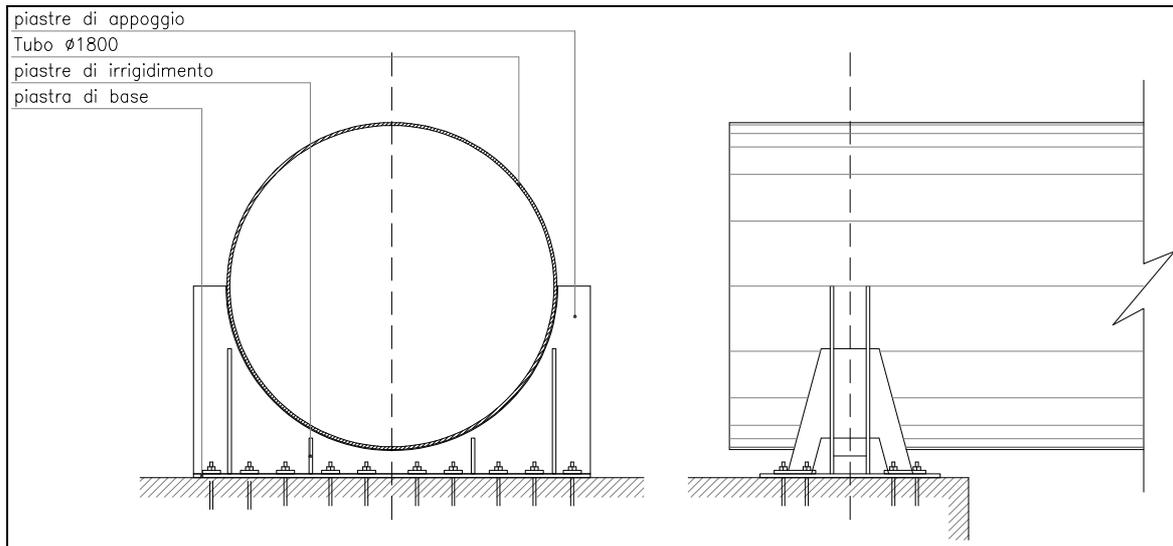


Figura 3 : dettaglio costruttivo della di appoggio tubazione metallica

La piastra di base è di dimensioni 200x100 cm. La tensione media sul calcestruzzo risulta (massima reazione pari a 642,13 KN):

$$\sigma_c = \frac{642130}{2000 \cdot 1000} = 0,3 \text{ MPa}$$

3.6 PALIFICATE DI FONDAZIONE

L'appoggio della struttura in oggetto è realizzato in prossimità della spalla esistente, in modo da non caricare le strutture esistenti. La sella di appoggio in acciaio è ancorata alla spalla di nuova realizzazione aventi dimensioni pari a 3 x 1.5m in pianta. L'altezza media considerata è di 2,5m.

Tale struttura è sostenuta da delle palificazioni in acciaio (n° 18 pali per lato) trivellate ed iniettate costituite da tubi ø139,7 sp. 8 mm con un diametro di perforazione netto di 190 mm.

La disposizione dei pali è indicata successivamente in Figura 4.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

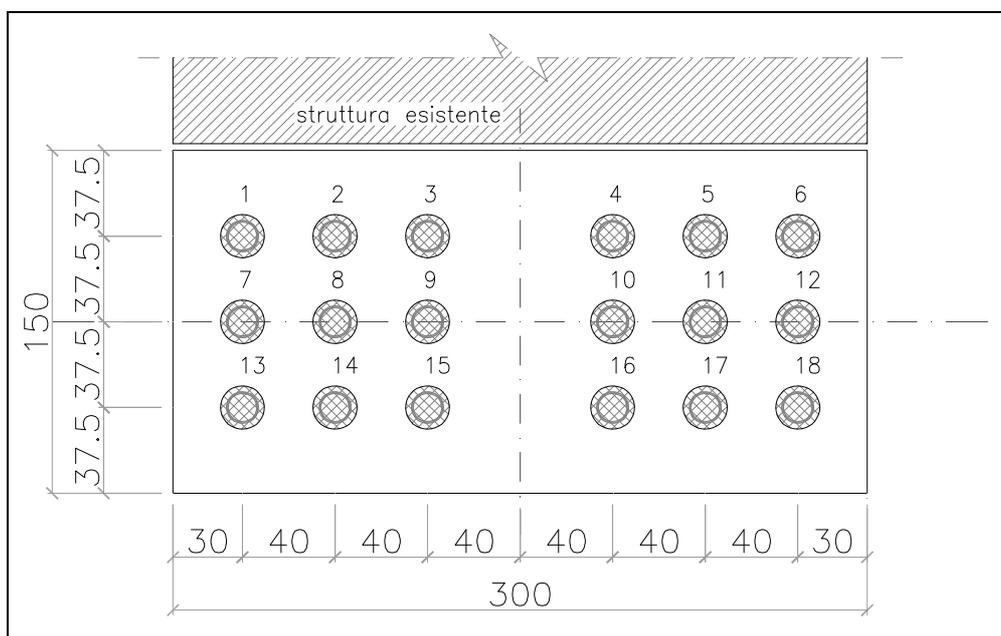


Figura 4: disposizione palificata di fondazione blocco di appoggio

Le azioni agenti sulla palificazione sono:

Azione verticale:	Carico tubo (COMB.1):	642,1 KN
	Carico tubo (COMB.2):	585,5 KN
	Carico tubo (COMB.3):	556,86 KN
Peso proprio:	3,0x1,5x2,5x25 =	281,25 KN
Azione orizzontale:	COMB.1	0 KN
	Momento:	0 KN m
	COMB.2	30,29 KN
	Momento: $30,29 \times (2,5 + 0,9)$	103,0 KN m
	COMB.3	101,6 KN
	Momento: $101,6 \times (2,5 + 0,9)$	345,4 KNm

Ripartendo le varie azioni sui pali si ha:

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

PALO	COMB. 1	COMB. 2	COMB. 3
1	51.3	34.36	0.30
2	51.3	38.96	15.72
3	51.3	43.56	31.14
4	51.3	52.75	61.98
5	51.3	57.35	77.4
6	51.3	61.95	92.83
7	51.3	34.36	0.30
8	51.3	28.96	15.72
9	51.3	43.56	31.14
10	51.3	52.75	61.98
11	51.3	57.35	77.4
12	51.3	61.95	92.83
13	51.3	34.36	0.30
14	51.3	38.96	15.72
15	51.3	43.56	31.14
16	51.3	52.75	61.98
17	51.3	57.35	77.4
18	51.3	61.95	92.83

Tabella 14

Il palo più sollecitato è soggetto ad una forza di compressione pari a 92,83 KN.

Dalla relazione riguardanti le indagini geotecniche si determinano le seguenti caratteristiche meccaniche del terreno:

Angolo di attrito interno $\varphi = 38^\circ$

Peso specifico $\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$

Presenza della falda a 5 m di profondità.

La determinazione della portata ammissibile del palo è effettuata attraverso il metodo proposto da Burland, valido sia per terreni coesivi che per terreni granulari.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

La capacità portante del fusto viene definita come segue:

$$P_{uf} = \Sigma A_s \times f_s$$

in cui A_s è l'area laterale efficace del palo, calcolata come prodotto del perimetro per l'incremento di lunghezza affondata, e f_s è la resistenza che si sviluppa sulla superficie laterale del palo.

Per il metodo utilizzato il valore di f_s viene fornito dalla seguente espressione:

$$f_s = K \times \varphi \times \tan \delta = \beta \times \varphi$$

Pertanto assumendo come angolo d'attrito fra cls e terreno un valore medio di δ pari a 22° , si ottiene:

$$\beta_1 = (1 - \sin 38^\circ) \times \tan 22^\circ = 0,248743$$

valido sia per lo strato superficiale 1 che per lo strato sommerso 2.

Pertanto si ottiene : $P_{uf} = \Sigma A_s \times f_s$

$$\text{strato 1} \quad A_s = 0,19 \times \pi \times 5,00 = 2,9845 \text{ m}^2$$

$$f_s = 0,248743 \times (18 \times 5,0 / 2) = 11,193$$

$$\text{strato 2} \quad A_s = 0,19 \times \pi \times L = 0,596903 L$$

$$f_s = 0,248743 \times (45,0 + 8,0 \times L/2)$$

Imponendo come lunghezza del tratto sommerso $L=16$ m (lunghezza totale del palo pari a 21 m) ed adottando un coefficiente di sicurezza pari a 2,5, si ottiene:

$P = 99,7$ KN, valore maggiore al carico in esercizio.

Le azioni sul palo sono determinate schematizzando l'elemento strutturale come asta vincolata orizzontalmente con delle molle la cui rigidità rappresenta il comportamento del terreno.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Le azioni applicate in testa al palo massime corrispondono alla combinazione n°3 (sisma orizzontale) e sono rappresentate da una forza verticale pari a:

$$(281,25 + 556,86) / 18 = 46,56 \text{ KN}$$

E da una forza orizzontale:

$$101,6 / 18 = 5,64 \text{ KN}$$

Le azioni generalizzate massime risultanti sono:

$$N = 46,56 \text{ KN}$$

$$T = 5,64 \text{ KN}$$

$$M = 0,46 \text{ KN m}$$

Si riassumono le caratteristiche geometriche della sezione e le relative verifiche.

spessore	8	mm
Diametro esterno	139,7	mm
W	102936	mm ³
A	3310	mm ²
I	7204740	mm ⁴

Tabella 15: caratteristiche geometriche sezione di verifica

La verifica della sezione risulta:

$$\sigma_s = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{46560}{3310} + \frac{0,46 \cdot 10^6}{7204740} = 18,54 \text{ MPa}$$

$$\tau = 2 \cdot \frac{T}{A} = 2 \cdot \frac{642130}{91121} = 14,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{(\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2)} = 19,45 \text{ MPa}$$

Verificato

4. RISANAMENTO CANALE DI DERIVAZIONE A SERRE LA VOUTE

4.1 CONSIDERAZIONI GENERALI.

Nel presente capitolo vengono riportati i calcoli di pre-dimensionamento degli interventi previsti sul canale di derivazione a pelo di Serre la Voute (impianto Salbertrand-Chiomonte) sorretto da archi, oggetto di riqualificazione.

La lunghezza complessiva del tratto è di circa 520 m ed è individuata dal tratto di canale, tra la tubazione metallica (ponte tubo) ed sifone di attraversamento della Dora Riparia.

Le caratteristiche del canale di derivazione delle acque sono comuni a tutto il tratto; il canale ha dimensioni nette interne variabili tra 210 e 250 cm ed altezza di 220 cm circa ed è sorretto da archi in calcestruzzo. I piedritti sono di altezza variabile in base all'andamento altimetrico del terreno.

Il riempimento degli archi è stato eseguito presumibilmente, sulla base delle informazioni acquisite, mediante terra e ghiaia.

L'intero tratto è già stato soggetto nella sua storia ad interventi di ricostruzione e/o risanamento localizzati in vari tratti ed in tempi diversi. Complessivamente l'aspetto statico-strutturale del canale si presenta in buono stato conservativo, ad eccezione di alcune cavità createsi dal distacco di materiale e degrado localizzato in alcune arcate.

Considerazioni diverse invece sono effettuate per il tratto compreso tra le progressive 415 m e 535 m per uno sviluppo di 120 m circa. In questo tratto si presentano lesioni e distacchi di materiale con maggiore frequenza, pregiudicando la stabilità dell'opera.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Altre tipologie di degrado si presentano in zone più estese dell'opera, quali macchie di umidità ed effluorescenze nel calcestruzzo dovute all'aggressività degli agenti atmosferici ed alle infiltrazioni. Tali fattori hanno provocato nella struttura comparse di macchie e soprattutto il distacco della parte superficiale del conglomerato cementizio.

Si evidenziano inoltre segni tra la struttura esistente ed i tratti ricostruiti in tempi più recenti visibili nelle giunzioni tra i getti.

Altro elemento riscontrabile consiste nella presenza di infiltrazioni dovute a fessure interne al canale.

In considerazione dei diversi aspetti di degrado dell'opera, molti dei quali non estesi su vasti fronti ma localizzabili in aree puntuali, si stabiliscono differenti tipologie di intervento da effettuarsi nelle zone interessate.

In particolare, in base allo stato di degrado si distinguono tre tipologie di intervento:

- **Basso degrado:** l'arcata esistente, i relativi piedritti ed il canale sovrastante non presentano danni strutturali da compromettere la funzionalità in esercizio. L'intervento è limitato allo strato superficiale di intonaco di copertura ed alla pulizia e sigillatura del canale di scolo.
- **Medio degrado:** l'arcata presenta delle crepe o lesioni non gravi; la statica della struttura è ancora funzionale, tuttavia per impedire il propagarsi delle lesioni si interviene con dei nuovi elementi strutturali tali da scaricare il peso dell'arco esistente e quindi garantire la curabilità dell'opera. L'intervento consiste nel sostenere le arcate con

delle centine in profilato metallico scaricando il peso direttamente ai piedritti.

- **Alto degrado:** la struttura presenta gravi lesioni (distacchi di materiale nei punti di raccordo tra piedritti ed arco, grafi fessure in chiave, ecc.) tali da non garantire l'efficienza strutturale o la sua stabilità. In questo caso è prevista la demolizione del tratto e la sua successiva ricostruzione.

Si espongono in seguito in dettaglio gli interventi tipo previsti.

4.2 NORMATIVA E MATERIALI

4.2.1 Normativa adottata

Si riportano le principali norme vigenti assunte come riferimento nella presente relazione.

Legge 5/11/1971 n° 1086: "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica".

D.M. 14/09/2005 ° 159: "Norme tecniche per le costruzioni".

CNR 10011: "Costruzioni in acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione".

Eurocodice UNI EN3: "Progettazione delle strutture in acciaio".

D.M. Min. LL.PP. 11/03/1988: "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

A tale riguardo si segnala, preliminarmente, come sia stata applicata la previgente normativa tecnica (D.M. 16/01/96) rispetto alle NTC 2008, secondo quanto riportato al comma 3 dell'art. 20 del Decreto Legge n.248/2007 e nella Circolare 5 Agosto 2009 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti:

«Per le costruzioni e le opere infrastrutturali iniziate, nonché per quelle per le quali le amministrazioni aggiudicatrici abbiano affidato lavori o avviato progetti definitivi o esecutivi prima dell'entrata in vigore della revisione generale delle norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti 14 settembre 2005, continua ad applicarsi la normativa tecnica utilizzata per la redazione dei progetti, fino all'ultimazione dei lavori e all'eventuale collaudo».

4.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

4.3.1 Acciaio

Acciaio da carpenteria metallica

Acciaio tipo Fe 430

- Tensione di rottura	f_{ptk}	=	430	N/mm ²
- Tensione di snervamento	f_{pyk}	=	275	N/mm ²
- Modulo elastico	E	=	206000	MPa
-Tensione ammissibile	σ	=	190	MPa
	τ	=	107.7	MPa

Acciaio per armatura di strutture in c.a.

Barre ad aderenza migliorata: acciaio tipo Fe B 44 K

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

- Tensione caratteristica di snervamento	f_{yt}	\geq	440	N/mm ²
- Tensione caratteristica di rottura	f_{tk}	\geq	550	N/mm ²
- Tensione ammissibile	σ	=	260	N/mm ²

4.3.2 Calcestruzzo

Resistenza caratteristica Rck 25 MPa

Metodo semplificato:

- Resistenza di calcolo a compressione	$\sigma_{c=}$		7,81	MPa
- Tensione tangenziale ammissibile	$\tau_{c0} =$		0,505	MPa
- Modulo elastico	E=		28500	Mpa

4.4 TIPOLOGIE DI INTERVENTO

4.4.1 Basso degrado

Le strutture classificate in questa tipologia, come già accennato, mantengono la propria funzionalità strutturale intatta. L'intervento ha la funzione di risanamento dello strato superficiale soggetto a segni di degrado fisico-chimici tale da garantire la durabilità della struttura. In particolare le operazioni da effettuarsi consistono:

Pulizia delle superfici:

Prima di effettuare qualsiasi tipo di intervento, è necessario pulire le superfici da macchie di umidità dalla vegetazione infestante. È possibile praticare questo intervento attraverso idropulitrici a bassa pressione in modo da non provocare ulteriori distacchi degli strati superficiali di calcestruzzo. Preliminarmente a

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

questa operazione, nelle zone più intaccate si applicano degli appositi diserbanti per prevenire la ricomparsa di vegetazione infestante.

Rinforzo strutturale con spritz-beton:

Nelle arcate della condotta ove si presenta un distacco esteso di intonaco superficiale si interviene mettendo a nudo la struttura demolendo completamente l'intonaco stesso. Il nuovo strato di copertura è effettuato mediante la formazione di uno strato in calcestruzzo con lo spritz-beton. Lo strato è composto da una prima base dello spessore di circa 3-4 cm successivamente alla quale si dispone una rete metallica; le giunzioni dei vari tratti di rete deve avvenire con una sovrapposizione di minimo due maglie. A copertura dell'armatura si dispone un altro strato di spritz-beton fino a creare uno spessore totale di 6-8 cm.

La resistenza caratteristica cubica del calcestruzzo impiegato è di 40 MPa.

Interventi per la prevenzione di fenomeni di degrado:

In molte parti della struttura si evidenziano zone di degrado del calcestruzzo, dovute al crearsi di fenomeni fisici, chimici e meccanici. Tale fattore è difficilmente attribuibile ad una sola causa poiché spesso più processi possono avvenire contemporaneamente, interagendo, a volte, in modo sinergico. Essi portano ad una diminuzione del carattere protettivo del calcestruzzo dal punto di vista fisico (aumento della permeabilità, formazione di fessure, distacchi di materiale) favorendo la penetrazione di sostanze aggressive nel materiale.

Il principale agente causa di fenomeni di degrado è rappresentato dall'acqua. La presenza di umidità nel calcestruzzo, l'alternarsi delle temperature intorno ai 0° provoca per l'azione del gelo e disgelo dei distacchi superficiali e fessurazioni. Per ovviare il problema è necessario aggiungere nel calcestruzzo,

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

o nelle zone rinforzate con spritz-beton nell'impasto a spruzzo, degli additivi areanti per la formazione di microbolle disposte in modo omogeneo; in questo modo l'acqua che viene espulsa dai capillari, dove si sta formando il ghiaccio, sarà accumulata nelle bolle d'aria adiacenti non facendo raggiungere alla pressione idraulica valori tali da degradare la pasta del cemento.

Interventi di risanamento del canale di scolo:

Le operazioni di recupero della funzionalità si estendono anche lungo il canale a palo libero. Le azioni climatiche di gelo e disgelo, l'esposizione del materiale all'azione delle piogge acide, l'abrasione meccanica dello scorrimento delle acque e i dissesti derivanti dal deterioramento della struttura di sostegno hanno provocato crepe e fessure con conseguente perdita di acqua. Il ripristino della condotta deve avvenire attraverso l'impiego di materiali che possano garantire qualità e durabilità nella risoluzione del problema. L'impermeabilizzazione può avvenire con l'impiego di specifici cementi resistenti all'azione dell'acqua o con l'applicazione di una guaina bituminosa impermeabilizzante stesa a caldo, successivamente ad un'operazione di idropulizia della superficie effettuata a bassa pressione. In sommità delle pareti del canale si dispongono delle scossaline in acciaio zincato ancorate alla struttura. Questi interventi sono da eseguirsi, se necessari, anche nei tratti classificati come medio degrado.

4.4.2 Medio degrado

Le opere strutturali di nuova realizzazione a sostegno della struttura esistente sono costituite da delle centine disposte all'intradosso dell'arcata. Le centine, costituite da putrelle in acciaio (IPE 200) hanno la funzione di scaricare ai piedritti l'intero peso sostenuto, scaricando di fatto l'arco esistente.

Gli appoggi delle putrelle sono costituite da elementi in acciaio ancorate ai piedritti, in prossimità dell'attacco con l'arco. Qualora durante l'esecuzione dell'intervento ed in particolare delle mensole di appoggio delle centine si dovessero riscontrare delle lesioni o degradi elevati anche nei piedritti, tali da non renderli idonei al supporto delle centine stesse ed il relativo carico trasmesso, è necessario realizzare un muro in c.a. adiacente a sostegno della centina.

4.4.2.1 Analisi dei carichi

In base al rilievo puntuale delle arcate effettuato da IREN ENERGIA ed allegato alla presente, si può constatare la diversità delle dimensioni delle varie arcate. Poiché l'analisi delle tipologie di intervento hanno la funzione di essere idonee per tutte le arcate, si effettua lo studio considerando l'elemento rilevato con le dimensioni massime, precisamente l'arco compreso tra i piedritti n° 15 e 16.

La geometria della struttura è indicata nella figura seguente.

Le centine utilizzate sono costituite da una coppia di profilo IPE 200.

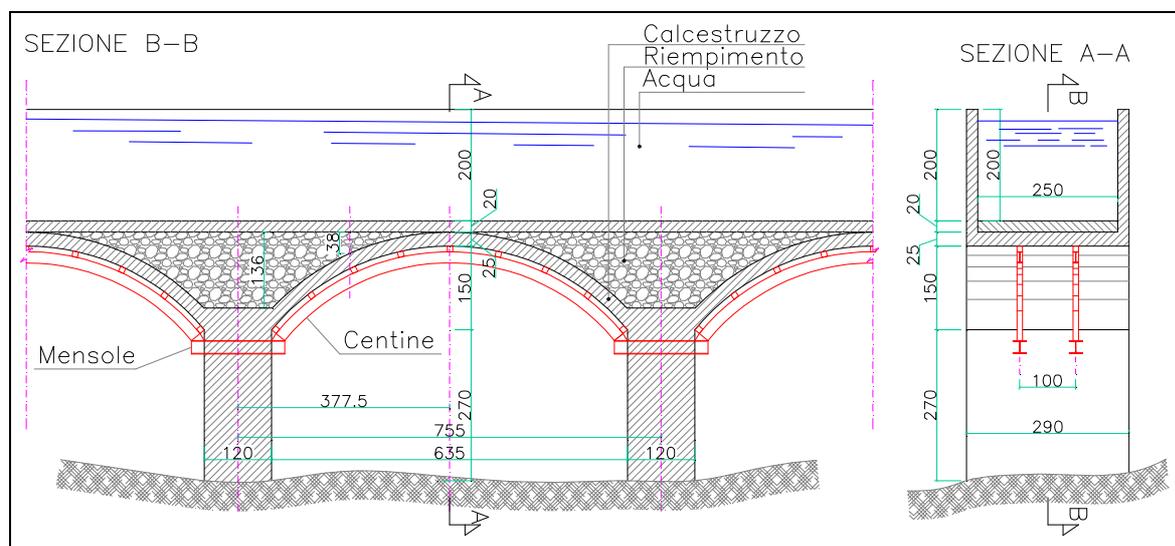


Figura 5

I carichi agenti sono:

- peso proprio acciaio: $78,5 \text{ KN/m}^3$
- arco in calcestruzzo: $2,9 \times 0,25 \times 25 = 10,125 \text{ KN/ml}$
- canale in c.a.: $(2 \times 2 \times 0,2 + 0,2 \times 2,9) \times 25 = 34,5 \text{ KN/ml}$
- riempimento: si considera una distribuzione trapezoidale come indicato successivamente (peso del riempimento 20 KN/m^3):

$$p1 = 1,36 \times 20 \times 2,5 = 68,00 \text{ KN/ml}$$

$$p2 = 0,36 \times 20 \times 2,5 = 19 \text{ KN/ml}$$

$$\text{acqua: } 2,5 \times 2,0 \times 10 = 50 \text{ KN/ml}$$

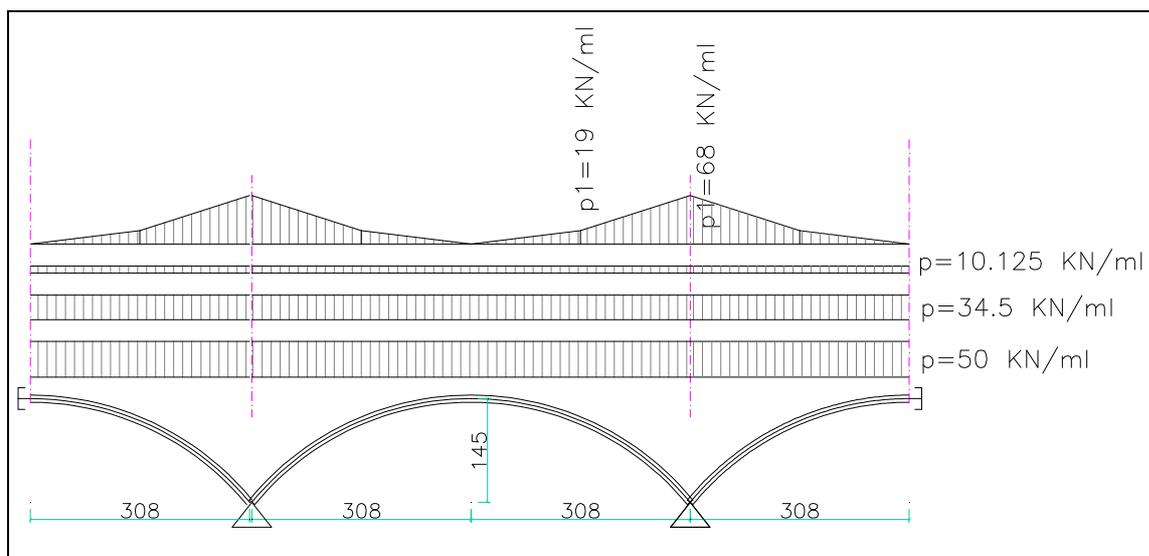


Figura 6

4.4.2.2 Verifiche

Si riportano le azioni interne e le verifiche effettuate nella sezione 1 di appoggio (massima azione assiale) e 2 di massimo momento nelle condizioni di esercizio ed in presenza di azione sismica.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Poiché il carico dell'acqua è stato considerato come permanente e non come accidentale, si trascura il carico da neve.

Le azioni esposte sono applicate ad una singola centina.

Sezione	Esercizio			Sisma		
	M [KNm]	N [KN]	T [KN]	M [KNm]	N [KN]	T [KN]
1	-	260,0	14,6	-	339,1	17,4
2	2,4	224,4	19,0	4,6	261,4	20,3

Tabella 16

Le caratteristiche geometriche della sezione sono:

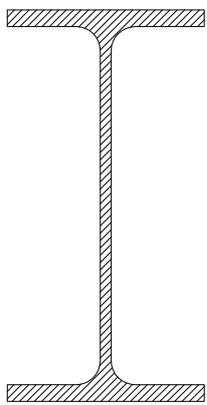
 <p>IPE 200</p>	g (Kg/m) = 22.4
	h (mm) = 200
	b (mm) = 100
	tw (mm) = 5.6
	tf (mm) = 8.5
	r1 (mm) = 12
	r2 (mm) = 0
	A (cm ²) = 28.48
	I _y (cm ⁴) = 1943
	W _y (cm ³) = 194.3
	W _{pl,y} (cm ³) = 220.6
	i _y (cm) = 8.26
	I _z (cm ⁴) = 142.4
	W _z (cm ³) = 28.47
	W _{pl,z} (cm ³) = 44.61
i _z (cm) = 2.24	
I _T (cm ⁴) = 6.98	
I _w (cm ⁶) = 12990	

Figura 7

La verifica della sezione 1 più sollecitata risulta:

$$\sigma_s = \frac{N}{A} = \frac{339,1 \cdot 10^3}{2848} = 119,1 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{T}{A_T} = \frac{17,4 \cdot 10^3}{(200 - 2 \cdot 8,5) \cdot 5,6} = 17,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = 122,7 \text{ MPa}$$

Verificato

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

La verifica della sezione 2 più sollecitata risulta:

$$\sigma_s = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{261,4 \cdot 10^3}{2848} + \frac{4,6 \cdot 10^6}{194300} = 115,46 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{T}{A_T} = \frac{20,3 \cdot 10^3}{(200 - 2 \cdot 8,5) \cdot 5,6} = 19,81 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = 120,6 \text{ MPa} \quad \text{Verificato}$$

Si riportano le reazioni e la massima deformata della struttura.

	RV [KN]	RH [KN]	f [mm]	f / l
Esercizio	195,3	172,2	2,3	0,4/1000
Sisma	252,0	228,2	2,9	0,5/1000

Tabella 17

4.4.3 Alto degrado

Nei tratti di alto degrado si procede demolendo completamente la struttura esistente; l'opera di nuova realizzazione è in calcestruzzo armato di tipologia identica all'esistente. Si eseguiranno quindi nuove fondazioni opportunamente dimensionate in base ai carichi derivanti e tali da garantire l'esercizio in condizioni sismiche, i piedritti e relativo arco in calcestruzzo, con riempimento fino a quota canale con ghiaia e materiale idoneo ricavato dagli scavi. Infine si realizza il canale con la relativa impermeabilizzazione.

Prima di procedere alla demolizione del tratto interessato è necessario effettuare il riempimento delle arcate adiacenti dalla quota terreno all'intradosso dell'arco con pietre. Questa operazione, effettuata solo temporaneamente, ha la funzione di contrastare le spinte orizzontali non più supportate dagli archi demoliti per evitare spostamenti degli archi non in

demolizione. All'avvenuta realizzazione del tratto demolito si rimuoverà il materiale apportato per il ripristino dello stato attuale.

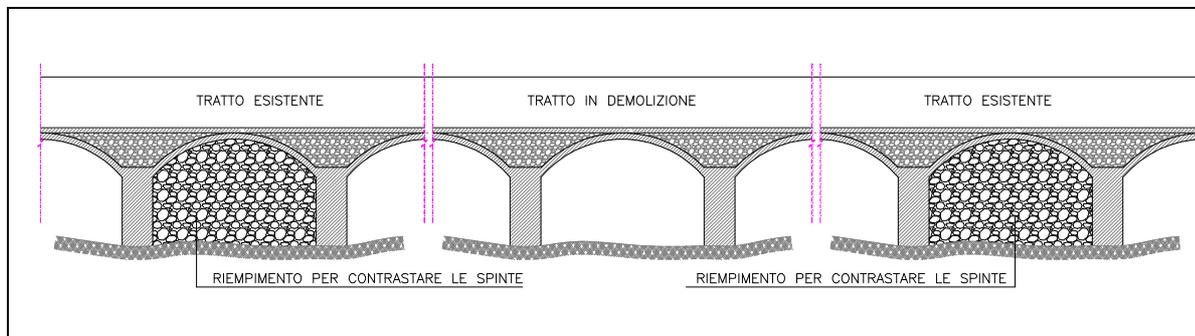


Figura 8

4.4.3.1 Analisi dei carichi

I vincoli geometrici considerati per il dimensionamento della struttura sono costituiti dalla dimensione interna del canale (250cm di larghezza, 200cm di altezza), lo spessore dei piedritti (120cm) e la massima luce dell'arco (635cm).

La geometria completa è indicata nella successiva figura.

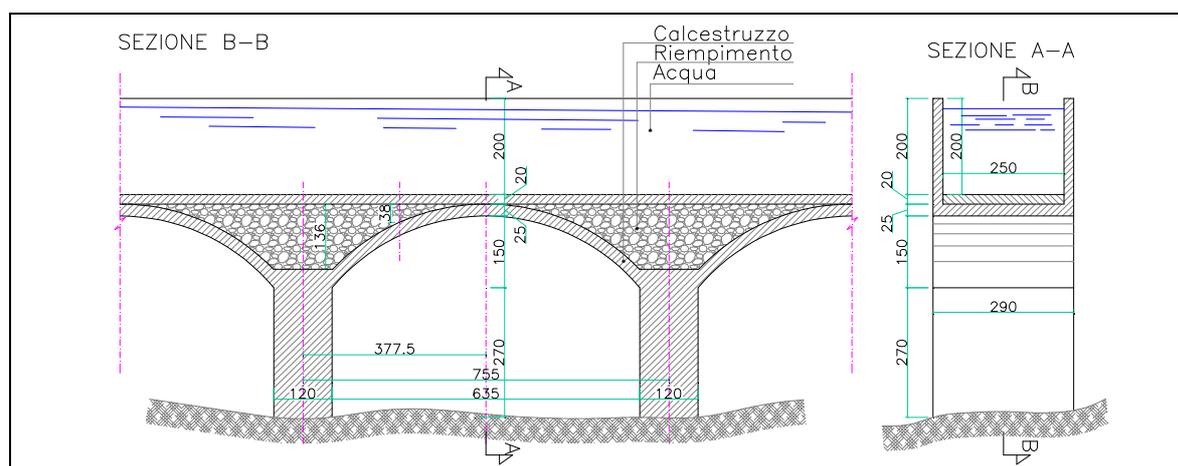


Figura 9

Si considera uno spessore di 25cm della soletta costituente l'arco per una larghezza di cm 290. I carichi agenti sono:

- peso proprio della soletta: $0,25 \times 25 \times 2,90 = 10,125 \text{ KN/ml}$

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

- canale in c.a.: $(2 \times 2 \times 0,2 + 0,2 \times 2,9) \times 25 = 34,5 \text{ KN/ml}$
- riempimento: si considera una distribuzione trapezoidale come indicato successivamente (peso del riempimento 20 KN/m^3):

$$p1 = 1,36 \times 20 \times 2,5 = 68,00 \text{ KN/ml}$$

$$p2 = 0,36 \times 20 \times 2,5 = 19 \text{ KN/ml}$$

- acqua: $2,5 \times 2,0 \times 10 = 50 \text{ KN/ml}$

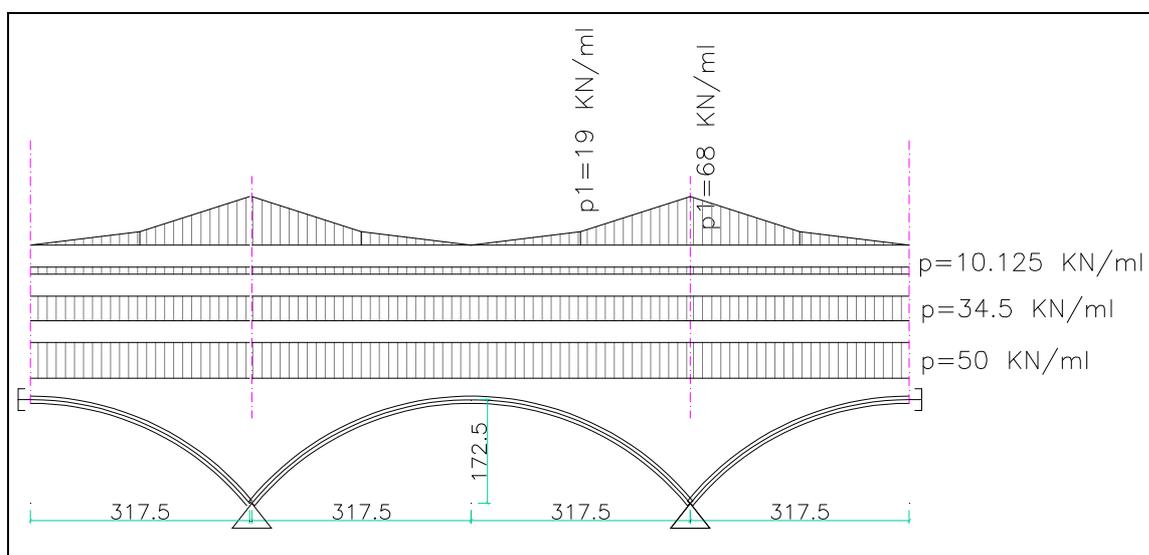


Figura 10

4.4.3.2 Verifiche

Si riportano le azioni interne e le verifiche effettuate nella sezione 1 di appoggio (massima azione assiale) e 2 di massimo momento nelle condizioni di esercizio ed in presenza di azione sismica.

Poiché il carico dell'acqua è stato considerato come permanente e non come accidentale, si trascura il carico da neve.

Le azioni esposte sono riferite alla larghezza della soletta (2,9m).

Sezione	Esercizio			Sisma		
	M [KNm]	N [KN]	Tmax [KN]	M [KNm]	N [KN]	Tmax [KN]
1	4,9	417,7	41,85	15,4	484,7	58,7
2	9,1	333,5		15,0	400,5	

Tabella 18

Si dispone un'armatura composta da 1 ϕ 12/25 superiore ed inferiore in senso longitudinale e da 1 ϕ 10/25 superiore ed inferiore in senso trasversale. Si riportano le verifiche delle sezioni 1 e 2 in condizione sismica (più gravosa).

Sezione 1

B= 290 cm H= 25cm Copriferro di calcolo = 4cm

As = 1 ϕ 12/25 A's = 1 ϕ 12/25

M = 15,4 KNm N = 484,7 KN

σ_c = 1,26 MPa σ_s = -0,03 MPa

Sezione 2

B= 290 cm H= 25cm Copriferro di calcolo = 4cm

As = 1 ϕ 12/25 A's = 1 ϕ 12/25 M = 15,0 KNm N = 400,5 KN

σ_c = 1,12 MPa σ_s = -0,02 MPa

Verifica a taglio

Tmax = 58.74 KN

$$\tau = \frac{58,74 \cdot 10^3}{2900 \cdot 210 \cdot 0,9} = 0,11 \text{ MPa}$$

La sezione è verificata

Si riportano le reazioni e la massima deformata della struttura.

	RV [KN]	RH [KN]	f [mm]	f / l
Esercizio	356,7	-	0,16	0,03/1000
Sisma	410,0	-	0,23	0,04/1000

Tabella 19

4.4.3.3 Fondazione

I carichi che sono trasmessi alla fondazione sono costituiti dalla reazione verticale e dal peso proprio del piedritto (le forze orizzontali sono uguali e contrarie).

Si dispone una fondazione di dimensioni 350x180cm e spessore 30.

In totale si ha:

arco sinistro:	410	KN (sisma)
arco destro:	410	KN (sisma)
piedritto: 1,2 x 2,9 x 2,7 x 25 =	<u>235</u>	<u>KN</u>
<u>fondazione: 3,5 x 1,8 x 0,30 x 25 =</u>	<u>47,25</u>	<u>KN</u>
TOT.	1102,25	KN

con una pressione media sul terreno pari a:

$$\sigma_t = \frac{1102,25}{3,5 \cdot 1,8} = 175 \frac{KN}{m^2}$$

valore ammissibile in riferimento alle caratteristiche meccaniche del terreno (rif. *Relazione Geotecnica – atto A.02.02*).

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

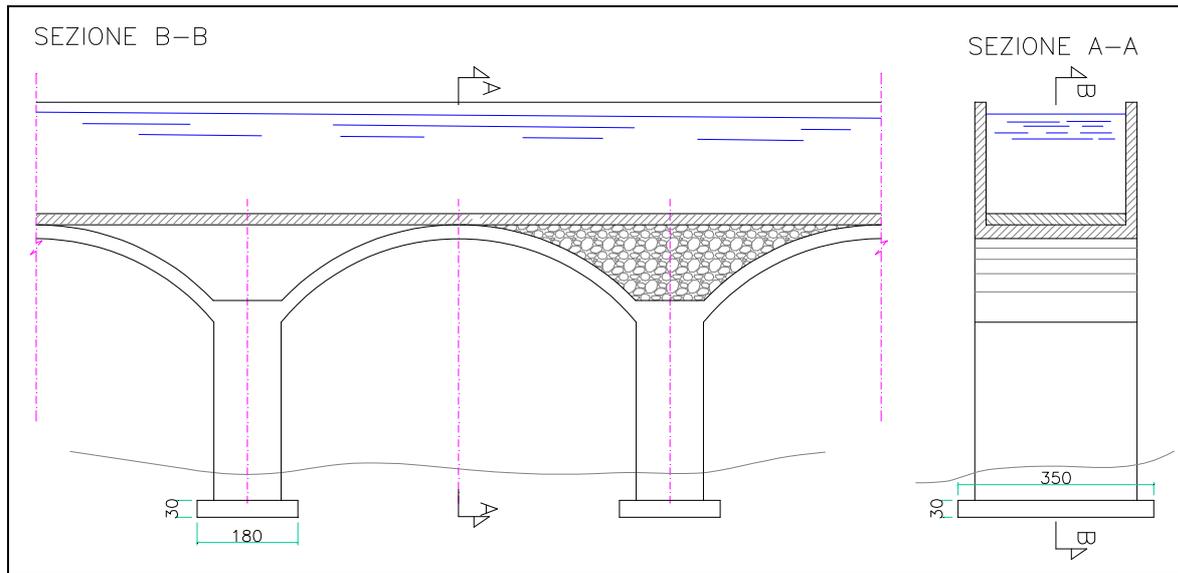


Figura 11

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

5. ALLEGATO A: RILIEVO DELLE ARCATE EFFETTUATO DA IREN ENERGIA

In *Allegato A* si indicano, per ogni singola arcata, le tipologie di intervento descritte.

Pur essendoci basati ad ispezioni visive sul luogo ed a rilievi puntuali effettuati, solo al momento dell'esecuzione dei lavori si potrà avere una conferma sulla correttezza della metodologia effettuata. Potranno quindi essere necessarie delle variazioni sulla tipologia di intervento della singola arcata in fase esecutiva.

6. CENTRALE DI CHIOMONTE

6.1 PREMESSA

Il nuovo corpo centrale consiste in un fabbricato di ingombro planimetro pari a 20,50 x 27,50 m, ed un'altezza complessiva fuori terra di 12,50 m, con una porzione interrata di circa 3,50 m per la realizzazione del canale di scarico. Tali dimensioni derivano dalla necessità di attrezzare la struttura all'alloggiamento del gruppo turbina/alternatore, dei relativi organi idraulici, dei sistemi elettrici e di automazione oltre alla necessità di destinare locali per apparecchiature di automazione e controllo delle linee elettriche.

Al fine di garantire il rispetto delle distanze minime dal confine di proprietà ed assicurare l'accesso e la manovra nella zona della nuova centrale con autocarri e/o autotreni, la costruzione della nuova struttura prevede la demolizione di fabbricati attualmente destinati all'alloggiamento di materiale elettrico e a deposito di materiale vario.

La struttura è composta da un corpo centrale a tutta altezza dove verrà alloggiato il gruppo turbina/alternatore, la centralina oleodinamica, il regolatore di velocità, il sistema di raffreddamento e lubrificazione la quadristica elettrica.

È prevista inoltre l'installazione di un carroponete di larghezza utile pari a 13,0 m di portata 60 t, per la movimentazione dei pezzi meccanici sia durante le operazioni di installazione sia durante quelle di smontaggio e manutenzione ordinaria e straordinaria.

L'aspetto del prospetto fuori terra della struttura sarà reso conforme alle tipologie costruttive tipiche del luogo con finitura delle pareti esterne con

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

materiale antigraffio colore grigio ovvero pietra o legno in funzione delle prescrizioni di VIA, al fine di inserirsi nel contesto dominato dall'adiacente fabbricato esistente.

Il progetto esecutivo delle strutture potrà successivamente essere sviluppato anche in funzione degli effettivi pesi delle apparecchiature elettromeccaniche e delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione. In particolare nella zona dove verrà ubicato il nuovo corpo centrale sono già state eseguite indagini geognostiche (n°2 sondaggi) e prove di laboratorio per il riconoscimento dei caratteri stratigrafici e delle caratteristiche geotecniche del sottosuolo.

6.2 INQUADRAMENTO SISMICO

Con l'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia dei criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica", pubblicata sulla G.U. n. 105 del 08/05/2003, supplemento ordinario n. 72, vengono individuate in prima applicazione le zone sismiche sul territorio nazionale e vengono fornite le normative tecniche da adottare per la costruzione nelle zone sismiche stesse.

Tale ordinanza è entrata in vigore per gli aspetti inerenti la classificazione sismica dal 23/10/2005, data coincidente con l'entrata in vigore del D.M. 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni", pubblicato sulla G.U. n. 222 del 23/09/2005 supplemento ordinario n. 159.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Da tale data è in vigore, quindi la classificazione sismica del territorio nazionale così come deliberato dalle singole regioni. La Regione Piemonte, con D.G.R. n. 61 – 11017 del 17 Novembre 2003-11-25 ha preso atto della classificazione fornita in prima applicazione dalla citata Ordinanza 3274/03. Tale classificazione inserisce il comune di Chiomonte in zona sismica 3.

La Regione Piemonte impone per la zona 3 l'obbligo della progettazione antisismica. A tale proposito, come da D.G.R. n. 61 – 11017 del 17 Novembre 2003-11-25, si impone inoltre:

1. di definire, nelle more della ridefinizione normativa dell'intera materia, per i comuni classificati in zona 3, le seguenti procedure:
 - i progetti delle nuove costruzioni private (compresi gli interventi sulle costruzioni esistenti), devono essere depositati ai sensi dell'art. 93 del D.P.R. 06/06/2001 n. 380, presso lo sportello unico dell'edilizia, ove costituito, ovvero presso i comuni competenti per territorio ;
 - per i progetti di cui al punto precedente si applica il controllo a campione da effettuarsi secondo le procedure e le modalità previste dall'art. 3 della L.R. 19/85 e della D.G.R. n. 49 – 42336 del 21/03/1985. A tale scopo, lo sportello unico per l'edilizia o i comuni singoli per i casi in cui lo sportello unico non sia operante sono tenuti a comunicare trimestralmente agli uffici regionali competenti per materia l'elenco dei progetti presentati;
 - i progetti degli edifici pubblici sono sottoposti ad autorizzazione ai sensi dell'Art. 94 del D.P.R. 06/06/2001 n. 380 e sono

depositati presso la provincia competente per territorio, la quale rilascia l' autorizzazione di cui sopra per gli effetti dell'art. 2 della L.R. 28/03;

2. di precisare che nella zona 3, gli strumenti urbanistici generali e loro varianti strutturali nonché gli strumenti urbanistici esecutivi sono tenuti al rispetto dell'art. 89 del D.P.R. 06/06/2001 n. 380, secondo le modalità stabilite dalla L.R. 19/85 e relativa D.G.R. n. 2 -19274 del 8/03/1988 così come aggiornate con la L.R. 28/02 e la relativa D.G.R. n. 37-8397 del 10/02/2003. Gli strumenti urbanistici generali già approvati alla data di entrata in vigore delle disposizioni fissate dalla presente deliberazione e adeguati alla Circolare regionale 7LAP/1996, sono da considerarsi conformi ai disposti dell'art. 89 del D.P.R. 06/06/2001 n. 380; per tali strumenti urbanistici la conformità a detto art. 89 è considerata estesa ai relativi strumenti urbanistici esecutivi approvati.

Pertanto, in fase di progettazione esecutiva delle strutture portanti e definitive si dovrà tenere in conto delle indicazioni sopra riportate e meglio dettagliate nel PGT al fine di assicurare un corretta progettazione antisismica di un sito strategico quale la centrale di produzione di energia idroelettrica.

6.3 NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

- Legge n.1086 del 05.11.71 “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

- D.M. LL.PP. 14.02.92 “Norme tecniche per l’esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche”.
- D.M. LL.PP. 09.01.96 “Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche”.
- Circolare n.252 Min.LL.PP. del 15.10.96 “Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D.M. 09.01.96”.
- D.M. LL.PP. 16.01.96 (G.U. 5/2/96, n° 29) “Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni, e dei carichi e sovraccarichi”.
- Circolare n.156 Min.LL.PP. del 15.10.96 “Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi di cui al D.M. 09.01.96”.
- Ordinanza n° 3274 del 20/03/2003 del Presidente del Consiglio dei Ministri. "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (pubblicata nel Supplemento Ordinario n. 72 della G.U. n. 105 del 8.05.2003).

A tale riguardo si segnala, preliminarmente, come sia stata applicata la previgente normativa tecnica (D.M. 16/01/96) rispetto alle NTC 2008, secondo

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

quanto riportato al comma 3 dell'art. 20 del Decreto Legge n.248/2007 e nella Circolare 5 Agosto 2009 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti:

«Per le costruzioni e le opere infrastrutturali iniziate, nonché per quelle per le quali le amministrazioni aggiudicatrici abbiano affidato lavori o avviato progetti definitivi o esecutivi prima dell'entrata in vigore della revisione generale delle norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti 14 settembre 2005, continua ad applicarsi la normativa tecnica utilizzata per la redazione dei progetti, fino all'ultimazione dei lavori e all'eventuale collaudo».

6.4 PREDIMENSIONAMENTO STRUTTURE

Nel presente paragrafo vengono descritti e riportati i criteri ed i procedimenti di pre-dimensionamento delle opere civili delle strutture relative alla realizzazione del nuovo fabbricato centrale dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte.

Il Comune di Chiomonte, all'interno del quale è prevista la realizzazione del nuovo edificio centrale, è classificato secondo l'Ordinanza n° 3274/03 in zona sismica 3. In particolare la Regione Piemonte impone per la zona 3 l'obbligo della progettazione antisismica (crf. Paragrafo 6.2).

In questa fase di pre-dimensionamento della struttura portante, verrà indicata la fattibilità, per la realizzazione della centrale di Chiomonte, dell'utilizzo di una struttura prefabbricata integrata da particolari elementi strutturali realizzati in opera: saranno indicate le posizioni, le dimensioni e le tipologie indicative degli elementi strutturali secondo calcoli pre-dimensionali, mentre si rimanda

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

alla successiva fase esecutiva la progettazione antisismica ed il relativo calcolo dettagliato degli elementi strutturali.

Il fabbricato principale della centrale presenta una superficie in pianta di circa 27,50 m x 20,50 m, ed un' altezza complessiva fuori terra di 12,50 m per i locali di alloggio del gruppo turbina/alternatore, il regolatore di velocità, la centralina oleodinamica, il sistema di raffreddamento e lubrificazione oltre alla quadristica elettrica. I locali laterali, adiacenti al blocco centrale, presentano invece un'altezza complessiva fuori terra di circa 8,00 m.

La struttura portante della centrale di Chiomonte potrebbe essere realizzata in opera, ma da un'attenta analisi del luogo e dallo studio della viabilità della zona in esame, si evince la possibilità di potere utilizzare una struttura prefabbricata che, a seguito di un'attenta e precisa progettazione, ridurrebbe notevolmente i tempi di realizzazione.

Essendo la struttura da realizzare in zona sismica 3, si considera che la fattibilità dell'utilizzo di elementi prefabbricati per la realizzazione della struttura portante sia strettamente vincolata da progettazione regolare in pianta ed in altezza degli elementi strutturali.

La struttura prefabbricata comprenderà:

- plinti prefabbricati con pozzetto per l'alloggiamenti dei pilastri;
- pilastri prefabbricati provvisti di mensole;
- travi prefabbricate per solai e coperture;
- pannelli prefabbricati di tamponamento;
- solai alveolari prefabbricati.

Le strutture principali da redigere in opera comprenderanno:

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

- platea di fondazione;
- sottoplinti per plinti prefabbricati;
- vano scala interno e scala in C.A.;
- eventuali travi porta-pannello;
- marciapiede in battuto di cemento.
- trave di fondazione per la realizzazione del reticolo sismico.

I sovraccarichi utilizzati per effettuare un pre-dimensionamento della struttura portante della nuova centrale di Chiomonte sono riportati in Tabella 20:

SOLAIO DI COPERTURA CORPO PRINCIPALE			
(tipo "alveolare prefabbricato") (htot.=26,5cm)			
CARICHI PERMANENTI			
Peso proprio solaio		360	(Kg/m2)
Carichi appesi		200	(Kg/m2)
		560	(Kg/m2)
CARICHI VARIABILI			
Sovraccarico		1000	(Kg/m2)
		1560	(Kg/m2)
SOLAIO DI COPERTURA LOCALE CONTROLLO			
(tipo "alveolare prefabbricato") (htot.=26,5cm)			
CARICHI PERMANENTI			
Peso proprio del solaio		360	(Kg/m2)
Carichi appesi		100	(Kg/m2)
		460	(Kg/m2)
CARICHI VARIABILI			
Sovraccarico		1000	(Kg/m2)
		1460	(Kg/m2)
PRIMO SOLAIO			
(tipo "alveolare prefabbricato") (htot.=26,5cm)			
CARICHI PERMANENTI			
Peso proprio solaio		360	(Kg/m2)
Sottofondo + pavimento		200	(Kg/m2)
Tavolati ripartiti		100	(Kg/m2)

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

		660	(Kg/m2)
CARICHI VARIABILI			
Sovraccarico		1000	(Kg/m2)
		1660	(Kg/m2)
SCALA IN C.A.			
CARICHI PERMANENTI			
Peso proprio scala		375	(Kg/m2)
Sottofondo + pavimento		100	(Kg/m2)
		475	(Kg/m2)
CARICHI ACCIDENTALI			
Sovraccarico		400	(Kg/m2)
		875	(Kg/m2)
GRONDA			(Copertura)
(tipo "alveolare prefabbricato") (htot.=26,5cm)			
CARICHI PERMANENTI			
Peso proprio solaio		360	(Kg/m2)
		360	(Kg/m2)
CARICHI VARIABILI			
Sovraccarico		1000	(Kg/m2)
		1360	(Kg/m2)
TAMPONAMENTO ESTERNO	12	6000	(kg/m)
	6,4	3200	(kg/m)
CARROPONTE (60t)		4000	(kg/m)

Tabella 20

Per caratterizzare a livello geologico e geotecnico i terreni esistenti e caratterizzare il modello del sottosuolo su cui sorgerà la nuova centrale di Chiomonte, sono stati eseguiti n°2 sondaggi geognostici effettuati a carotaggio continuo, spinti fino a 15 m da p.c. con n°5 prove SPT per ciascun foro, e n°1 prova di carico su piastra. A seguito delle suddette prove sono state definite le caratteristiche geologiche-geotecniche del terreno di fondazione e

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

successivamente sono stati individuati i piani di appoggio delle nuove fondazioni in relazione alla consistenza del terreno, a partire da 0,50÷1,00 m dal piano campagna (vedi *Relazione geologica - atto n° A.02.01-* e *Relazione geotecnica - atto n°A.02.02*).

All'interno della centrale si prevede la realizzazione di una platea di fondazione con spessore minimo 0,40 m a quota circa -0,50 m dal p.c. a formazione del piano di posa della quadristica elettrica, del locale alloggiamento trasformatori e locale servizi igienici.

I locali dove verranno alloggiate le macchine idrauliche avranno una platea di fondazione con un piano di posa di -1,45 m e -2,40 m dal p.c..

Si prevede inoltre la realizzazione di una platea di fondazione con spessore minimo 0,40 m a quota -4,50 m a formazione del piano di posa della base del canale di scarico.

Le gabbie metalliche delle armature delle fondazioni verranno adagate su un getto di magrone Rck 15 N/mm² preventivamente realizzato.

I plinti dovranno essere collegati mediante boccole e barre filettate certificate al reticolo di travi di fondazione di collegamento, realizzato in opera, atto ad assorbire le forze assiali dell'azione sismica.

Prima della posa delle armature sarà cura del Direttore Lavori verificare l'effettiva consistenza del terreno e prevedere, in caso di cattiva portata dello stesso, gli opportuni accorgimenti (effettuare uno scavo più profondo, compattare il terreno), per evitare in seguito possibili cedimenti differenziali ed ottenere la portanza del terreno necessaria.

Lo spessore della platea di fondazione dovrà essere in grado di distribuire in modo uniforme i carichi concentrati e distribuiti dei macchinari che insistono

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

sulla stessa. In sede di progettazione esecutiva si dovrà verificare l'assenza di fenomeni di punzonamento della platea in prossimità di carichi concentrati dovuti ai macchinari che insistono sulla platea stessa.

Relativamente allo scheletro della struttura portante, viene proposta un ipotesi di struttura portante realizzata mediante elementi prefabbricati: pilastri a sostegno di travi portanti e solai alveolari.

Il pre-dimensionamento degli elementi principali della struttura portante viene effettuato considerando solo i carichi permanenti e variabili agenti sulle coperture e sui solai, rimandando alla successiva progettazione esecutiva dettagliata le azioni dovute al sisma.

Verranno realizzati sottoplinti in opera a sostegno dei plinti prefabbricati con bicchiere in cui verranno alloggiati i pilastri prefabbricati.

I plinti sono soggetti ai carichi trasmessi dal pilastro e devono diffondere tali carichi sul terreno tramite la piastra di base.

Il pre-dimensionamento dei sottoplinti viene effettuato considerando tutti i carichi agenti provenienti dai pilastri prefabbricati, verificando che la pressione trasmessa al terreno sia entro i limiti ammissibili definiti dalla *Relazione geologica e geotecnica* (vedi atti A.02.01 e A.02.02).

In sede di progettazione esecutiva, ed a seguito dell'esatta posizione dei pilastri, si dovranno verificare le effettive azioni agenti su ogni sottoplinto e verificare le relative pressioni di contatto.

Le azioni di progetto provenienti dai pilastri sono riportate in Tabella 21:

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

PIANO TERRA			
Rck (Kg/cm ²)	350		
Pilastro	σ_c	σ_c'	N
(n°)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(kg)
P1	110	77	85497,20
P2	110	77	144405,20
P3	110	77	144405,20
P4	110	77	144405,20
P5	110	77	93167,60
P6	110	77	53754,40
P7	110	77	57368,80
P8	110	77	59884,80
P9	110	77	120280,00
P10	110	77	135088,00
P11	110	77	72036,00
P12	110	77	78071,20
P13	110	77	99155,20
P14	110	77	115121,60
P15	110	77	163422,00
P16	110	77	163422,00
P17	110	77	163422,00
P18	110	77	75657,60
P19	110	77	56344,00
P20	110	77	64300,80
P21	110	77	64300,80
P22	110	77	64300,80
P23	110	77	65612,00
P24	110	77	77800,00

Tabella 21

Di seguito vengono evidenziate in Tabella 22 le azioni agenti sui pilastri, le dimensioni dei pilastri e le sollecitazioni a cui sono sottoposti il calcestruzzo e l'acciaio (si è considerata un'armatura minima come da normativa).

PIANO TERRA							
Rck (Kg/cm ²)	350	x	y				
Pilastro	N	a _{eff}	b _{eff}	A _{eff}	As totale	σ_c	σ_s
(n°)	(kg)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
P1	85497,20	50	70	3500	22,11	22,313	334,701
P2	144405,20	50	70	3500	22,11	37,687	565,312
P3	144405,20	50	70	3500	22,11	37,687	565,312
P4	144405,20	50	70	3500	22,11	37,687	565,312
P5	93167,60	50	70	3500	22,11	24,315	364,729
P6	53754,40	50	50	2500	16,08	19,610	294,147
P7	57368,80	50	50	2500	16,08	20,928	313,925

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

P8	59884,80	50	50	2500	16,08	21,846	327,693
P9	120280,00	50	50	2500	16,08	43,879	658,179
P10	135088,00	50	50	2500	16,08	49,281	739,209
P11	72036,00	50	50	2500	16,08	26,279	394,185
P12	78071,20	50	50	2500	16,08	28,481	427,210
P13	99155,20	50	50	2500	16,08	36,172	542,583
P14	115121,60	50	70	3500	22,11	30,045	450,674
P15	163422,00	50	70	3500	22,11	42,651	639,758
P16	163422,00	50	70	3500	22,11	42,651	639,758
P17	163422,00	50	70	3500	22,11	42,651	639,758
P18	75657,60	50	70	3500	22,11	19,745	296,182
P19	56344,00	50	50	2500	16,08	20,555	308,318
P20	64300,80	50	50	2500	16,08	23,457	351,858
P21	64300,80	50	50	2500	16,08	23,457	351,858
P22	64300,80	50	50	2500	16,08	23,457	351,858
P23	65612,00	50	50	2500	16,08	23,936	359,033
P24	77800,00	50	50	2500	16,08	28,382	425,726

Tabella 22

In base ai carichi agenti, la pressione sul terreno risulta inferiore a quella ammissibile definita dalla relazione geotecnica, così come riportato in Tabella 23.

Pilastro (n°)	a (m)	b (m)	h (m)	(kg/m³)	□pt (kg/cm²)
P1	4,4	4,4	0,6	2500	0,591618
P2	4,4	4,4	0,6	2500	0,895895
P3	4,4	4,4	0,6	2500	0,895895
P4	4,4	4,4	0,6	2500	0,895895
P5	4,4	4,4	0,6	2500	0,631238
P6	3,5	3,5	0,6	2500	0,588811
P7	3,5	3,5	0,6	2500	0,618317
P8	3,5	3,5	0,6	2500	0,638856
P9	3,5	4,1	0,6	2500	0,988188
P10	4,1	4,1	0,6	2500	0,953617
P11	3,5	3,5	0,6	2500	0,738049
P12	3,5	3,5	0,6	2500	0,787316
P13	4,4	4,4	0,6	2500	0,662165
P14	4,4	4,4	0,6	2500	0,744636
P15	4,4	4,4	0,6	2500	0,994122
P16	4,4	4,4	0,6	2500	0,994122
P17	4,4	4,4	0,6	2500	0,994122
P18	4,4	4,4	0,6	2500	0,540793
P19	3,5	3,5	0,6	2500	0,609951
P20	3,5	3,5	0,6	2500	0,674904
P21	3,5	3,5	0,6	2500	0,674904

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

P22	3,5	3,5	0,6	2500	0,674904
P23	3,5	3,5	0,6	2500	0,685608
P24	3,5	3,5	0,6	2500	0,785102

Tabella 23

Vengono definite tre tipologie di sottoplinti, in funzione delle dimensioni:

Tipo A dim. 4,10m x 4,10m x 0,6m

Tipo B dim. 4,40m x 4,40m x 0,6m

Tipo C dim. 3,00m x 3,00m x 0,6m

I sottoplinti potranno, in sede di progettazione esecutiva, subire variazione di dimensione e spessore in funzione delle sollecitazioni agenti conseguenti all'analisi di calcolo effettuata dal progettista delle strutture nonché direttamente dal prefabbricatore.

Il sottoplinto dovrà inoltre essere verificato allo stato limite ultimo al punzonamento, per evitare che il pilastro punzoni localmente la piastra di base.

Il plinto prefabbricato, munito di bicchiere in cui alloggiare i pilastri prefabbricati, avrà delle dimensioni tali da potere resistere alle azioni di taglio e momento agenti al piede del pilastro. Le esatte azioni assiali, di taglio e momenti agenti sui singoli pilastri verranno fornite dal prefabbricatore in sede di progettazione esecutiva. Nella tavola allegata viene indicato un plinto prefabbricato di dimensioni in pianta 1,6 x 1,6 x 0,3 m con bicchiere di altezza 1,20 m e spessore 0,25 m che ben si avvicina alle possibili dimensioni di progetto. La dimensione del pozzetto sarà di 5÷10 cm più grande, per ogni lato, della sezione del pilastro, per permettere un buon riempimento di calcestruzzo al di sotto ed intorno al pilastro.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

I sottoplinti giaceranno su un letto di cls magro Rck 15 N/mm² preventivamente realizzato di spessore minimo 0,20 m.

I sottoplinti verranno tutti posizionati a -4,80 m dal p.c., tranne quelli al di sotto del canale di scarico dalla centrale di Chiomonte, che dovranno essere posizionati ad una quota più bassa, indicativamente a -7,60 m dal p.c., per permettere il passaggio del canale alla quota prestabilita di progetto. Queste quote potranno subire variazioni in sede di progettazione esecutiva, tenendo sempre ben presente la reale portata del terreno.

Il solaio di calpestio del locale automazione, protezione e controllo verrà realizzato con lastre alveolari prefabbricate con una larghezza di 1,20 m ed uno spessore di 26,5 m che ben sopportano i carichi permanenti di 660 kg/m² e variabili pari a 1.000 kg/m².

Il solaio prefabbricato verrà sostenuto da travi prefabbricate a “T rovescia” delle dimensioni indicate nella tavola di progetto (vedi Tabella 24).

Le travi a sostegno del solaio potranno subire variazioni di dimensione a seconda del tipo di fornitore di elementi prefabbricati utilizzati.

Le travi prefabbricate verranno sostenute dai pilastri prefabbricati provvisti di apposite mensole opportunamente dimensionate ed armate.

La copertura dei locali automazione e trasformatori verrà realizzata mediante un solaio alveolare prefabbricato, sostenuto da travi prefabbricate a “T rovescia” delle dimensioni indicate nella tavola di progetto, (vedi Tabella 25), e sostenute da pilastri prefabbricati provvisti di apposite mensole opportunamente armate, dimensionate a sostenere i pesi ed i sovraccarichi delle varie apparecchiature ivi installate.

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Il locale principale alto circa 12,5 m sarà realizzato mediante pilastri prefabbricati di dimensioni minime in pianta 0,5 x 0,70 m provvisti di apposite mensole. A quota +7,50 m circa verrà realizzato un carro ponte sostenuto da travi prefabbricate con sezione ad "I" opportunamente armate (vedi Tabella 26). La trave verrà sollecitata principalmente dalla reazione vincolare (circa 30 t) del carro ponte progettato e dimensionato per sostenere un carico massimo di 60 t.

La copertura del locale di alloggiamento della turbina verrà realizzato con un solaio costituito da lastre alveolari prefabbricate di spessore 0,265 m sostenuto da travi prefabbricate giuntate a pendenza variabile (travi sottili ad anima piena) in modo da ottenere la pendenza voluta di progetto. L'armatura principale sarà costituita da trefoli per la precompressione e da acciaio inerte per le staffe e per le armature di testata. Sopra le lastre alveolari verranno posizionati i pacchetti di coibentazione e di impermeabilizzazione, previa formazione delle adeguate pendenze necessarie allo scarico delle acque meteoriche.

Il solaio di copertura dovrà essere in grado di sopportare un carico permanente di 200 kg/m^2 ed un carico variabile di 1.000 kg/m^2 oltre al peso proprio del solaio.

I tamponamenti perimetrali verranno realizzati mediante pannelli prefabbricati orizzontali di spessore 0,20 m, opportunamente vincolati ai pilastri prefabbricati.

All'interno verrà realizzato un vano scala in c.a. in opera con setti di spessore 0,20 m opportunamente armati; la scala in c.a. dovrà avere un'anima di almeno

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

0,15 m e dovrà essere opportunamente armata in modo da sopportare un carico minimo pari a 475 kg/m^2 di permanente oltre a 400 kg/m^2 di variabile.

Il pianerottolo di arrivo della scala ed il solaio di copertura della prima rampa di scale verrà realizzato in opera mediante una soletta in c.a. di spessore pari a 0,20 m, e dovrà avere un'armatura tale da sopportare un carico minimo pari a 475 kg/m^2 di permanente oltre a 400 kg/m^2 di variabile.

All'esterno dovrà essere realizzato un marciapiede carrabile in battuto di cemento con uno spessore minimo di 0,40 m, integrata da un'armatura minima in modo da sopportare i carichi gravanti di progetto.

Le dimensioni e la posizione delle strutture prefabbricate potranno subire variazioni in sede di progettazione esecutiva.

Tabella 24

Geometria della struttura

Campata	Lunghezza [m]
Campata 1	4,50

Appoggi e vincoli

Descrizione	Larghezza [m]	Vincolo	Parametro
A	0,50	Appoggio	
B	0,50	Appoggio	

Sezioni

Descrizione	Altezza H [cm]	Base B [cm]	Area [cm ²]	Inerzia [cm ⁴]	Copriferrosup [cm]	Copriferroinf [cm]
T rovescia	60,00	90,00	4.200,00	1.182.857,14	2,00	2,00

Calcestruzzo

Rck [kg/cm ²]	Densità [N/m ³]	Sigma [kg/cm ²]	Tauc0 [kg/cm ²]	Tauc1 [kg/cm ²]	Elasticità [kg/cm ²]
350,00	24.525,00	110,44	6,71	19,90	340.466,49

Acciaio armature

Nome	Densità [kg/m ³]	Sigma [kg/cm ²]	f _{yk} [kg/cm ²]	f _{yd} [kg/cm ²]	Elasticità [kg/cm ²]	Allungamento max
B450C	7.800,00	2.600,00	4.500,00	3.913,04	2.060.000,00	75

Carichi

Campata	Gruppo	Tipo	Ascissa a [m]	Lunghezza b [m]	Valore P1 [kg/m]	Valore P2 [kg/m]
1	Peso proprio	Distribuito	0,00	4,50	1.050,00	1.050,00
1	Permanenti	Distribuito	0,00	4,50	4.125,00	4.125,00
1	Accidentali	Distribuito	0,00	4,50	6.250,00	6.250,00

Reazioni vincolari

Appoggio	Massimo [kg]	Minimo [kg]
A	25.706,25	11.643,75
B	25.706,25	11.643,75

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Sollecitazioni massime

Campata	Ascissa [m]	Momento+ [kg m]	Momento- [kg m]	Taglio+ [kg]	Taglio- [kg]
A	0	0,00	0,00	-11.643,75	-25.706,25
Campata 1	2,25	28.919,53	13.099,22	0,00	0,00
B	4,50	0,00	0,00	25.706,25	11.643,75

Verifica a flessione

Campata	Ascissa [m]	Momento [kg m]	Afe SUP [cm ²]	Afe INF [kg/cm ²]	σSUP[kg/c m ²]	σINF[kg/c m ²]	σCLS[kg/c m ²]	Asse neutro [cm]
1	2,25	28.919,53	0,00	22,25	0,00	2.564,30	-104,02	22

Verifica al taglio

Campata	Taglio [kg]	τ [kg/cm ²]	Area [cm ²]	Passo [m]	xinizio [m]	xfine [m]
1	-22.850,00	-8,75	1,01	5	0,25	0,83
1	16.223,50	6,16	1,01	17	0,83	3,67
1	22.850,00	8,75	1,01	5	3,67	4,25

Tabella 25

Geometria della struttura

Campata	Lunghezza [m]
Campata 1	4,50

Appoggi e vincoli

Descrizione	Larghezza [m]	Vincolo	Parametro
A	0,50	Appoggio	
B	0,50	Appoggio	

Sezioni

Descrizione	Altezza H [cm]	Base B [cm]	Area [cm ²]	Inerzia [cm ⁴]	Copriferrosup [cm]	Copriferroinf [cm]
T rovescia	60,00	90,00	4.200,00	1.182.857,14	2,00	2,00

Calcestruzzo

Rck [kg/cm ²]	Densità [N/m ³]	Sigma [kg/cm ²]	Tauc0 [kg/cm ²]	Tauc1 [kg/cm ²]	Elasticità [kg/cm ²]
350,00	24.525,00	110,44	6,71	19,90	340.466,49

Acciaio armature

Nome	Densità [kg/m ³]	Sigma [kg/cm ²]	fyk [kg/cm ²]	fyd [kg/cm ²]	Elasticità [kg/cm ²]	Allungamento max
B450C	7.800,00	2.600,00	4.500,00	3.913,04	2.060.000,00	75

Carichi

Campata	Gruppo	Tipo	Ascissa a [m]	Lunghezza b [m]	Valore P1 [kg/m]	Valore P2 [kg/m]
1	Peso proprio	Distribuito	0,00	4,50	1.050,00	1.050,00
1	Permanenti	Distribuito	0,00	4,50	2.875,00	2.875,00
1	Accidentali	Distribuito	0,00	4,50	6.250,00	6.250,00

Reazioni vincolari

Appoggio	Massimo [kg]	Minimo [kg]
A	22.893,75	8.831,25
B	22.893,75	8.831,25

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Sollecitazioni massime

Campata	Ascissa [m]	Momento+ [kg m]	Momento- [kg m]	Taglio+ [kg]	Taglio- [kg]
A	0	0,00	0,00	-8.831,25	-22.893,75
Campata 1	2,25	25.755,47	9.935,16	0,00	0,00
B	4,50	0,00	0,00	22.893,75	8.831,25

Verifica a flessione

Campata	Ascissa [m]	Momento [kg m]	Afe SUP [cm ²]	Afe INF [kg/cm ²]	σSUP[kg/c m ²]	σINF[kg/c m ²]	σCLS[kg/c m ²]	Asse neutro [cm]
1	2,25	25.755,47	0,00	19,50	0,00	2.587,23	-96,79	21

Verifica al taglio

Campata	Taglio [kg]	τ [kg/cm ²]	Area [cm ²]	Passo [m]	xinizio [m]	xfine [m]
1	-20.350,00	-7,80	1,01	6	0,25	0,83
1	14.448,50	5,48	1,01	17	0,83	3,67
1	20.350,00	7,80	1,01	6	3,67	4,25

Tabella 26

Geometria della struttura

Campata	Lunghezza [m]
Campata 1	5,00

Appoggi e vincoli

Descrizione	Larghezza [m]	Vincolo	Parametro
A	0,50	Appoggio	
B	0,50	Appoggio	

Sezioni

Descrizione	Altezza H [cm]	Base B [cm]	Area [cm ²]	Inerzia [cm ⁴]	Copriferrosup [cm]	Copriferroinf [cm]
I	120,00	50,00	4.000,00	5.533.333,33	2,00	2,00

Calcestruzzo

Rck [kg/cm ²]	Densità [N/m ³]	Sigma [kg/cm ²]	Tauc0 [kg/cm ²]	Tauc1 [kg/cm ²]	Elasticità [kg/cm ²]
350,00	24.525,00	110,44	6,71	19,90	340.466,49

Acciaio armature

Nome	Densità [kg/m ³]	Sigma [kg/cm ²]	fyk [kg/cm ²]	fyd [kg/cm ²]	Elasticità [kg/cm ²]	Allungamento max
B450C	7.800,00	2.600,00	4.500,00	3.913,04	2.060.000,00	75

Carichi

Campata	Gruppo	Tipo	Ascissa a [m]	Lunghezza b [m]	Valore P1 [kg/m]	Valore P2 [kg/m]
1	Peso proprio	Distribuito	0,00	5,00	1.000,00	1.000,00
1	Permanenti	Forza	2,50	0,00	30.000,00	30.000,00

Reazioni vincolari

Appoggio	Massimo [kg]	Minimo [kg]
A	17.500,00	17.500,00
B	17.500,00	17.500,00

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

Sollecitazioni massime

Campata	Ascissa [m]	Momento+ [kg m]	Momento- [kg m]	Taglio+ [kg]	Taglio- [kg]
A	0	0,00	0,00	-17.500,00	-17.500,00
Campata 1	2,51	40.474,95	40.474,95	0,00	0,00
B	5,00	0,00	0,00	17.500,00	17.500,00

Verifica a flessione

Campata	Ascissa [m]	Momento [kg m]	Afe SUP [cm ²]	Afe INF [kg/cm ²]	σSUP[kg/c m ²]	σINF[kg/c m ²]	σCLS[kg/c m ²]	Asse neutro [cm]
1	2,51	40.474,95	0,00	14,50	0,00	2.553,67	-59,30	30

Verifica al taglio

Campata	Taglio [kg]	τ [kg/cm ²]	Area [cm ²]	Passo [m]	xinizio [m]	xfine [m]
1	-17.250,00	-5,41	1,01	14	0,25	1,43
1	16.070,00	5,00	1,01	21	1,43	3,57
1	17.250,00	5,41	1,01	14	3,57	4,75

Milano, marzo 2011

I PROGETTISTI

Prof. Ing. Alessandro Paoletti

Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi

Dott. Ing. Filippo Malingegno

Progetto Definitivo relativo alla riqualificazione dell'impianto idroelettrico Salbertrand-Chiomonte

ALLEGATO A

ARCATE								
1- basso degrado			2 - medio degrado			3 - alto degrado		
n.	H in calotta lato Dora [m]	luce tra i piedritti [m]	stato della calotta	Riempimento %	Muro a secco	Note	Tipologia di intervento	
sponda del canale lato Dora rifatta	1 - 2	2.55	5.10	DEGRADO ELEVATO			perdite d'acqua a vista su piedritto 1 e calotta (da demolire e sostituire con tratto di raccordo al nuovo dissabbiatore)	3
	2 - 3	1.90	4.60	BUONO			concrezioni per microperdite diffuse	2
	3 - 4	1.70	4.90	BUONO				2
	4 - 5	1.40	5.00	BUONO				2
	5 - 6	1.00	5.00	BUONO				2
	6 - 7	0.80	4.75	BUONO				2
	7 - 8	1.00	5.00	BUONO			concrezioni per microperdite diffuse	2
	8 - 9	1.30	5.00	BUONO			concrezioni per microperdite diffuse	2
	9 - 10	1.40	5.10	BUONO			concrezioni per microperdite diffuse	2
	10 - 11	3.30	5.15	BUONO	50%	X	microperdite diffuse, muro di contenimento lato versante crollato	2
	11 - 12	4.20	5.30	DEGRADO ELEVATO			evidente degrado all'attacco calotta-piedritto sx	3
	12 - 13	5.10	5.35	DEGRADO LOCALE			fessura in chiave, microperdite diffuse	3
	13 - 14	5.30	5.32	BUONO	25%		necessita di parziale ricostruzione	3
	14 - 15	4.50	5.01	BUONO	50%	X	muro di contenimento lato versante crollato	3
	15 - 16	4.20	6.35	DEGRADO ELEVATO			Attraversamento rio Sapè, da prevedere sistemazione del torrente; fessure passanti con degrado anche lato monte	3
	16 - 17	4.00	5.03	BUONO	25%	X		1
	17 - 18	3.50	5.00	BUONO			vuoto a tergo, concrezioni in calotta	1
	18 - 19	3.70	5.00	BUONO		terreno	concrezioni in calotta	1
	19 - 20	3.20	5.12	BUONO		terreno	concrezioni per microperdite diffuse	1
	20 - 21	2.15	5.21	BUONO		terreno		1
	21 - 22	1.70	5.06	BUONO		terreno		1
	22 - 23	2.50	5.00	BUONO		terreno		1
	23 - 24	2.70	5.20	BUONO		terreno	da riprendere l'intonaco superficiale	1
	24 - 25		5.21	BUONO	50%	X		1
	25 - 26		5.00	BUONO	100%	X	trovante sotto l'arcata	1
	26 - 27		5.26	BUONO	50%	X	trovante sotto l'arcata	1
	27 - 28		5.30	BUONO	50%	X	trovante sotto l'arcata	1
	28 - 29	6.20	4.92	BUONO	50%	X	concrezioni in calotta, fessura tra arco e piedritto 28	2
	29 - 30	5.40	5.25	BUONO				2
	30 - 31	4.75	5.15	BUONO	50%	X	arco parzializzato, con 2 fessure in chiave	2
	31 - 32	4.00	4.97	BUONO				1
	32 - 33	3.60	5.14	BUONO				1
canale vecchio	33 - 34	3.50	5.23	DEGRADO ELEVATO	75%	X	fessura in chiave e sul piedritto sx	3
	34 - 35	3.35	5.23	DEGRADO SUPERFICIALE	50%	X		1
	35 - 36	3.30	4.95	DEGRADO SUPERFICIALE	50%	X	fessura passante monte-valle	2
	36 - 37	3.40	4.90	DEGRADO SUPERFICIALE	0%	casotto	arcata chiusa da muratura	1
	37 - 38	3.50	4.95	DEGRADO SUPERFICIALE	0%	X		1
	38 - 39	3.45	5.00	DEGRADO ELEVATO	25%	X	fessura passante monte-valle	3
	39 - 40	3.80	4.65	DEGRADO ELEVATO	50%	X		3
	40 - 41	4.20	4.95	DEGRADO SUPERFICIALE	50%	X	vuoti e materiale facilmente disgregabile	3
	41 - 42	4.20	5.05	BUONO	0%	X		1
	42 - 43	4.20	5.03	DEGRADO LOCALE			degrado generale e localizzato sul retro	1
	43 - 44	3.65	5.03	BUONO			degrado generale e localizzato sul retro	1
	44 - 45	3.80	5.09	BUONO			degrado locale su parte di arco	1
	45 - 46	3.30	5.20	BUONO			intonaco facilmente disgregabile	1
	46 - 47	2.35	5.04	DEGRADO ELEVATO			ricostruzione parziale dell'arco	3

ARCATE								
1- basso degrado		2 - medio degrado			3 - alto degrado			
n.	H in calotta lato Dora [m]	luce tra i piedritti [m]	stato della calotta	Riempimento %	Muro a secco	Note	Tipologia di intervento	
sorgente	47 - 48	1.75	5.06	DEGRADO LOCALE			muro di contenimento in pietra a secco lato versante, concrezioni per microperdite	3
	48 - 49	1.50	5.30	BUONO				3
canale rifatto	50 - 51	2.46	5.07	BUONO			muro di contenimento in pietra a secco lato versante, già eseguiti interventi di ripristino, no idrodemolizione	1
	51 - 52	2.35	4.97	BUONO			intervento ipotizzato: demolizione superficiale uniforme in calotta e piedritti interni (spessore 5 cm) per spritz beton	1
	52 - 53	2.00	4.66	DEGRADO SUPERFICIALE				1
	53 - 54	2.25	5.00	DEGRADO SUPERFICIALE				1
	54 - 55	1.80	5.00	DEGRADO SUPERFICIALE				1
	55 - 56	0.70	2.40	BUONO			tratto di canale rifatto con traversine metalliche	1
verso il Pontet	57-58	1.00	5.30	DEGRADO ELEVATO			fessura passante in chiave e calotta (mira metallica per misura di spostamento sulla volta)	3
	58-59	1.80	5.00	DEGRADO ELEVATO			fessura passante in chiave e calotta (mira metallica per misura di spostamento sulla volta)	3
	59-60	2.00	5.40	BUONO			parziale ricostruzione dell'arcata in corrispondenza della soletta delcanale	3
	60-61	2.00	5.30	DEGRADO LOCALE			ricostruzione in calotta lato sx e lato dx	3
	61-62	0.90	5.30	BUONO			spritz in calotta	1