



ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

PA17/08

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 - Svincolo Manganaro incluso) compresi raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121

Bolognetta S.c.p.a.

- PERIZIA DI VARIANTE N.3 -

Il Responsabile Ambientale:
Dott. Maurizio D'Angelo



Titolo elaborato:

OPERE D'ARTE -TOMBINI- RELAZIONE IDROLOGICA E DI STUDIO IDRAULICO

Codice Unico Progetto (CUP) : F41B03000230001

Codice elaborato:	OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE
PA17/08	PV	TP0	RT01	6	1

CARTELLA:	FILE NAME:	NOTE:	PROT.	SCALA:
	PVTPORT01_61_4137	1=1	4 1 3 7	-
5				
4				
3				
2				
1	EMISSIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA ANAS		Maggio 2021	Q. Napoleoni S. Fortino N. Behmann
0	PRIMA EMISSIONE		Dicembre 2019	Q. Napoleoni S. Fortino D. Tironi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

Progettisti :

F.A.C.E. S.r.l. - Società di ingegneria
 via Flaminia 71 - 00196 Roma
 tel: 06 32609519
 e-mail: info@facesrl.com
 pec: pec.facesrl@pec.com

Direttore Tecnico: ing. Antonio Ambrosi

Consulenti:

E&G S.r.l.
 ENVIRONMENT & GEOTECHNIC
 STUDIO DI INGEGNERIA GEOTECNICA E AMBIENTALE

Direttore Tecnico: ing. Quintilio Napoleoni



Il Progettista Responsabile
Ing. Antonio Ambrosi



Il Geologo
Dott. Geol. Gualtiero Bellomo



Il Coordinatore per la Sicurezza
in fase di Esecuzione:
Arch. Francesco Rondelli



Il Direttore dei Lavori:
Ing. Sandro Favero



ANAS S.p.A.

DATA: _____ PROTOCOLLO: _____ VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

CODICE PROGETTO **LO410CE1101**

Dott. Ing. Luigi Mupo

INDICE

1	PREMESSA	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3	DESCRIZIONE DELLE OPERE	5
3.1.1	Tombini TP59b, TP60-TS57, TP61-TC55-TC56, TP62-TC58, TP66-TC59-TC60, TP67TC61, TP68-TC62, TP69- TC63, TP70-TC64	5
3.1.2	Tombini TP30-TS29c TP31-TS29	7
3.1.3	Tombino TS26	8
3.1.4	Nuovo Tombino TP77	9
4	DEFINIZIONE DELLA PORTATA DI PROGETTO	11
4.1	APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA DEL PROGETTO VAPI	11
4.1.1	Determinazione del parametro CN	17
4.1.2	Calcolo del coefficiente di deflusso	21
4.1.3	Calcolo della portata di progetto.....	23
5	SOFTWARE UTILIZZATI	25
6	METODOLOGIA VERIFICA INALVEAZIONI	36
7	RISULTATI DELLE ANALISI	37
8	VERIFICA DEI TOMBINI	38
9	CONCLUSIONI	39

ALLEGATO 1 -OUPUT DI CALCOLO VERIFICHE IDRAULICHE

ALLEGATO 2- NOTA DI CALCOLO STRUTTURALE POZZETTO IN CLS GETTATO-TP77

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la *Relazione Idrologica e Studio Idraulico* relativa ai tombini ed alle afferenti opere di imbocco e sbocco del lotto 2 del tratto Palermo-Lercara Friddi.

A seguito degli intensi eventi meteorici verificatisi nel Novembre 2018, lungo l'intero tratto analizzato sono stati riscontrati danneggiamenti delle opere di imbocco e sbocco di numerosi tombini idraulici. In particolare, a seguito dei summenzionati eventi si sono verificate ostruzioni a monte ed a valle dei tombini che hanno impedito il corretto convogliamento delle acque con conseguenti allagamenti delle aree interessate.

Il danneggiamento delle opere di imbocco e sbocco ha causato inoltre, in taluni casi, un ruscellamento incontrollato delle acque, potenzialmente pericoloso per aree sensibili a fenomeni di scaldamento quali pile di ponti o rilevati stradali.

Scopo del presente Progetto esecutivo di Variante n.3 è stato pertanto la rivisitazione delle opere di imbocco e sbocco dei tombini per i quali si sono registrate tali problematiche.

A tal fine, è stata proposta una procedura per il calcolo delle portate coerente con le indicazioni del P.A.I della regione Sicilia, descritta nel Paragrafo 4 della presente relazione.

Le portate sono state calcolate con riferimento al tempo di ritorno di 100 anni, in accordo con quanto previsto nel CSA e dal Genio Civile di Palermo, e sono state utilizzate per il dimensionamento e la verifica sia dei tombini che delle nuove opere di imbocco e sbocco.

Al fine di una corretta progettazione degli interventi, le problematiche riscontrate a seguito degli eventi del Novembre 2018 sono state suddivise in tre macro-categorie:

- 1- Fenomeni di colata di fango e detriti; nelle aree più acclivi, la natura argillosa dei pendii, unitamente agli eventi meteorici di natura straordinaria, si sono tradotti nel dilavamento delle scarpate con locali fenomeni di colate detritiche che hanno causato il danneggiamento delle inalveazioni realizzate e l'ostruzione in ingresso ai relativi tombini;
- 2- Fenomeni di ruscellamento acque di intensità (portate e/o velocità) incompatibili con le sistemazioni idrauliche realizzate hanno causato, localmente, l'asportazione dei materiali utilizzati per le stesse eliminando di fatto il reticolo idraulico realizzato per la regimazione delle acque al di sotto ed in prossimità del tracciato stradale;
- 3- Allagamenti; nelle aree più depresse le precipitazioni del Novembre 2018 hanno causato veri e propri allagamenti comportando l'inagibilità della viabilità e delle zone limitrofe.

Rientrano nella categoria n.1 i tombini e le relative inalveazioni ubicati nell'area del "Curvone San Giorgio" (TP59b, TP60-TS57, TP61-TC55-TC56, TP62-TC58, TP66-TC59-TC60, TP67TC61, TP68-

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

TOMBINI- Relazione Idrologica e Studio Idraulico

TC62, TP69- TC63, TP70-TC64), per i quali la presente progettazione prevede la riprofilatura delle inalveazioni a monte dei tombini ed una riduzione della pendenza delle stesse mediante scale di stramazzi e briglie in gabbioni finalizzate a dissipare l'energia della corrente fluida e diminuire di conseguenza il potenziale erosivo dei corsi d'acqua. A monte delle briglie in gabbioni sono inoltre previste delle vasche di decantazione allo scopo di laminare ulteriormente le portate di piena in ingresso ai manufatti idraulici.



Figura 1 Danneggiamenti inalveazioni a seguito degli eventi di novembre 2018 Zona San Giorgio

Rientrano nella categoria n.2 i tombini e le relative inalveazioni ubicate a tergo dell'opera di sostegno OS101 (TP30-TS29c, TP31-TS29), tra la viabilità principale e la secondaria VS 29 Bis, ed il tombino TS26, ubicato al di sotto del Viadotto Scorciavacche 2 (VN01). Per tali opere la progettazione prevede la rivisitazione delle inalveazioni utilizzando materiali meno sensibili al potenziale erosivo dei corsi d'acqua ed adeguando le sezioni trasversali ai valori di portata di progetto.



Figura 2 Danneggiamenti inalveazione TP30 a seguito degli eventi di novembre 2018

All'interno della categoria n.3 rientra un tombino di nuova realizzazione (TP77), la quale progettazione si è ritenuta necessaria a seguito dell'allagamento dell'area compresa tra le pk. 21+337 e pk 21+517.

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

TOMBINI- Relazione Idrologica e Studio Idraulico



Figura 3 Allagamento area nuovo tombino TP77 a seguito degli eventi di novembre 2018

Si precisa che la suddivisione proposta è puramente qualitativa ed orientata alla sola schematizzazione dei processi geomorfologici ed idrologico/idraulici ai fini della progettazione puntuale delle opere, e che, per ognuno degli interventi è stata ritenuta dimensionante la componente risultata più gravosa a seguito degli eventi alluvionali del Novembre 2018.

Per quanto concerne le verifiche delle inalveazioni, è stato utilizzato il codice di calcolo Macra Studio sviluppato da Officine Maccaferri S.p.a..

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nel presente studio, si è fatto riferimento alla seguente normativa:

- D.M. 27/01/2018 - “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare Consiglio Superiore dei LL.PP. n. 7 del 21 Gennaio 2019 - “Istruzioni per l’applicazione dell’aggiornamento delle Norme Tecniche”.

3 DESCRIZIONE DELLE OPERE

3.1.1 Tombini TP59b, TP60-TS57, TP61-TC55-TC56, TP62-TC58, TP66-TC59-TC60, TP67TC61, TP68-TC62, TP69- TC63, TP70-TC64

Come già discusso in premessa il presente Progetto di Variante n.3 prevede interventi di sistemazione idraulica in corrispondenza degli imbocchi e degli sbocchi dei tombini al fine di ridurre il potenziale erosivo dei corsi d’acqua in ingresso ed in uscita degli stessi.

In particolare si prevedono:

- Scale di stramazzi in gabbioni
- Briglie in gabbioni
- Vasche di dissipazione rivestite in gabbioni
- Riprofilatura sezioni e rivestimento mediante gabbioni e/o materassi tipo Reno di spessore non inferiore a 0.3 m.

La tipologia e l’estensione degli interventi variano, per i diversi tombini, in funzione della pendenza iniziale dei corsi d’acqua, in ingresso ed in uscita, e delle portate convogliate.

Si riportano nel seguito una tabella riepilogativa delle sistemazioni ed alcuni stralci esemplificativi degli interventi di progetto.

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici di progetto previsti per ogni singola opera.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

TOMBINI- Relazione Idrologica e Studio Idraulico

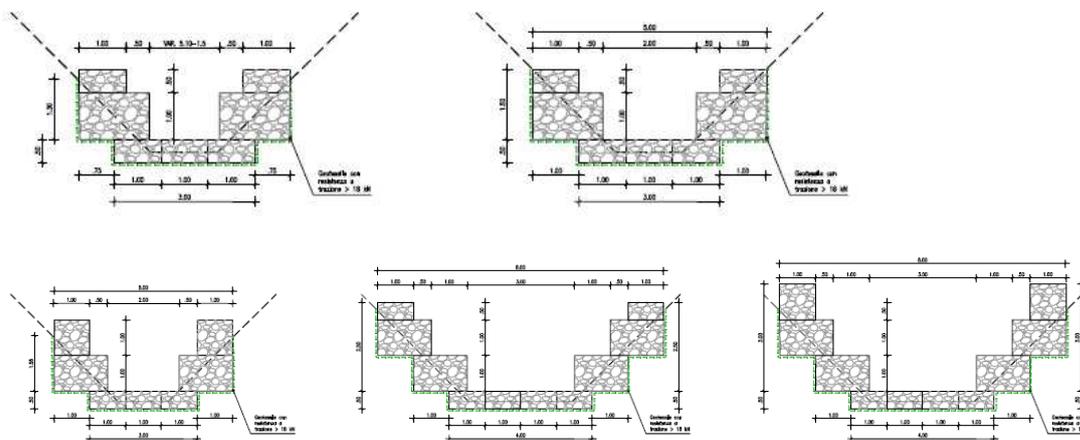


Figura 5 Tipologici sezioni trasversali

3.1.2 Tombini TP30-TS29c TP31-TS29

Come già accennato in premessa, gli intensi eventi pluviometrici del Novembre 2018 hanno causato il danneggiamento dei fossi a monte e a valle dei tombini posti tra la viabilità secondaria VS29 bis e la viabilità principale tra le pk. .12+477 pk 12+689.

Alla luce dei danni riscontrati, l'intervento di progetto prevede:

- Rivestimento in cls dei fossi a monte dei tombini della viabilità secondaria VS 29bis (TS29c, TS29) ed adeguamento sezione idraulica;
- Rivestimento in cls dei fossi a valle dei tombini della viabilità principale (TP30, TP31) e adeguamento della sezione idraulica;
- Rivestimento in cls dei fossi di collegamento tra la viabilità secondaria e la viabilità principale.

Tutti i fossi presentano una sezione trapezia rivestita in cls Rck 35 avente spessore non inferiore a 20 cm.

Si riportano nel seguito alcuni stralci esemplificativi dell'intervento di progetto, rimandando agli elaborati grafici delle singole opere per un maggiore dettaglio.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

TOMBINI- Relazione Idrologica e Studio Idraulico

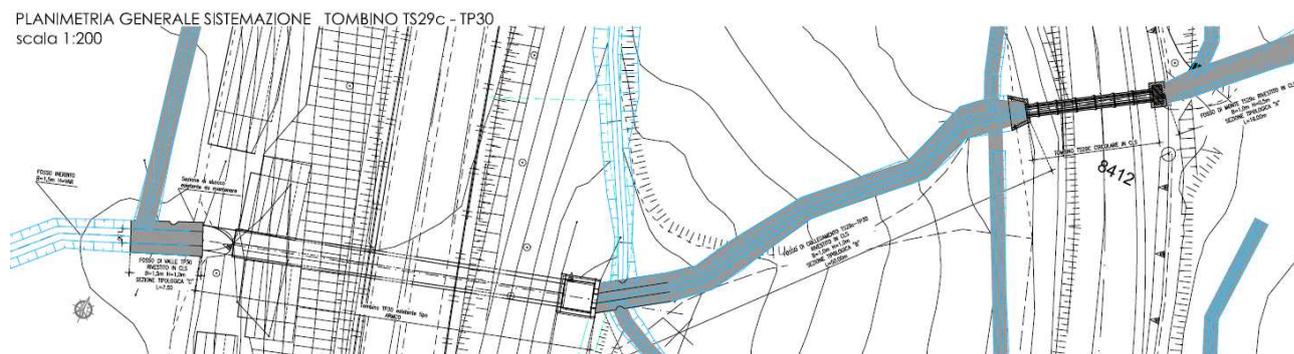


Figura 6 Stralcio planimetria tombini TS29c-TP30

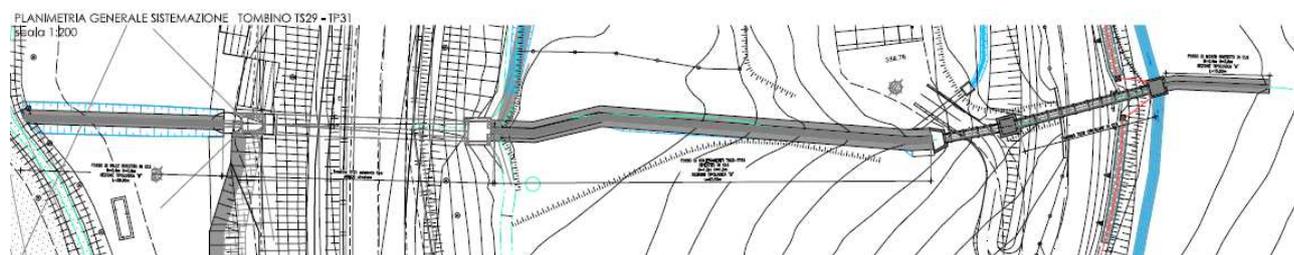


Figura 7 Stralcio planimetria tombini TS29-TP30

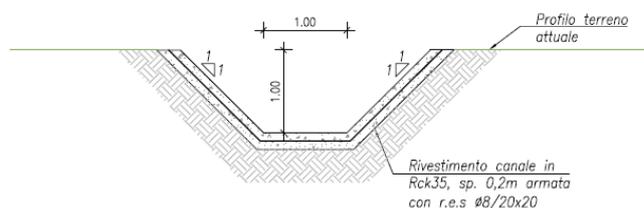


Figura 8 Tipologico fosse rivestito in cls

3.1.3 Tombino TS26

Il tombino TS26 è ubicato in corrispondenza delle progressive della viabilità principale pk 11+588 e pk 11+617.

Come accennato in premessa, anche in questo caso, la straordinaria intensità degli eventi meteorici avvenuti nel Novembre 2018 ha causato il danneggiamento delle inalveazioni già realizzate. In particolare il danneggiamento dell'inalveazione di valle ha comportato la mancata protezione del canale esponendo la pila del viadotto Scorciavacche 2 (VN01) ed il rilevato di svincolo della VS29 a potenziali fenomeni erosivi e di scalzamento.

L'intervento di progetto proposto prevede pertanto:

- Adeguamento sezione idraulica inalveazione di monte e rivestimento della stessa mediante materassi tipo Reno di spessore pari a 0.3m;

- Prolungamento inalveazione di valle;
- Adeguamento sezione idraulica inalveazione di valle e protezione della stessa mediante rivestimento in gabbioni.

Si riporta nel seguito uno stralcio della planimetria di progetto rimandando agli elaborati grafici specifici dell'opera in esame per maggiori dettagli.

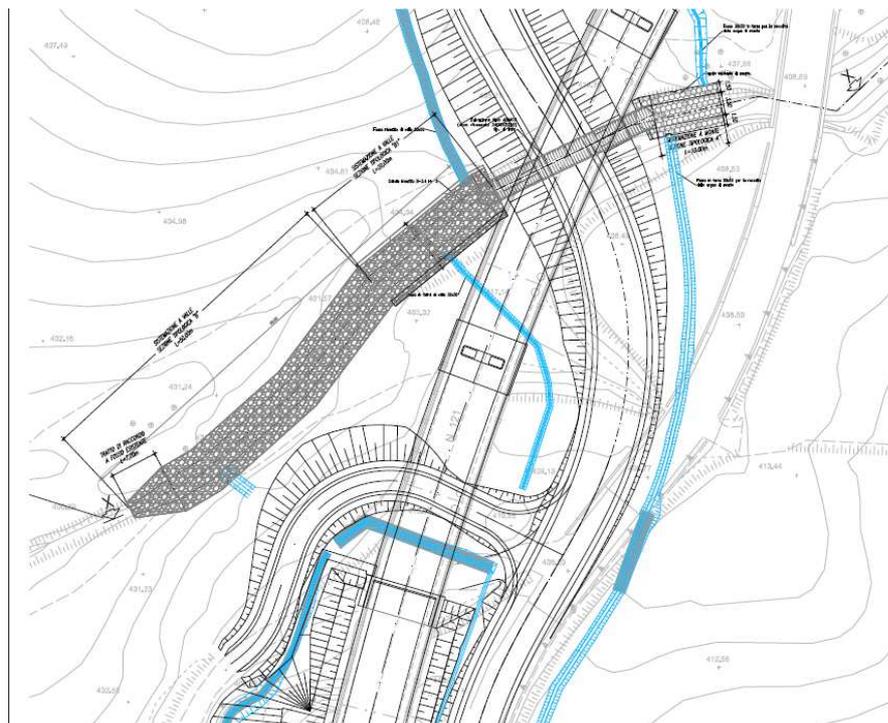


Figura 9 Stralcio planimetria TS26

3.1.4 Nuovo Tombino TP77

Gli eventi meteorici straordinari verificatesi nel Novembre 2018 hanno evidenziato la presenza di aree altimetricamente depresse per le quali le intense precipitazioni si sono tradotte in allagamenti. Nel particolare, l'allagamento dell'area compresa tra le pk 21+337 e pk 21+517 ha evidenziato una carenza nel sistema di convogliamento acque alla quale si propone di ovviare, nel presente Progetto Esecutivo di Variante n.3 mediante la realizzazione di un nuovo tombino avente la funzione di drenare le acque convogliate dal pendio.

Il convogliamento delle acque sarà assicurato da un'opera di imbocco rivestita in gabbioni e materassi tipo Reno che consentirà il raccordo planoaltimetrico.

Dal punto di vista planimetrico il tombino TP77 intercetta le viabilità principali e secondaria, perpendicolarmente ad esse, all'altezza della sezione di viabilità principale pk 21+517.81; all'altezza

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

TOMBINI- Relazione Idrologica e Studio Idraulico

della mezzeria della carreggiata di viabilità secondaria, attraverso un pozzetto di disconnessione, il tombino curva di 90 gradi per poi correre parallelamente alla viabilità secondaria, al di sotto di essa, per circa 215 m; nel tratto finale il tombino devia per ricollegarsi al fosso di sbocco del tombino esistente TP47.

La manutenzione ordinaria è assicurata dalla presenza di pozzetti di ispezione posti ogni 50m.

La soluzione di progetto è stata proposta a seguito dello studio di alternative progettuali che prevedessero di incanalare le acque del TP77 dopo l'attraversamento dell'arteria, nel canale esistente a valle. Tale possibilità è stata tuttavia esclusa a causa della presenza nel piazzale del distributore di benzina, da cui la presenza di serbatoi interrati ed evidenti problematiche nella realizzazione degli scavi necessari.

Si riporta nel seguito uno stralcio della planimetria di progetto, rimandando per maggiori dettagli agli elaborati grafici specifici dell'opera in esame.

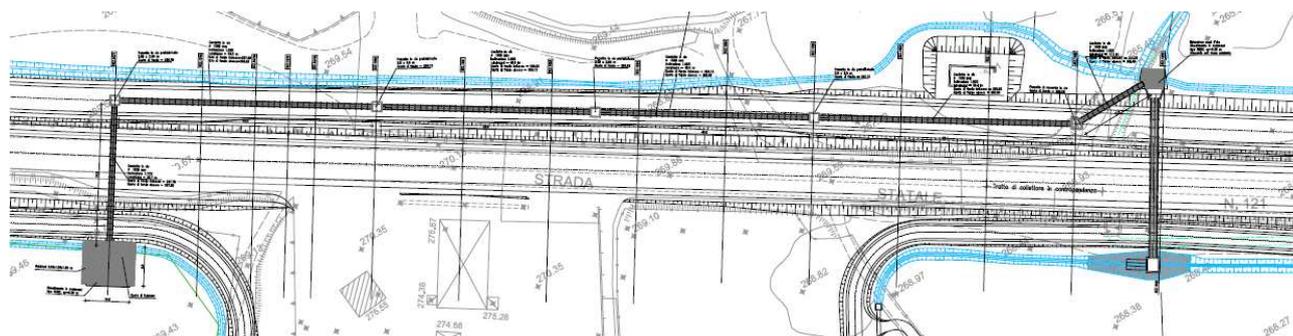


Figura 10 Stralcio planimetria TP77

SEZIONE DI IMBOCCO - SEZ.1077

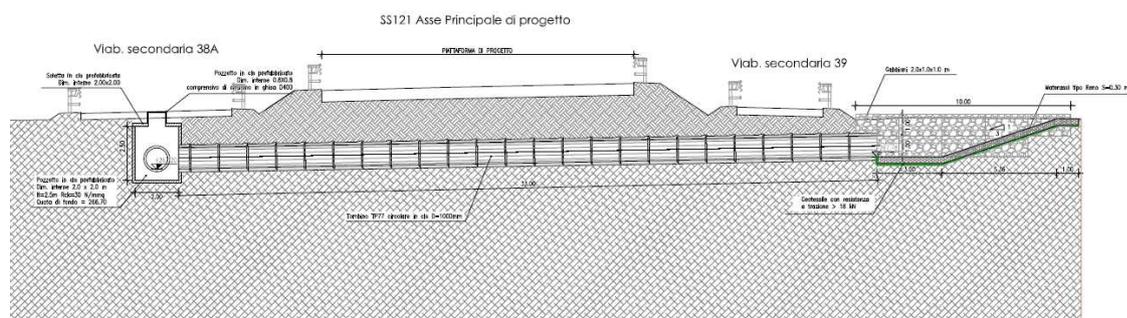


Figura 11 Sezione di imbocco TP77

Per i dettagli relativi alle verifiche strutturali del pozzetto di raccordo in cls gettato in opera, si rimanda all'Allegato 2 del presente documento.

4 DEFINIZIONE DELLA PORTATA DI PROGETTO

Si riporta nel presente paragrafo la metodologia proposta per il calcolo di detta portata.

4.1 APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA DEL PROGETTO VAPI

Con riferimento al bacino oggetto di studio, l'individuazione delle caratteristiche pluviometriche è stata determinata in conformità a quanto previsto dal progetto di valutazione Piene (VaPi) del gruppo Nazionale di Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI), mediante le procedure di regionalizzazione, secondo le procedure indicate nel rapporto della Regione Sicilia (Ferro e Carnozzo 1993).

La determinazione dell'altezza di pioggia (h), e le relative intensità (i) è stata condotta utilizzando il modello TCEV (Two Component Extreme Value Distribution).

La procedura gerarchica di regionalizzazione si articola in tre livelli successivi in ognuno dei quali è possibile ritenere costanti alcuni parametri statistici.

Nel primo livello di regionalizzazione si ipotizza che il coefficiente di asimmetria teorico della serie dei massimi annuali delle piogge di assegnata durata t sia costante per l'intera regione Sicilia. L'intera regione si ritiene pertanto una zona pluviometricamente omogenea ed i valori dei parametri sono costanti ed indipendenti dalla durata t .

Il secondo livello di regionalizzazione prevede l'individuazione di sottozone omogenee (SZO) all'interno di quella individuata al primo livello. In tali zone risulta costante, oltre al coefficiente di asimmetria, anche il coefficiente di variazione della legge teorica. Al secondo livello di regionalizzazione la Sicilia è suddivisa in cinque sottozone pluviometricamente omogenee.

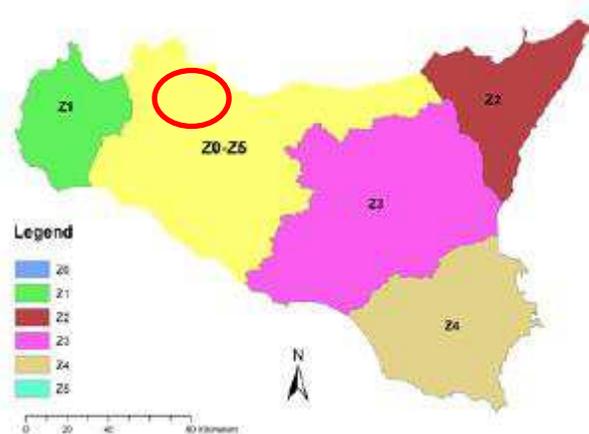


Figura 12 Sottozone pluviometricamente omogenee regione Sicilia. Cerchiata in rosso l'area di interesse.

In ogni sottozona la variabile adimensionale $h = h(t, T)$, valore dell’altezza di pioggia per fissata durata t e tempo di ritorno T rapportata alla media della legge TCEV, assume la seguente espressione:

$$K_T = a * \ln(T) + b$$

Dove:

K_T : coefficiente adimensionale di crescita per ogni SZO fissato il tempo d ritorno;

a, b : parametri per le differenti SZO definiti nella tabella seguente.

Sottozona Parametro	$Z_0 - Z_5$	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
a	0.4485	0.4695	0.4799	0.5011	0.4946
b	0.5117	0.4889	0.4776	0.4545	0.4616

Tabella 4.2: Valori, per la regione Sicilia, dei coefficienti a e b per la definizione del fattore di crescita (Lo Conti et al., 2007).

Figura 13 Coefficienti a, b per la definizione del coefficiente di crescita. Cerchiata in rosso la zona di interesse.

Il terzo livello di regionalizzazione prevede, infine, la ricerca di relazioni regionali tra il parametro centrale della distribuzione di probabilità (μ) e le grandezze relative al sito di misura, dipendenti dai parametri geografici.

L’espressione della curva di probabilità pluviometria assume quindi la forma:

$$h(t, T) = K_T * \mu(t)$$

Dove:

$h(t, T)$: è l’altezza di pioggia per assegnata durata t e tempo di ritorno T ;

$\mu(t)$: assume per le stazioni pluviografiche siciliane la seguente forma: $\mu(t) = a * t^n$, con a, n tabellati per ogni stazione pluviografica.

Nel presente caso, vista l’ubicazione delle aree oggetto del presente studio, sono stati utilizzati i valori di a ed n afferenti alla stazioni pluviometriche di **Vicari e Mezzojuso**, come riportato nella seguente tabella.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

TOMBINI- Relazione Idrologica e Studio Idraulico

TOMBINO	Stazione pluviometrica di riferimento
TP59b	VICARI
TP60-TS57	VICARI
TP61-TC55-TC56	VICARI
TP62-TC68	VICARI
TP66-TC59-TS60	VICARI
TP67-TC61	VICARI
TP68-TC62	VICARI
TP69-TC63	VICARI
TP70-TC64	VICARI
TP30-TS29c	MEZZOJUSO
TP31-TS29	MEZZOJUSO
TS26	MEZZOJUSO
TP77	VICARI

Tabella 2 Stazioni pluviometriche di riferimento per le opere di progetto

L'espressione analitica della legge di probabilità pluviometrica, per il tempo di ritorno pari a 100 anni assume quindi la seguente forma:

$$h(t, T = 100) = 58.05 * t^{0.3205}$$

Per le aree di pertinenza della stazione pluviometrica di Vicari;

$$h(t, T = 100) = 53.09 * t^{0.3415}$$

Per le aree di pertinenza della stazione pluviometrica di Mezzojuso;

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

TOMBINI- Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Tab. 5.III - Valori delle costanti a e n della (5.17) per le stazioni pluviografiche siciliane

Codice	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
1	Monforte S. Giorgio	Niceto	35.9	0.3391
2	Milazzo	Tra Muro e Mela	30.3	0.2208
3	Castroreale	Longano	27.4	0.4470
4	Montalbano Elicona	Mazzarrà	26.2	0.4255
5	Tindari	Tra Mazzarrà e Timeto	26.5	0.2977
6	S. Piero Patti	Timeto	28.3	0.3369
7	Capo d'Orlando	Tra Naso e Zappulla	20.5	0.2934
8	Tortorici	Zappulla	28.4	0.3347
9	Alcara Li Fusi	Rosmarino	23.2	0.3970
10	Sanfratello	Inganno	21.9	0.3723
11	S. Stefano di Camastra	S. Stefano	26.7	0.2560
12	Castelbuono	Pollina	25.6	0.3451
13	Isnello	Pollina	25.0	0.4109
14	Cefalù	Pollina	27.3	0.2827
15	Collesano	Roccella	28.1	0.3880
16	Caltavuturo	Imera Settentrionale	20.4	0.4252
17	Gioia (Fattoria)	Torto	20.5	0.3147
18	Termini Imerese	Tra Torto e S. Leonardo	30.5	0.2635
19	Imbriaca	S. Leonardo	22.6	0.3567
20	Vicari	S. Leonardo	22.5	0.3205
21	Compo Felice di Fiumi	S. Leonardo	22.9	0.3244
22	Mezzocuso	S. Leonardo	20.6	0.3415

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

TOMBINI- Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Codice	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
23	Sambuchi	S. Leonardo	19.5	0.3172
24	Caccamo	S. Leonardo	22.0	0.3414
25	Ciminna	S. Leonardo	20.8	0.3529
26	Monumentale	S. Leonardo	29.3	0.2608
27	Turdiepi (Fattoria)	Eleuterio	21.6	0.3511
28	Lupo	Eleuterio	24.9	0.2819
29	Ficuzza	Eleuterio	22.2	0.3088
30	Ficuzza Bosco	Eleuterio	24.1	0.3792
31	Marineo	Eleuterio	27.4	0.2979
32	Risalaimi	Eleuterio	24.9	0.3272
33	Misilmeri	Eleuterio	21.0	0.3054
34	Pioppo	Oreto	27.4	0.4032
35	Altofonte	Oreto	25.0	0.3567
36	Romitello	Tra Oreto e Giancaldara	30.1	0.2972
37	S. Martino delle Scale	Tra Oreto e Giancaldara	28.2	0.3327
38	Montepellegrino	Tra Oreto e Giancaldara	29.5	0.2733
39	Partinico	Tra Oreto e Giancaldara	21.2	0.3120
40	Palermo Ist. Zoot.	Tra Oreto e Giancaldara	25.1	0.2928
41	Palermo Serv. Idr.	Tra Oreto e Giancaldara	28.7	0.3143
42	Palermo Oss. Astr.	Tra Oreto e Giancaldara	22.2	0.2687
43	Palermo Ist. Castel.	Tra Oreto e Giancaldara	23.2	0.3119
44	Isola delle femmine	Tra Oreto e Giancaldara	21.7	0.2968
45	Ginestra	Giancaldara	27.9	0.3874

Figura 14: Parametri a, n delle curve CPP per le differenti stazioni pluviometriche.

All'analisi pluviometrica segue la valutazione della portata al colmo di piena istantanea. Per tale valutazione ci si è riferiti al modello di regionalizzazione proposto dal VaPi Sicilia al terzo livello di

regionalizzazione, utilizzando come metodo di trasformazione afflussi-deflussi la formula razionale per la quale:

$$Q = \frac{\psi * I(t_c) * A}{3.6} [mc/s]$$

Dove:

ψ : Coefficiente di deflusso;

$I(t_c)$: Intensità di precipitazione massima registrata in un intervallo orario pari al tempo di corrivazione del bacino;

A: Area del bacino.

L'area dei bacini di pertinenza delle zone di studio è stata stabilita coerentemente agli studi idrologici presentati nelle precedenti fasi progettuali, i cui contenuti sono stati verificati dallo scrivente a monte della redazione del presente elaborato.

Per il tombino TP77, di nuova realizzazione, l'area del bacino di pertinenza è stata stabilita a partire da considerazioni morfologiche ed idrologiche e dall'individuazione delle linee spartiacque individuate sul pendio a monte dell'opera. Si riporta nel seguito la rappresentazione grafica del bacino di affluenza del TP77.

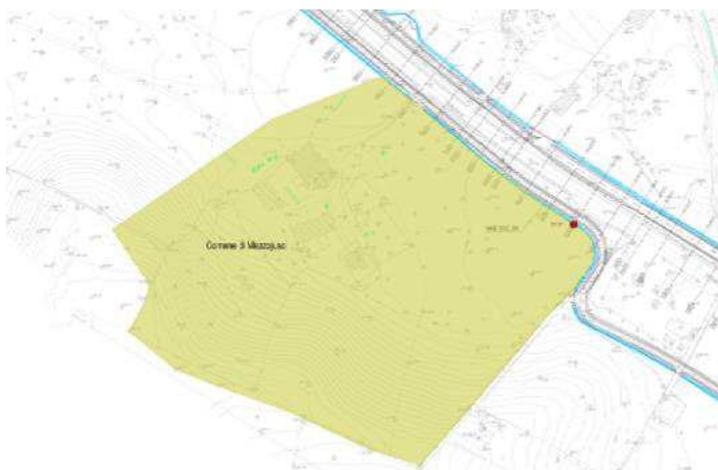


Figura 15 Area bacino di affluenza TP77

Il tempo di corrivazione dei bacini è stato ricavato utilizzando la metodologia indicata dal Vapi della regione Sicilia, per la quale:

$$t_c = 0.35\sqrt{A}$$

Nel caso in esame risulta pertanto:

TOMBINO	INALVEAZIONI	Area	t_c
		km ²	h
TP59b	IN84-IN85	0.3592	0.2
TP60-TS57	IN86-IN87	0.3592	0.2
TP61-TC55-TC56	IN88-IN89	0.3287	0.2
TP62-TC68	IN90	0.4857	0.2
TP66-TC59-TS60	IN98- IN99a	0.518	0.3
TP67-TC61	IN99-IN100	0.526	0.3
TP68-TC62	IN101-IN103	0.679	0.3
TP69-TC63	IN102	0.445	0.2
TP70-TC64	IN104	0.081	0.1
TP30-TS29c	-	0.095	0.1
TP31-TS29	-	0.199	0.2
TS26	-	2.560	0.6
TP77	-	0.055	0.1

Tabella 3 Tempo di corrivazione per le opere di progetto

Il valore del coefficiente di deflusso è stato determinato mediante il metodo “Curve Number” proposto dal Soil Conservation Service (1972), metodologia indicata dai rapporti relativi al *P.A.I. per il “Bacino idrografico del fiume San Leonardo (PA)”* (2004 e successivi aggiornamenti). La metodologia completa viene illustrata nel seguente paragrafo.

4.1.1 Determinazione del parametro CN

Il metodo del Curve Number si basa sull’assunzione che il volume specifico (altezza) di pioggia netta (efficace) risulti legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda (effettiva) caduta nel medesimo intervallo temporale secondo la relazione:

$$P_{net} = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S} [mm] \quad (1)$$

Dove:

S: Massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni sature;

I_a : Perdita iniziale, equivalente al valore limite di altezza di pioggia che può essere trattenuta dal terreno senza che si origini il deflusso.

In assenza di adeguate osservazioni utili il parametro I_a può essere calcolato come:

$$I_a = 0.2 * S \quad (2)$$

La valutazione di S può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN (Curve Number), secondo la seguente relazione:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) [mm] \quad (3)$$

Dove CN è un numero adimensionale, compreso fra 0 e 100, funzione della permeabilità della litologia superficiale, dell'uso del suolo e della condizione di saturazione del terreno prima dell'evento meteorico.

Il Soil Conservation Service (SCS), sulla base delle capacità di assorbimento del terreno, ha classificato i vari tipi di suolo in 4 gruppi (A,B,C,D) come indicato nella tabella che segue.

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Tabella 4: Metodo SCS-CN Classi di suolo

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di uso del suolo.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

TOMBINI- Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Tipologia di Uso del Territorio	Tipo idrologico Suolo			
	A	B	C	D
<u>Terreno coltivato</u>				
in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
<u>Terreno a pascolo</u>				
in cattive condizioni	68	79	86	89
in buone condizioni	39	61	74	80
<u>Terreni boscosi o forestati</u>				
in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
<u>Spazi aperti, prati rasati, parchi</u>				
con copertura erbosa superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
con copertura erbosa compresa tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
con copertura erbosa inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
<u>Aree commerciali (area impermeabile 85%)</u>	89	92	94	95
<u>Distretti industriali (area impermeabile 72%)</u>	81	88	91	93
<u>Aree residenziali</u>				
impermeabilità media 65%	77	85	90	92
impermeabilità media 38%	61	75	83	87
impermeabilità media 30%	57	72	81	86
impermeabilità media 25%	54	70	80	85
impermeabilità media 20%	51	68	79	84
impermeabilità media 12%	46	65	77	82
<u>Parcheggi, tetti, autostrade</u>	98	98	98	98
<u>Strade</u>				
pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
con letto in ghiaia	76	85	89	91
battute in terra	72	82	87	89

Tabella 5: Metodo SCS-CN ;CN per diversi tipi di uso del suolo per condizioni di umidità iniziale media (Classe II)

I valori di CN riportati in tabella si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo intermedia secondo la classifica AMC (Antecedent Moisture Condition). Si assume pertanto che il valore di CN vari in relazione alle condizioni di imbibimento all'atto della piena. Tale stato di imbibimento viene espresso, dalla classificazione AMC, in base ad un indice di altezza di pioggia corrispondente all'altezza cumulata dei 5 giorni precedenti all'evento che si intende considerare (API₅).

Noto il valore di CN per le condizioni medie (ACM II), è possibile ricavare il corrispondente valore per le condizioni di interesse secondo le curve di seguito riportate.

CLASSE AMC	Altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I - asciutta	< 12.7	< 35.5
II - media	12.7 - 28.0	35.5 - 53.3
III - umida	> 28.0	> 53.3

Tabella 6: Definizione della classe di umidità in base all'indice API₅

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

TOMBINI- Relazione Idrologica e Studio Idraulico

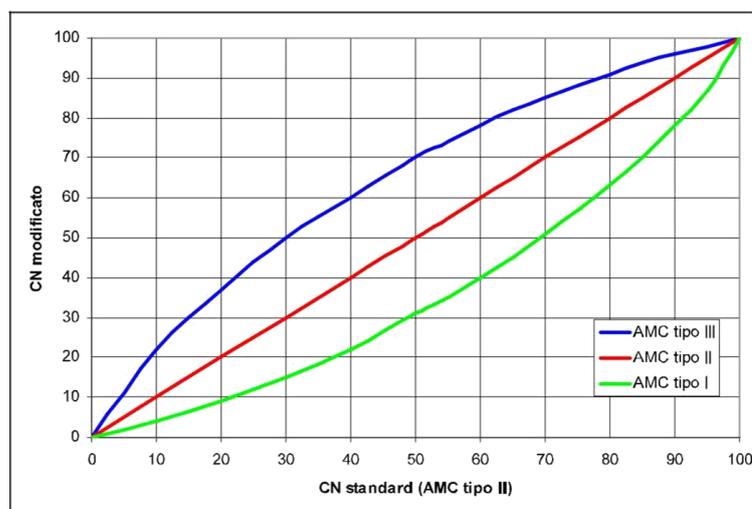


Figura 16: Curve di conversione dei valori di CN per le diverse condizioni iniziali

Secondo la metodologia sopra descritta, considerando le caratteristiche geologiche del bacino idrografico oggetto del presente studio (vedasi relazione Geologica Generale allegata al presente progetto), considerando una condizione di imbibimento del terreno media (classe AMC II) si è attribuito un valore di CN pari a 85.

I passaggi principali che hanno condotto all’attribuzione di tale valore del CN vengono di seguito riassunti:

- Superfici con terreni impermeabili pari al 70% —→ **GRUPPO D**
- Tipologia di uso del suolo: Terreno coltivato in assenza di pratiche per la conservazione di suolo/Terreno a pascolo/ Spazi aperti —→ **CN= 85**
- Classe **AMC** pari a **II** (media)
- $CN_{\text{modificato}} = \mathbf{85}$

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

TOMBINI- Relazione Idrologica e Studio Idraulico

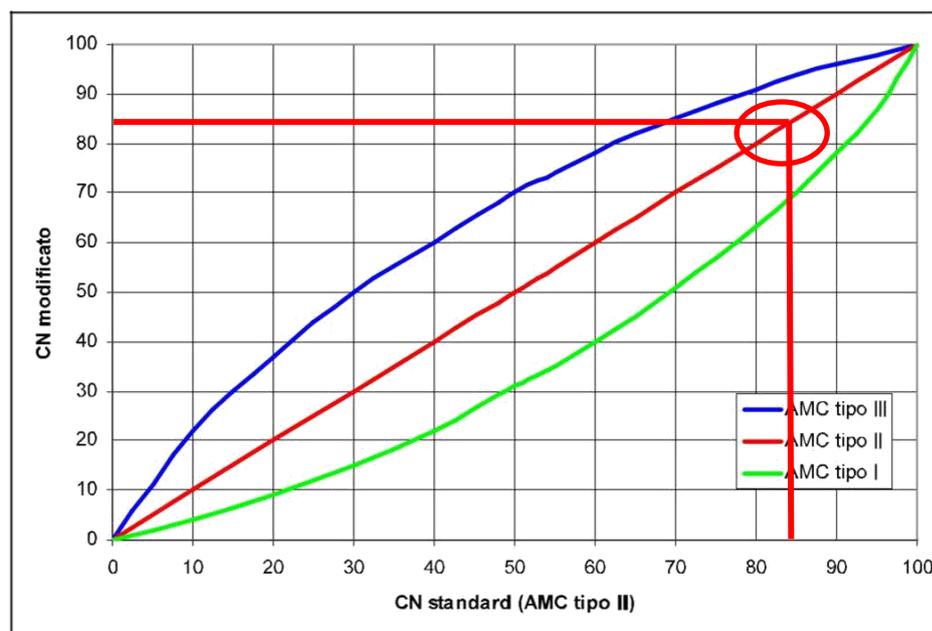


Figura 17: Procedura grafica per la stima di CN

Il valore di CN così ottenuto risulta in linea con i valori proposti dal rapporto relativo al P.A.I per l'area in esame.

4.1.2 Calcolo del coefficiente di deflusso

La determinazione della pioggia lorda è stata eseguita secondo la metodologia proposta dal VaPi Sicilia, come illustrato nel precedente paragrafo.

Il valore di pioggia lorda, per il tempo di ritorno pari a 100 anni, per le inalveazioni afferenti ai bacini in esame risulta pertanto:

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

TOMBINI- Relazione Idrologica e Studio Idraulico

TOMBINO	INALVEAZIONI	Area	t_c	$h (T_R, t_c)$
		km ²	h	mm
TP59b	IN84-IN85	0.3592	0.2	35.15
TP60-TS57	IN86-IN87	0.3592	0.2	35.15
TP61-TC55-TC56	IN88-IN89	0.3287	0.2	34.65
TP62-TC68	IN90	0.4857	0.2	36.89
TP66-TC59-TS60	IN98- IN99a	0.518	0.3	37.27
TP67-TC61	IN99-IN100	0.526	0.3	37.37
TP68-TC62	IN101-IN103	0.679	0.3	38.93
TP69-TC63	IN102	0.445	0.2	36.37
TP70-TC64	IN104	0.081	0.1	27.67
TP30-TS29c	-	0.095	0.1	24.80
TP31-TS29	-	0.199	0.2	28.20
TS26	-	2.560	0.6	43.60
TP77	-	0.055	0.1	26.00

Tabella 7 Valore di pioggia lorda per le opere di progetto

Utilizzando le relazioni (1), (2), (3) del paragrafo 4.1.1, il valore del coefficiente di deflusso è quindi calcolabile come rapporto tra la pioggia effettiva e la pioggia netta calcolata con il metodo SCS-CN e pertanto pari a:

$$\psi = \frac{P_{net}}{P}$$

Si riportano nel seguito i risultati ottenuti per le inalveazioni di progetto. Per le opere per le quali il valore di ψ , ottenuto con il metodo SCS-SN, è risultato minore di 0.4, è stato cautelativamente utilizzato il valore di 0.4 quale estremo inferiore per il calcolo delle portate di progetto.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

TOMBINI- Relazione Idrologica e Studio Idraulico

TOMBINO	INALVEAZIONI	Area	t_c	CN	$h(T_R, t_c)$	$I(T_R, t_c)$	S	la	P_{net}	ψ	ψ_p
		km ²	h	-	mm	mm/h	-	-	mm		-
TP59b	IN84-IN85	0.3592	0.2	85	35.15	167.6	44.8	9	9.6	0.27	0.40
TP60-TS57	IN86-IN87	0.3592	0.2	85	35.15	167.6	44.8	9	9.6	0.27	0.40
TP61-TC55-TC56	IN88-IN89	0.3287	0.2	85	34.65	172.7	44.8	9	9.3	0.27	0.40
TP62-TC68	IN90	0.4857	0.2	85	36.89	151.2	44.8	9	10.7	0.29	0.40
TP66-TC59-TS60	IN98- IN99a	0.518	0.3	85	37.27	148.0	44.8	9	10.9	0.29	0.40
TP67-TC61	IN99-IN100	0.526	0.3	85	37.37	147.2	44.8	9	11.0	0.29	0.40
TP68-TC62	IN101-IN103	0.679	0.3	85	38.93	135.0	44.8	9	12.0	0.31	0.40
TP69-TC63	IN102	0.445	0.2	85	36.37	155.8	44.8	9	10.4	0.29	0.40
TP70-TC64	IN104	0.081	0.1	85	27.67	278.3	44.8	9	5.5	0.20	0.40
TP30-TS29c	-	0.095	0.1	85	24.80	229.8	44.8	9	4.1	0.17	0.40
TP31-TS29	-	0.199	0.2	85	28.20	180.6	44.8	9	5.8	0.2	0.40
TS26	-	2.560	0.6	85	43.60	77.9	44.8	9	15.1	0.34	0.40
TP77	-	0.055	0.1	85	26.00	316.8	44.8	9	4.7	0.18	0.40

Tabella 8 Risultati del calcolo di applicazione del metodo SCS-CN

4.1.3 Calcolo della portata di progetto

La portata di progetto con tempo di ritorno pari a 100 anni è quindi stata calcolata sulla base delle metodologie e dei risultati illustrati nei precedenti paragrafi. Applicando pertanto la formula razionale, utilizzando i coefficienti di deflusso calcolati con il metodo SCS, si ottengono, per le opere di di progetto, i risultati riportati nella seguente tabella.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

TOMBINI- Relazione Idrologica e Studio Idraulico

TOMBINO	INALVEAZIONI	Area	t_c	$h(T_R, t_c)$	$I(T_R, t_c)$	P_{net}	ψ_P	$Q_{(Tr=100)}$
		km ²	h	mm	mm/h	mm	-	m ³ /s
TP59b	IN84-IN85	0.3592	0.2	35.15	167.6	9.6	0.40	6.7
TP60-TS57	IN86-IN87	0.3592	0.2	35.15	167.6	9.6	0.40	6.7
TP61-TC55-TC56	IN88-IN89	0.3287	0.2	34.65	172.7	9.3	0.40	6.3
TP62-TC68	IN90	0.4857	0.2	36.89	151.2	10.7	0.40	8.2
TP66-TC59-TS60	IN98- IN99a	0.518	0.3	37.27	148.0	10.9	0.40	8.5
TP67-TC61	IN99-IN100	0.526	0.3	37.37	147.2	11.0	0.40	8.6
TP68-TC62	IN101-IN103	0.679	0.3	38.93	135.0	12.0	0.40	10.2
TP69-TC63	IN102	0.445	0.2	36.37	155.8	10.4	0.40	7.7
TP70-TC64	IN104	0.081	0.1	27.67	278.3	5.5	0.40	2.5
TP30-TS29c	-	0.095	0.1	24.80	229.8	4.1	0.40	2.4
TP31-TS29	-	0.199	0.2	28.20	180.6	5.8	0.40	4
TS26	-	2.560	0.6	43.60	77.9	15.1	0.40	22
TP77	-	0.05	0.1	26.00	316.8	4.7	0.40	1.9

Tabella 9 Risultati del calcolo della portata di progetto per le opere in esame

5 SOFTWARE UTILIZZATI

La verifica delle protezioni spondali dei corsi d'acqua è stata effettuata attraverso il programma MACRA 1/Protezioni spondali della Maccaferri S.p.a.

Il software permette infatti di eseguire l'analisi simulando diverse condizioni dei corsi d'acqua, come di seguito illustrato.

- Corrente a superficie libera, dovuta all'azione della gravità;



Figura 18: Analisi con corrente a pelo libero

- Flusso stazionario, quando la velocità rimane costante nel tempo in ogni sezione;

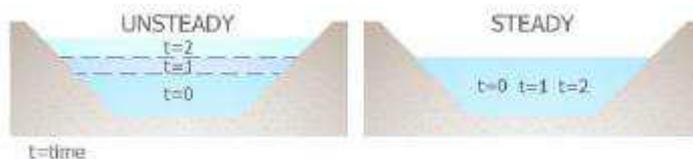


Figura 19: Confronto tra modello in condizioni non stazionarie e stazionarie

- Moto uniforme, nel quale il livello idrico rimane costante in ogni sezione del corso d'acqua;



Figura 20: Confronto tra modello in moto vario e uniforme

- Flusso turbolento, all'interno del quale le particelle si muovono in traiettorie caotiche;

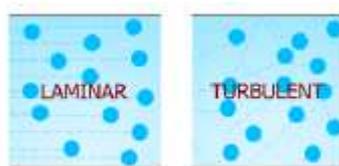


Figura 21: Confronto tra flusso laminare e flusso turbolento

- Flusso turbolento su superficie scabra, quando la scabrezza del fondo supera lo strato della corrente in condizioni laminari;

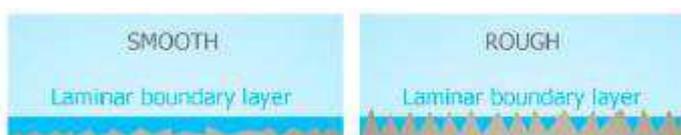


Figura 22: Confronto fra superficie liscia e scabra

Il software MACRA 1 quindi, utilizza la formula di Manning per definire la velocità media di moto uniforme:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

dove:

V = velocità media [m/s]

n = coefficiente di scabrezza

R = raggio idraulico

S = pendenza longitudinale [m/m]

In ciascuna condizione di flusso, la portata può essere espressa come:

$$Q = V \cdot A$$

dove A è l'area trasversale della sezione considerata. Se il flusso è stazionario ed uniforme, significa che in differenti sezioni del corso d'acqua la portata può essere espressa come:

$$Q = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 = \dots = V_x \cdot A_x$$

Per quanto detto in precedenza, combinando le due equazioni, è possibile definire la portata come:

$$Q = \frac{A}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Il coefficiente di scabrezza n è un parametro funzione del tipo di materiale considerato. Quando il contorno bagnato della sezione è formato da più materiali, la scabrezza equivalente è determinata come stabilito da Horton e Einstein (Chow, 1959):

$$n_{equivalente} = \left[\frac{\sum_1^N (P_N \cdot n_N^{1,5})}{P} \right]^{\frac{2}{3}}$$

dove:

P_N = lunghezza del sottosettore [m]

n_N = coefficiente di scabrezza del sottosettore

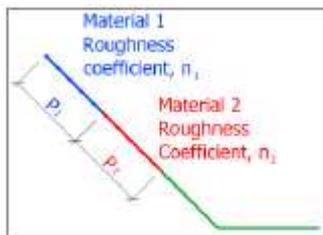


Figura 23: Calcolo della scabrezza equivalente

Alcuni valori del coefficiente di scabrezza sono stati tabellati ed integrati nel software a seconda del tipo di materiale presente.

Material	Allowable shear	
	Unvegetated	Vegetated
Fine sand	0.0200	~
Sand and gravel	0.0200	~
Coarse gravel	0.0250	~
Cobbles and shingles	0.0350	~
Stiff Clay (cohesive)	0.0250	~
Shales (cohesive)	0.0250	~
Silts w/cobbles (cohesive)	0.0300	~
Grass mats	0.0400	0.0800
Cutting Shrubs	0.0400	0.1200
Brush mats w/willow	0.0400	0.1500
Riparian wattles	0.0400	0.1100
Willow protections	0.0400	0.1400
GabionMats 0.30m - d50 = 15 cm	0.0301	0.1000
Gabions 0.50m - d50 = 21 cm	0.0301	0.1000
Gabions 1.00m - d50 = 21 cm	0.0301	0.1000
Reno mattress 0.17m - d50 = 10 cm	0.0277	0.1200
Reno mattress 0.23m - d50 = 12 cm	0.0277	0.1200
Reno mattress 0.30m - d50 = 15 cm	0.0277	0.1200
Macmat R1 6822	0.0303	0.1000
Macmat R1 8127	0.0303	0.1000
Riprap/Rock Wall	0.0400	0.1000
Articulated blocks	0.0200	0.0800

Tabella 10: Alcuni valori del coefficiente di scabrezza

Per sezioni irregolari, è noto dall'esperienza che il flusso ha un comportamento diverso tra l'alveo principale e le sponde laterali. Perciò, la portata in ciascun settore è calcolata separatamente dalle altre e successivamente viene fatta la somma di tutte le portate.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$



Figura 24: Distribuzione delle curve ad uguale velocità in una sezione irregolare



Figura 25: Suddivisione delle portate in una sezione tipo

Per ottenere la velocità media finale è necessario effettuare il rapporto tra la portata totale e l'area trasversale della sezione:

$$V = \frac{Q_T}{A}$$

La velocità così calcolata deve essere confrontata con la velocità ammissibile del materiale di rivestimento impiegato. Alcuni valori della velocità ammissibile possono essere ricavati dalle tabelle e dal grafico seguenti.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

TOMBINI- Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Material	Allowable velocity [m/s]
Fine sand	0.76
Sand and gravel	1.50
Coarse gravel	1.82
Cobbles and shingles	1.67
Stiff Clay (cohesive)	1.52
Shales (cohesive)	1.80
Silts w/cobbles (cohesive)	1.67

Tabella 11: Velocità ammissibile di alcuni tipi di terreno (ripreso da Chow, 1959)

Material	Allowable velocity [m/s]
Gabions 0.50m - $d_{50} = 0.21$ m	7.60
Reno mattress 0.17m - $d_{50} = 0.10$ m	4.20
Reno mattress 0.23m - $d_{50} = 0.12$ m	5.50
Reno mattress 0.30m - $d_{50} = 0.15$ m	6.40
MacMat R	1.50 - 3.00(*)

* For duration less than 60 hours (Utah water research Laboratory)

Tabella 12: Velocità ammissibile per soluzioni MACCAFERRI

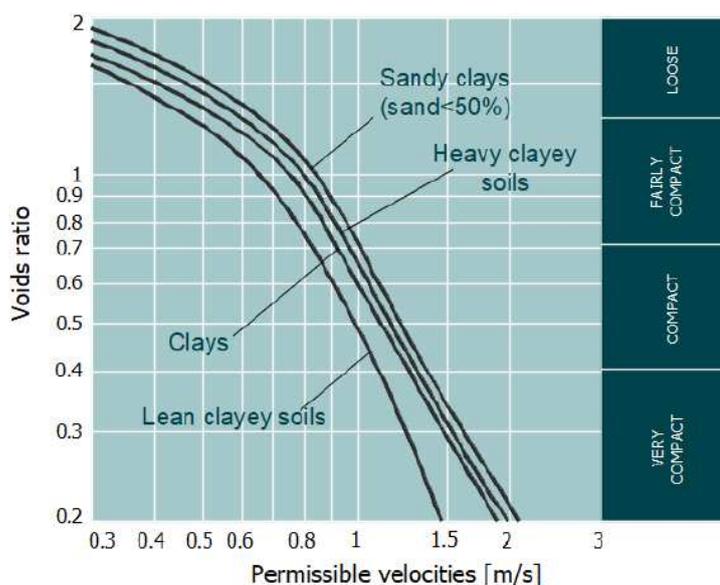


Figura 26: Velocità ammissibili per terreni coesivi (ripreso da Chow, 1959)

Allo scopo di determinare la velocità ammissibile per terreni granulari, può essere utilizzata la seguente equazione (Chen et al., 1984):

$$Va = 1,67 \cdot d_m^{0,5}$$

dove:

Va = velocità ammissibile [m/s]

d_m = diametro medio del materiale [mm]

Per i gabbioni e i sistemi riprap, deve essere calcolata la velocità del flusso residuale che passa tra il rivestimento e raggiunge il terreno. Questa velocità può essere stimata a partire dalla formula di Manning (Chen et al., 1984):

$$Vb = \frac{1}{n_f} \cdot \left(\frac{d_m}{2}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

dove:

Vb = velocità residua [m/s]

n_f = coefficiente di scabrezza medio (al di sotto del rivestimento)

d_m = diametro medio del riempimento [m]

S = pendenza longitudinale [m/m]

In presenza di geotessile, il valore del parametro Vb è diviso per tre per stimare la velocità in prossimità del geotessile e del terreno di interfaccia (da Chen et al., 1984).

La velocità residua deve essere inferiore a quella ammissibile del terreno, i cui valori sono stati mostrati in precedenza.

Oltre alla determinazione della velocità, è necessario definire lo sforzo di taglio in ogni sezione. Infatti, il flusso esercita una forza che agisce sul fondo alveo, in verso solidale alla direzione di scorrimento dell'acqua. Questa forza di trazione prende il nome di sforzo di taglio.

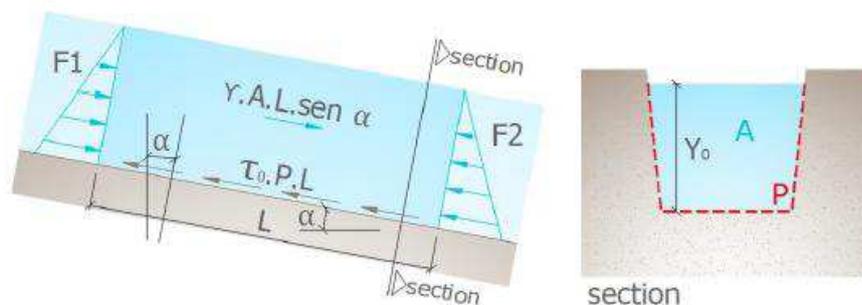


Figura 27: Forze agenti sulla massa di fluido (da Porto, 2006)

La figura precedente mostra lo schema delle forze, dove le forze agenti sono rappresentate dalla forza dell'acqua nella direzione del flusso (F1) a monte del blocco d'acqua considerato; la forza peso

del blocco stesso, calcolata come $\gamma \cdot A \cdot L \cdot \sin \alpha$, dove γ è il peso di volume dell'acqua, A è l'area trasversale della sezione, L è la lunghezza della massa di fluido considerato e α è l'inclinazione del fondo alveo rispetto all'orizzontale.

Le restanti forze sono rappresentate dalla forza dell'acqua in verso contrario alla direzione del flusso (F_2), a monte della massa di fluido considerata; lo sforzo resistente mobilitato dal fondo alveo e calcolato come $\tau_0 \cdot P \cdot L$, dove τ_0 è lo sforzo di taglio e P è il contorno bagnato (Porto, 2006).

Pertanto:

$$\sum F_x = F_1 + \gamma \cdot A \cdot L \cdot \sin \alpha - F_2 - \tau_0 \cdot P \cdot L$$

Se il moto è uniforme, allora $F_1 = F_2$:

$$\gamma \cdot A \cdot L \cdot \sin \alpha = \tau_0 \cdot P \cdot L \rightarrow \tau_0 = \frac{\gamma \cdot A \cdot \sin \alpha}{P} \rightarrow \tau_0 = \gamma \cdot R \cdot \sin \alpha$$

Inoltre, per un'inclinazione inferiore ai 6° può essere fatta la seguente approssimazione:

$$\sin \alpha \cong \tan \alpha \cong S$$

Pertanto:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot S$$

Dove γ è il peso di volume dell'acqua.

Tuttavia, lo sforzo di taglio non è uniformemente distribuito lungo il corso d'acqua. Infatti, può variare all'interno della stessa sezione.

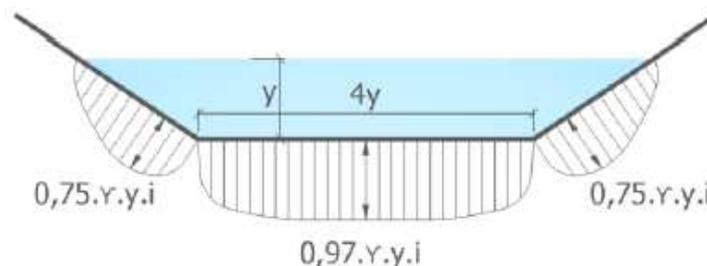


Figura 28: Distribuzione delle forze di trazione in un alveo a sezione trapezoidale (da Chow, 1994)

Allo scopo di determinare il massimo sforzo di taglio agente sui lati, può essere valutato un coefficiente di riduzione (K_m) a partire dal grafico sottostante, in funzione della geometria della sezione (dove Z è il rapporto di pendenza, $H:Z$; $V:1$). Per semplificare la progettazione con rivestimento uniforme, è possibile adottare un valore $K_m = 0,75$.

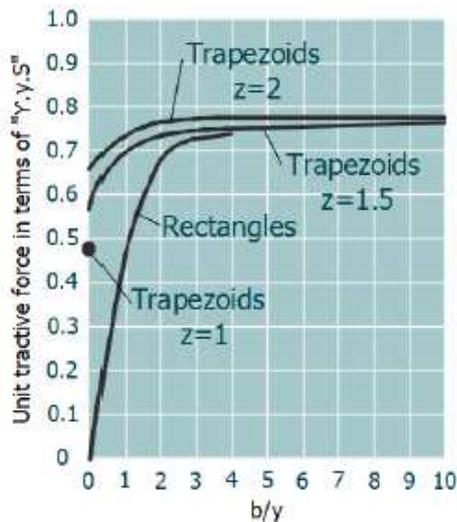


Figura 29: Sforzo di taglio sulle sponde dell'alveo (da Olsen e Florey, 1952)

Quindi, per ottenere lo sforzo di taglio sulle sponde:

$$\tau_m = \tau_0 \cdot Km$$

All'aumentare del battente idrico, lo sforzo di taglio agente è ridotto come mostrato in Figura 28. Quando i margini della sezione sono divisi in due o tre sotto-settori, è possibile stimare il nuovo coefficiente dello sforzo di taglio in proporzione all'altezza dell'acqua che è in contatto con essi.

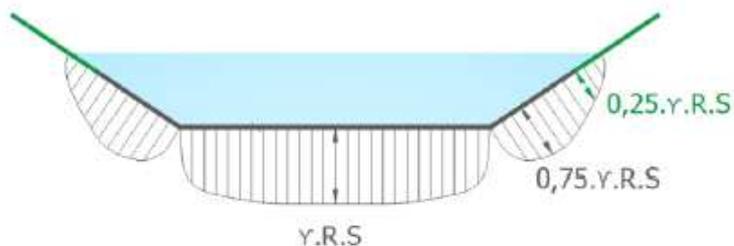


Figura 30: Esempio del coefficiente sullo sforzo di taglio proporzionale al livello idrico

Un'ulteriore differenza nello sforzo di taglio riguarda i corsi d'acqua lineari o tortuosi. Infatti, i canali con presenza di curve possono determinare uno sforzo di taglio maggiore rispetto ai corsi d'acqua rettilinei. Per definire il coefficiente amplificativo può essere impiegato il grafico sottostante.

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

TOMBINI- Relazione Idrologica e Studio Idraulico

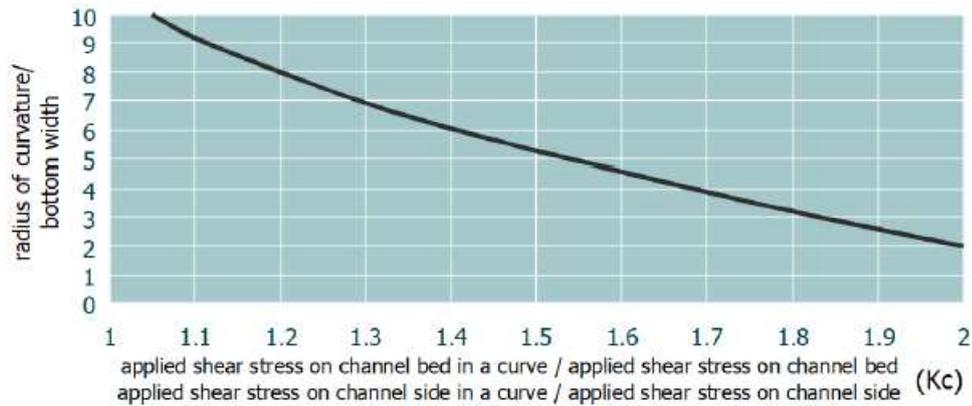


Figura 31: Coefficiente amplificativo dello sforzo di taglio in funzione del raggio di curvatura (S.C.S., 1977)

Il rapporto tra il raggio di curvatura e la larghezza del fondo alveo è moltiplicato per il valore di Kc:

$$\tau_{mc} = \tau_m \cdot Kc$$

$$\tau_{0c} = \tau_0 \cdot Kc$$

Dove τ_{mc} è lo sforzo di taglio agente sul lato esterno dell'alveo meandriforme e τ_{0c} è lo sforzo di taglio agente sul fondo del canale meandriforme.

Lo sforzo di taglio agente deve essere confrontato con quello ammissibile del materiale, il quale può essere dedotto dalla tabella seguente.

Material	Allowable shear	
	Unvegetated	Vegetated
Fine sand	3.5	∞
Sand and gravel	15.3	∞
Coarse gravel	32	∞
Cobbles and shingles	52.6	∞
Stiff Clay (cohesive)	22	∞
Shales (cohesive)	32	∞
Silts w/cobbles (cohesive)	38	∞
Grass mats	10	30
Cutting Shrubs	10	60
Brush mats w/willow	50	300
Riparian wattles	10	50
Willow protections	20	100
GabionMats 0.30m	336	450
Gabions 0.50m	470	500
Gabions 1.00m	470	500
Reno mattress 0.17m	224	400
Reno mattress 0.23m	268	450
Reno mattress 0.30m	336	450
Macmat R1 6822	171	332
Macmat R1 8127	188	349
Riprap/Rock Wall	300	350
Articulated blocks	250	350

Tabella 13: Sforzo di taglio ammissibile

Per gli interventi con gabbioni e materassi Reno è possibile trovare lo sforzo ammissibile attraverso l'adeguamento del parametro di Shields.

$$\tau_a = C_* \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot d_m$$

Dove C_* è il parametro di Shields (per i gabbioni e i materassi Reno $C_* \cong 0.14$) e γ_s è il peso di volume del materiale di riempimento.

Allo scopo di determinare lo sforzo ammissibile nella parte laterale dell'alveo rivestito con gabbioni o terreno granulare, può essere impiegata la seguente equazione:

$$\tau_{c,m} = \tau_c \cdot \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \varphi}}$$

dove θ è l'inclinazione della sponda e φ è l'angolo di attrito del materiale. Per sponde con inclinazione maggiore di 45° , lo sforzo ammissibile può essere stimato moltiplicando lo sforzo di taglio agente sul fondo per un fattore di 0,57.

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

TOMBINI- Relazione Idrologica e Studio Idraulico

In presenza del prodotto MacMat R, è possibile definire lo sforzo di taglio critico attraverso le seguenti equazioni riassunte in tabella. Queste sono state definite sulla base di test con una durata massima di 60 ore.

Tabella 14: Calcolo dello sforzo critico del MacMat R

Material	Critical shear	
	Unvegetated	Vegetated
MacMat R 6822	$\tau_c = 0.011 t^2 - 2.567 t + 184$	$\tau_c = 0.0314 t^2 - 4.994 t + 356$
MacMat R 8127	$\tau_c = 0.0079 t^2 - 2.425 t + 201$	$\tau_c = 0.0414 t^2 - 5.638 t + 376$

Tabella 15: Calcolo dello sforzo critico del MacMat

6 METODOLOGIA VERIFICA INALVEAZIONI

La verifica delle inalveazioni è stata condotta valutando, per ciascuna opera, la sezione idraulicamente più gravosa.

Nel caso dei tombini afferenti alla Categoria n. 1 (Tombini zona San Giorgio) gli interventi di progetto prevedono la riprofilatura delle inalveazioni e la riduzione della pendenza delle stesse mediante scale di stramazzi e briglie in gabbioni, a monte delle quali sono previste delle vasche di decantazione allo scopo di laminare ulteriormente le portate di piena.

Per tali sistemazioni le sezioni più gravose risultano quelle aventi sezione inferiore e/o pendenza superiore. Le altre sezioni si ritengono implicitamente verificate in quanto l'allargamento della sezione, come nelle vasche, porta ad una diminuzione della velocità e del tirante con conseguente diminuzione delle sollecitazioni meccaniche agenti sugli elementi di rivestimento.

Per quanto concerne le sistemazioni relative ai tombini afferenti alla Categoria n.2, essendo le sezioni in cls, le sollecitazioni indotte dalla velocità della corrente non risultano dimensionanti. Per tali opere risultano dimensionanti unicamente le condizioni di deflusso idraulico, più gravose in corrispondenza di sezioni aventi area utile o pendenza inferiore.

7 RISULTATI DELLE ANALISI

I risultati delle analisi svolte con il codice di calcolo Macra Studio sono riportati nell'Allegato 1 della presente relazione.

Come già spiegato nel precedente paragrafo, il software utilizzato permette di svolgere sia la verifica in termini di deflusso della portata di progetto, che la verifica a trascinamento degli elementi di rivestimento dei canali.

Per ogni tratto, le verifiche sono state condotte esaminando la sezione più gravosa dell'incollezione di progetto.

Nella tabella che segue sono riportate le grandezze geometriche principali utilizzate nelle verifiche, ed i relativi risultati in termini di altezze idrometriche.

Per un maggiore dettaglio circa le caratteristiche geometriche delle sistemazioni si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

WBS		L sistemazione monte	L sistemazione valle	Sezione di verifica				Q _(Tr=100)	H _w	Franco _{min}
		m	m	Forma	B (m)	H (m)	i (%)	m ³ /s	m	m
TP59b	IN84-IN85	50	10	Rettangolare	2	1.5	10.0%	6.7	0.48	0.92
TP60-TS57	IN86-IN87	38+23	16	Trapezia	2	1	6.0%	6.7	0.55	0.45
TP61-TC55-TC56	IN88-IN89	47	4	Rettangolare	2	1.5	9.0%	6.3	0.58	0.92
TP62-TC68	IN90	41	6	Trapezia	1.5	1.0	8.0%	8.2	0.69	0.31
TP66-TC59-TS60	IN98- IN99a	31	6	Trapezia	1	1.5	3.0%	8.5	1.02	0.48
TP67-TC61	IN99-IN100	28	6	Trapezia	1	1.5	2.5%	8.6	1.07	0.43
TP68-TC62	IN101-IN103	27	6	Rettangolare	2.5	1.5	7.5%	10.2	0.72	0.78
TP69-TC63	IN102	26	-	Trapezia	1	1.0	5.0%	7.7	0.85	0.14
TP70-TC64	IN104	60	9	Rettangolare	1	1	8.0%	2.5	0.58	0.42
TP30-TS29c		16	7.5	Trapezia	1	0.5	6.00%	2.4	0.36	0.14
TP31-TS29		15	29	Trapezia	0.4	0.8	6.00%	4.0	0.67	0.14
TS26		10	70	Trapezia	3.5	1.5	2.00%	22.0	1.11	0.39

Tabella 16 Risultati verifiche opere di imbocco e sbocco tombini

8 VERIFICA DEI TOMBINI

Si riporta nel seguito la verifica dei tombini oggetto del presente intervento.

Le verifiche sono state condotte considerando un grado di riempimento della condotta pari al 70%.

wbs	Q_{TR100}	sezione	i_{min}	dimensione		scabrezza	Kst	Q_{canale}	verifica
	m^3/s		%	m						$m^{1/2}$	$m^{1/3}/s$	$m^3/s$
TP60-TS57	6.7	circolare	5	D	2	-	80	38.0	VERIFICATO
TP61-TC55-TC56	6.3	scatolare	5	b	2	0.46	-	26.0	VERIFICATO
				h	2				
TP62-TC58	8.2	scatolare	2	b	2	0.46	-	16.5	VERIFICATO
				h	2				
TP66-TC59-TC60	8.5	scatolare	5	b	2	0.46	-	26.0	VERIFICATO
				h	2				
TP67-TC61	8.6	scatolare	5	b	2	0.46	-	26.0	VERIFICATO
				h	2				
TP68- TC62	10.2	scatolare	1	b	2	0.46	-	11.6	VERIFICATO
				h	2				
TP 59B	6.7	circolare	5	D	2	-	80	38.0	VERIFICATO
TP69-TC63	7.7	circolare	5	D	2	-	80	38.0	VERIFICATO
TP70-TC64	2.5	circolare	2.5	D	1.5	-	80	9.7	VERIFICATO
TP30	2.4	circolare	0.4	D	3	-	80	24	VERIFICATO
TS29c	2.4	circolare	3.5	D	1	-	80	3.9	VERIFICATO
TP31	4	circolare	2.3	D	3	-	80	59	VERIFICATO
TS29	4	circolare	4	D	1	-	80	4.2	VERIFICATO
TS26	22	ARMCO ribassato	2.4	b	3.4	0.46	-	23.9	VERIFICATO
				h	2.25				
TP77 a-b	1.9	circolare	1	D	1		80	2.1	VERIFICATO

Tabella 17 Risultati verifiche tombini

9 CONCLUSIONI

Nella presente *Relazione Idrologica e Studio idraulico*, sono presentate le verifiche eseguite relative ai tombini: TP59b, TP60-TS57, TP61-TC55-TC56, TP62-TC58, TP66-TC59-TC60, TP67- TC61, TP68- TC62, TP69- TC63,, TP70-TC 64, TP30-TS29c, TP31-TS29, TS26, alle relative opere di imbocco e sbocco, e al tombino di nuova realizzazione TP77.

A valle di una breve panoramica circa i danneggiamenti causati dall'evento alluvionale del Novembre 2018, è stata descritta la metodologia per il calcolo delle portate di progetto.

La verifica delle opere in esame è stata condotta considerando la portata corrispondente al tempo di ritorno di 100 anni.

Il dimensionamento, e la conseguente verifica delle opere di imbocco e sbocco, sono stati condotti con l'ausilio del codice di calcolo Macra Studio sviluppato da Officine Maccaferri S.p.a.. Il codice di calcolo, per il quale approfondimento si rimanda al paragrafo 5 della presente relazione, ha consentito di verificare le sezioni di deflusso in termini di franco idraulico, ed allo stesso tempo di verificare gli interventi di protezione dei canali previsti dal presente Progetto Esecutivo di Variante n.3.

Sono state altresì presentate le verifiche idrauliche relative dei tombini in esame.

Alla luce dei risultati ottenuti, presentati nei precedenti paragrafi, gli interventi di regimazione previsti si ritengono verificati per il deflusso della piena di progetto.

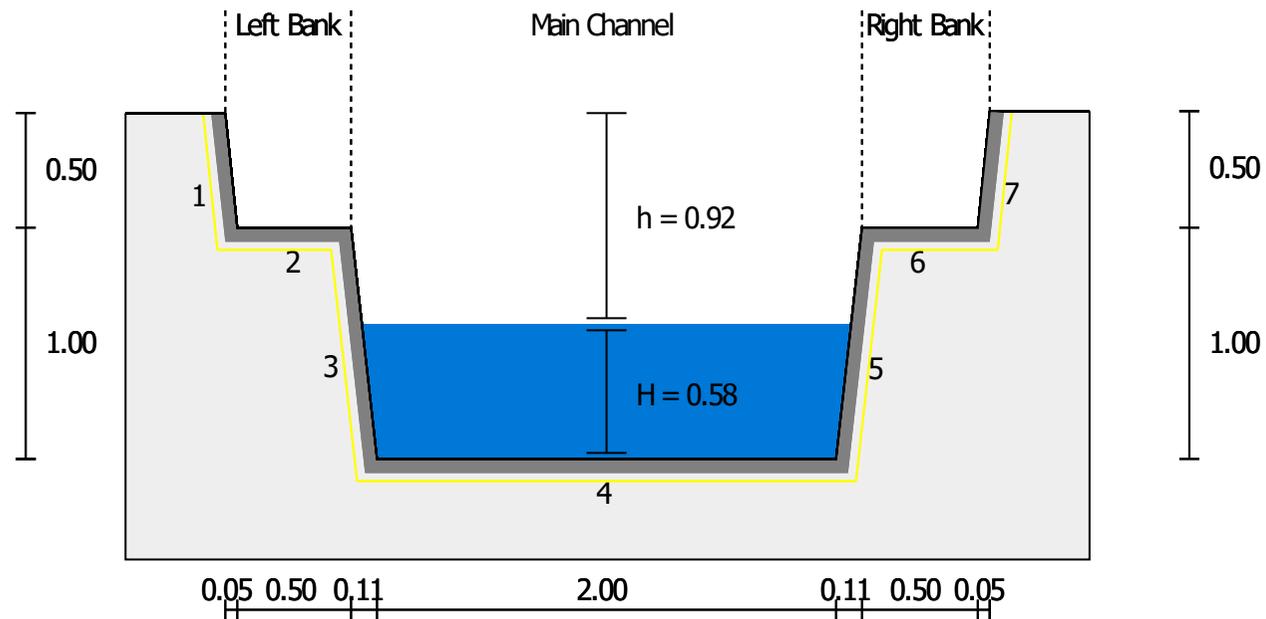
● Project Information

Date	12-May-21	Description	
Title	IN 88-TP61		
Number			
Client			
Author/Designer			

● Input

Discharge [m ³ /s]	6.30
Longitudinal Slope [%]	9
Freeboard [m]	0.00
Bending Radius [m]	-
Bending Side	-

Channel Design



● Results

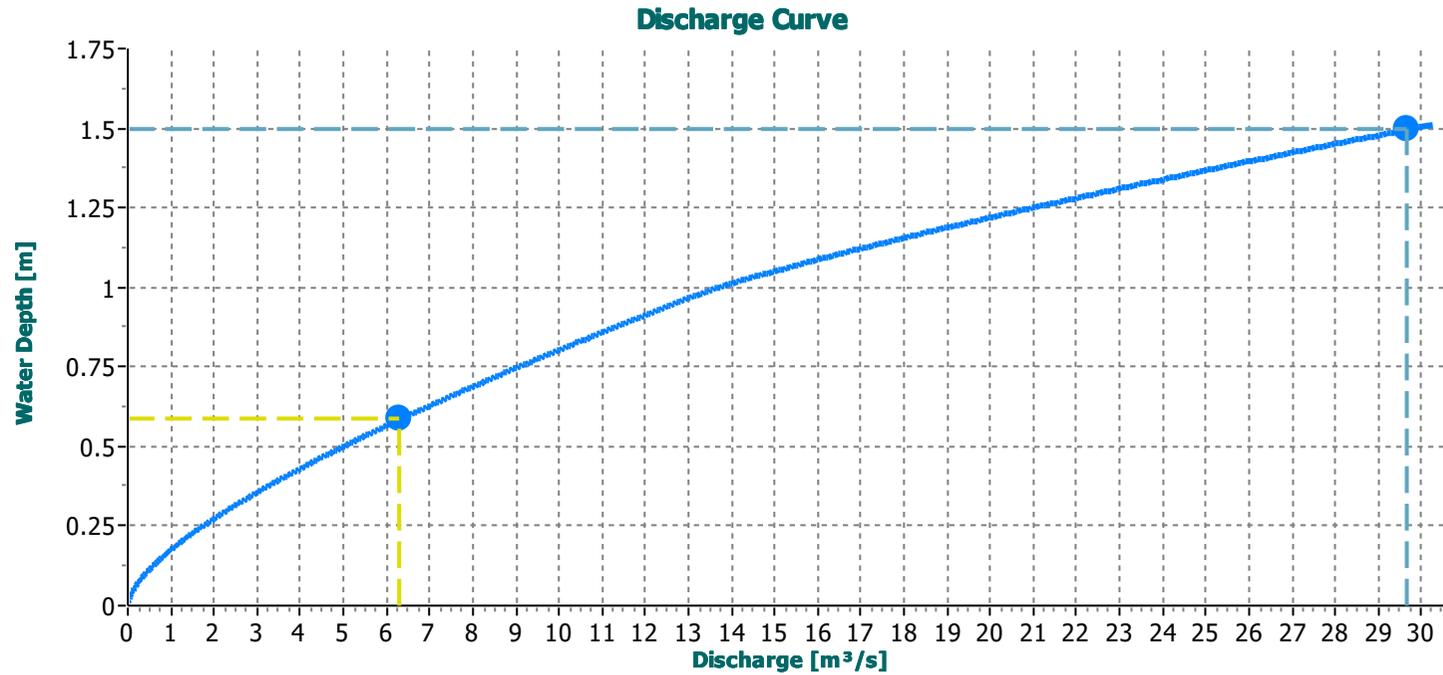
Freeboard [m]	0.92	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	9	
Water Depth [m]	0.58	
Froude Number	2.21	Supercritical Flow

	Total	Left Overbank	Main Channel	Right Overbank
Discharge [m³/s]	6.30	0	6.31	0
Cross Sectional Area [m²]	1.21	0	1.21	0
Wetted Perimeter [m]	3.18	0	3.18	0
Hydraulic Radius [m]	0.38	0	0.38	0
Water Velocity [m/s]	5.23	0	5.23	0
Average Roughness	-	0.0301	0.0301	0.0301

Materials

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
Left Overbank	1	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	0.00	✓	Yes	0	✓	0.50
Left Overbank	2	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	470.40	0.00	✓	Yes	0	✓	0.50
Main Channel	3	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	256.57	✓	Yes	1.11	✓	1.01
Main Channel	4	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	470.40	342.10	✓	Yes	1.11	✓	2.00
Main Channel	5	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	256.57	✓	Yes	1.11	✓	1.01
Right Overbank	6	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	470.40	0.00	✓	Yes	0	✓	0.50
Right Overbank	7	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	0.00	✓	Yes	0	✓	0.50

Discharge Curve



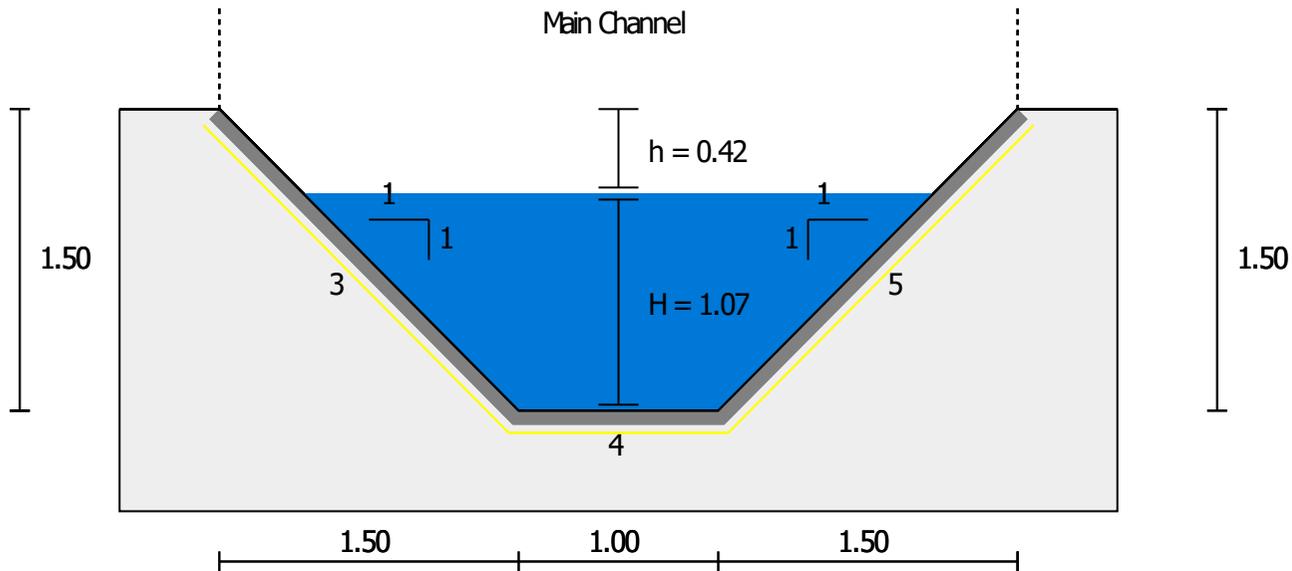
● Project Information

Date	Description
12-May-21	
Title IN 100_TP67	
Number	
Client	
Author/Designer	

● Input

Discharge [m ³ /s]	8.6
Longitudinal Slope [%]	2.5
Freeboard [m]	0.00
Bending Radius [m]	-
Bending Side	-

Channel Design



● Results

Freeboard [m]	0.42	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	2.5	
Water Depth [m]	1.07	
Froude Number	1.46	Supercritical Flow

Total

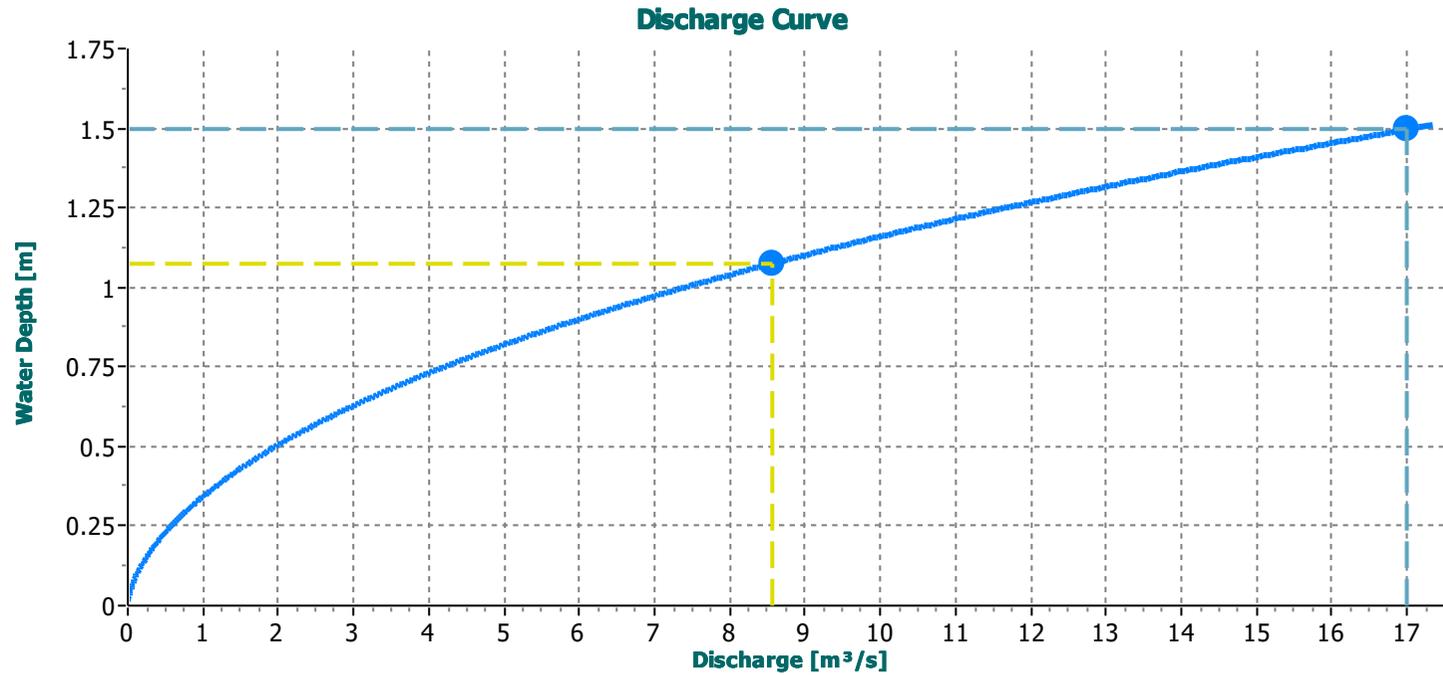
Main Channel

Discharge [m³/s]	8.60		8.60	
Cross Sectional Area [m²]	2.23		2.23	
Wetted Perimeter [m]	4.04		4.04	
Hydraulic Radius [m]	0.55		0.55	
Water Velocity [m/s]	3.84		3.84	
Average Roughness	-		0.0277	

Materials

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
Main Channel	3	Reno mattress (0.30m) PoliMac™	-	0.0277	193.99	103.51	✓	Yes	0.47	✓	2.12
Main Channel	4	Reno mattress (0.30m) PoliMac™	-	0.0277	336.00	138.01	✓	Yes	0.47	✓	1.00
Main Channel	5	Reno mattress (0.30m) PoliMac™	-	0.0277	193.99	103.51	✓	Yes	0.47	✓	2.12

Discharge Curve



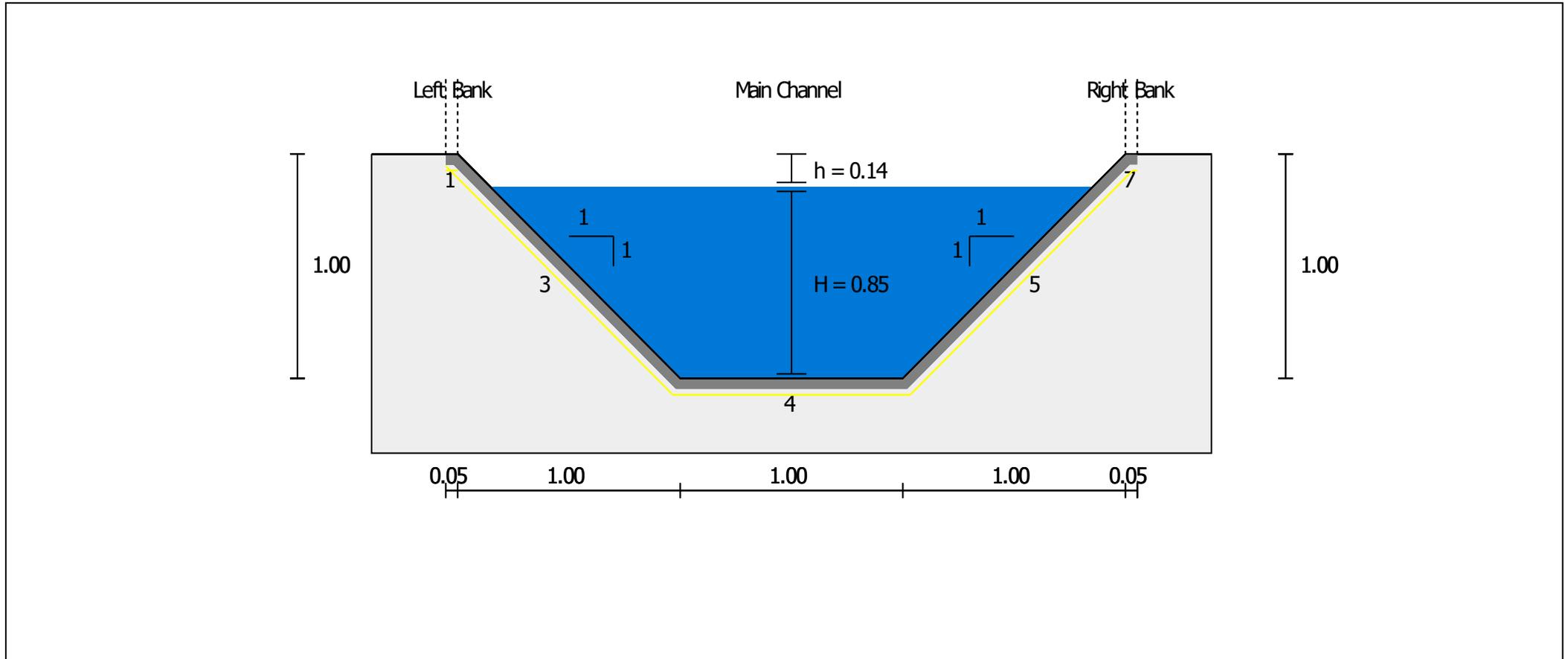
● Project Information

Date	Description
12-May-21	
Title IN 102_TP69	
Number	
Client	
Author/Designer	

● Input

Discharge [m ³ /s]	7.7
Longitudinal Slope [%]	5
Freeboard [m]	0.00
Bending Radius [m]	-
Bending Side	-

Channel Design



● Results

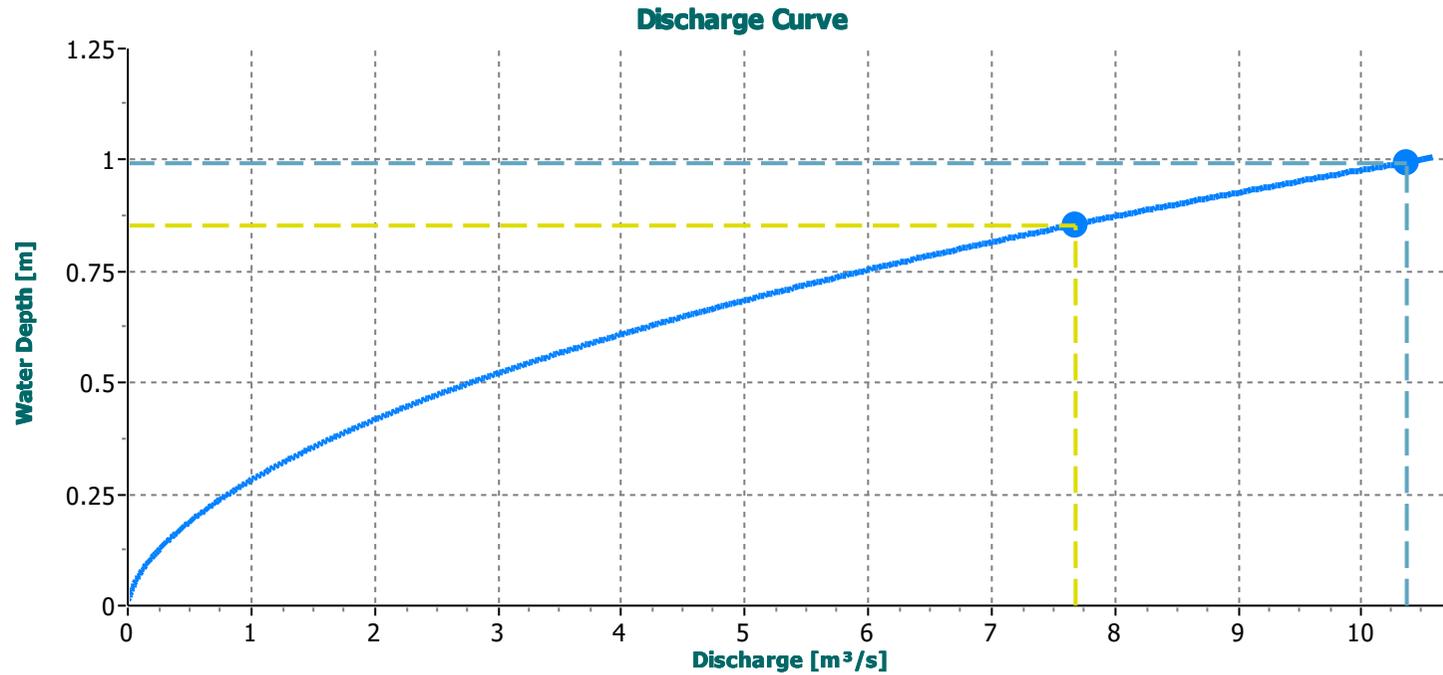
Freeboard [m]	0.14	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	5	
Water Depth [m]	0.85	
Froude Number	2.02	Supercritical Flow

	Total	Left Overbank	Main Channel	Right Overbank
Discharge [m³/s]	7.70	0	7.67	0
Cross Sectional Area [m²]	1.59	0	1.59	0
Wetted Perimeter [m]	3.42	0	3.42	0
Hydraulic Radius [m]	0.46	0	0.46	0
Water Velocity [m/s]	4.84	0	4.84	0
Average Roughness	-	0	0.0277	0

Materials

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
Left Overbank	1	Reno mattress (0.23m) PoliMac™	-	0.0277	268.80	0.00	✓	Yes	0	✓	0.05
Main Channel	3	Reno mattress (0.30m) PoliMac™	-	0.0277	193.99	173.99	✓	Yes	0.66	✓	1.41
Main Channel	4	Reno mattress (0.30m) PoliMac™	-	0.0277	336.00	231.99	✓	Yes	0.66	✓	1.00
Main Channel	5	Reno mattress (0.30m) PoliMac™	-	0.0277	193.99	173.99	✓	Yes	0.66	✓	1.41
Right Overbank	7	Reno mattress (0.23m) PoliMac™	-	0.0277	268.80	0.00	✓	Yes	0	✓	0.05

Discharge Curve



● Project Information

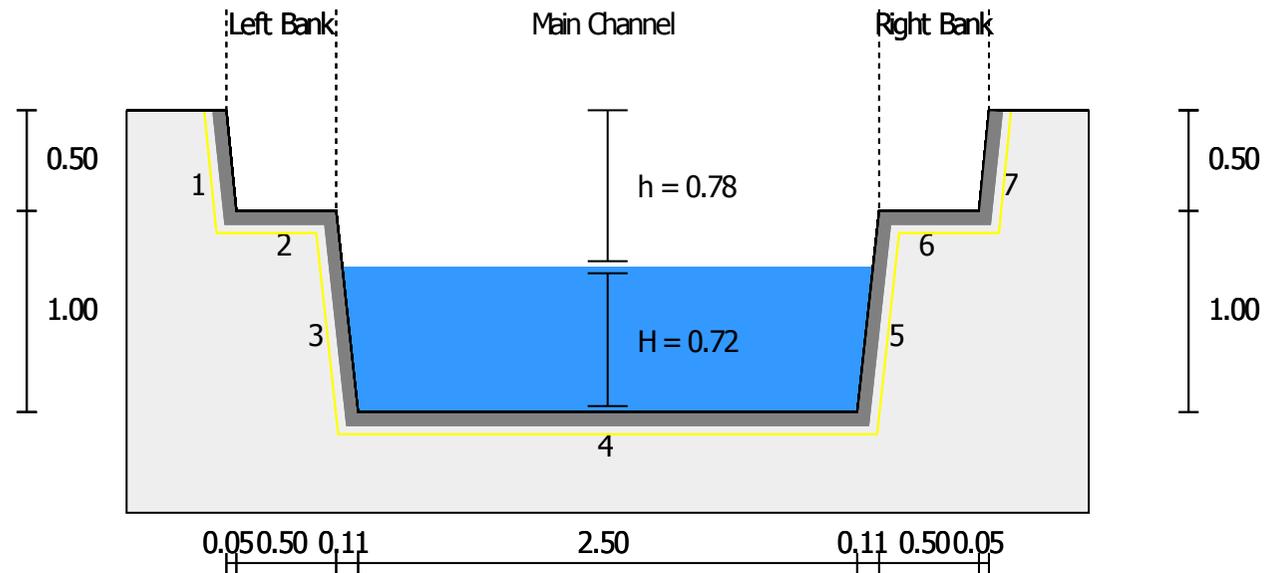
Date 05/02/2020
 Title IN 103_TP68
 Number
 Client
 Author/Designer

Description

● Input

Discharge [m ³ /s]	10.20
Longitudinal Slope [%]	7.5
Freeboard [m]	0.00
Bending Radius [m]	-
Bending Side	-

Channel Design



● Results

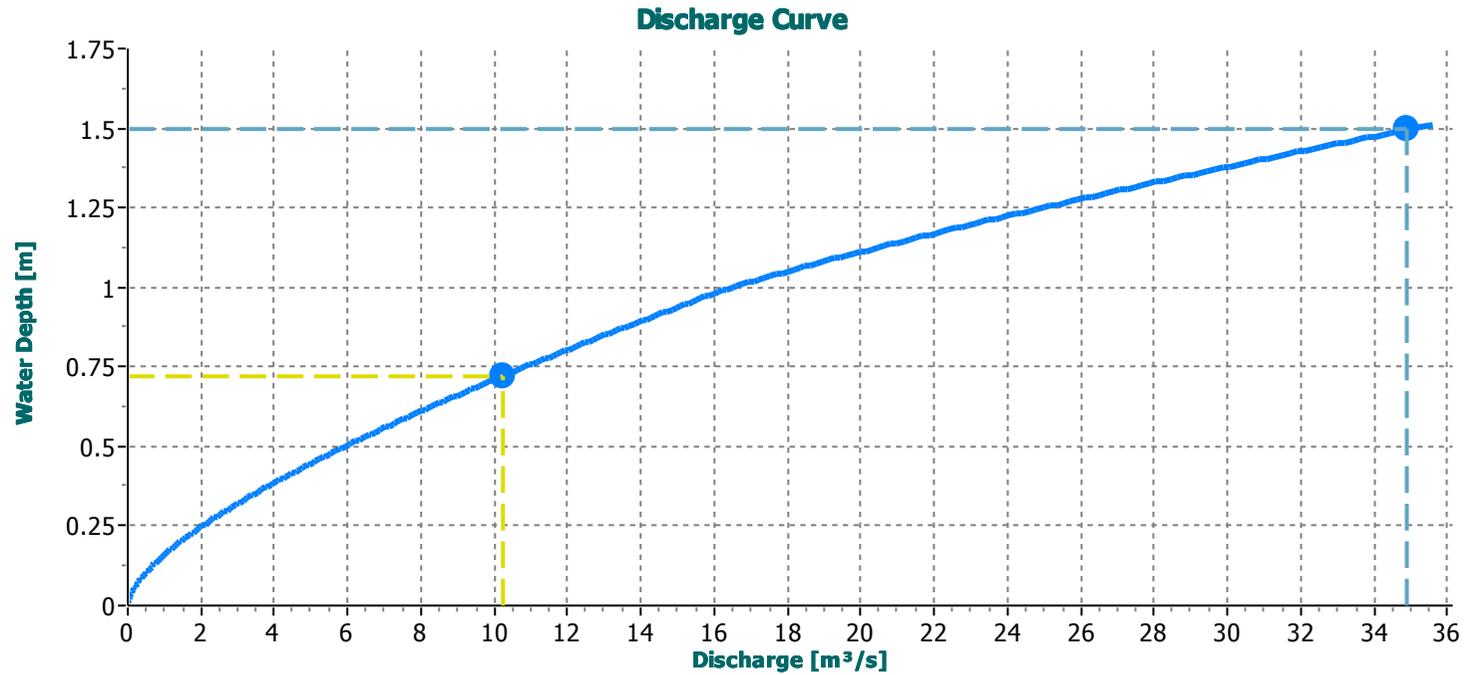
Freeboard [m]	0.78	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	7.5	
Water Depth [m]	0.72	
Froude Number	2.1	Supercritical Flow

	Total	Left Overbank	Main Channel	Right Overbank
Discharge [m³/s]	10.20	0	10.21	0
Cross Sectional Area [m²]	1.86	0	1.86	0
Wetted Perimeter [m]	3.95	0	3.95	0
Hydraulic Radius [m]	0.47	0	0.47	0
Water Velocity [m/s]	5.5	0	5.5	0
Average Roughness	-	0.0301	0.0301	0.0301

Materials

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
<i>Left Overbank</i>	1	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	0.00	✓	Yes	0	✓	0.50
<i>Left Overbank</i>	2	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	470.40	0.00	✓	Yes	0	✓	0.50
<i>Main Channel</i>	3	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	264.47	✓	Yes	1.02	✓	1.01
<i>Main Channel</i>	4	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	470.40	352.62	✓	Yes	1.02	✓	2.50
<i>Main Channel</i>	5	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	264.47	✓	Yes	1.02	✓	1.01
<i>Right Overbank</i>	6	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	470.40	0.00	✓	Yes	0	✓	0.50
<i>Right Overbank</i>	7	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	0.00	✓	Yes	0	✓	0.50

Discharge Curve



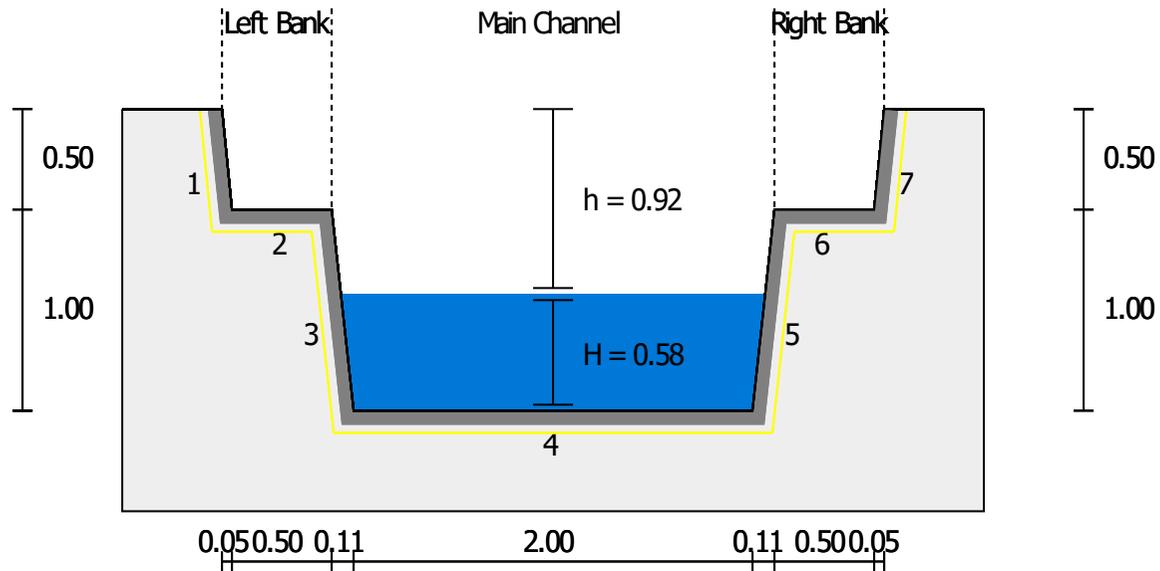
● Project Information

Date	Description
12-May-21	
Title IN84_TP59B	
Number	
Client	
Author/Designer	

● Input

Discharge [m ³ /s]	6.7
Longitudinal Slope [%]	10
Freeboard [m]	0.00
Bending Radius [m]	-
Bending Side	-

Channel Design



● Results

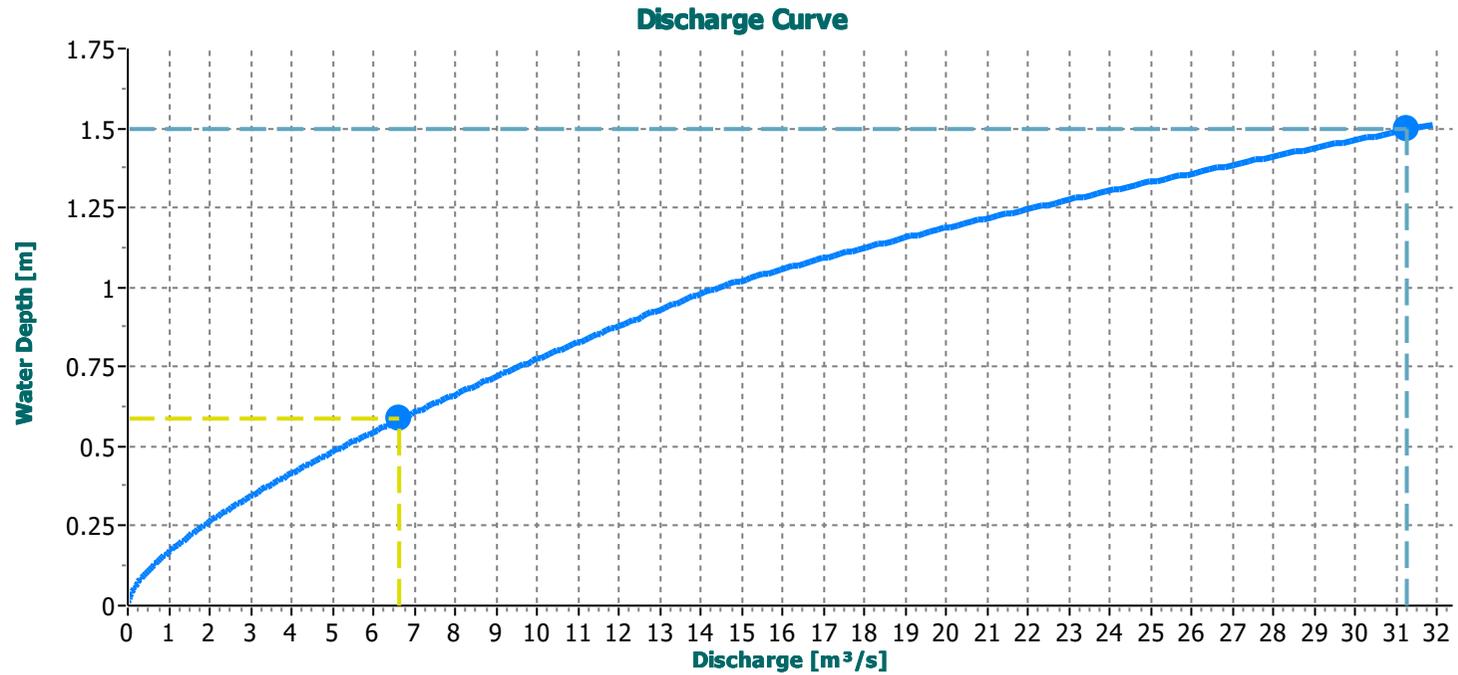
Freeboard [m]	0.92	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	10	
Water Depth [m]	0.58	
Froude Number	2.33	Supercritical Flow

	Total	Left Overbank	Main Channel	Right Overbank
Discharge [m ³ /s]	6.70	0	6.66	0
Cross Sectional Area [m ²]	1.21	0	1.21	0
Wetted Perimeter [m]	3.18	0	3.18	0
Hydraulic Radius [m]	0.38	0	0.38	0
Water Velocity [m/s]	5.51	0	5.51	0
Average Roughness	-	0.0301	0.0301	0.0301

Materials

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m ²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
Left Overbank	1	Gabions (1.00m) PoliMac™	-	0.0301	288.68	0.00	✓	Yes	0	✓	0.50
Left Overbank	2	Gabions (1.00m) PoliMac™	-	0.0301	470.40	0.00	✓	Yes	0	✓	0.50
Main Channel	3	Gabions (1.00m) PoliMac™	-	0.0301	288.68	285.08	✓	Yes	1.17	✓	1.01
Main Channel	4	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	470.40	380.11	✓	Yes	1.17	✓	2.00
Main Channel	5	Gabions (1.00m) PoliMac™	-	0.0301	288.68	285.08	✓	Yes	1.17	✓	1.01
Right Overbank	6	Gabions (1.00m) PoliMac™	-	0.0301	470.40	0.00	✓	Yes	0	✓	0.50
Right Overbank	7	Gabions (1.00m) PoliMac™	-	0.0301	288.68	0.00	✓	Yes	0	✓	0.50

Discharge Curve



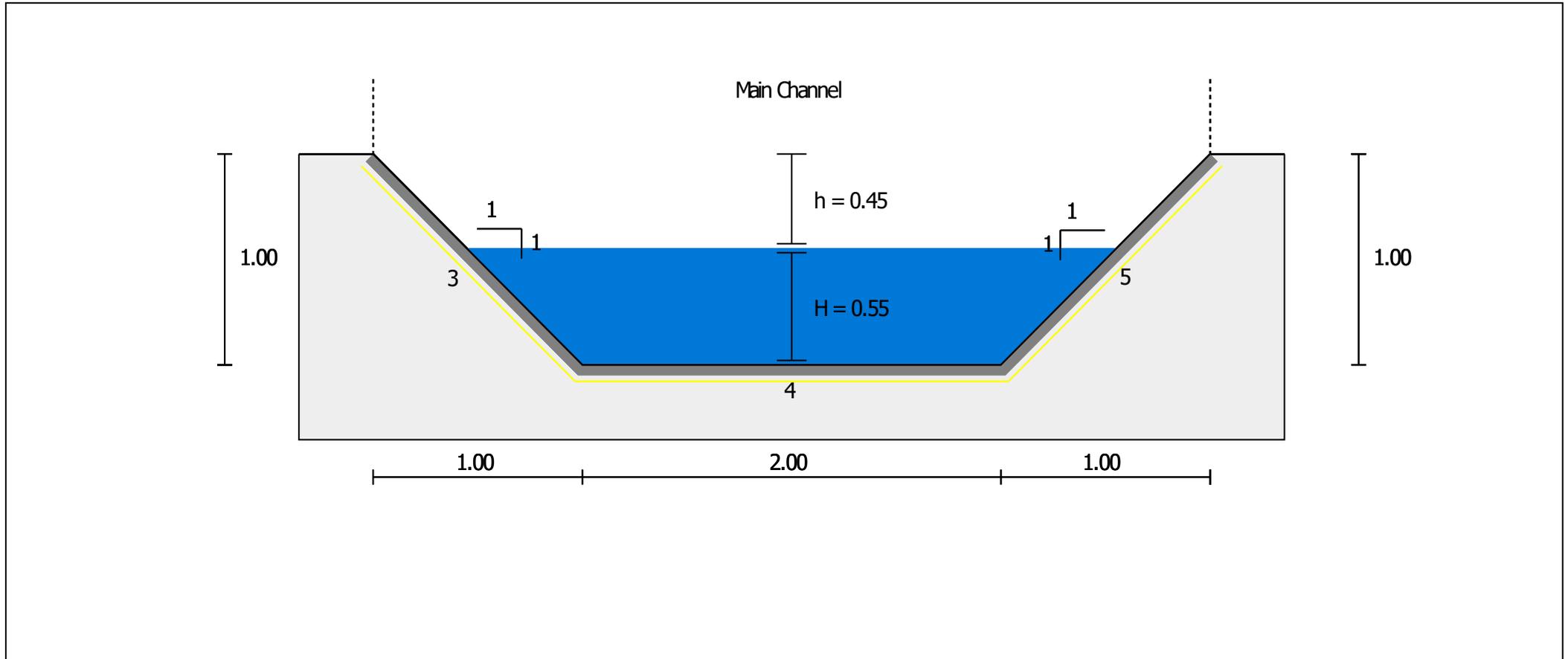
● Project Information

Date	Description
12-May-21	
Title IN87_TS57_TP60	
Number	
Client	
Author/Designer	

● Input

Discharge [m ³ /s]	6.7
Longitudinal Slope [%]	6
Freeboard [m]	0.00
Bending Radius [m]	-
Bending Side	-

Channel Design



● Results

Freeboard [m]	0.45	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	6	
Water Depth [m]	0.55	
Froude Number	2.26	Supercritical Flow

Total

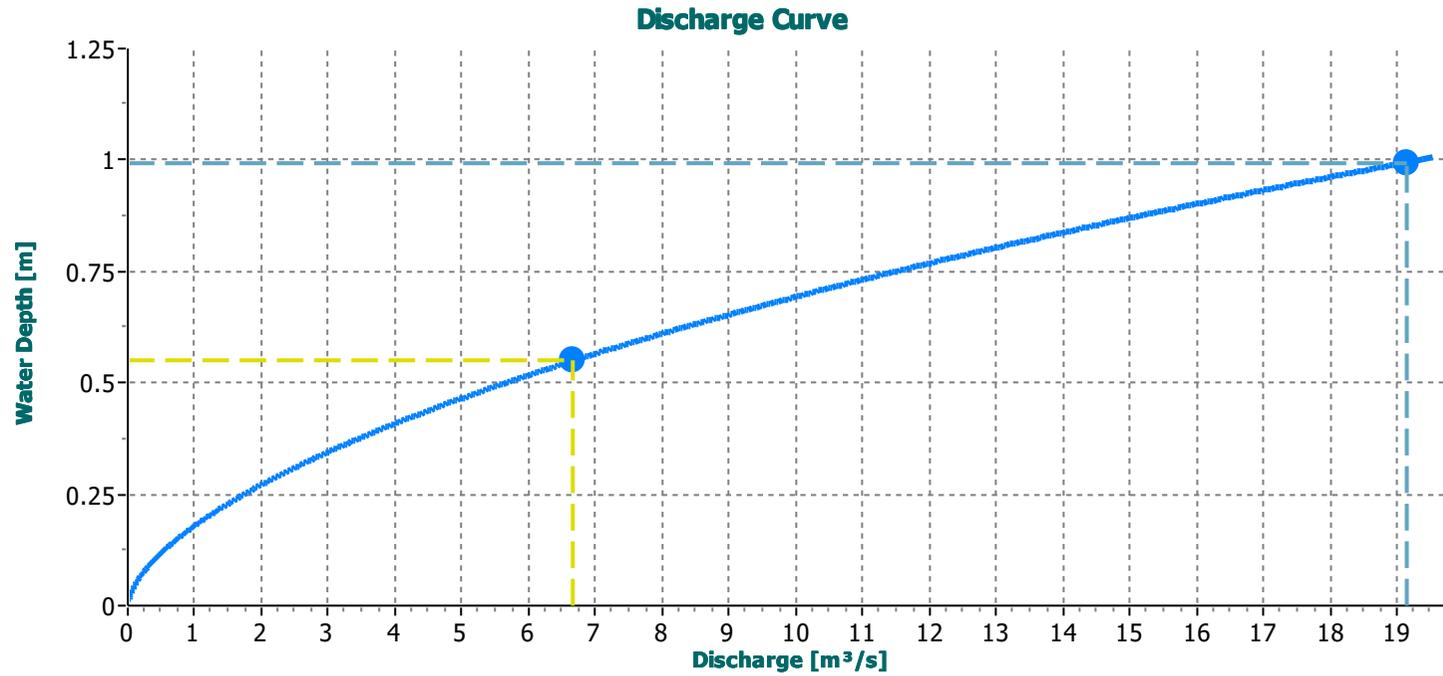
Main Channel

Discharge [m³/s]	6.70		6.70	
Cross Sectional Area [m²]	1.4		1.4	
Wetted Perimeter [m]	3.56		3.56	
Hydraulic Radius [m]	0.39		0.39	
Water Velocity [m/s]	4.76		4.76	
Average Roughness	-		0.0277	

Materials

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
Main Channel	3	Reno mattress (0.30m) PoliMac™	-	0.0277	193.99	177.50	✓	Yes	0.73	✓	1.41
Main Channel	4	Reno mattress (0.30m) PoliMac™	-	0.0277	336.00	236.67	✓	Yes	0.73	✓	2.00
Main Channel	5	Reno mattress (0.30m) PoliMac™	-	0.0277	193.99	177.50	✓	Yes	0.73	✓	1.41

Discharge Curve



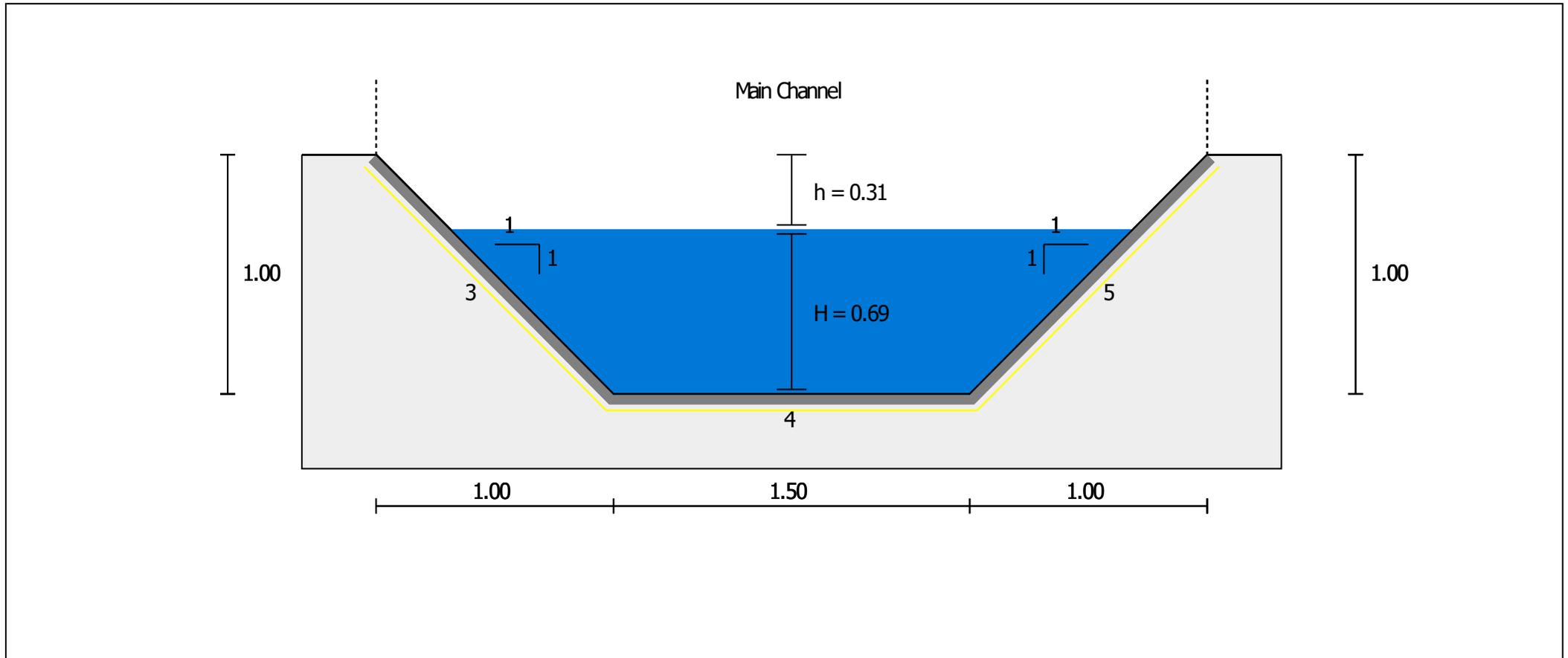
● Project Information

Date	Description
12-May-21	
Title IN90_TC68_TP62	
Number	
Client	
Author/Designer	

● Input

Discharge [m ³ /s]	8.2
Longitudinal Slope [%]	8
Freeboard [m]	0.00
Bending Radius [m]	-
Bending Side	-

Channel Design



● Results

Freeboard [m]	0.31	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	8	
Water Depth [m]	0.69	
Froude Number	2.39	Supercritical Flow

Total

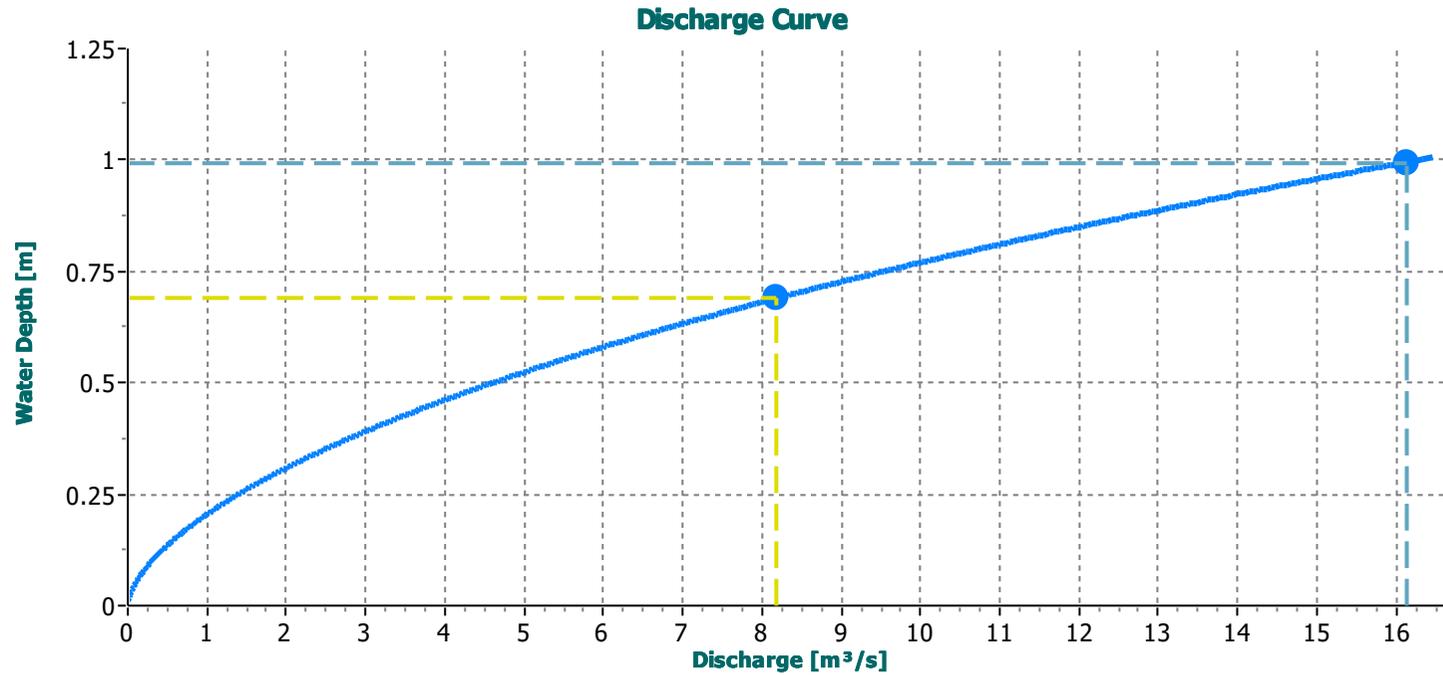
Main Channel

Discharge [m³/s]	8.20		8.20	
Cross Sectional Area [m²]	1.51		1.51	
Wetted Perimeter [m]	3.45		3.45	
Hydraulic Radius [m]	0.44		0.44	
Water Velocity [m/s]	5.42		5.42	
Average Roughness	-		0.0301	

Materials

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
Main Channel	3	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	262.68	✓	Yes	1.05	✓	1.41
Main Channel	4	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	470.40	350.24	✓	Yes	1.05	✓	1.50
Main Channel	5	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	262.68	✓	Yes	1.05	✓	1.41

Discharge Curve



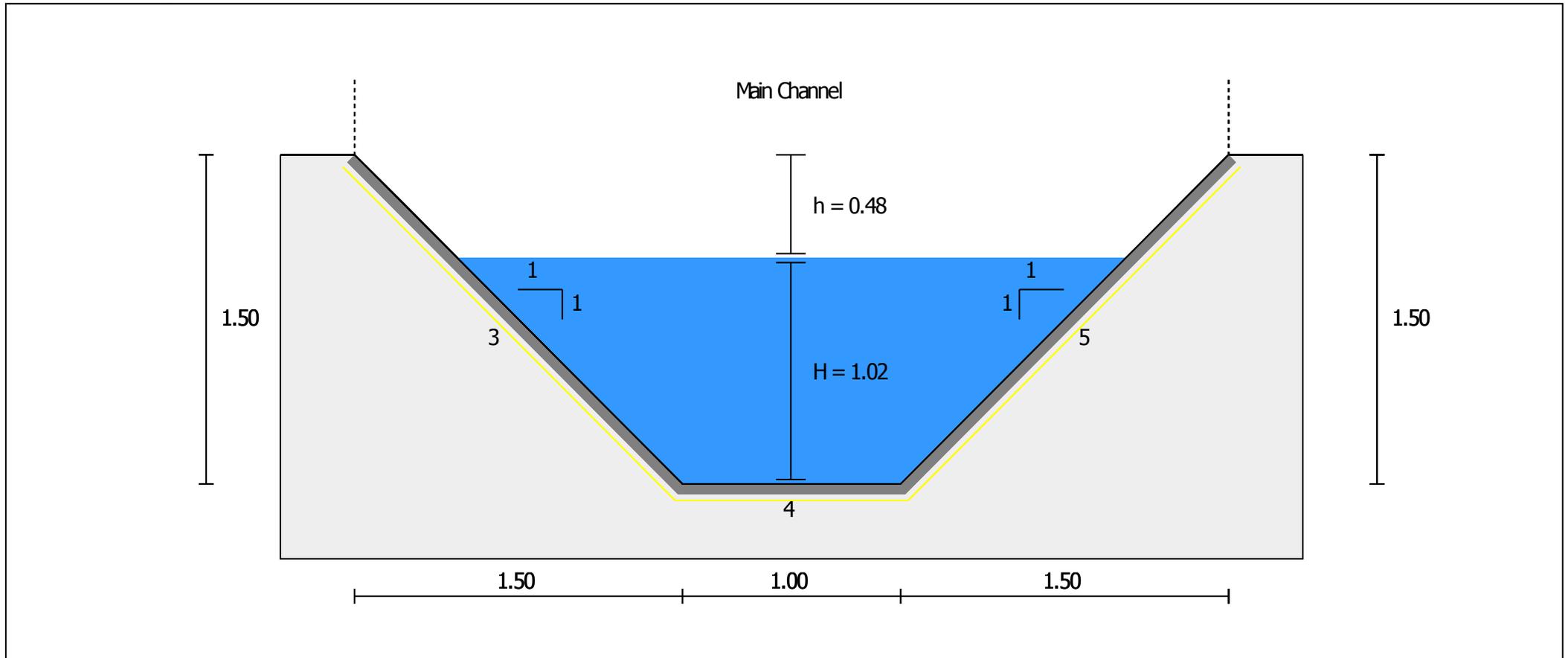
● Project Information

Date	Description
07/01/2020	
Title IN98_TP66	
Number	
Client	
Author/Designer	

● Input

Discharge [m ³ /s]	8.50
Longitudinal Slope [%]	3
Freeboard [m]	0.00
Bending Radius [m]	-
Bending Side	-

Channel Design



● Results

Freeboard [m]	0.48	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	3	
Water Depth [m]	1.02	
Froude Number	1.59	Supercritical Flow

Total

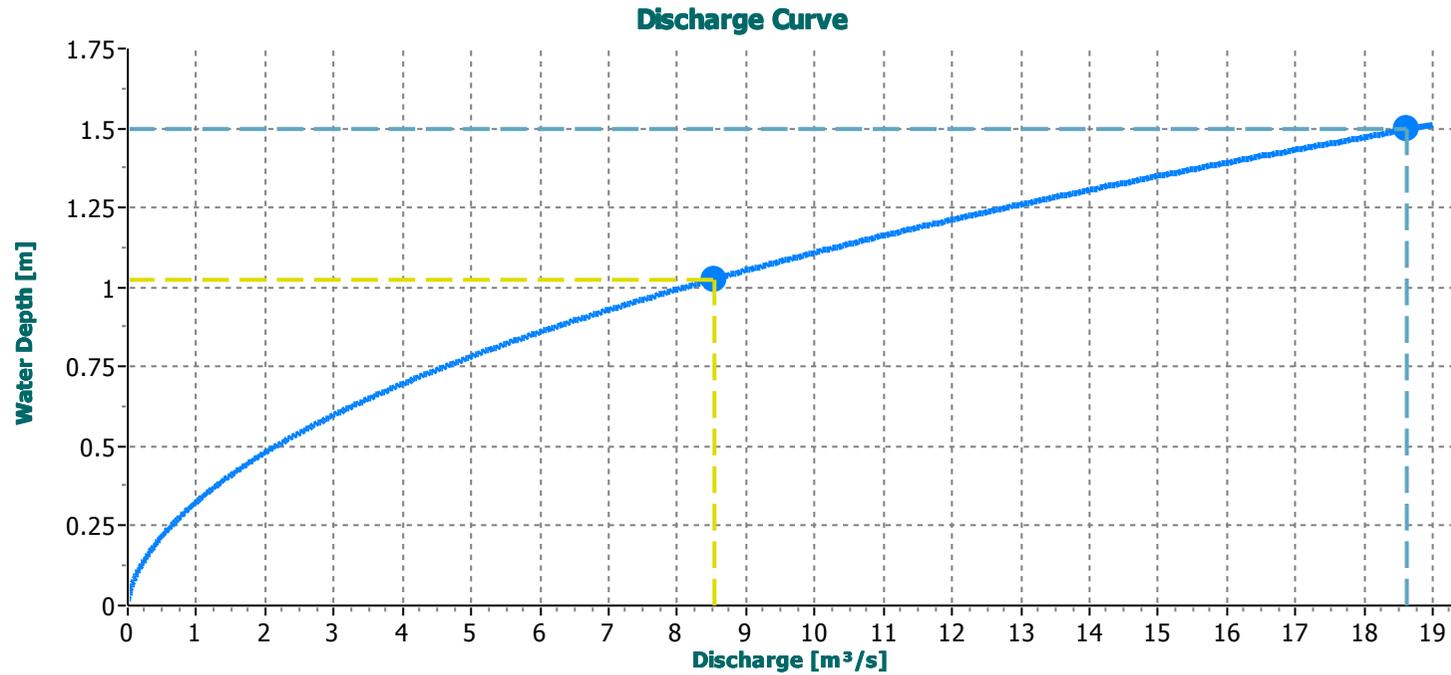
Main Channel

Discharge [m³/s]	8.50		8.50	
Cross Sectional Area [m²]	2.08		2.08	
Wetted Perimeter [m]	3.9		3.9	
Hydraulic Radius [m]	0.53		0.53	
Water Velocity [m/s]	4.11		4.11	
Average Roughness	-		0.0277	

Materials

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
Main Channel	3	Reno mattress (0.30m) PoliMac™	-	0.0277	193.99	119.77	✓	Yes	0.51	✓	2.12
Main Channel	4	Reno mattress (0.30m) PoliMac™	-	0.0277	336.00	159.70	✓	Yes	0.51	✓	1.00
Main Channel	5	Reno mattress (0.30m) PoliMac™	-	0.0277	193.99	119.77	✓	Yes	0.51	✓	2.12

Discharge Curve



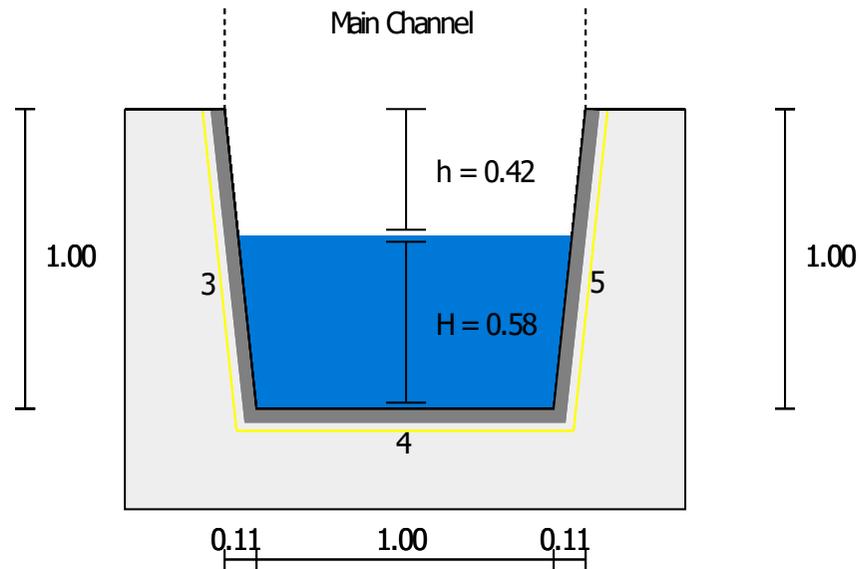
● Project Information

Date	Description
12-May-21	
Title IN104_TP70	
Number	
Client	
Author/Designer	

● Input

Discharge [m ³ /s]	2.50
Longitudinal Slope [%]	8
Freeboard [m]	0.00
Bending Radius [m]	-
Bending Side	-

Channel Design



● Results

Freeboard [m]	0.42	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	8	
Water Depth [m]	0.58	
Froude Number	1.75	Supercritical Flow

Total

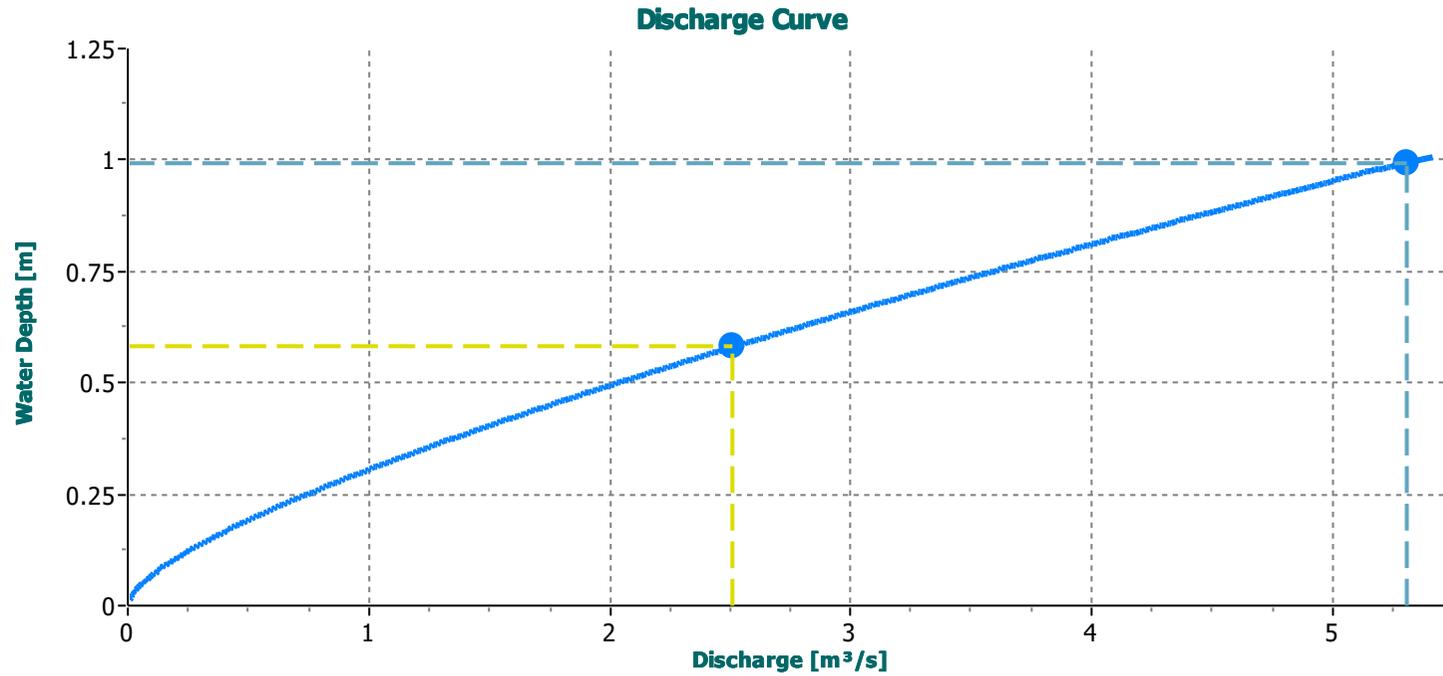
Main Channel

Discharge [m³/s]	2.50		2.50	
Cross Sectional Area [m²]	0.62		0.62	
Wetted Perimeter [m]	2.17		2.17	
Hydraulic Radius [m]	0.28		0.28	
Water Velocity [m/s]	4.07		4.07	
Average Roughness	-		0.0301	

Materials

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
Main Channel	3	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	170.82	✓	Yes	1.05	✓	1.01
Main Channel	4	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	470.40	227.75	✓	Yes	1.05	✓	1.00
Main Channel	5	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	170.82	✓	Yes	1.05	✓	1.01

Discharge Curve



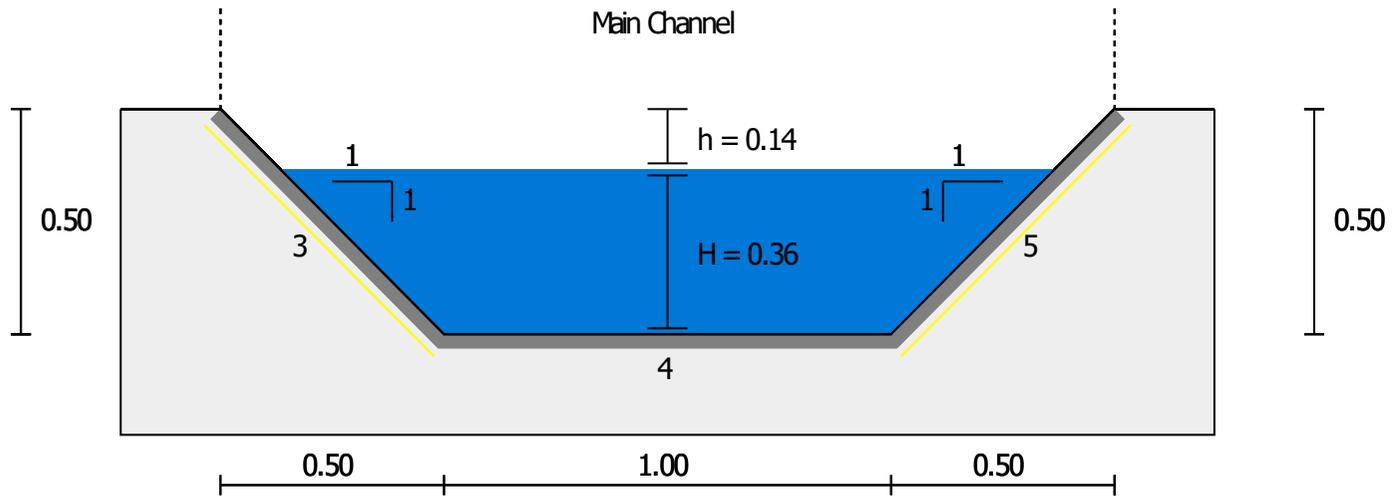
● Project Information

Date	Description
12-May-21	
Title TP30-TS29c	
Number	
Client	
Author/Designer	

● Input

Discharge [m ³ /s]	2.4
Longitudinal Slope [%]	6
Freeboard [m]	0.00
Bending Radius [m]	-
Bending Side	-

Channel Design



● Results

Freeboard [m]	0.14	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	6	
Water Depth [m]	0.36	
Froude Number	2.85	Supercritical Flow

Total

Main Channel

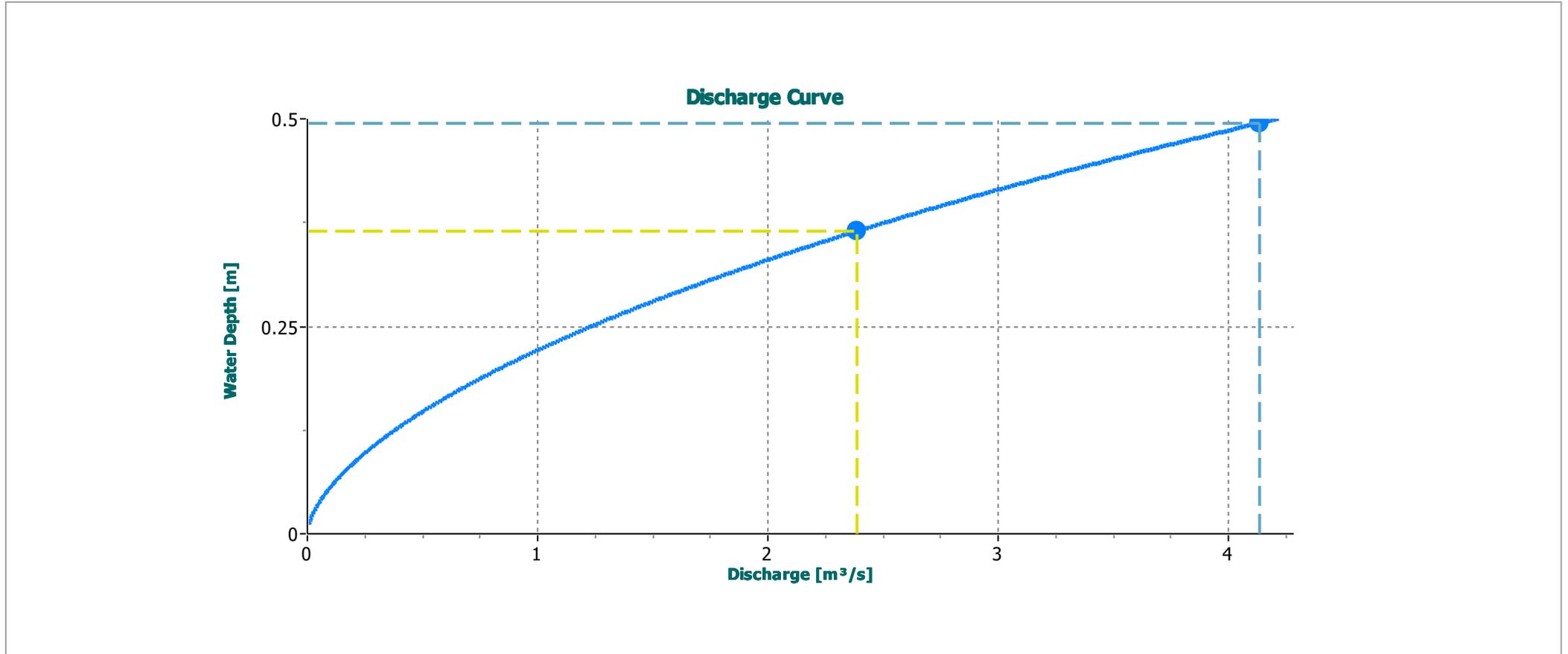
Discharge [m³/s]	2.40		2.40	
Cross Sectional Area [m²]	0.5		0.5	
Wetted Perimeter [m]	2.03		2.03	
Hydraulic Radius [m]	0.25		0.25	
Water Velocity [m/s]	4.8		4.8	
Average Roughness	-		0.02	

Materials

*The behavior of customized products is not responsibility of Maccaferri. These products have not been developed or tested by Maccaferri.

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
Main Channel	3	*Custom Concrete	-	0.02	1000.00	110.31	✓	Yes	0	✓	0.71
Main Channel	4	*Custom Concrete	-	0.02	1000.00	147.09	✓	-	0.00	✓	1.00
Main Channel	5	*Custom Concrete	-	0.02	1000.00	110.31	✓	Yes	0	✓	0.71

Discharge Curve



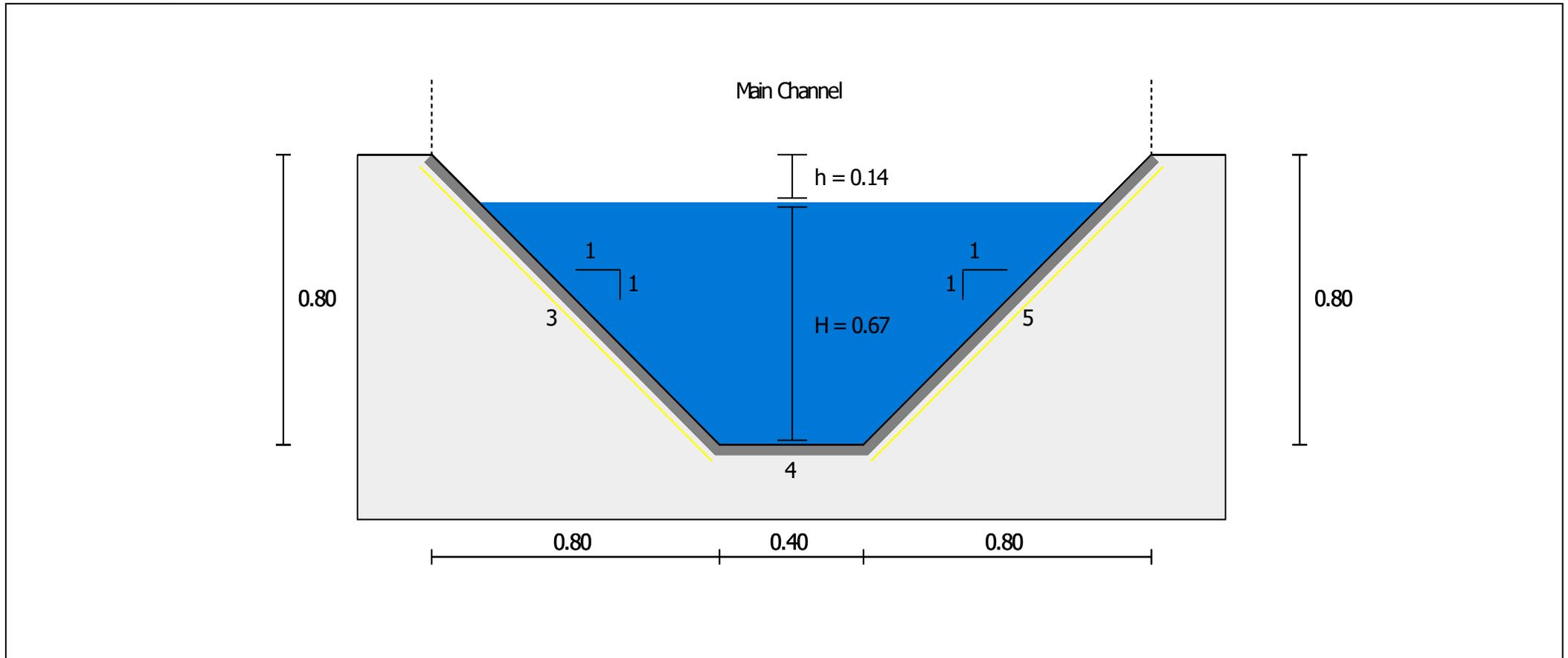
● Project Information

Date	Description
12-May-21	
Title TP31_TS29	
Number	
Client	
Author/Designer	

● Input

Discharge [m ³ /s]	4
Longitudinal Slope [%]	6
Freeboard [m]	0.00
Bending Radius [m]	-
Bending Side	-

Channel Design



● Results

Freeboard [m]	0.14	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	6	
Water Depth [m]	0.67	
Froude Number	2.8	Supercritical Flow

Total

Main Channel

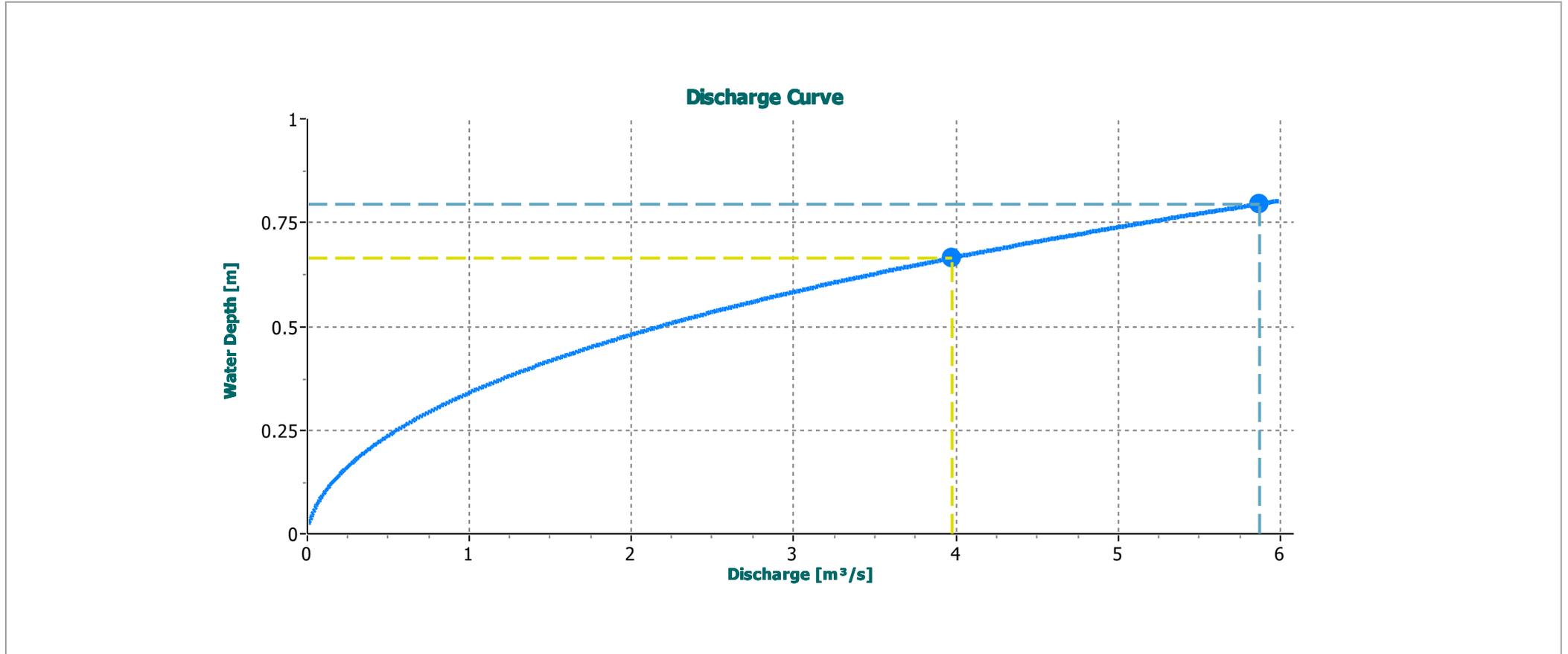
Discharge [m³/s]	4.00		4.00	
Cross Sectional Area [m²]	0.71		0.71	
Wetted Perimeter [m]	2.28		2.28	
Hydraulic Radius [m]	0.31		0.31	
Water Velocity [m/s]	5.62		5.62	
Average Roughness	-		0.02	

Materials

*The behavior of customized products is not responsibility of Maccaferri. These products have not been developed or tested by Maccaferri.

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
Main Channel	3	*Custom Concrete	-	0.02	1000.00	139.73	✓	Yes	0	✓	1.13
Main Channel	4	*Custom Concrete	-	0.02	1000.00	186.30	✓	-	0.00	✓	0.40
Main Channel	5	*Custom Concrete	-	0.02	1000.00	139.73	✓	Yes	0	✓	1.13

Discharge Curve



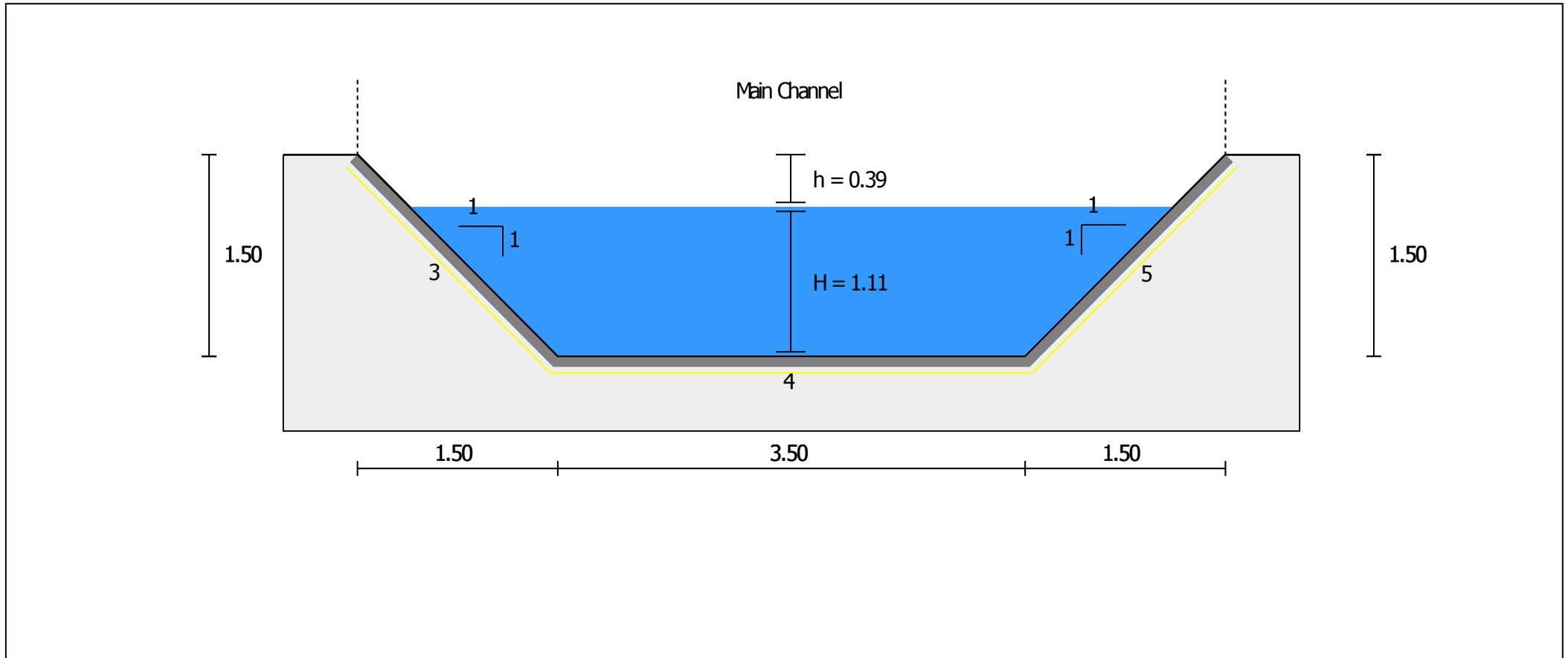
● Project Information

Date	Description
05-Feb-20	
Title TS26_MONTE	
Number	
Client	
Author/Designer	

● Input

Discharge [m ³ /s]	22
Longitudinal Slope [%]	2
Freeboard [m]	0.00
Bending Radius [m]	-
Bending Side	-

Channel Design



● Results

Freeboard [m]	0.39	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	2	
Water Depth [m]	1.11	
Froude Number	1.45	Supercritical Flow

Total

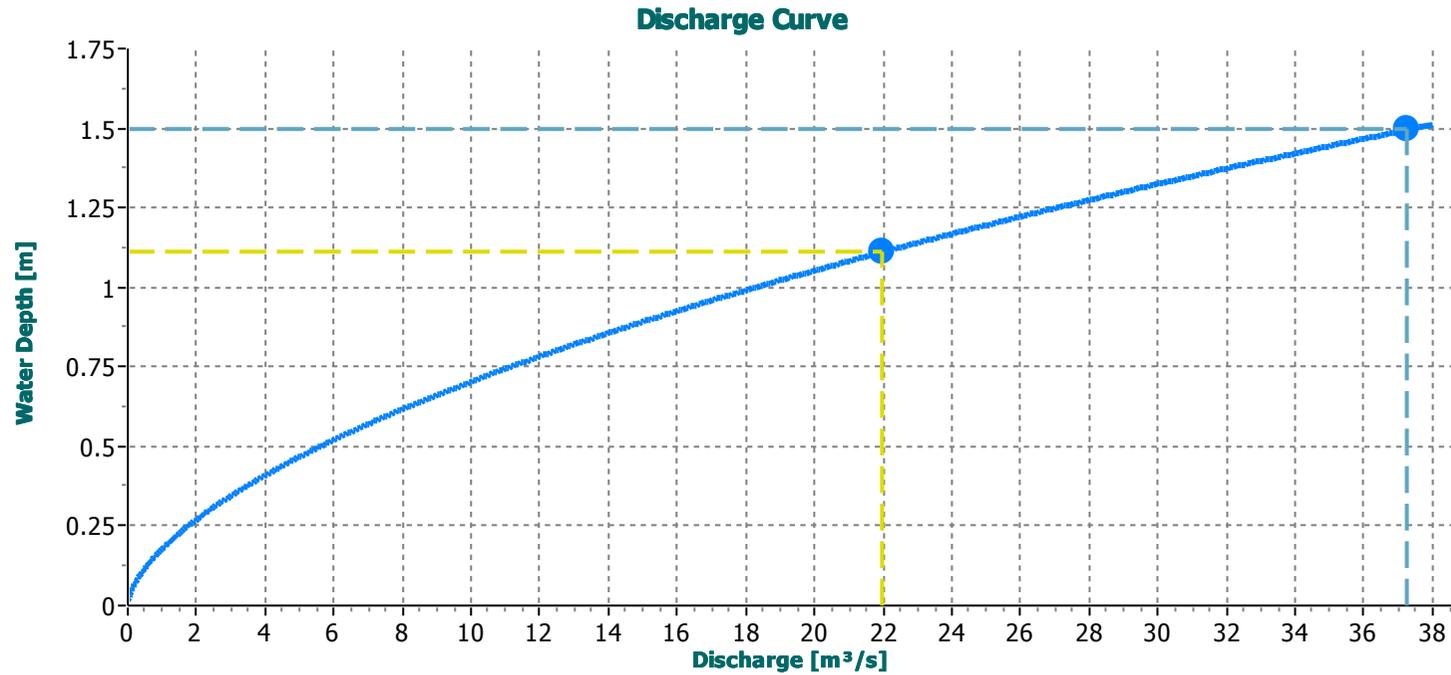
Main Channel

Discharge [m³/s]	22.00		22.00	
Cross Sectional Area [m²]	5.12		5.12	
Wetted Perimeter [m]	6.64		6.64	
Hydraulic Radius [m]	0.77		0.77	
Water Velocity [m/s]	4.29		4.29	
Average Roughness	-		0.0277	

Materials

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
Main Channel	3	Reno mattress (0.30m) PoliMac™	-	0.0277	193.99	115.60	✓	Yes	0.42	✓	2.12
Main Channel	4	Reno mattress (0.30m) PoliMac™	-	0.0277	336.00	154.14	✓	Yes	0.42	✓	3.50
Main Channel	5	Reno mattress (0.30m) PoliMac™	-	0.0277	193.99	115.60	✓	Yes	0.42	✓	2.12

Discharge Curve



ALLEGATO DI CALCOLO – NOTA DI CALCOLO POZZETTO IN CLS GETTATO IN OPERA TP77

Sommario

1	PREMESSA.....	3
2	VERIFICA STRUTTURALE POZZETTO DI RACCORDO SOTTO VIABILITA' 38A IN ADIACENZA S.S. 121	5
2.1	CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI	6
2.2	CARATTERISTICHE DEI TERRENI DI APPOGGIO E DEL RILEVATO	7
2.3	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	8
2.4	PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO	8
2.5	MODELLAZIONE STRUTTURALE	8
2.6	ANALISI DELLE AZIONI CHE AGISCONO SULLA STRUTTURA	12
2.6.1	Descrizione delle condizioni di carico elementari	12
2.6.2	Azione Sismica	17
2.7	DESCRIZIONE DELLE COMBINAZIONI DI CARICO	21
2.8	RISULTATI OTTENUTI E VERIFICHE SLU-SLV.....	22
2.8.1	Sollecitazioni SLU-SLV	22
2.8.2	Verifica Soletta Superiore SLU-SLV	34
2.8.3	Verifica Soletta Inferiore SLU-SLV.....	38
2.8.4	Verifica Piedritti SLU-SLV	42
2.8.5	Verifica SLE Soletta superiore.....	46
2.8.6	Verifica SLE Soletta inferiore	48
2.8.7	Verifica SLE Piedritti.....	50
2.9	ARMATURA.....	53

1 PREMESSA

La presente nota viene emessa come relazione strutturale di calcolo del pozzetto di raccordo da realizzare nell'ambito dei lavori relativi al tombino idraulico TP77 al di sotto della viabilità secondaria 38a parallela alla nuova SS121 di progetto, al di sotto del rilevato stradale.

Il rilevato ha una quota massima al di sopra della testa del pozzetto di circa 0,9 metri escluso il pacchetto stradale della viabilità.

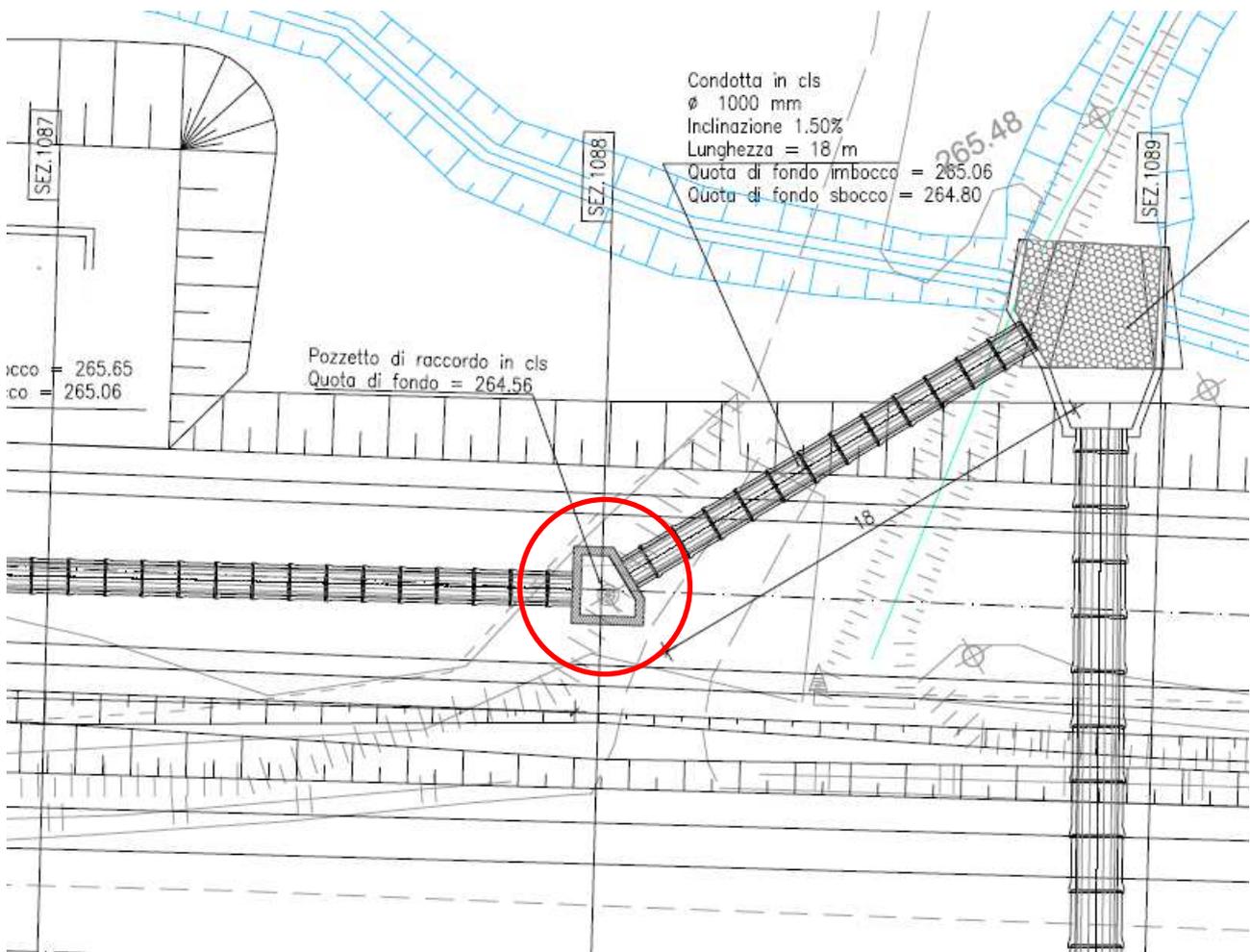


Figura 1 – Pozzetto di raccordo al di sotto della viabilità secondaria 38a parallela alla SS121 di progetto

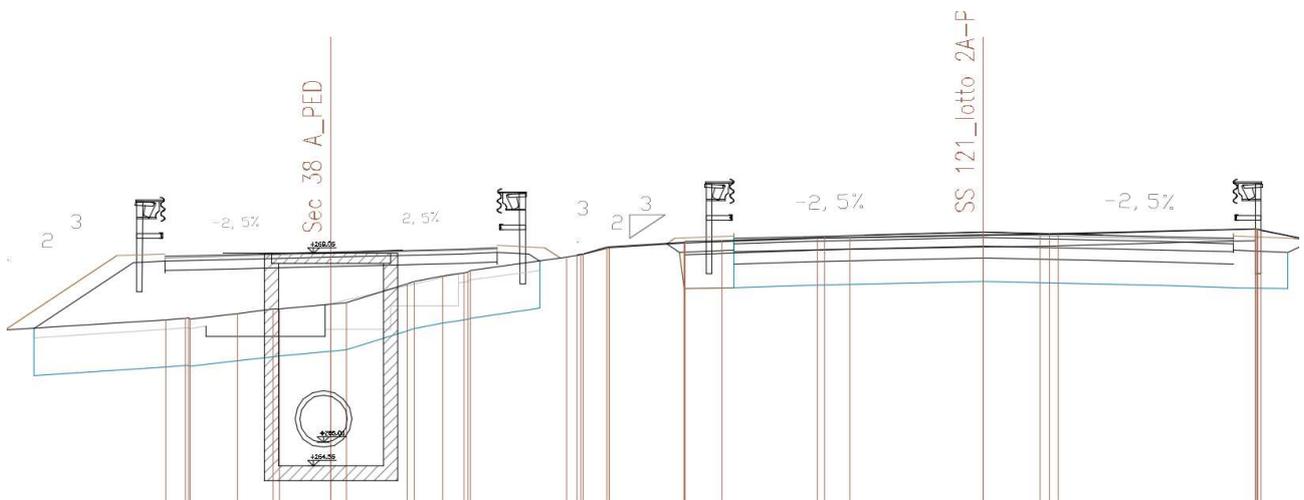


Figura 2 – Sezione longitudinale in corrispondenza del pozzetto di raccordo

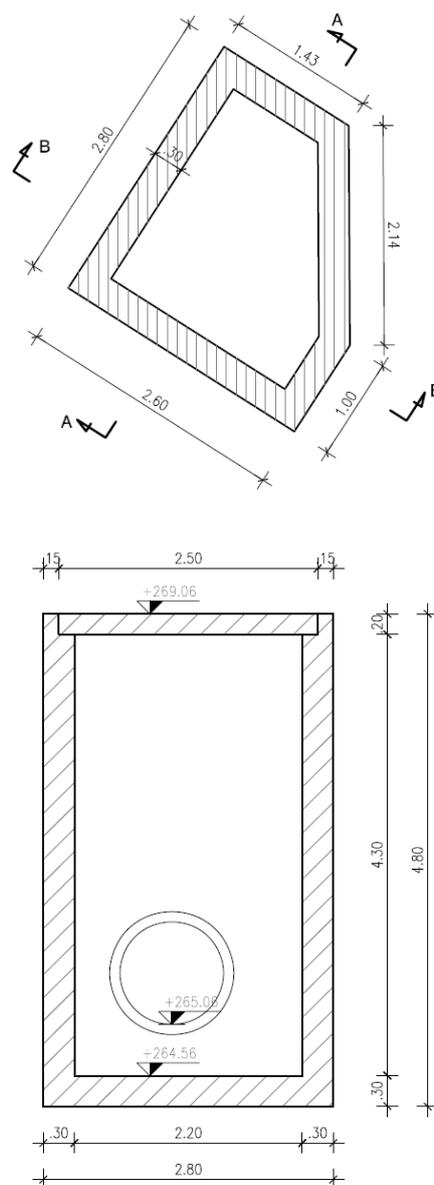
Nel seguito della nota è stata espletata la verifica strutturale del nuovo pozzetto di raccordo da realizzare al di sotto della viabilità secondaria 38a parallela alla SS121 di progetto.

2 VERIFICA STRUTTURALE POZZETTO DI RACCORDO SOTTO VIABILITA' 38A IN ADIACENZA S.S.

121

Nel presente capitolo è contenuto il calcolo strutturale e le verifiche di resistenza del pozzetto in opera descritto al precedente capitolo. Il manufatto ha lo scopo di realizzare un collegamento di raccordo per il tombino TP77 di progetto realizzato in tubolari prefabbricati.

La struttura presenta delle dimensioni esterne 2,60 x 2,80 m (con una risega in corrispondenza della deviazione) con uno spessore delle pareti di 30 cm e un'altezza di 4,80 metri



2.1 CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo per fondazioni classe C30/37 (fck=30;Rck=37)

Calcestruzzo per magrone di sottofondo classe C12/15 (fck=12;Rck=15)

Acciaio da cemento armato (DM 17/01/2018) e reti elettrosaldate

Acciaio ordinario per strutture in c.a e c.a.p.

B450C

Tensione caratteristica di snervamento

f_{yk}

≥ 450

Tensione caratteristica di rottura

f_t

≥ 540

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	$\geq f_{v\ nom}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	$\geq f_{t\ nom}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
	$< 1,35$	
$(f_v/f_{vnom})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$	$\geq 7,5\ %$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90 ° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
$\phi < 12\ mm$	4 ϕ	
$12 \leq \phi \leq 16\ mm$	5 ϕ	
per $16 < \phi \leq 25\ mm$	8 ϕ	
per $25 < \phi \leq 40\ mm$	10 ϕ	

prospetto 7.1N Valori raccomandati di w_{max} (mm)

Classe di esposizione	Elementi di calcestruzzo armato normale e precompresso con cavi non aderenti	Elementi precompressi con cavi aderenti
	Combinazione di carico quasi-permanente	Combinazione di carico frequente
X0, XC1	0,4 ¹	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ²
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3		Decompressione

Nota 1 Per le classi di esposizione X0, XC1, l'ampiezza delle fessure non influenza la durabilità e questo limite è posto per garantire un aspetto accettabile. In assenza di requisiti relativi all'aspetto questo limite può essere mitigato.

Nota 2 Per queste classi di esposizione, inoltre, si raccomanda che la decompressione sia verificata sotto la combinazione di carico quasi-permanente.

stato limite di apertura delle fessure, nel quale il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$w_1 = 0,2\ mm$

$w_2 = 0,3\ mm$

$w_3 = 0,4\ mm$

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

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

2.2 CARATTERISTICHE DEI TERRENI DI APPOGGIO E DEL RILEVATO

I terreni di appoggio dovranno essere in grado di assicurare una reazione uniforme. Pertanto qualora ci fossero dei dubbi sulla sua omogeneità, sarà necessario realizzare uno stato di sabbia e/o ghiaia ed un magro di adeguato spessore.

Le caratteristiche sono riassunte di seguito:

Caratteristiche rilevato:

$$\varphi = 38$$

$$C = 0$$

$$\gamma = 20$$

Caratteristiche terreno di fondazione:

LSA

$$\varphi = 20$$

$$C = 5$$

$$\gamma = 20$$

2.3 *NORMATIVE DI RIFERIMENTO*

Nel presente studio, si è fatto riferimento alla seguente normativa:

- D.M. 17/01/2018 – Aggiornamento delle “Nuove Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 7 del 2 gennaio 2019 - “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 Gennaio 2018”.

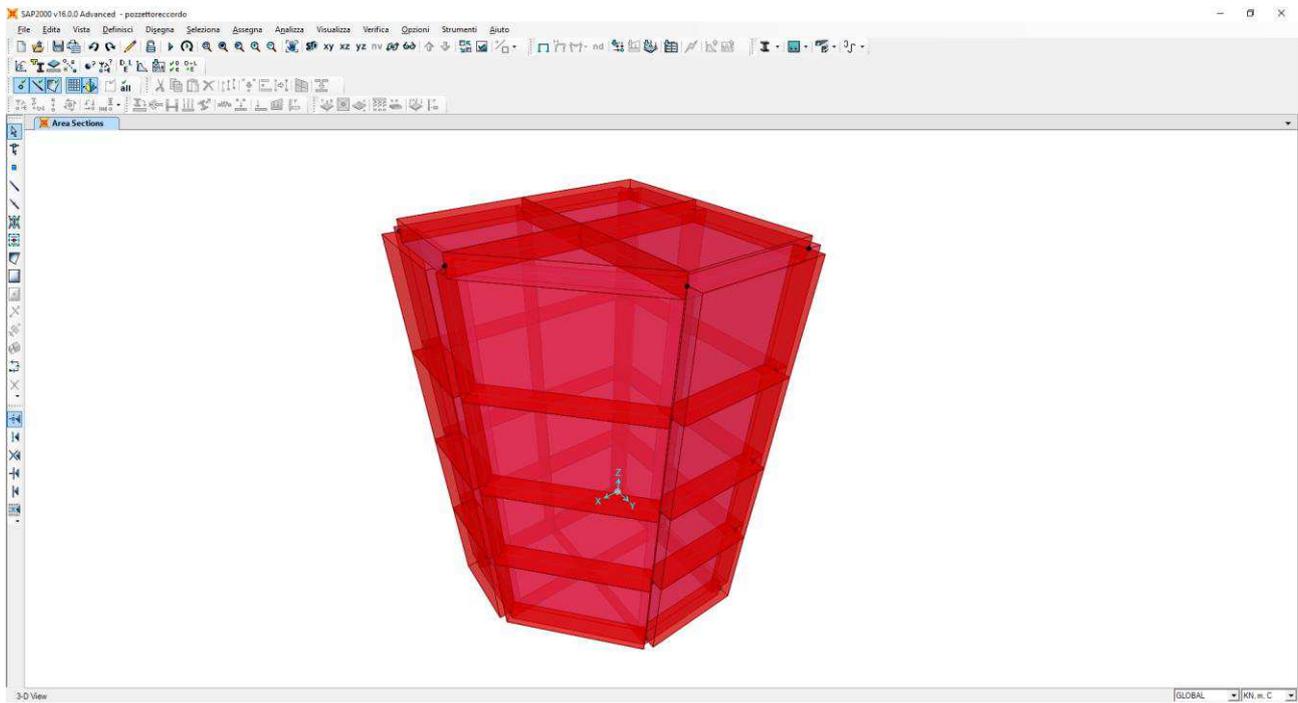
2.4 *PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO*

La modellazione della struttura e la rielaborazione dei risultati del calcolo sono stati effettuati con:

SAP2000 ©, versione 20 prodotto da Computers&Structures inc.

2.5 *MODELLAZIONE STRUTTURALE*

La modellazione strutturale considerata è quella tridimensionale completa del manufatto attraverso elementi shell di spessore pari a quello relativo all’elemento strutturale considerato.



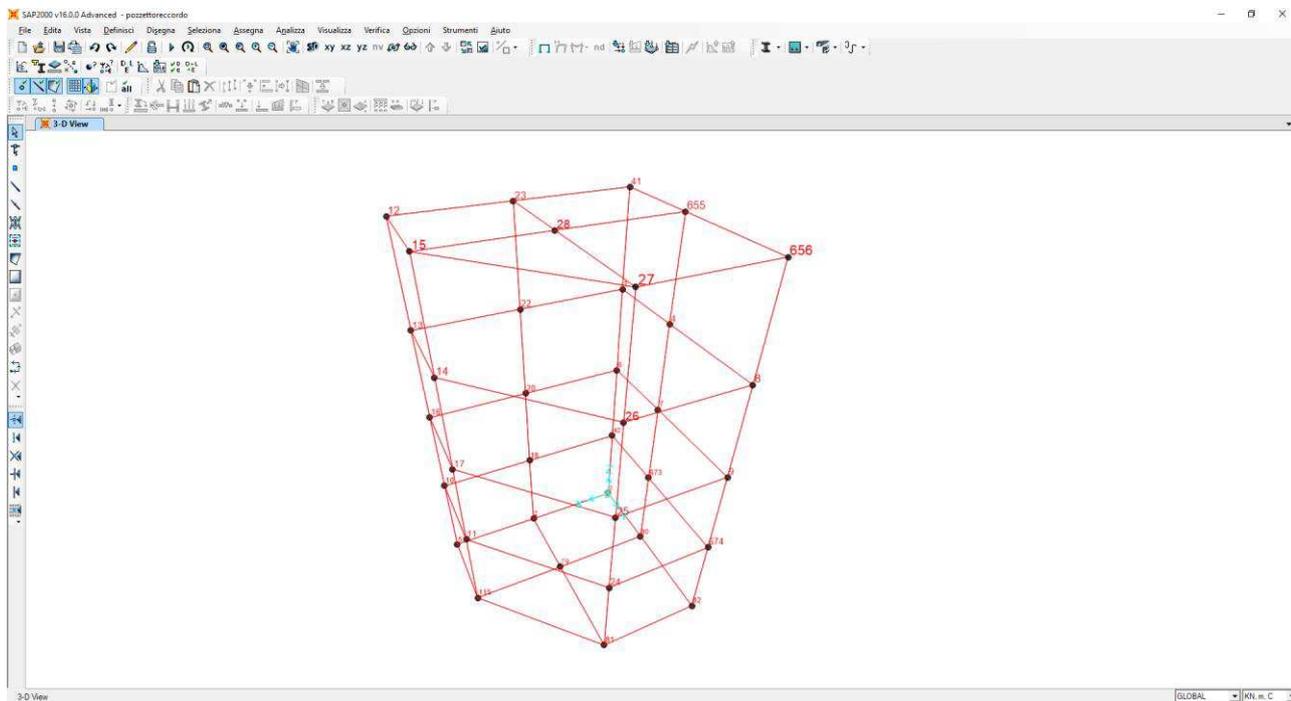
Il pozzetto è descritto come una struttura tridimensionale poggiata su suolo alla Winkler.

Per quanto riguarda la rigidezza delle molle alla Winkler si riporta il calcolo effettuato (teoria di Bowles):

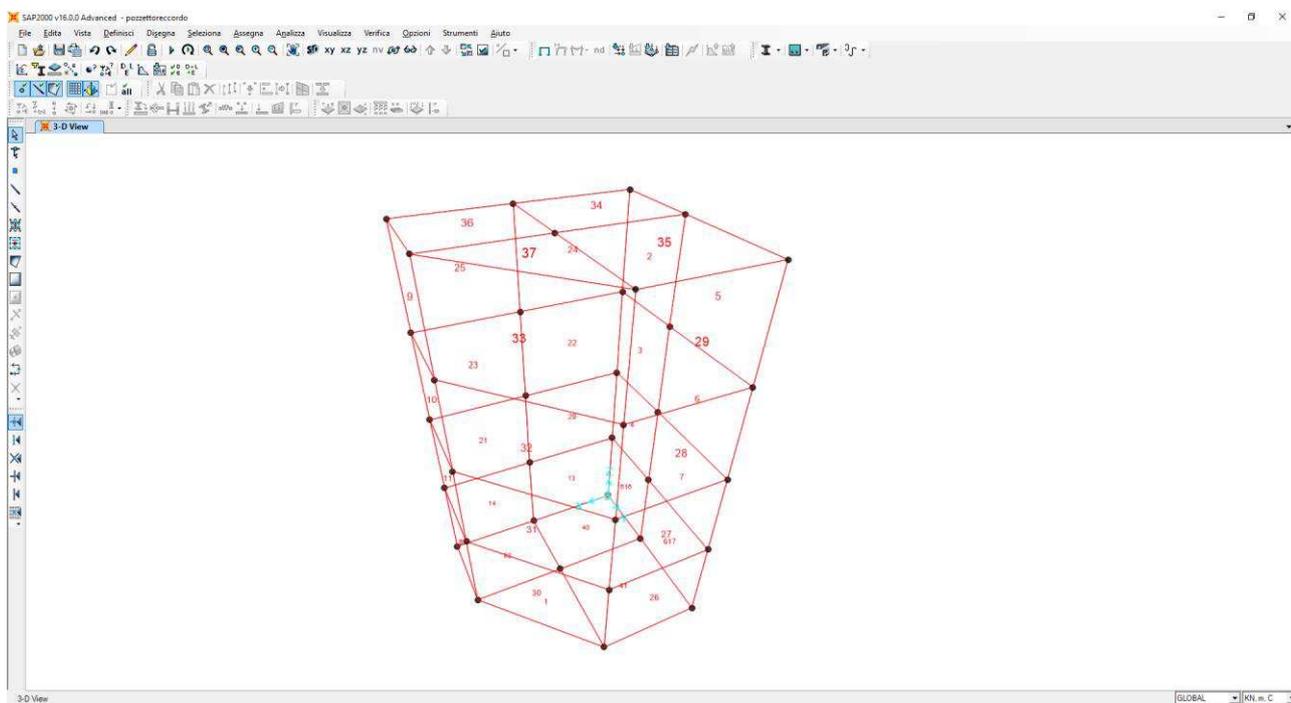
Parametri geotecnici del terreno					
Peso dell'unità di volume - terr. di fondazione saturo	(γ_{sat})	t/mc	2,00		
Peso dell'unità di volume - terr. di fond. immerso	(γ')	t/mc	1,00		
Angolo di attrito interno	(φ)	°	20,00		
Coesione	(c')	t/m ²	0,50		
Kp			4,20375		
Peso dell'unità di volume - terreno di riporto	(γ_r)	t/mc	2,00		
Peso dell'unità di volume - terreno di riporto saturo	$(\gamma_{r sat})$	t/mc	2,00		
Peso dell'unità di volume - terreno di riporto immerso	(γ'_r)	t/mc	1,00		
Peso specifico dell'acqua	(γ_w)	t/mc	1,00		
Caratteristiche geometriche della fondazione					
Larghezza fondazione	B	m	2,60		
Lunghezza fondazione	L	m	2,80		
Eccentricità larghezza	e _x	m	0,00		
Approfondimento	D	m	4,60		
Inclinazione carico	i	°	0,00		
Distanza (vedi schema)	a	m	4,60		
Larghezza ridotta	B'	m	2,60		
Coefficienti di fondazione					
Nq			48,9332	$e^{(\pi \cdot \text{tg } \varphi)}$	$\text{tg}^2 (45^\circ + \varphi/2)$
Ng			64,0736	(Nq - 1) tg	(1,4 φ)
Nc			61,3517	(Nq - 1) ctg	(φ)
Fattori di forma					
S _c			1,7807	1 + 0,2 * Kp	(B/L)
S _q = S _g			1,3903	1 + 0,1 * Kp	(B/L)
Fattori di profondità					
d _c			1,7255	1 + 0,2 Kp ^{1/2} * D/B	
d _q = d _g			1,3627	1 + 0,1 Kp ^{1/2} * D/B	
Fattori di inclinazione del carico					
i _q = i _c			1,0000	(1 - i°/90)²	
i _g			1,0000	(1 - i°/φ)²	

As =	C	x	(	Nc	x	c	x	sc	+	0,50	x	Ny	x	sy	x	B	x	γ) =
=	40,00	x	(	61,35	x	0,50	x	1,78	+	0,50	x	64,07	x	1,39	x	2,60	x	2000,00) =
=	40,00	x	(	54,62	+	231619,91	) =	9266981,43											
Bs =	C	x	(	Nq	x	sq	x	γ) =										
=	40,00	x	(	48,93	x	1,39	x	2000,00	) =	5442730,34									
As +	Bs	x	z	=	34303541,02	kg/mc	=	34,30	kg/cm	=	343035,41	KN/mc							

La numerazione dei nodi e degli elementi è illustrata nella figura sotto riportata:



Schematizzazione modello – Numerazione nodi



Schematizzazione modello – Numerazione elementi

Le verifiche sono state condotte con il metodo degli stati limite. Non è stata considerata la pressione dell'acqua all'interno del manufatto in quanto opposta e della stessa entità di quella del terreno.

Limiti di apertura delle fessure in condizioni ambientali molto aggressive e per armature poco sensibili:

-quasi permanente :

$w < 0.2 \text{ mm}$

Per strutture contenenti liquidi: $x_d/h > 0.2$

2.6 ANALISI DELLE AZIONI CHE AGISCONO SULLA STRUTTURA

2.6.1 Descrizione delle condizioni di carico elementari

Si riporta di seguito il calcolo dei carichi e sovraccarichi permanenti, dei carichi mobili, delle coazioni e delle azioni sismiche.

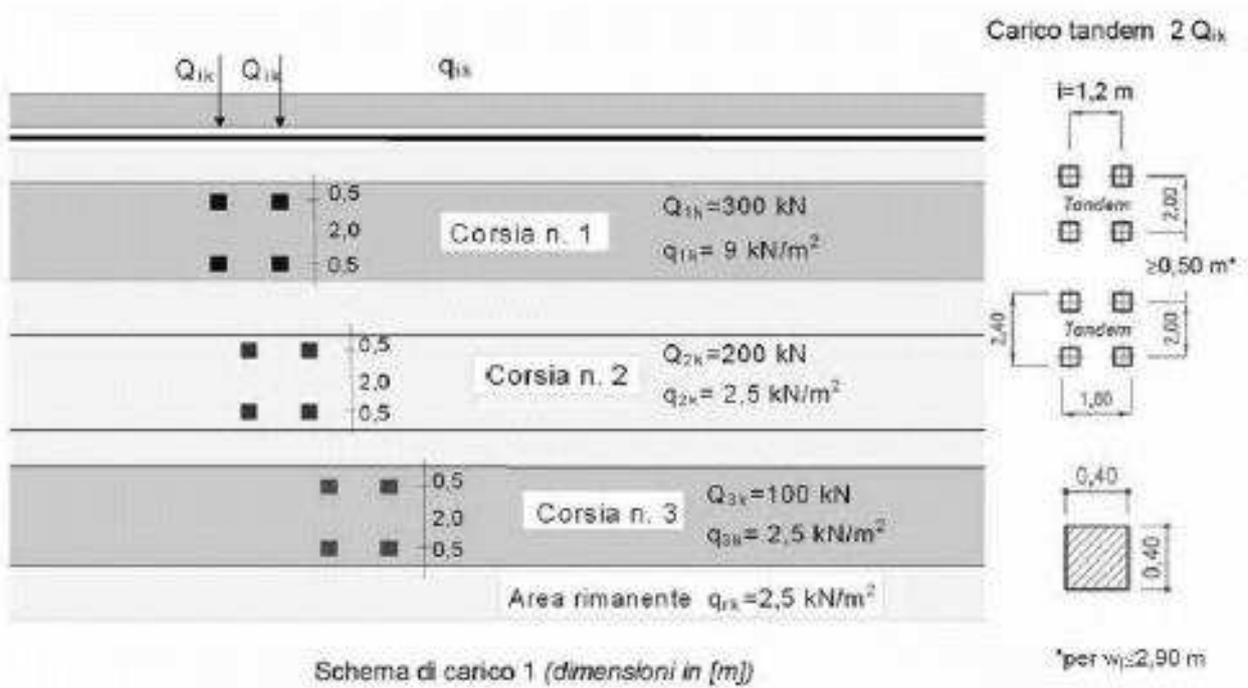
Condizioni di carico 1 e 2: Peso Permanente e Permanente portato

Carichi Permanenti			
peso specifico cls	γ_{cls}	25	KN/m ³
soletta sup SSUP	P1	5	KN/m ²
soletta inf SINF	P2	7,5	KN/m ²
piedritti SP	P3	7,5	KN/m ²

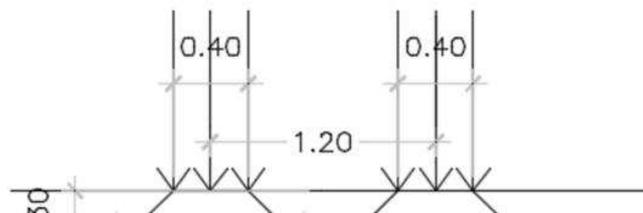
Il pozzetto arriva fino a quota viabilità, non vi sono oltre al peso proprio altri carichi permanenti portati

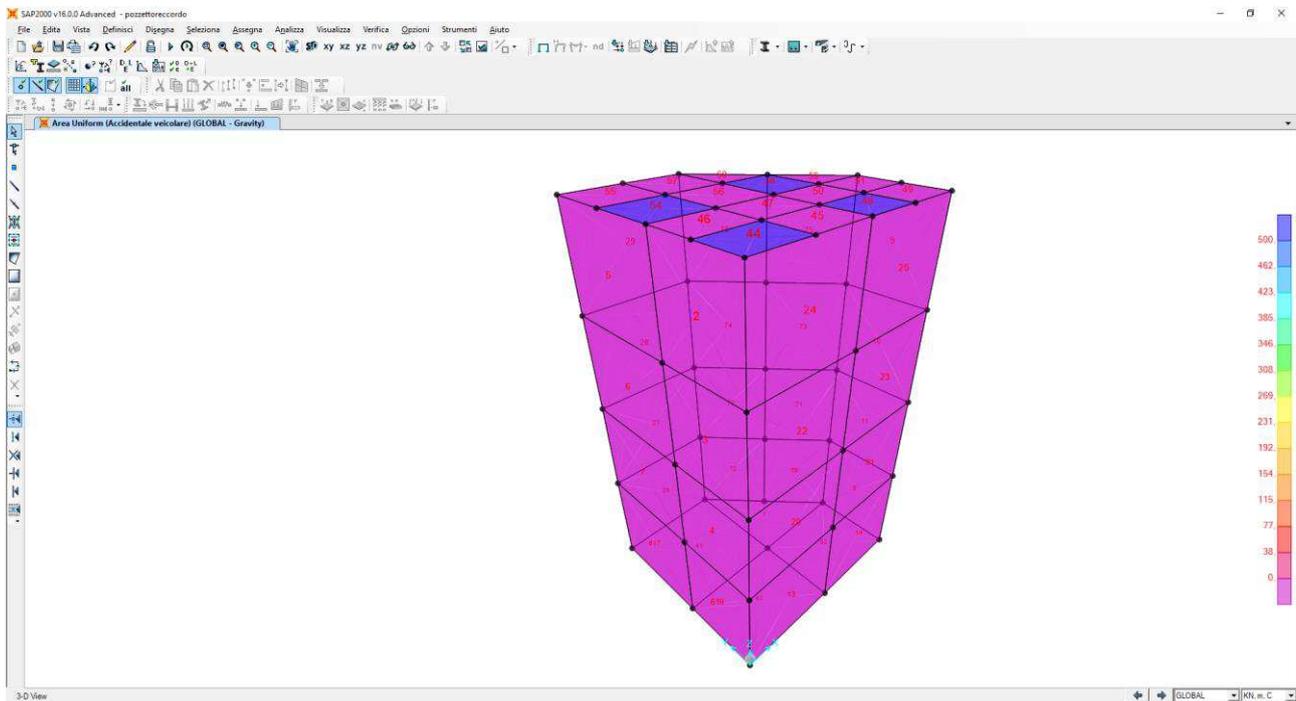
Condizioni di Carico 3 e 4: Sovraccarichi accidentali sulla soletta superiore (carico veicolare)

Il manufatto è stato progettato in modo da resistere alle azioni previste per le strade di la categoria ed in particolare per le azioni dello schema da 600 kN denominato schema 1. Questo schema di carico prevede la presenza di 4 assi da 150 kN posti ad un interasse longitudinale di 2 m e trasversale di 1.20 m



Le aree di impronta di questi assi sono, al livello della pavimentazione di 40x40 cm, pertanto si considera il carico di 150 kN distribuito su una superficie 40x40 cm. a distanze 1,2 x 2 metri.





spinta orizzontale sui piedritti :

sovraccarico medio 10 KN/mq, $K_0 = 0.384$ (coeffic. spinta orizz.)

spinta a riposo : $20 * 0.384 = 7,69$ KN/mq

Condizioni di carico 5: spinta dovuta al terreno

Per la valutazione delle spinte laterali è stato considerato :

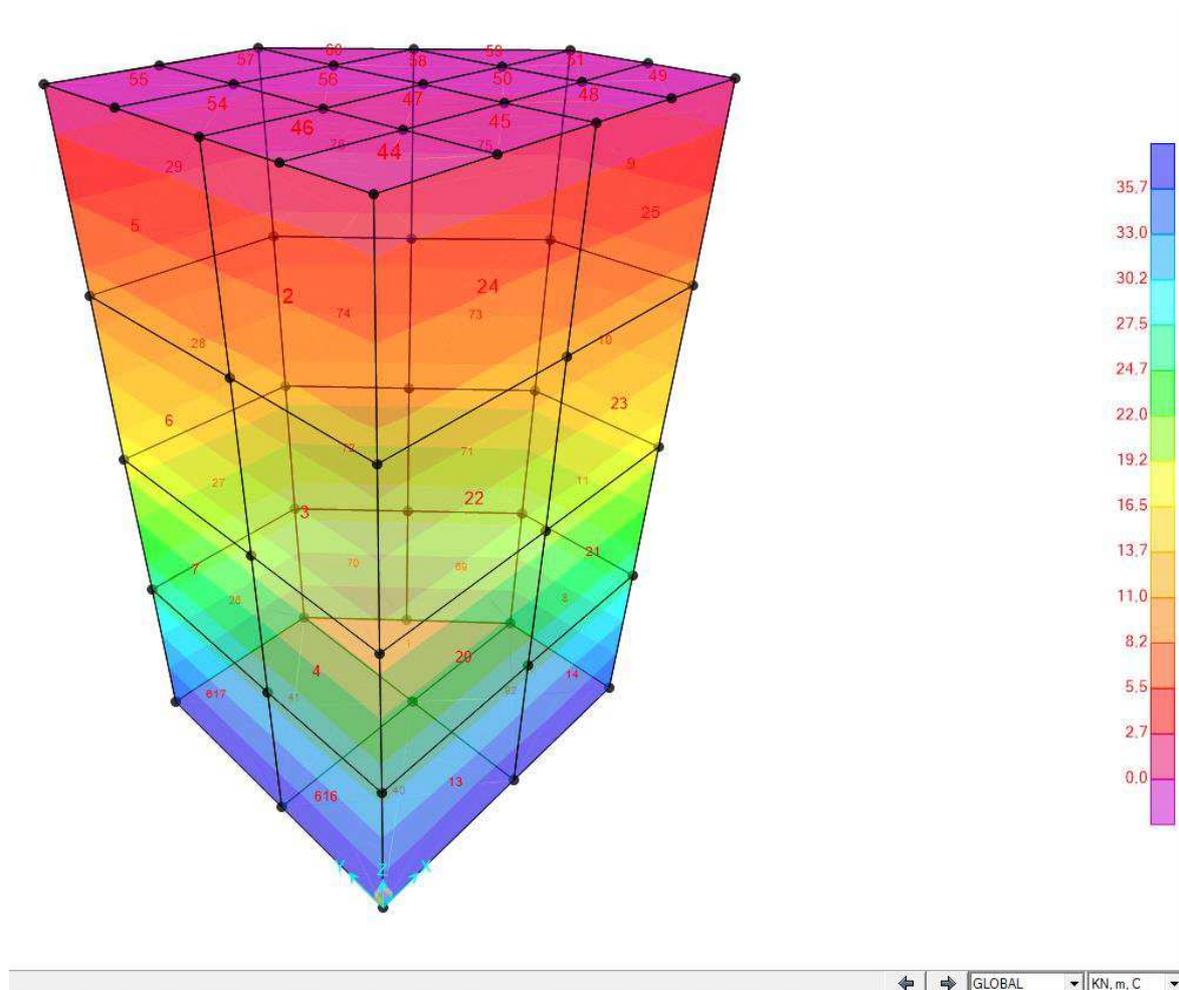
$\gamma = 20$ KN/mc

$\phi = 38^\circ$

Nel caso in cui i terreni laterali non siano in grado di assicurare tali caratteristiche sarà cura della impresa esecutrice effettuare un rinterro con materiale di adeguate caratteristiche.

La spinta sui piedritti è stata valutata considerando il coefficiente di spinta a riposo: $K_0 = 0.384$.

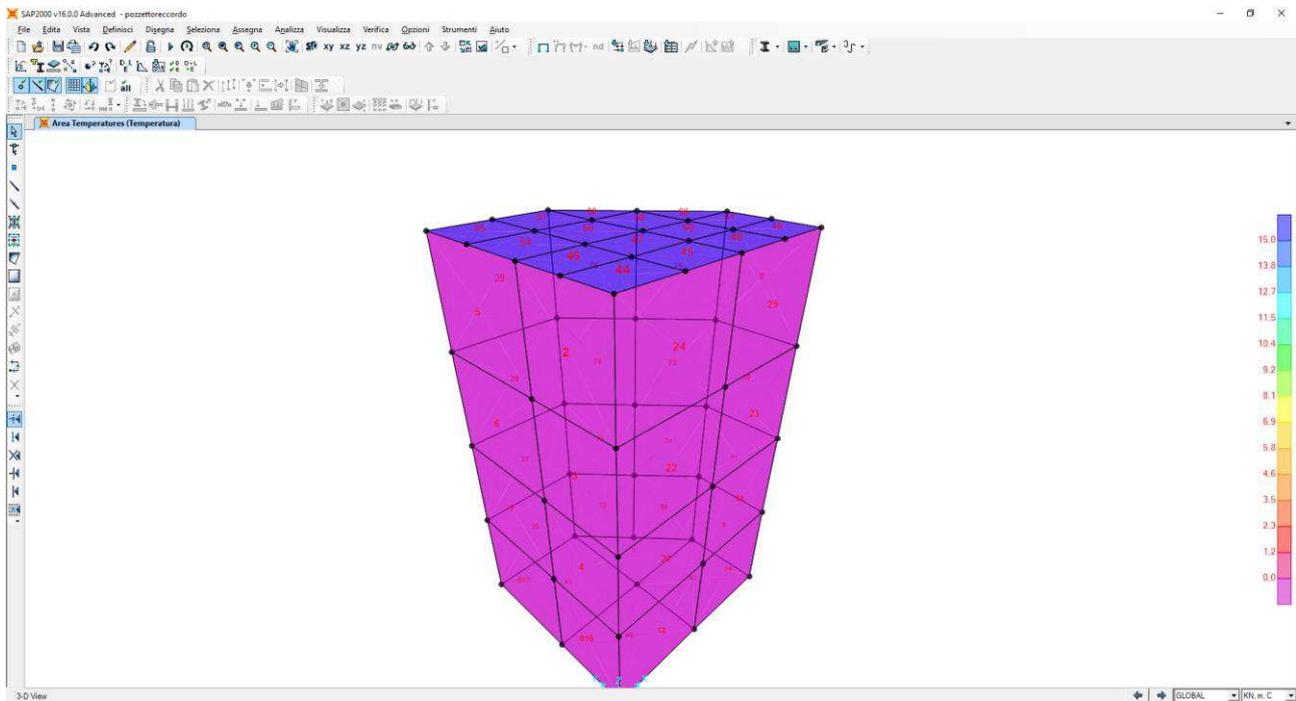
peso specifico terreno γ_{ter}	20	KN/m ³
angolo d'attrito	38	gradi
coeff. di spinta a riposo k_0	0,384	
pss	0,769	KN/m ²
pis	35,74	KN/m ²
sovraccarico accidentale del terreno	7,69	KN/m ²



Condizione di carico 6: variazione termica

La condizione di carico 6 prende in esame gli effetti della variazione termica.

Si applica una variazione termica uniforme alla sola soletta superiore pari a: $DT = \pm 15$ gradi ed una variazione termica differenziale tra estradosso ed intradosso pari a ± 5 gradi. Poiché la variazione di temperatura uniformi si può considerare come un fenomeno lento, valgono le stesse considerazioni svolte per il ritiro, ossia si assume una variazione pari a $1/3$ di 15 gradi.

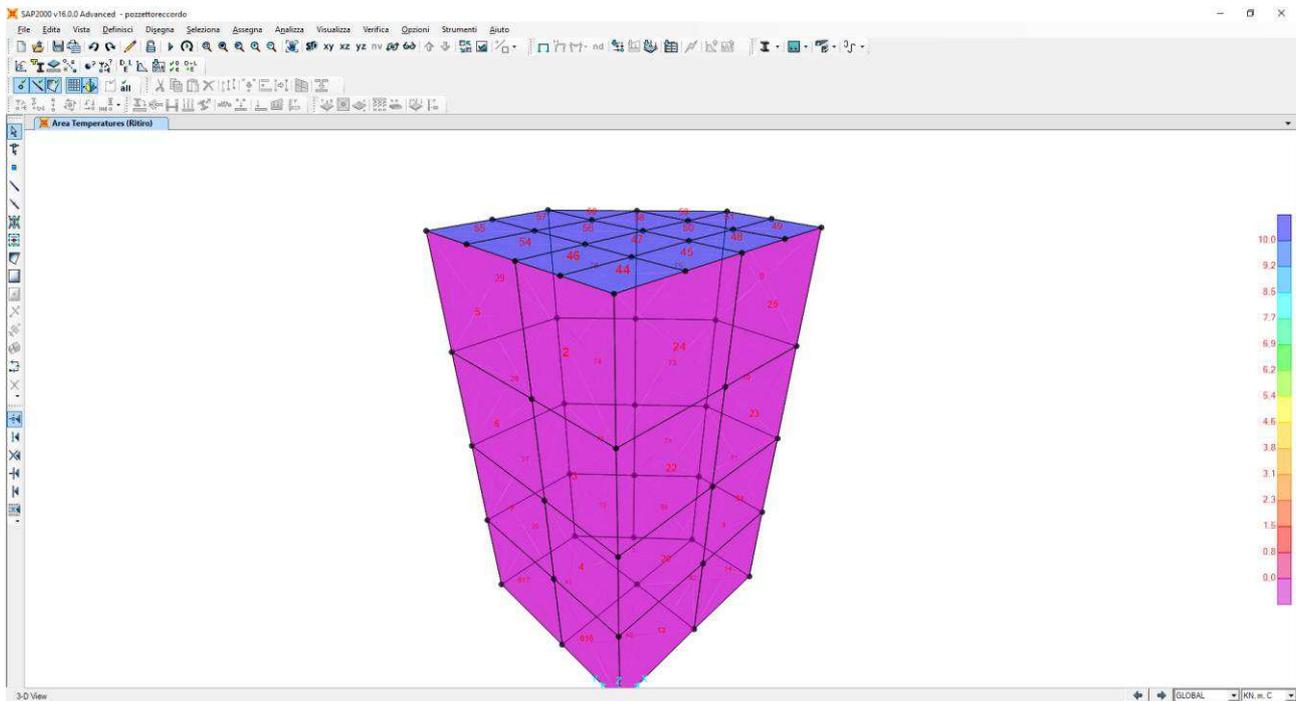


Condizione di carico 7: ritiro

La condizione di carico 7 prende in esame gli effetti del ritiro.

La soletta superiore si considera soggetta ad un ritiro differenziale. Il ritiro finale viene posto pari a $\epsilon_{cs} = 0.31E-3$, valore di norma nel caso di $\alpha \geq 60$ cm, $t_o = 1/7$ gg, umidità relativa pari al 55%. Ai fini del calcolo gli effetti del ritiro si possono assimilare ad una variazione di temperatura. Nel rispetto della normativa, trattandosi di un fenomeno lento, l'effetto del ritiro si può determinare considerando un modulo di elasticità del calcestruzzo pari a $1/3$ di quello effettivo, ossia si assume il modulo all'infinito. Per semplice comodità di calcolo si preferisce mantenere il valore del modulo a tempo zero considerando una variazione termica pari a un terzo:

$$DT = (0.31E-3/1E-5)/3 = 10 \text{ gradi circa}$$



Condizione di carico 8/9: frenatura (direzione X e direzione -X)

L'azione di frenamento, agente nella direzione dell'asse della strada e giacente sulla superficie stradale, deve essere la maggiore tra:

- 1/10 della singola colonna più pesante 16,98 KN/m
- 20% del totale del carico gravante sulla struttura 22,64 KN/m

L'azione di frenamento vale: 22,64 KN/m

2.6.2 Azione Sismica

Le sollecitazioni provocate dalle azioni sismiche sono valutate mediante analisi statica. In tale tipo d'analisi le azioni sismiche sono schematizzate attraverso forze statiche proporzionali alla massa dei seguenti elementi:

- elementi strutturali costituenti l'opera;
- elementi che costituiscono sovraccarichi permanenti;

Condizione di carico 10: Azione sismica orizzontale

Le azioni sismiche si distinguono in orizzontali e verticali, sulla base delle caratteristiche dell'area in esame:

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: 13,60570 LATITUDINE: 37,74800

Ricerca per comune

REGIONE: Sicilia PROVINCIA: Palermo COMUNE: Lercara Friddi

Elaborazioni grafiche

- Grafici spettri di risposta
- Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

- Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Stato Limite
 Stato Limite considerato: SLV

Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo: C $S_s = 1,500$ $C_c = 1,468$
 Categoria topografica: T1 $h/H = 0,000$ $S_T = 1,000$
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%): 5 $\eta = 1,000$
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_o : 1 Regol. in altezza: no

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q : 1,5 $\eta = 0,667$

Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta
 Parametri e punti spettri di risposta

$S_{d,o}$ [g]

$S_{d,v}$ [g]

S_e [g]

Spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale
 — Spettro di progetto - componente verticale
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

Response Spectrum Italian NTC2008 Definizione Funzione

Nome Funzione: Rapp. Smorz. della Funz.:

Parametri

ag, F0 and Tc* - by Latitude/Longitude
 ag, F0 and Tc* - by Island
 ag, F0 and Tc* User Specified

Site Longitude (degree)
 Site Latitude (degree)
 Island Name
 Limit State
 Usage Class
 Nominal Life
 Peak Ground Acc., ag/g
 Magnification Factor, F0
 Reference period, Tc*
 Spectrum Type
 Soil Type
 Topography
 h/H ratio
 Spectrum Period, Tb
 Spectrum Period, Tc
 Spectrum Period, Td
 Damping Percentage, Xi
 Behavior Factor, q

Definisci Funzione

Periodo	Accelerazione
0,	0,2535
0,1772	0,4466
0,5315	0,4466
0,6315	0,3759
0,7315	0,3245
0,8315	0,2855
0,9315	0,2549
1,0315	0,2301
1,1315	0,2098

Grafico Funzione

Il software SAP2000 applica l'azione sismica al modello tridimensionale della struttura considerando la sua massa, vengono aggiunti gli incrementi sismici dovuti alle altre componenti (terreno di ricoprimento):

Le spinte delle terre, sono calcolate in regime di spinta a riposo che comporta il calcolo delle spinte sismiche in tali condizioni;

. L'incremento di spinta sismico è stato valutato con la teoria di Mononobe-Okabe assumendo $A=1$:

- in condizioni normali : $K_a = 0.383$

- in condizioni sismiche : $K_a = 0.409$

- $\Delta K_a = 0.026$

L'incremento di spinta è stato applicato in modo triangolare con vertice verso il basso.

2.7 DESCRIZIONE DELLE COMBINAZIONI DI CARICO

Combinazione di Carico	gruppo	P.P.	Permanenti non strutturali	Spinta terre	Carico Stradale	Variazione termica	ritiro	frenatura sx	frenatura dx	Azione Sismica
		1									2	3	4	5	6	7	8	9
1	SLU	1,3	1,3	1,3	1,35	0,9	1,3	1,35	0	0,0
2	SLU	1,3	1,3	1,3	1,35	0,9	1,3	0	1,35	0,0
3	SLU	1,3	1,3	1,3	0	0,9	1,3	0	0	0,0
4	SISMICO	1	1	1	0	0,5	1	0	0	1,0
5	SISMICO	1	1	1	0,2	0,5	1	0,2	0	1,0
6	SISMICO	1	1	1	0,2	0,5	1	0	0,2	1,0
7	SLE QP	1	1	1	0	0,5	1	0	0	0,0
8	SLE FREQ	1	1	1	0,75	0,6	1	0,75	0	0,0
9	SLE FREQ	1	1	1	0,75	0,6	1	0	0,75	0,0
10	SLE RARA	1	1	1	1	0,6	1	1	0	0,0
11	SLE RARA	1	1	1	1	0,6	1	0	1	0,0

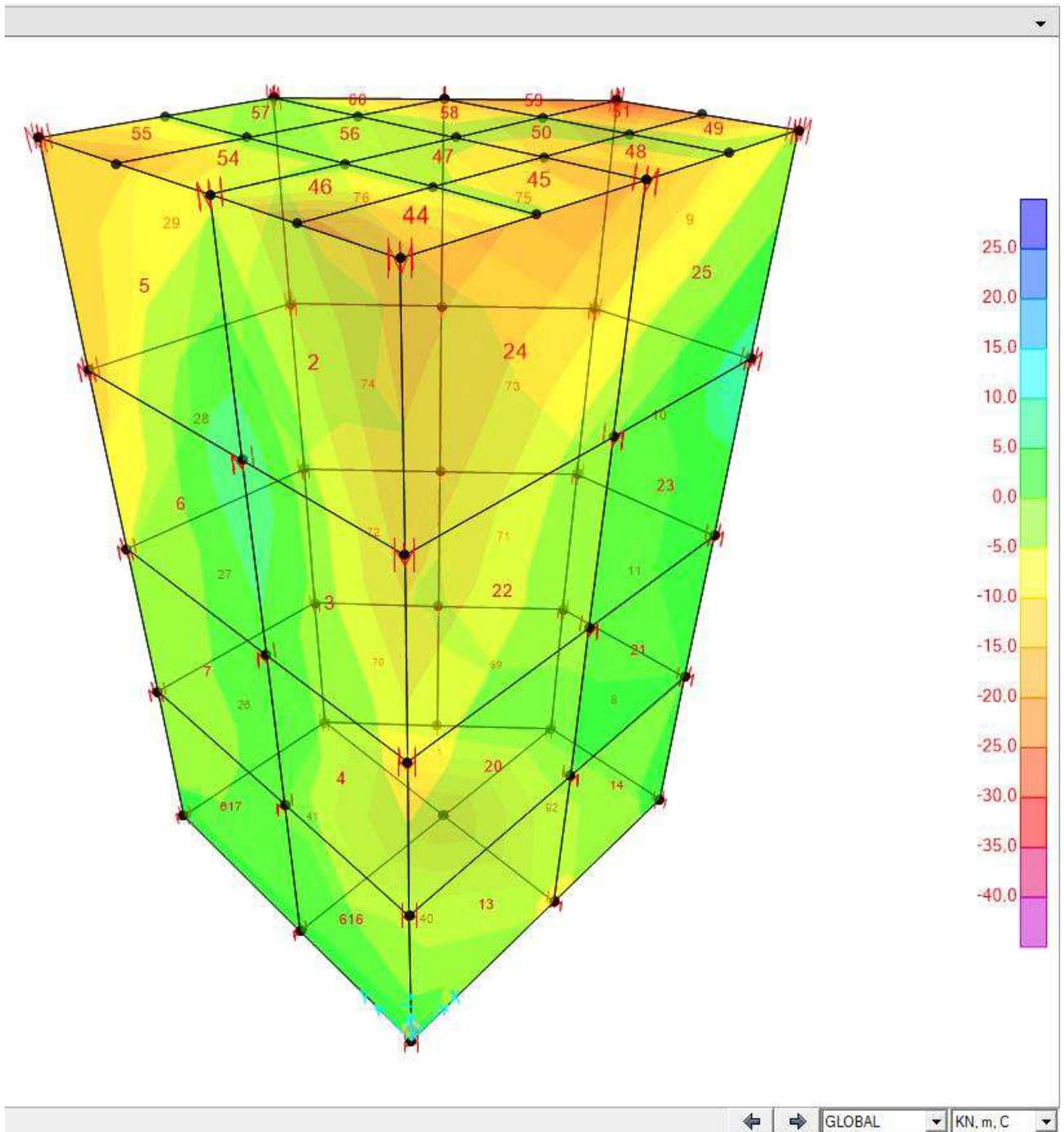


Diagramma dei momenti M11 min (Involuppo SLU-SLV)

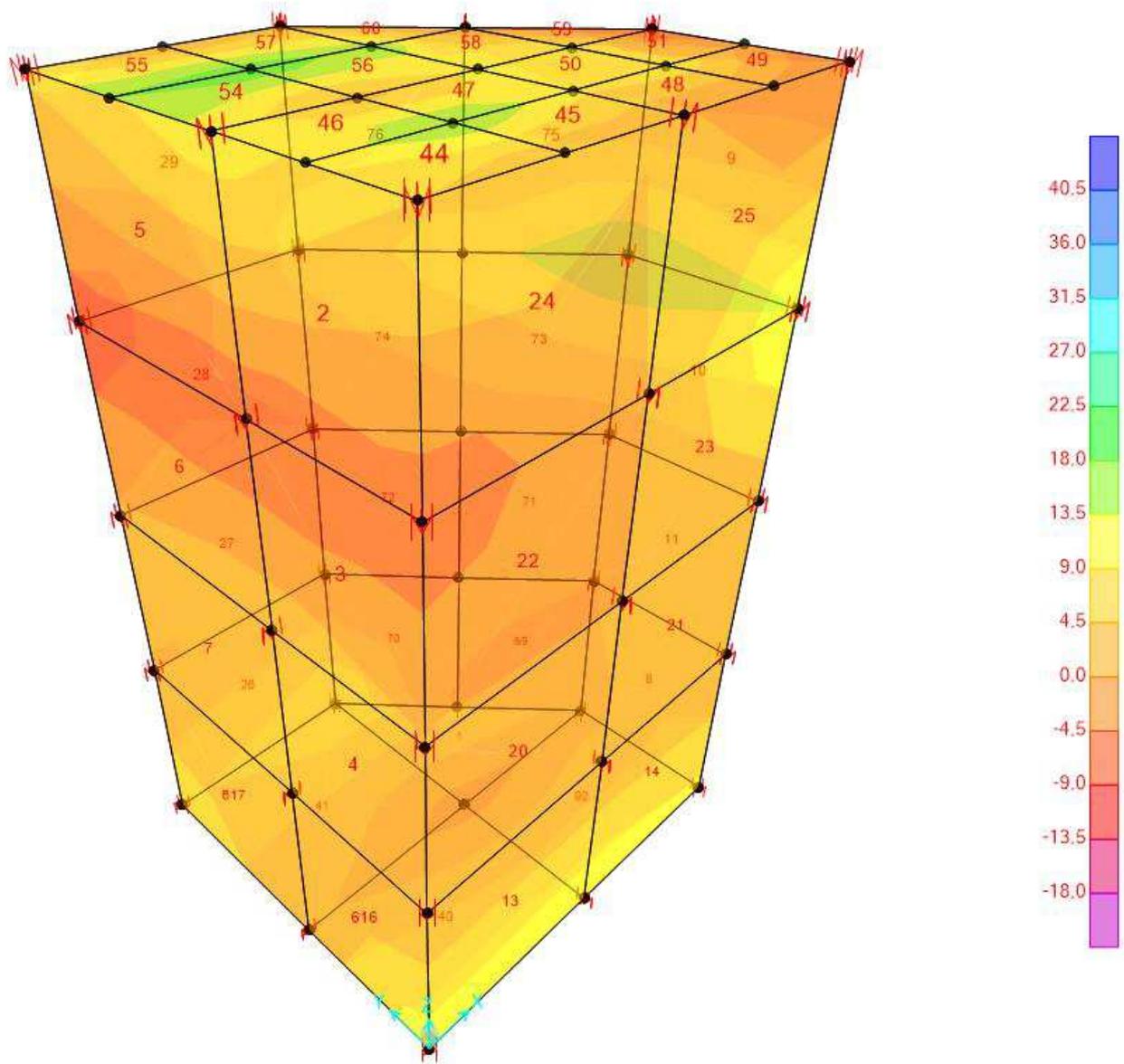
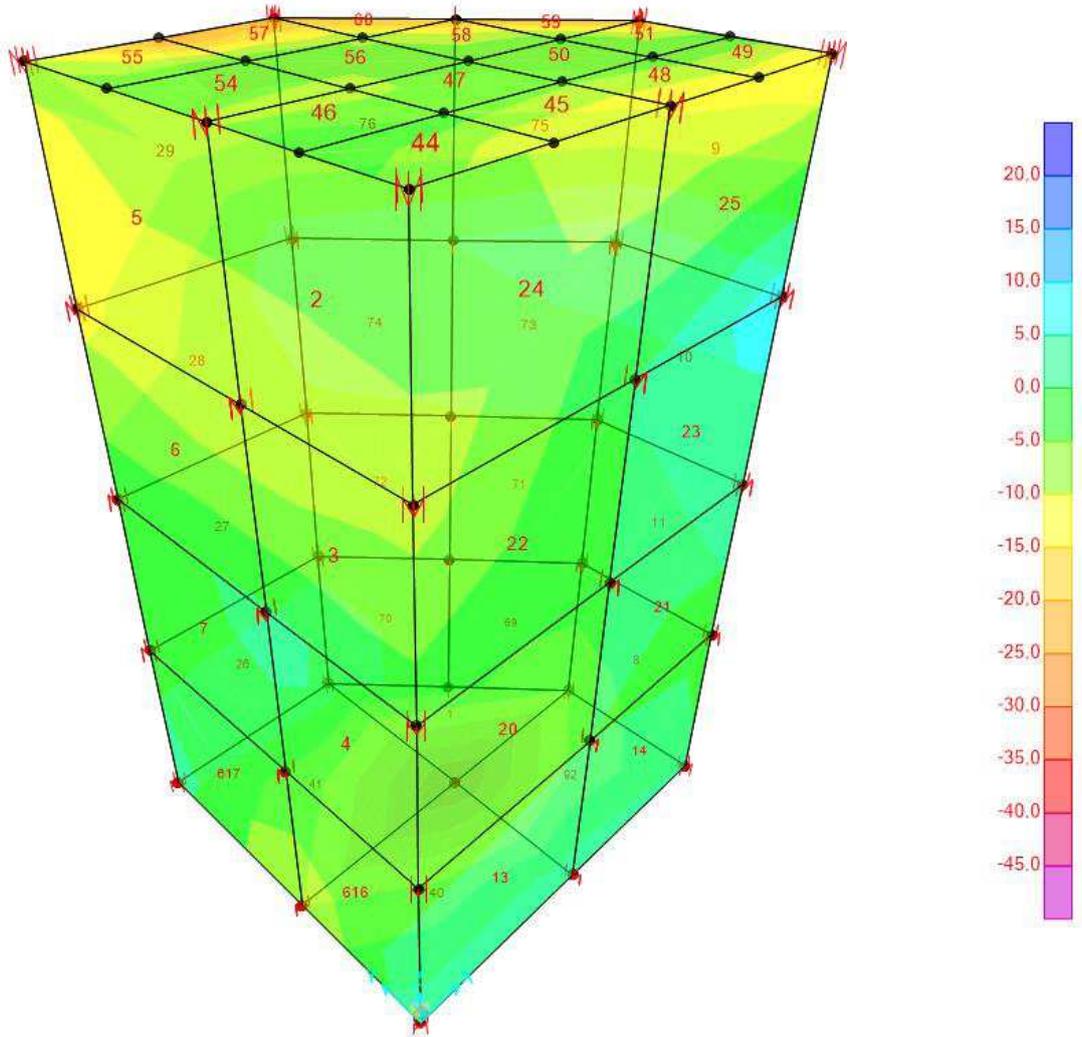


Diagramma dei momenti M_{22} max (Involuppo SLU-SLV)



N=-45.736, MAX=23.801, Right Click on any Area Element for detailed diagram

Diagramma dei momenti M22 min (Involuppo SLU-SLV)

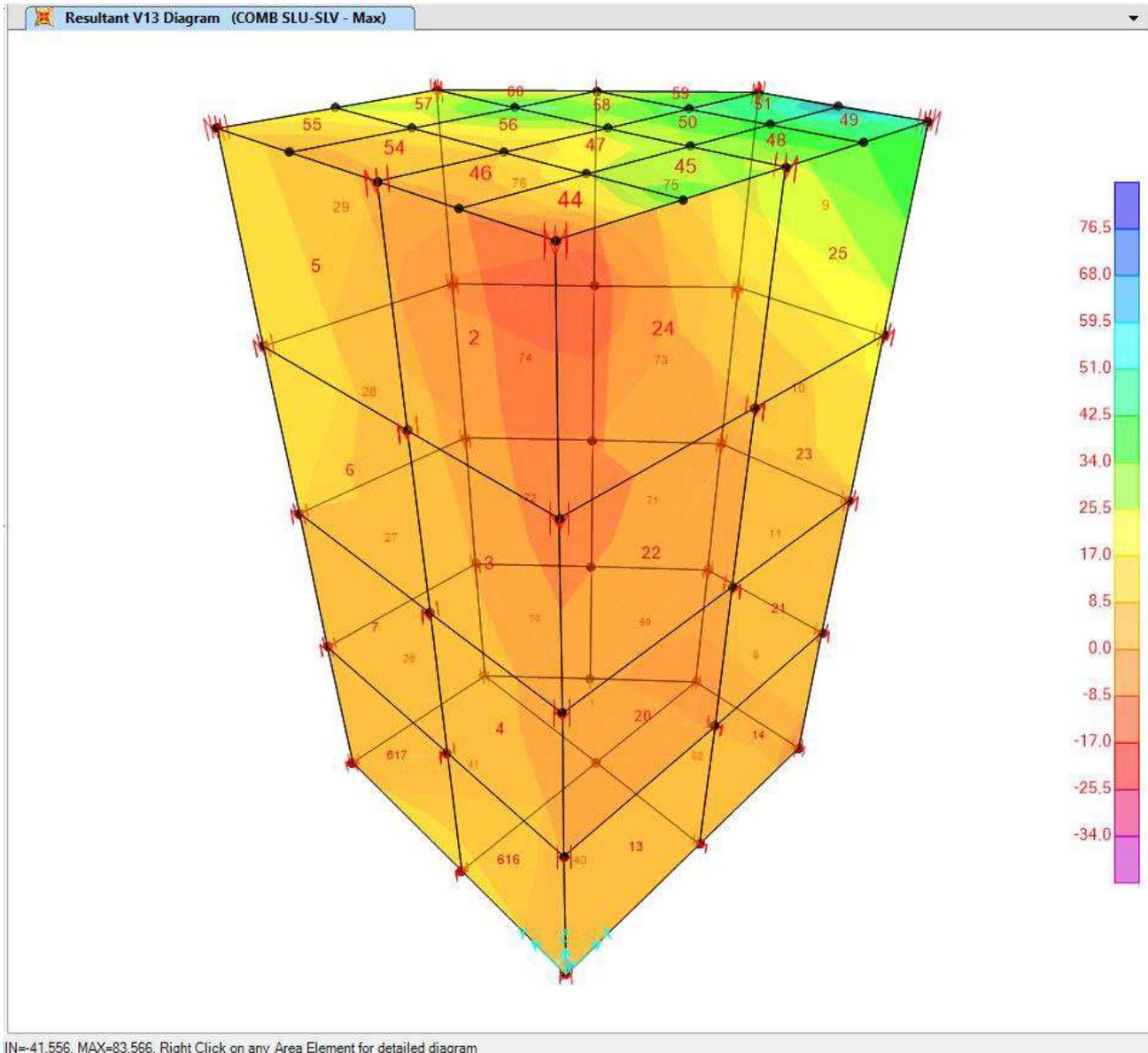
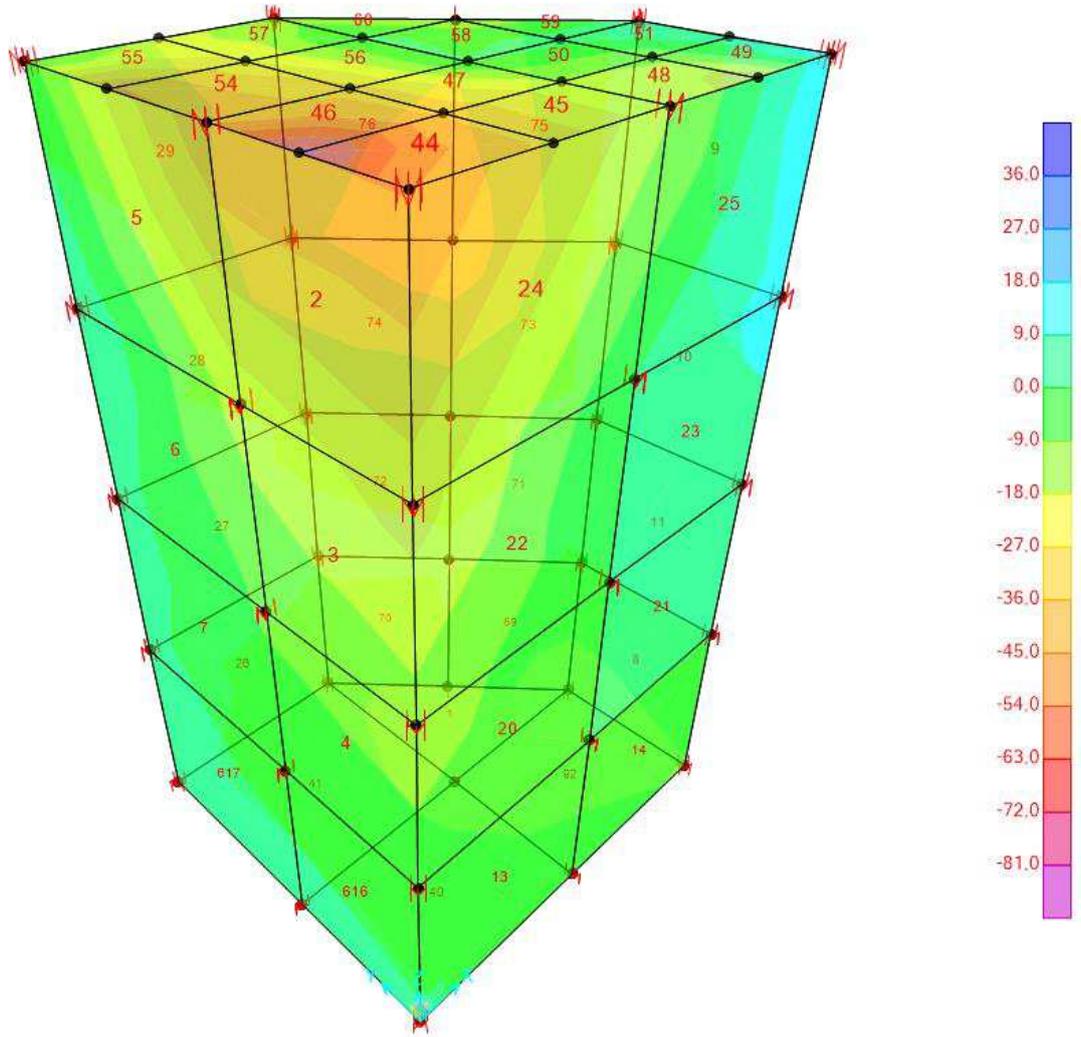


Diagramma del taglio V13 max (Involuppo SLU-SLV)



N=-87,402, MAX=38,318, Right Click on any Area Element for detailed diagram

Diagramma del taglio V13 min (Inviluppo SLU-SLV)

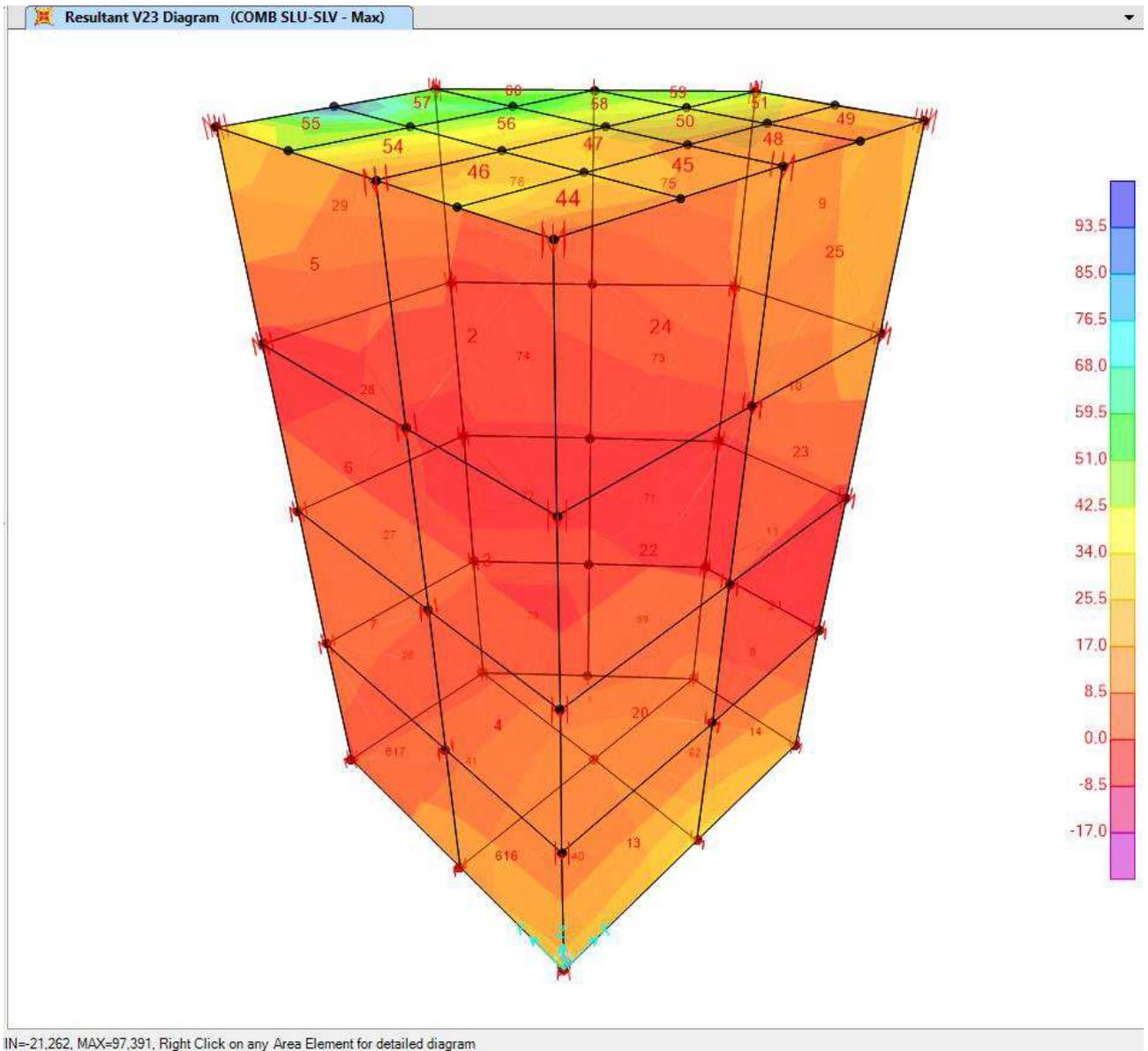
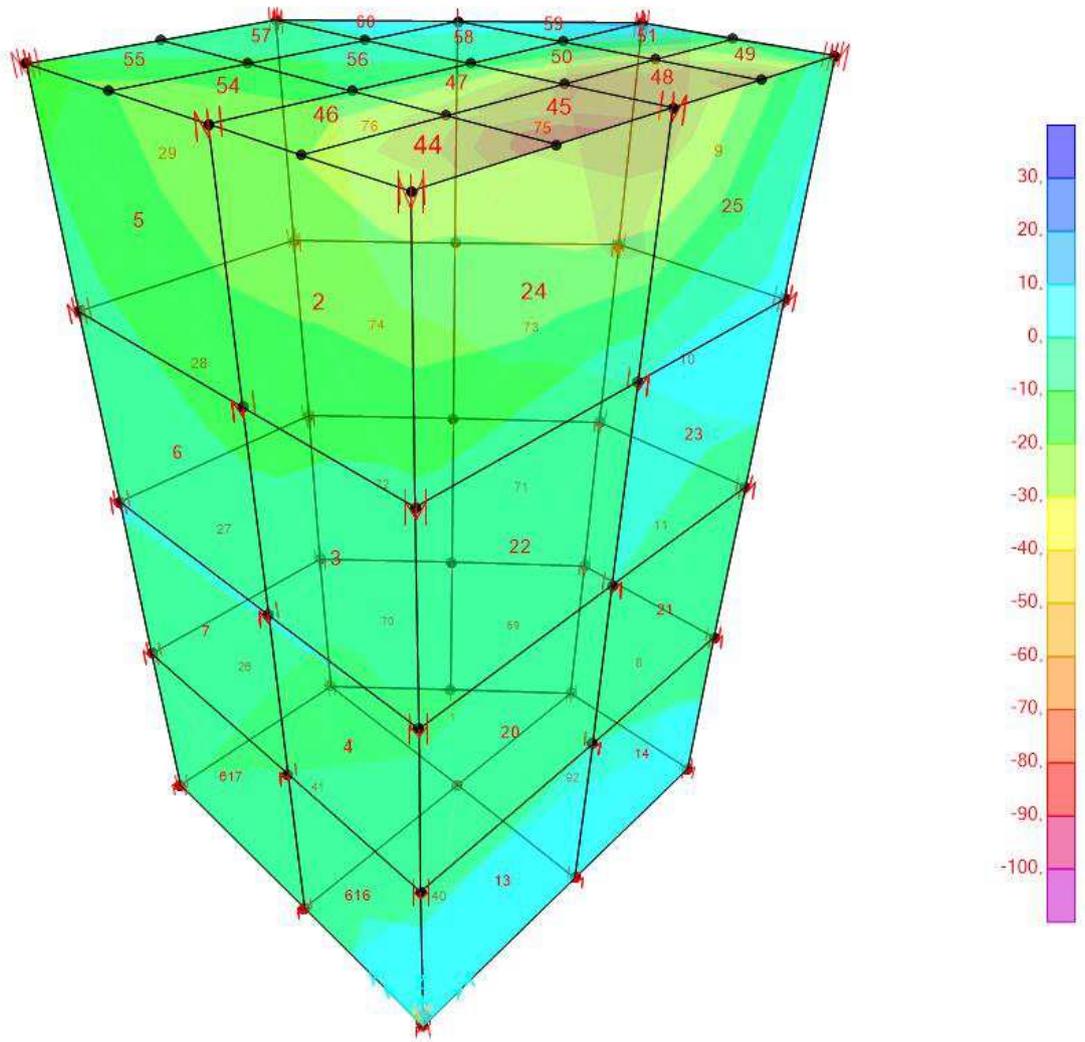


Diagramma del taglio V23 max (Involuppo SLU-SLV)



V=-101.078, MAX=32.616, Right Click on any Area Element for detailed diagram

Diagramma del taglio V23 min (Involuppo SLU-SLV)

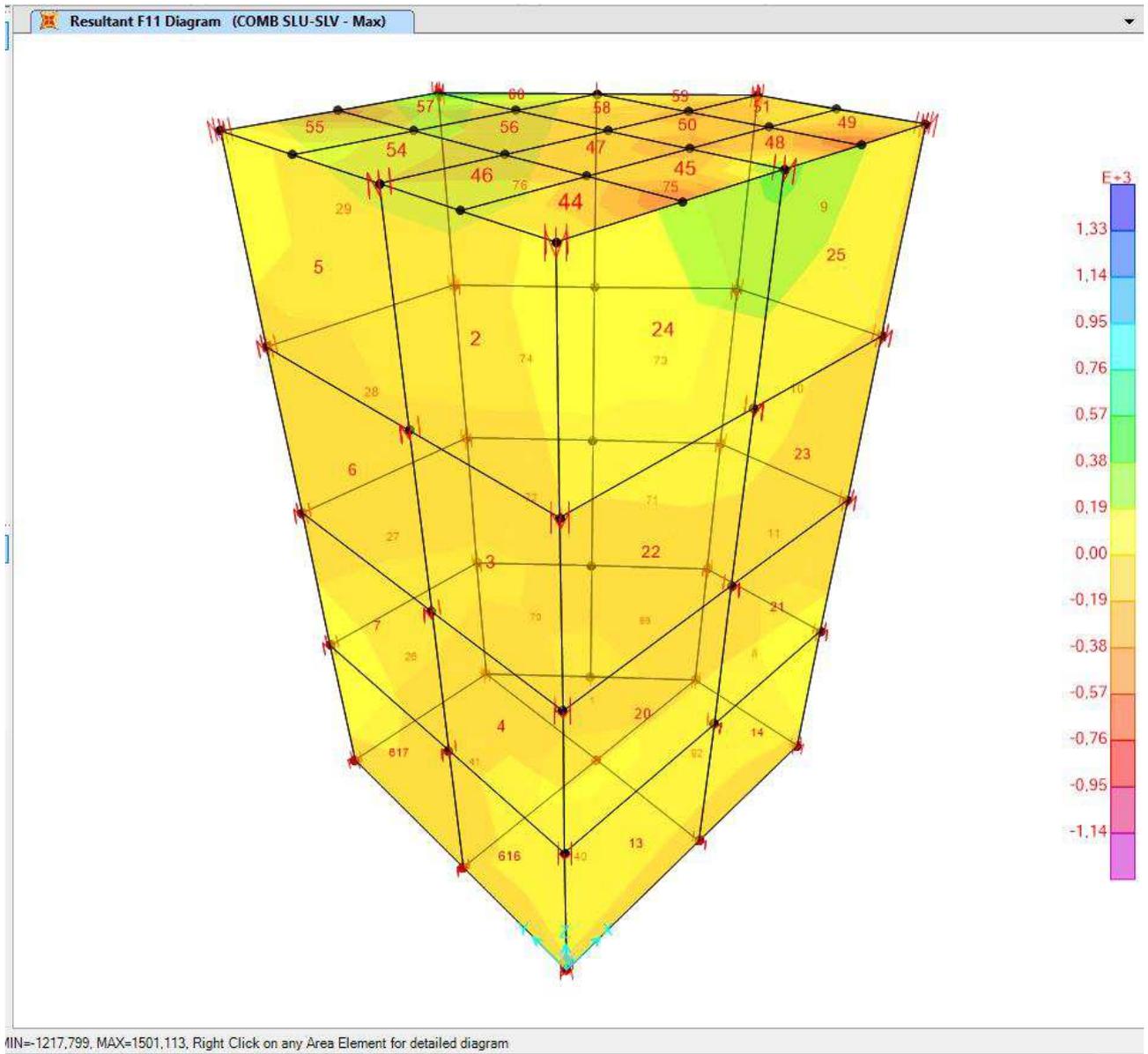


Diagramma dello sforzo normale F11 max (Involuppo SLU-SLV)

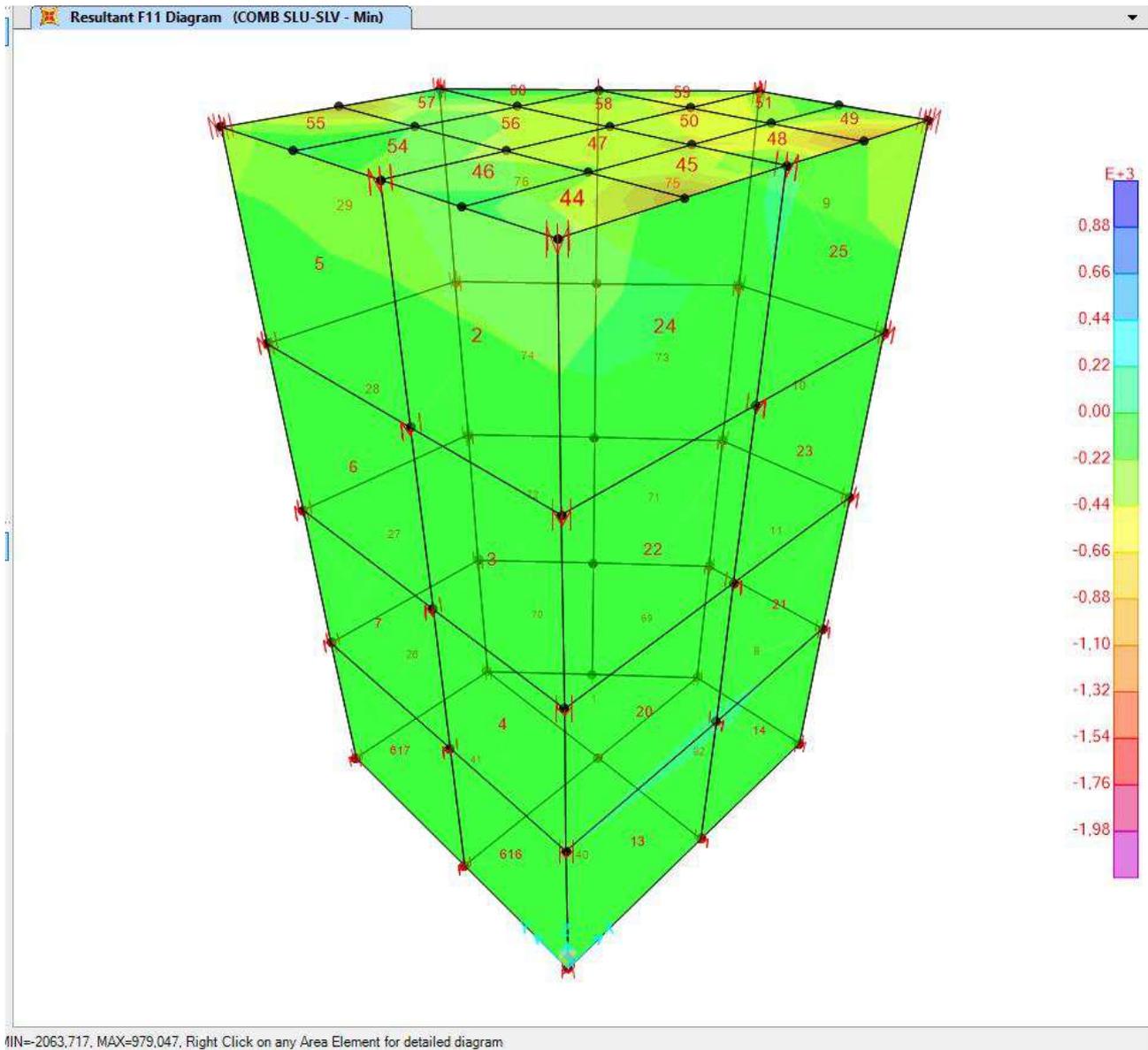


Diagramma dello sforzo normale F11 min (Involuppo SLU-SLV)

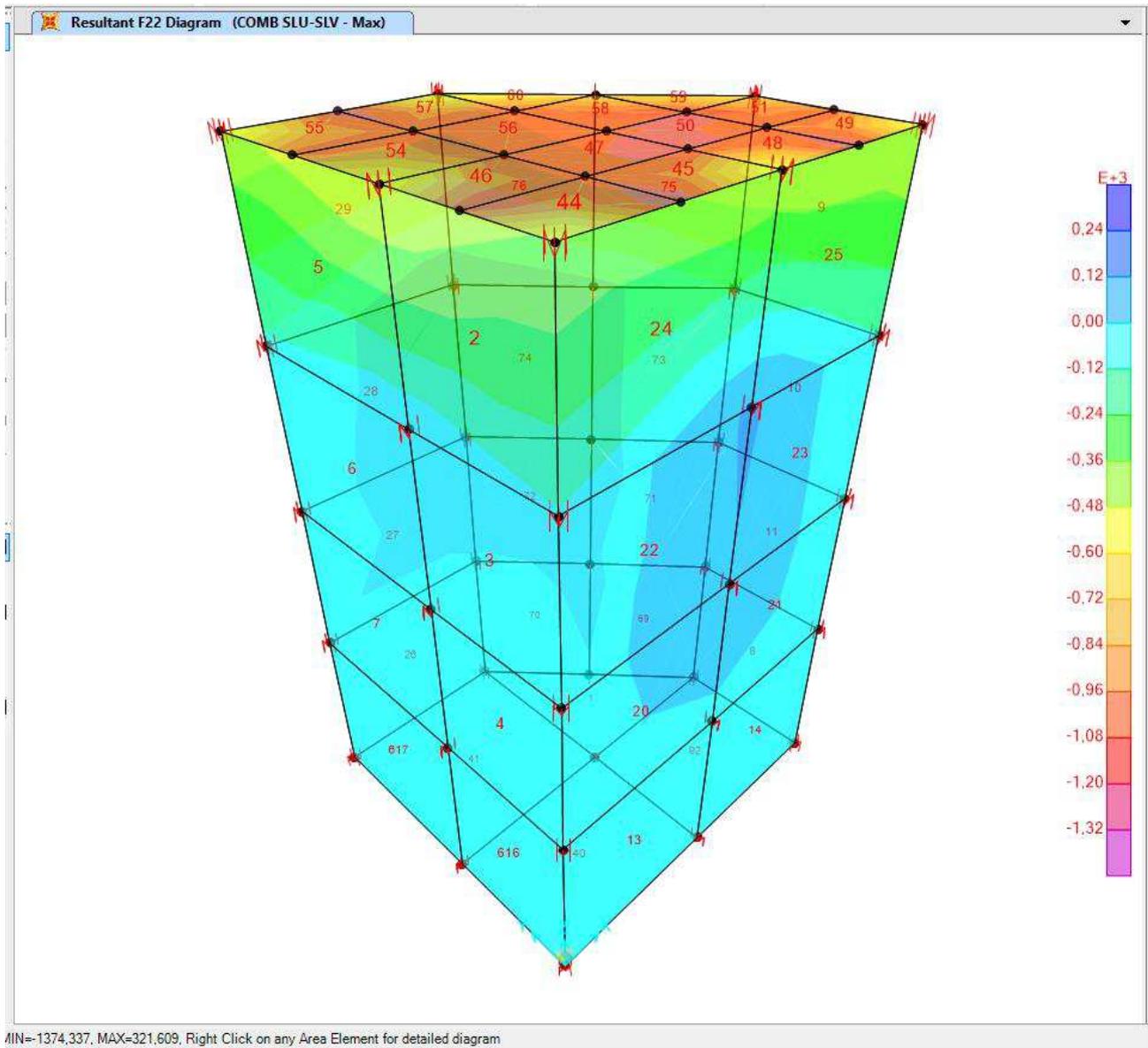
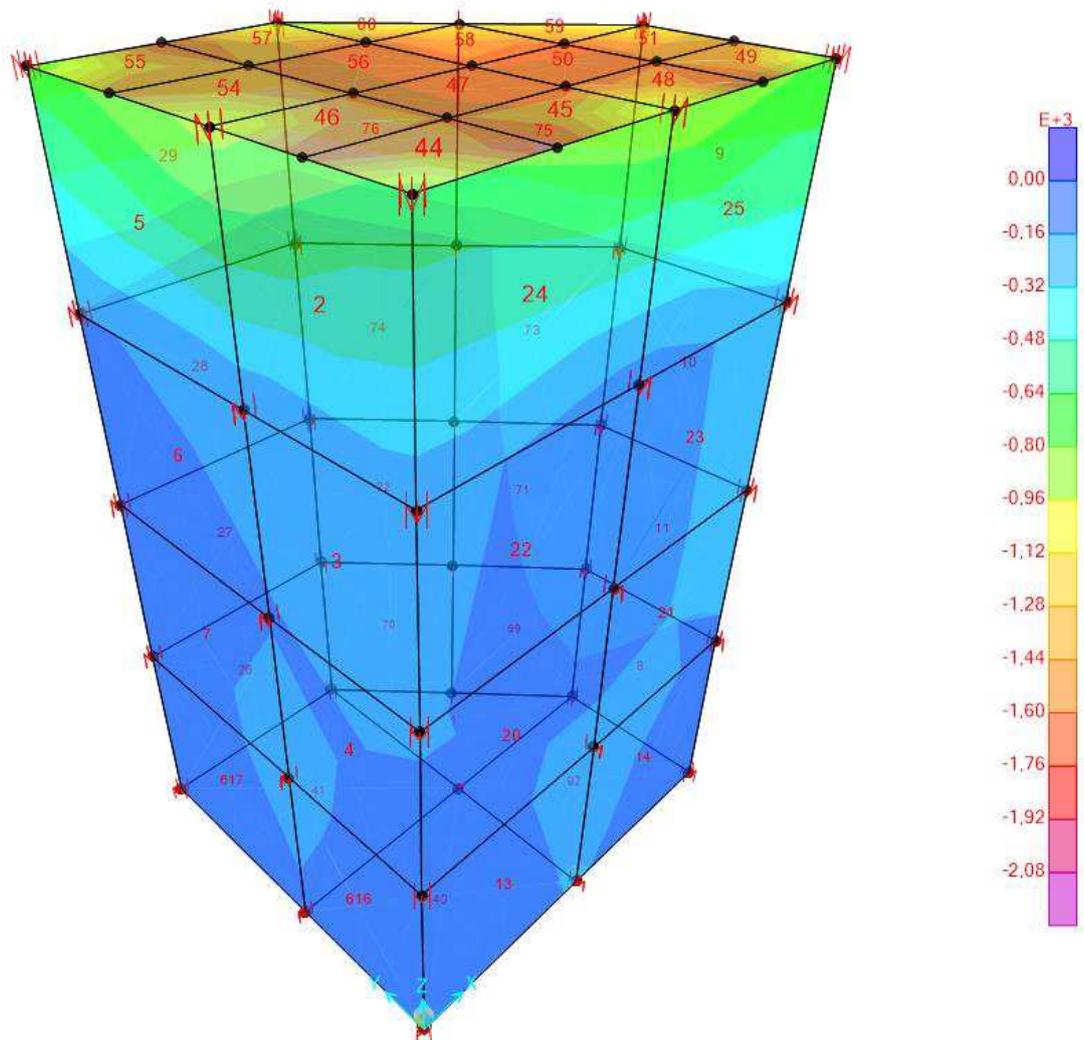


Diagramma dello sforzo normale F22 max (Involuppo SLU-SLV)



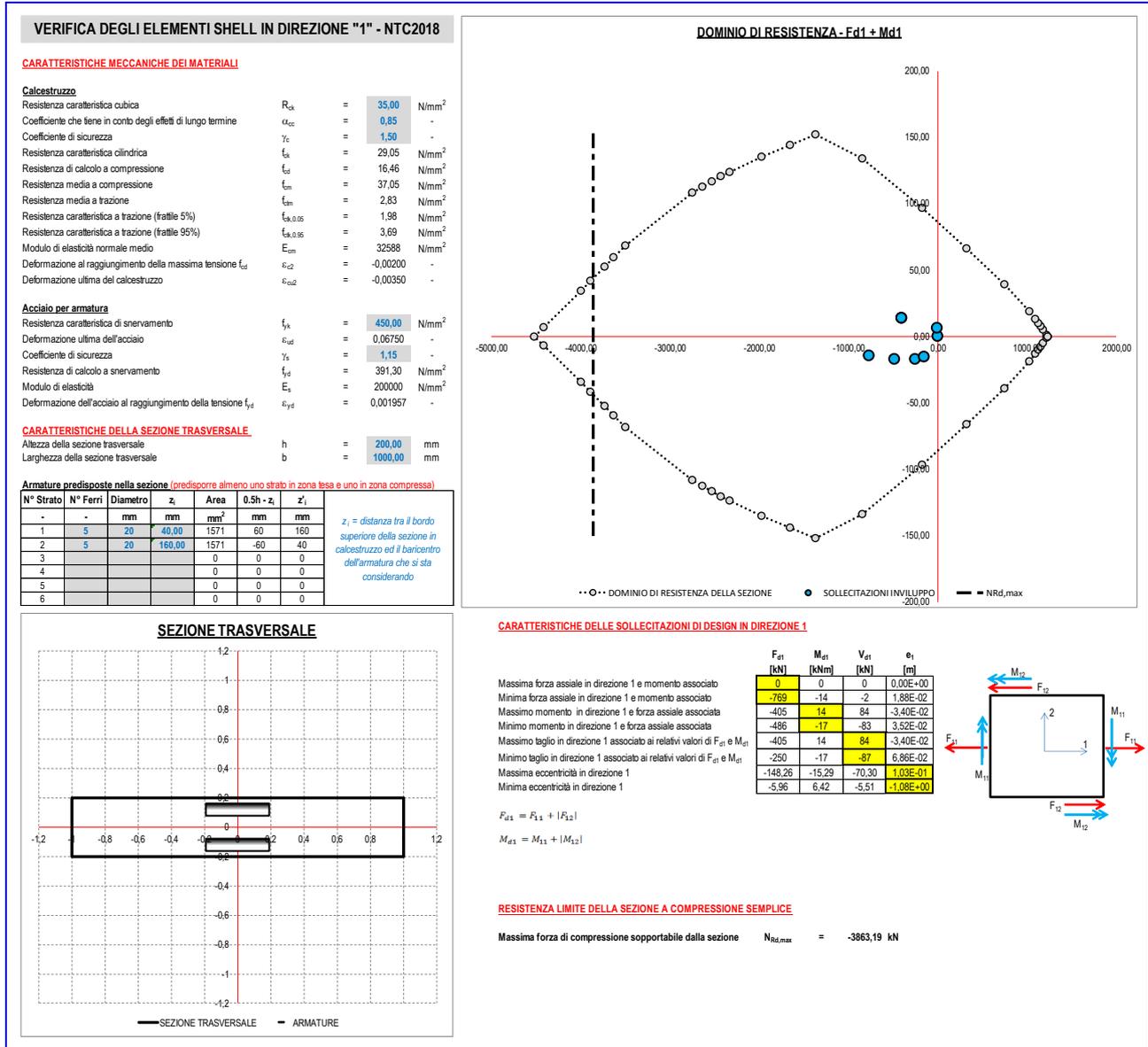
N=-2125,056, MAX=156,648, Right Click on any Area Element for detailed diagram

Diagramma dello sforzo normale F22 min (Involuppo SLU-SLV)

La verifica secondo le NTC 2008 sia allo stato limite ultimo SLU-SLV, sia allo stato limite d'esercizio SLE/SLS e di fessurazione, viene effettuata tramite fogli excel.

Le verifiche vengono effettuate dalle sollecitazioni provenienti dal programma di calcolo per tutti gli elementi considerati nel modello

2.8.2 Verifica Soletta Superiore SLU-SLV



VERIFICA DEGLI ELEMENTI SHELL IN DIREZIONE "2" - NTC2018

CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	=	35,00	N/mm ²
Coefficiente che tiene in conto degli effetti di lungo termine	α_{ct}	=	0,85	-
Coefficiente di sicurezza	γ_c	=	1,50	-
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	=	29,05	N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	=	16,46	N/mm ²
Resistenza media a compressione	f_{cm}	=	37,05	N/mm ²
Resistenza media a trazione	f_{ctm}	=	2,83	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione (fratello 5%)	$f_{tk,0.05}$	=	1,98	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione (fratello 95%)	$f_{tk,0.95}$	=	3,69	N/mm ²
Modulo di elasticità normale medio	E_{cm}	=	32588	N/mm ²
Deformazione al raggiungimento della massima tensione f_{ct}	ϵ_{ct}	=	-0,00200	-
Deformazione ultima del calcestruzzo	ϵ_{cu2}	=	-0,00350	-

Acciaio per armatura

Resistenza caratteristica di snervamento	f_{yk}	=	450,00	N/mm ²
Deformazione ultima dell'acciaio	ϵ_{yk}	=	0,0675	-
Coefficiente di sicurezza	γ_s	=	1,15	-
Resistenza di calcolo a snervamento	f_{sd}	=	391,30	N/mm ²
Modulo di elasticità	E_s	=	200000	N/mm ²
Deformazione dell'acciaio al raggiungimento della tensione f_{yd}	ϵ_{yd}	=	0,001957	-

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE TRASVERSALE

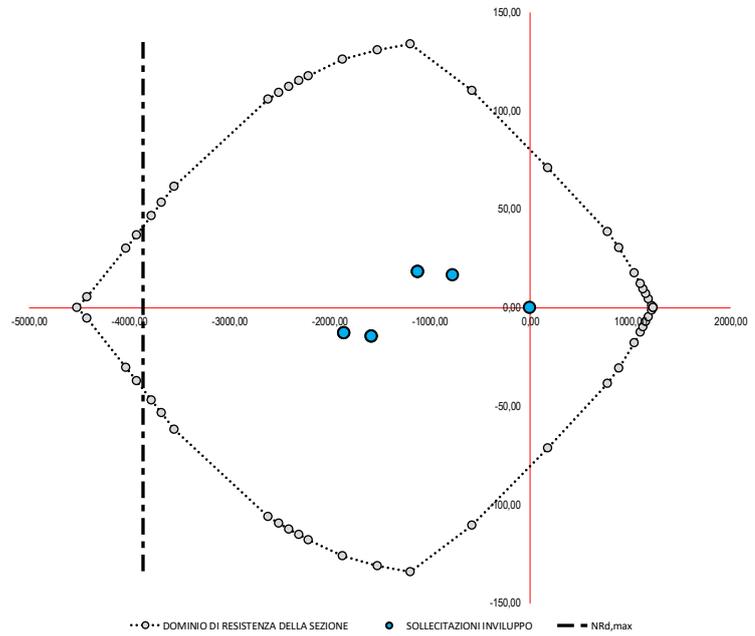
Altezza della sezione trasversale	h	=	200,00	mm
Larghezza della sezione trasversale	b	=	1000,00	mm

Armature predisposte nella sezione (predisporre almeno uno strato in zona tesa e uno in zona compressa)

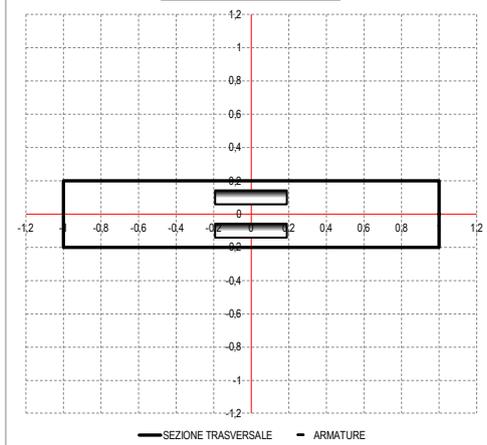
N° Strato	N° Ferri	Diametro	z_i	Area	$0.5h - z_i$	z'_i
-	-	mm	mm	mm ²	mm	mm
1	5	20	50,00	1571	50	150
2	5	20	150,00	1571	-50	50
3			0	0	0	0
4			0	0	0	0
5			0	0	0	0
6			0	0	0	0

z_i = distanza tra il bordo superiore della sezione in calcestruzzo ed il baricentro dell'armatura che si sta considerando

DOMINIO DI RESISTENZA - Fd2 + Md2



SEZIONE TRASVERSALE



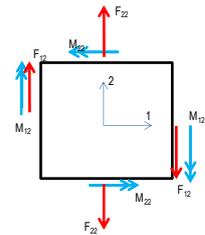
CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI DI DESIGN IN DIREZIONE 1

Massima forza assiale in direzione 2 e momento associato
 Minima forza assiale in direzione 2 e momento associato
 Massimo momento in direzione 2 e forza assiale associata
 Minimo momento in direzione 2 e forza assiale associata
 Massimo taglio in direzione 2 associato ai relativi valori di F_{d2} e M_{d2}
 Minimo taglio in direzione 2 associato ai relativi valori di F_{d2} e M_{d2}
 Massima eccentricità in direzione 2
 Minima eccentricità in direzione 2

F_{d2}	M_{d2}	V_{d2}	e_2
[kN]	[kNm]	[kN]	[m]
0	0	0	0,00E+00
-1853	-13	-101	6,96E-03
-1121	18	97	-1,62E-02
-1582	-15	0	9,17E-03
-1121	18	97	9,17E-03
-1853	-13	-101	6,96E-03
-1581,59	-14,51	-0,49	9,17E-03
-773,03	16,49	94,27	2,13E-02

$$F_{d2} = F_{22} + |F_{22}|$$

$$M_{d2} = M_{22} + |M_{22}|$$



RESISTENZA LIMITE DELLA SEZIONE A COMPRESSIONE SEMPLICE

Massima forza di compressione sopportabile dalla sezione $N_{Rd,max}$ = -3863,19 kN

VERIFICA A TAGLIO DEGLI ELEMENTI SHELL - NTC2018

CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	=	35,00	N/mm ²
Coefficiente che tiene in conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	=	0,85	-
Coefficiente di sicurezza	γ_c	=	1,50	-
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	=	29,05	N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	=	16,46	N/mm ²
Resistenza media a compressione	f_{cm}	=	37,05	N/mm ²
Resistenza media a trazione	f_{ctm}	=	2,83	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione (frattile 5%)	$f_{ctk,0.05}$	=	1,98	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione (frattile 95%)	$f_{ctk,0.95}$	=	3,69	N/mm ²
Modulo di elasticità normale medio	E_{cm}	=	32588	N/mm ²
Deformazione al raggiungimento della massima tensione f_{cd}	ε_{c2}	=	-0,0020	-
Deformazione ultima del calcestruzzo	ε_{cu2}	=	-0,0035	-

Acciaio per armatura

Resistenza caratteristica di snervamento	f_{yk}	=	450	N/mm ²
Deformazione ultima dell'acciaio	ε_{ud}	=	0,0675	-
Coefficiente di sicurezza	γ_s	=	1,15	-
Resistenza di calcolo a snervamento	f_{yd}	=	391,30	N/mm ²
Modulo di elasticità	E_s	=	200000	N/mm ²
Deformazione dell'acciaio al raggiungimento della tensione f_{yd}	ε_{yd}	=	0,001957	-

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE TRASVERSALE

Altezza della sezione trasversale	h	=	200	mm
Larghezza della sezione trasversale	b	=	1000	mm

SOLLECITAZIONI DI TAGLIO

Sollecitazione di taglio in direzione 1 associata alla presenza di momenti positivi	$V_{Ed,1,pos}$	=	83,6	kN
Sollecitazione di taglio in direzione 2 associata alla presenza di momenti positivi	$V_{Ed,2,pos}$	=	97,4	kN
Sollecitazione di taglio in direzione 1 associata alla presenza di momenti negativi	$V_{Ed,1,neg}$	=	87,4	kN
Sollecitazione di taglio in direzione 2 associata alla presenza di momenti negativi	$V_{Ed,2,neg}$	=	101,1	kN

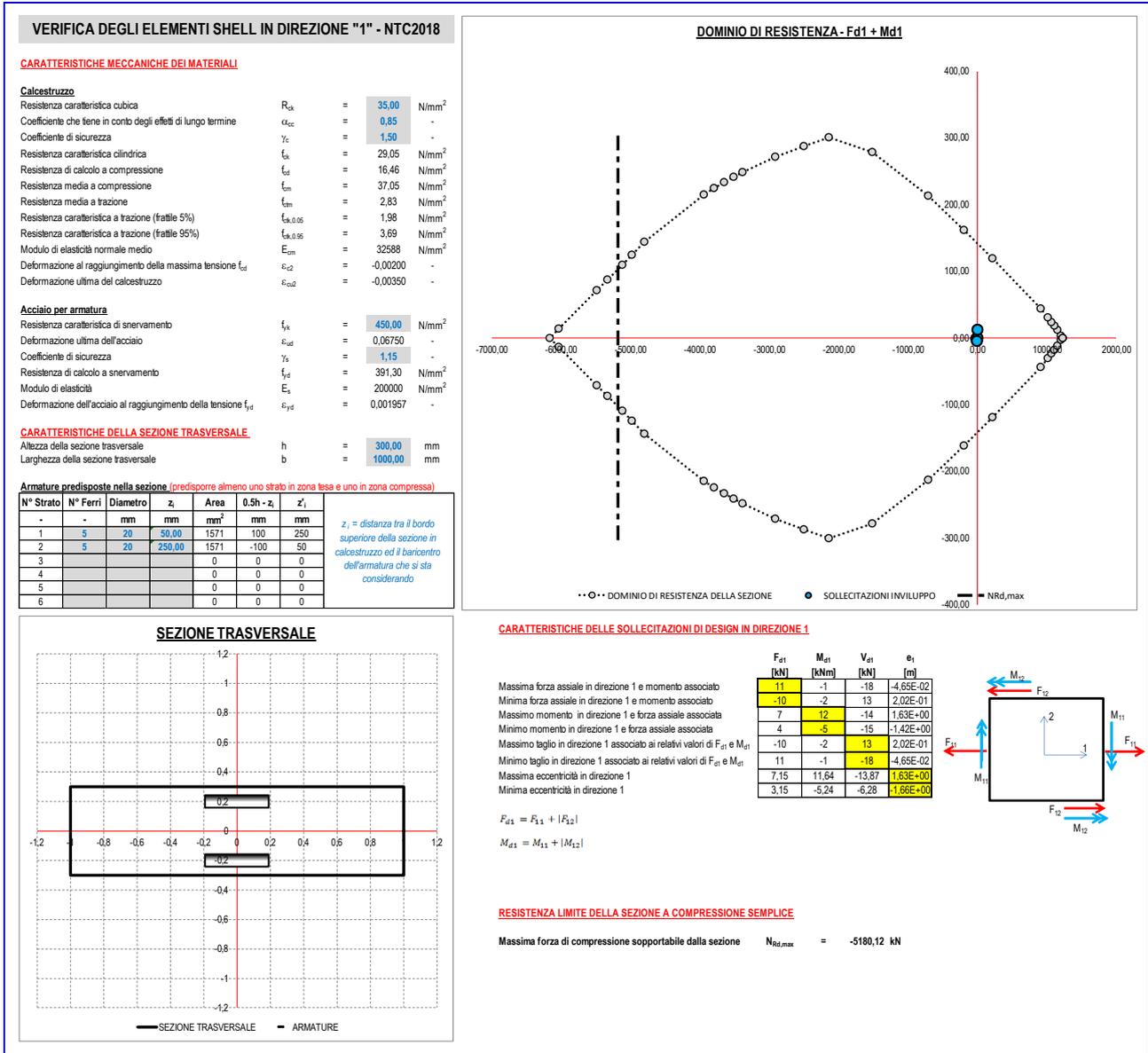
RESISTENZA LIMITE A TAGLIO DELLA SEZIONE TRASVERSALE

Altezza utile in direzione 1 per momenti positivi	$d_{1,pos}$	=	160,00	mm
Altezza utile in direzione 2 per momenti positivi	$d_{2,pos}$	=	150,00	mm
Altezza utile in direzione 1 per momenti negativi	$d_{1,neg}$	=	160,00	mm
Altezza utile in direzione 2 per momenti negativi	$d_{2,neg}$	=	150,00	mm
Coefficiente di riduzione per effetto della fessurazione	ν	=	0,500	-
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti positivi (Dir.1)	$V_{Rd1,max,pos}$	=	658,5	kN
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti positivi (Dir.2)	$V_{Rd2,max,pos}$	=	617,3	kN
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti negativi (Dir.1)	$V_{Rd1,max,neg}$	=	658,5	kN
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti negativi (Dir.2)	$V_{Rd2,max,neg}$	=	617,3	kN
Verifica di idoneità della sezione	$\delta_{1,pos}$	=	✓ 0,13	-
	$\delta_{2,pos}$	=	✓ 0,16	-
	$\delta_{1,neg}$	=	✓ 0,13	-
	$\delta_{2,neg}$	=	✓ 0,16	-

RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE PRIVA DI ARMATURA IDONEA A RESISTERE AL TAGLIO

Coefficiente di resistenza al taglio	$C_{Rd,c}$	=	0,12	-
Coefficiente k in direzione 1 per momenti positivi	$k_{1,pos}$	=	2,000	-
Coefficiente k in direzione 2 per momenti positivi	$k_{2,pos}$	=	2,000	-
Coefficiente k in direzione 1 per momenti negativi	$k_{1,neg}$	=	2,000	-
Coefficiente k in direzione 2 per momenti negativi	$k_{2,neg}$	=	2,000	-
Armatura tesa inferiore in direzione 1	$A_{inf,1}$	=	1571	mm ²
Armatura tesa superiore in direzione 1	$A_{sup,1}$	=	1571	mm ²
Armatura tesa inferiore in direzione 2	$A_{inf,2}$	=	1571	mm ²
Armatura tesa superiore in direzione 2	$A_{sup,2}$	=	1571	mm ²
Rapporto geometrico d'armatura tesa in direzione 1 per momenti positivi	$\rho_{1,pos}$	=	0,00982	-
Rapporto geometrico d'armatura tesa in direzione 2 per momenti positivi	$\rho_{2,pos}$	=	0,01047	-
Rapporto geometrico d'armatura tesa in direzione 1 per momenti negativi	$\rho_{1,neg}$	=	0,00982	-
Rapporto geometrico d'armatura tesa in direzione 2 per momenti positivi	$\rho_{2,neg}$	=	0,01047	-
Tensione dovuta alla presenza della forza assiale in direzione 1	σ_1	=	1,248	MPa
Tensione dovuta alla presenza della forza assiale in direzione 2	σ_2	=	3,292	MPa
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti positivi (Dir.1)	$V_{Rd1,c,pos}$	=	395,0	kN
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti positivi (Dir.2)	$V_{Rd2,c,pos}$	=	439,1	kN
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti negativi (Dir.1)	$V_{Rd1,c,neg}$	=	395,0	kN
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti negativi (Dir.2)	$V_{Rd2,c,neg}$	=	439,1	kN
Verifica di idoneità della sezione priva di armatura a taglio	$\delta_{1,pos}$	=	✓ 0,21	-
	$\delta_{2,pos}$	=	✓ 0,22	-
	$\delta_{1,neg}$	=	✓ 0,22	-
	$\delta_{2,nrg}$	=	✓ 0,23	-

2.8.3 Verifica Soletta Inferiore SLU-SLV



VERIFICA DEGLI ELEMENTI SHELL IN DIREZIONE "2" - NTC2018

CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	=	35,00	N/mm ²
Coefficiente che tiene in conto degli effetti di lungo termine	α_{ct}	=	0,85	-
Coefficiente di sicurezza	γ_c	=	1,50	-
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	=	29,05	N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	=	16,46	N/mm ²
Resistenza media a compressione	f_{cm}	=	37,05	N/mm ²
Resistenza media a trazione	f_{tm}	=	2,83	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione (frattile 5%)	$f_{tk,0.05}$	=	1,98	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione (frattile 95%)	$f_{tk,0.95}$	=	3,69	N/mm ²
Modulo di elasticità normale medio	E_{cm}	=	32588	N/mm ²
Deformazione al raggiungimento della massima tensione f_{td}	$\epsilon_{1,c2}$	=	-0,00200	-
Deformazione ultima del calcestruzzo	$\epsilon_{1,ult}$	=	-0,00350	-

Acciaio per armatura

Resistenza caratteristica di snervamento	f_{yk}	=	450,00	N/mm ²
Deformazione ultima dell'acciaio	$\epsilon_{1,ult}$	=	0,0675	-
Coefficiente di sicurezza	γ_s	=	1,15	-
Resistenza di calcolo a snervamento	f_{yd}	=	391,30	N/mm ²
Modulo di elasticità	E_s	=	200000	N/mm ²
Deformazione dell'acciaio al raggiungimento della tensione f_{yd}	$\epsilon_{1,yd}$	=	0,001957	-

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE TRASVERSALE

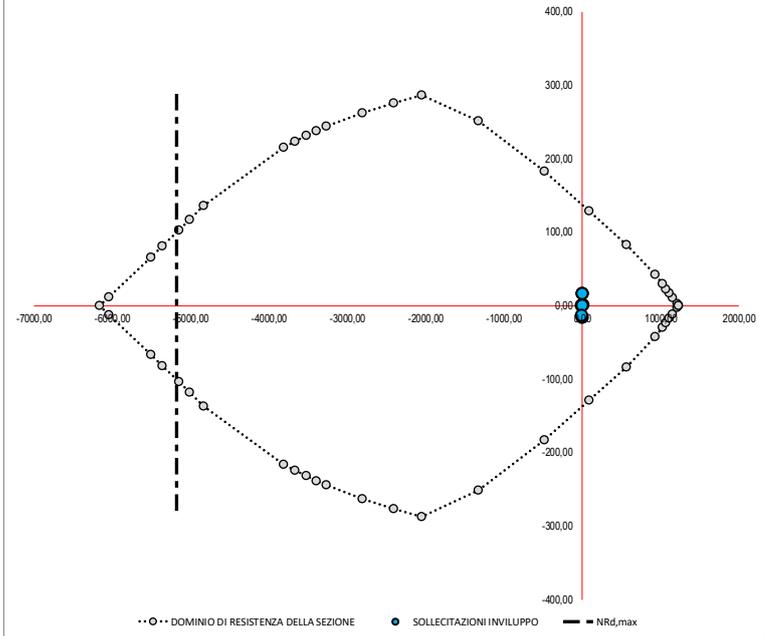
Altezza della sezione trasversale	h	=	300,00	mm
Larghezza della sezione trasversale	b	=	1000,00	mm

Armature predisposte nella sezione (predisporre almeno uno strato in zona tesa e uno in zona compressa)

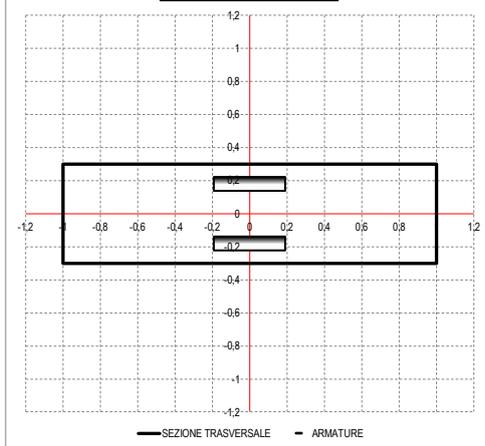
N° Strato	N° Ferri	Diametro	z_i	Area	$0.5h - z_i$	z_i'
-	-	mm	mm	mm ²	mm	mm
1	5	20	60,00	1571	90	240
2	5	20	240,00	1571	-90	60
3				0	0	0
4				0	0	0
5				0	0	0
6				0	0	0

z_i = distanza tra il bordo superiore della sezione in calcestruzzo ed il baricentro dell'armatura che si sta considerando

DOMINIO DI RESISTENZA - Fd2 + Md2



SEZIONE TRASVERSALE



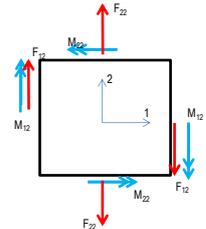
CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI DI DESIGN IN DIREZIONE 1

- Massima forza assiale in direzione 2 e momento associato
- Minima forza assiale in direzione 2 e momento associato
- Massimo momento in direzione 2 e forza assiale associata
- Minimo momento in direzione 2 e forza assiale associata
- Massimo taglio in direzione 2 associato ai relativi valori di F_{d2} e M_{d2}
- Minimo taglio in direzione 2 associato ai relativi valori di F_{d2} e M_{d2}
- Massima eccentricità in direzione 2
- Minima eccentricità in direzione 2

F_{d2} [kN]	M_{d2} [kNm]	V_{d2} [kN]	e_2 [m]
14	0	34	2,22E-02
0	0	0	0,00E+00
9	16	13	1,80E+00
7	-16	4	-2,50E+00
4	0	36	-2,50E+00
6	0	-18	1,29E-02
8,93	16,08	12,63	1,80E+00
3,89	-13,68	6,35	-3,52E+00

$$F_{d2} = F_{22} + |F_{21}|$$

$$M_{d2} = M_{22} + |M_{21}|$$



RESISTENZA LIMITE DELLA SEZIONE A COMPRESSIONE SEMPLICE

Massima forza di compressione sopportabile dalla sezione $N_{Rd,max} = -5180,12$ kN

VERIFICA A TAGLIO DEGLI ELEMENTI SHELL - NTC2018

CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	=	35,00	N/mm ²
Coefficiente che tiene in conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	=	0,85	-
Coefficiente di sicurezza	γ_c	=	1,50	-
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	=	29,05	N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	=	16,46	N/mm ²
Resistenza media a compressione	f_{cm}	=	37,05	N/mm ²
Resistenza media a trazione	f_{ctm}	=	2,83	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione (frattile 5%)	$f_{ctk,0.05}$	=	1,98	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione (frattile 95%)	$f_{ctk,0.95}$	=	3,69	N/mm ²
Modulo di elasticità normale medio	E_{cm}	=	32588	N/mm ²
Deformazione al raggiungimento della massima tensione f_{cd}	ε_{c2}	=	-0,0020	-
Deformazione ultima del calcestruzzo	ε_{cu2}	=	-0,0035	-

Acciaio per armatura

Resistenza caratteristica di snervamento	f_{yk}	=	450	N/mm ²
Deformazione ultima dell'acciaio	ε_{ud}	=	0,0675	-
Coefficiente di sicurezza	γ_s	=	1,15	-
Resistenza di calcolo a snervamento	f_{yd}	=	391,30	N/mm ²
Modulo di elasticità	E_s	=	200000	N/mm ²
Deformazione dell'acciaio al raggiungimento della tensione f_{yd}	ε_{yd}	=	0,001957	-

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE TRASVERSALE

Altezza della sezione trasversale	h	=	300	mm
Larghezza della sezione trasversale	b	=	1000	mm

SOLLECITAZIONI DI TAGLIO

Sollecitazione di taglio in direzione 1 associata alla presenza di momenti positivi	$V_{Ed,1,pos}$	=	0,0	kN
Sollecitazione di taglio in direzione 2 associata alla presenza di momenti positivi	$V_{Ed,2,pos}$	=	35,9	kN
Sollecitazione di taglio in direzione 1 associata alla presenza di momenti negativi	$V_{Ed,1,neg}$	=	18,2	kN
Sollecitazione di taglio in direzione 2 associata alla presenza di momenti negativi	$V_{Ed,2,neg}$	=	0,0	kN

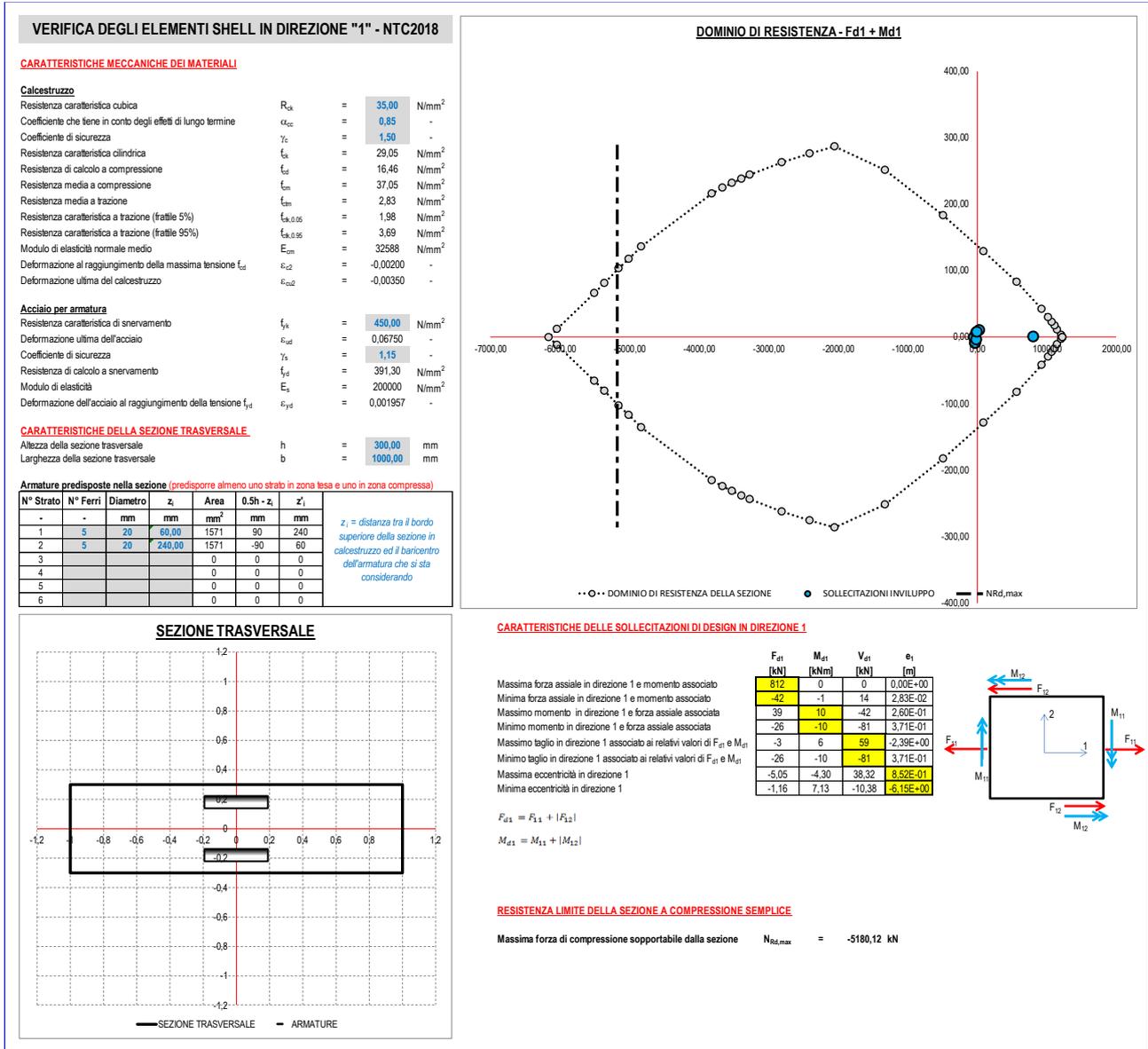
RESISTENZA LIMITE A TAGLIO DELLA SEZIONE TRASVERSALE

Altezza utile in direzione 1 per momenti positivi	$d_{1,pos}$	=	250,00	mm
Altezza utile in direzione 2 per momenti positivi	$d_{2,pos}$	=	240,00	mm
Altezza utile in direzione 1 per momenti negativi	$d_{1,neg}$	=	250,00	mm
Altezza utile in direzione 2 per momenti negativi	$d_{2,neg}$	=	240,00	mm
Coefficiente di riduzione per effetto della fessurazione	v	=	0,500	-
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti positivi (Dir.1)	$V_{Rd1,max,pos}$	=	1028,9	kN
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti positivi (Dir.2)	$V_{Rd2,max,pos}$	=	987,7	kN
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti negativi (Dir.1)	$V_{Rd1,max,neg}$	=	1028,9	kN
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti negativi (Dir.2)	$V_{Rd2,max,neg}$	=	987,7	kN
Verifica di idoneità della sezione	$\delta_{1,pos}$	=	✓ 0,00	-
	$\delta_{2,pos}$	=	✓ 0,04	-
	$\delta_{1,neg}$	=	✓ 0,02	-
	$\delta_{2,neg}$	=	✓ 0,00	-

RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE PRIVA DI ARMATURA IDONEA A RESISTERE AL TAGLIO

Coefficiente di resistenza al taglio	$C_{Rd,c}$	=	0,12	-
Coefficiente k in direzione 1 per momenti positivi	$k_{1,pos}$	=	1,894	-
Coefficiente k in direzione 2 per momenti positivi	$k_{2,pos}$	=	1,913	-
Coefficiente k in direzione 1 per momenti negativi	$k_{1,neg}$	=	1,894	-
Coefficiente k in direzione 2 per momenti negativi	$k_{2,neg}$	=	1,913	-
Armatura tesa inferiore in direzione 1	$A_{inf,1}$	=	1571	mm ²
Armatura tesa superiore in direzione 1	$A_{sup,1}$	=	1571	mm ²
Armatura tesa inferiore in direzione 2	$A_{inf,2}$	=	1571	mm ²
Armatura tesa superiore in direzione 2	$A_{sup,2}$	=	1571	mm ²
Rapporto geometrico d'armatura tesa in direzione 1 per momenti positivi	$\rho_{1,pos}$	=	0,00628	-
Rapporto geometrico d'armatura tesa in direzione 2 per momenti positivi	$\rho_{2,pos}$	=	0,00654	-
Rapporto geometrico d'armatura tesa in direzione 1 per momenti negativi	$\rho_{1,neg}$	=	0,00628	-
Rapporto geometrico d'armatura tesa in direzione 2 per momenti negativi	$\rho_{2,neg}$	=	0,00654	-
Tensione dovuta alla presenza della forza assiale in direzione 1	σ_1	=	0,000	MPa
Tensione dovuta alla presenza della forza assiale in direzione 2	σ_2	=	0,000	MPa
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti positivi (Dir.1)	$V_{Rd1,c,pos}$	=	345,8	kN
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti positivi (Dir.2)	$V_{Rd2,c,pos}$	=	349,1	kN
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti negativi (Dir.1)	$V_{Rd1,c,neg}$	=	345,8	kN
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti negativi (Dir.2)	$V_{Rd2,c,neg}$	=	349,1	kN
Verifica di idoneità della sezione priva di armatura a taglio	$\delta_{1,pos}$	=	✓ 0,00	-
	$\delta_{2,pos}$	=	✓ 0,10	-
	$\delta_{1,neg}$	=	✓ 0,05	-
	$\delta_{2,nrg}$	=	✓ 0,00	-

2.8.4 Verifica Piedritti SLU-SLV



VERIFICA DEGLI ELEMENTI SHELL IN DIREZIONE "2" - NTC2018

CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	=	35.00	N/mm ²
Coefficiente che tiene in conto degli effetti di lungo termine	α_{ct}	=	0.85	-
Coefficiente di sicurezza	γ_c	=	1.50	-
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	=	29.05	N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	=	16.46	N/mm ²
Resistenza media a compressione	f_{cm}	=	37.05	N/mm ²
Resistenza media a trazione	f_{ctm}	=	2.83	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione (fratello 5%)	$f_{ctk,0.05}$	=	1.98	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione (fratello 95%)	$f_{ctk,0.95}$	=	3.69	N/mm ²
Modulo di elasticità normale medio	E_{cm}	=	32588	N/mm ²
Deformazione al raggiungimento della massima tensione	ϵ_{ct}	=	-0.00200	-
Deformazione ultima del calcestruzzo	ϵ_{cu2}	=	-0.00350	-

Acciaio per armatura

Resistenza caratteristica di snervamento	f_{yk}	=	450.00	N/mm ²
Deformazione ultima dell'acciaio	ϵ_{yk}	=	0.0675	-
Coefficiente di sicurezza	γ_s	=	1.15	-
Resistenza di calcolo a snervamento	f_{sd}	=	391.30	N/mm ²
Modulo di elasticità	E_s	=	200000	N/mm ²
Deformazione dell'acciaio al raggiungimento della tensione	ϵ_{yk}	=	0.001957	-

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE TRASVERSALE

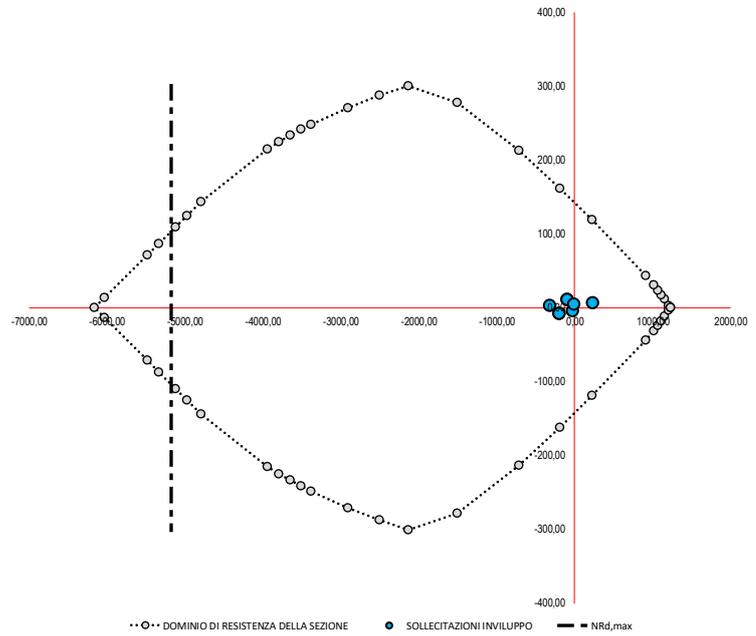
Altezza della sezione trasversale	h	=	300.00	mm
Larghezza della sezione trasversale	b	=	1000.00	mm

Armature predisposte nella sezione (predisporre almeno uno strato in zona tesa e uno in zona compressa)

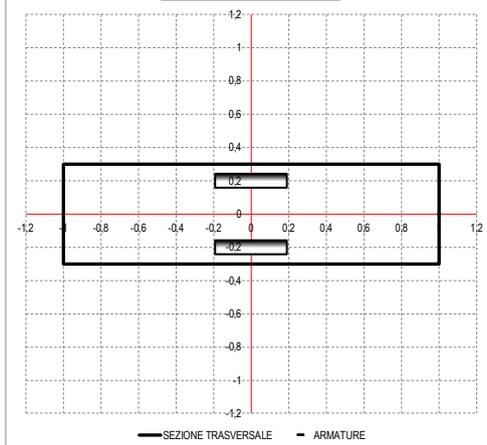
N° Strato	N° Ferri	Diametro	z_i	Area	$0.5h - z_i$	z_i'
-	-	mm	mm	mm ²	mm	mm
1	5	20	50.00	1571	100	250
2	5	20	250.00	1571	-100	50
3			0	0	0	0
4			0	0	0	0
5			0	0	0	0
6			0	0	0	0

z_i = distanza tra il bordo superiore della sezione in calcestruzzo ed il baricentro dell'armatura che si sta considerando

DOMINIO DI RESISTENZA - Fd2 + Md2



SEZIONE TRASVERSALE

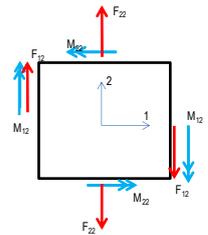


CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI DI DESIGN IN DIREZIONE 1

	F_{d2}	M_{d2}	V_{d2}	e_2
	[kN]	[kNm]	[kN]	[m]
Massima forza assiale in direzione 2 e momento associato	238	6	-5	2.58E-02
Minima forza assiale in direzione 2 e momento associato	-315	3	-10	-9.16E-01
Massimo momento in direzione 2 e forza assiale associata	-93	11	64	-1.15E-01
Minimo momento in direzione 2 e forza assiale associata	-192	-9	-34	4.44E-02
Massimo taglio in direzione 2 associato ai relativi valori di F_{d2} e M_{d2}	-93	11	64	4.44E-02
Minimo taglio in direzione 2 associato ai relativi valori di F_{d2} e M_{d2}	-192	-9	-34	4.44E-02
Massima eccentricità in direzione 2	-21.05	-4.23	11.64	2.01E-01
Minima eccentricità in direzione 2	-1.46	4.04	-21.26	2.77E+00

$$F_{d2} = F_{22} + |F_{12}|$$

$$M_{d2} = M_{22} + |M_{12}|$$



RESISTENZA LIMITE DELLA SEZIONE A COMPRESSIONE SEMPLICE

Massima forza di compressione sopportabile dalla sezione $N_{Rd,max} = -5180.12$ kN

VERIFICA A TAGLIO DEGLI ELEMENTI SHELL - NTC2018

CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	=	35,00	N/mm ²
Coefficiente che tiene in conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	=	0,85	-
Coefficiente di sicurezza	γ_c	=	1,50	-
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	=	29,05	N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	=	16,46	N/mm ²
Resistenza media a compressione	f_{cm}	=	37,05	N/mm ²
Resistenza media a trazione	f_{ctm}	=	2,83	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione (frattile 5%)	$f_{ctk,0.05}$	=	1,98	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione (frattile 95%)	$f_{ctk,0.95}$	=	3,69	N/mm ²
Modulo di elasticità normale medio	E_{cm}	=	32588	N/mm ²
Deformazione al raggiungimento della massima tensione f_{cd}	ε_{c2}	=	-0,0020	-
Deformazione ultima del calcestruzzo	ε_{cu2}	=	-0,0035	-

Acciaio per armatura

Resistenza caratteristica di snervamento	f_{yk}	=	450	N/mm ²
Deformazione ultima dell'acciaio	ε_{ud}	=	0,0675	-
Coefficiente di sicurezza	γ_s	=	1,15	-
Resistenza di calcolo a snervamento	f_{yd}	=	391,30	N/mm ²
Modulo di elasticità	E_s	=	200000	N/mm ²
Deformazione dell'acciaio al raggiungimento della tensione f_{yd}	ε_{yd}	=	0,001957	-

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE TRASVERSALE

Altezza della sezione trasversale	h	=	300	mm
Larghezza della sezione trasversale	b	=	1000	mm

SOLLECITAZIONI DI TAGLIO

Sollecitazione di taglio in direzione 1 associata alla presenza di momenti positivi	$V_{Ed,1,pos}$	=	58,8	kN
Sollecitazione di taglio in direzione 2 associata alla presenza di momenti positivi	$V_{Ed,2,pos}$	=	63,7	kN
Sollecitazione di taglio in direzione 1 associata alla presenza di momenti negativi	$V_{Ed,1,neg}$	=	81,1	kN
Sollecitazione di taglio in direzione 2 associata alla presenza di momenti negativi	$V_{Ed,2,neg}$	=	34,3	kN

RESISTENZA LIMITE A TAGLIO DELLA SEZIONE TRASVERSALE

Altezza utile in direzione 1 per momenti positivi	$d_{1,pos}$	=	240,00	mm
Altezza utile in direzione 2 per momenti positivi	$d_{2,pos}$	=	250,00	mm
Altezza utile in direzione 1 per momenti negativi	$d_{1,neg}$	=	240,00	mm
Altezza utile in direzione 2 per momenti negativi	$d_{2,neg}$	=	250,00	mm
Coefficiente di riduzione per effetto della fessurazione	v	=	0,500	-
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti positivi (Dir.1)	$V_{Rd1,max,pos}$	=	987,7	kN
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti positivi (Dir.2)	$V_{Rd2,max,pos}$	=	1028,9	kN
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti negativi (Dir.1)	$V_{Rd1,max,neg}$	=	987,7	kN
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti negativi (Dir.2)	$V_{Rd2,max,neg}$	=	1028,9	kN

Verifica di idoneità della sezione

$\delta_{1,pos}$	=	✓	0,06	-
$\delta_{2,pos}$	=	✓	0,06	-
$\delta_{1,neg}$	=	✓	0,08	-
$\delta_{2,nrg}$	=	✓	0,03	-

RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE PRIVA DI ARMATURA IDONEA A RESISTERE AL TAGLIO

Coefficiente di resistenza al taglio	$C_{Rd,c}$	=	0,12	-
Coefficiente k in direzione 1 per momenti positivi	$k_{1,pos}$	=	1,913	-
Coefficiente k in direzione 2 per momenti positivi	$k_{2,pos}$	=	1,894	-
Coefficiente k in direzione 1 per momenti negativi	$k_{1,neg}$	=	1,913	-
Coefficiente k in direzione 2 per momenti negativi	$k_{2,neg}$	=	1,894	-
Armatura tesa inferiore in direzione 1	$A_{inf,1}$	=	1571	mm ²
Armatura tesa superiore in direzione 1	$A_{sup,1}$	=	1571	mm ²
Armatura tesa inferiore in direzione 2	$A_{inf,2}$	=	1571	mm ²
Armatura tesa superiore in direzione 2	$A_{sup,2}$	=	1571	mm ²
Rapporto geometrico d'armatura tesa in direzione 1 per momenti positivi	$\rho_{1,pos}$	=	0,00654	-
Rapporto geometrico d'armatura tesa in direzione 2 per momenti positivi	$\rho_{2,pos}$	=	0,00628	-
Rapporto geometrico d'armatura tesa in direzione 1 per momenti negativi	$\rho_{1,neg}$	=	0,00654	-
Rapporto geometrico d'armatura tesa in direzione 2 per momenti negativi	$\rho_{2,neg}$	=	0,00628	-
Tensione dovuta alla presenza della forza assiale in direzione 1	σ_1	=	0,008	MPa
Tensione dovuta alla presenza della forza assiale in direzione 2	σ_2	=	0,311	MPa
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti positivi (Dir.1)	$V_{Rd1,c,pos}$	=	349,4	kN
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti positivi (Dir.2)	$V_{Rd2,c,pos}$	=	357,4	kN
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti negativi (Dir.1)	$V_{Rd1,c,neg}$	=	349,4	kN
Resistenza a taglio della sezione soggetta a momenti negativi (Dir.2)	$V_{Rd2,c,neg}$	=	357,4	kN
Verifica di idoneità della sezione priva di armatura a taglio	$\delta_{1,pos}$	=	✓ 0,17	-
	$\delta_{2,pos}$	=	✓ 0,18	-
	$\delta_{1,neg}$	=	✓ 0,23	-
	$\delta_{2,nrg}$	=	✓ 0,10	-

2.8.5 Verifica SLE Soletta superiore

Sollecitazioni da Inviluppo combinazioni SLE QP quasi permanenti, SLE FREQUENTE e SLE RARA/caratteristica :

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	30,3	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15,0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copriferro	d'	30	[mm]
Altezza utile della sezione	d	170	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	1571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	60,79	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	378238107,7	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	17,43	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	4,87	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	131,23	[MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	21,0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15,0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	200	[-]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[-]
Copriferro	d'	30	[-]
Altezza utile della sezione	d'	170	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	1571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	60,79	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	378238107,7	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	13,0725	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	3,38	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	90,95	[MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	24,8	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15,0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	200	[MPa]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[-]
Copriferro	d'	30	[kNm]
Altezza utile della sezione	d'	170	[kNm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	1571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	60,79	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	378238107,7	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	3,99	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	107,42	[MPa]

CONTROLLO DI FESSURAZIONE A SLS			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copriferro	d'	30	[mm]
Altezza utile della sezione	d	170	[mm]
Area dell'armatura tesa	A _s	1571	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A' _s	1571	[mm ²]
Distanza tra il bordo del cls e l'armatura	c	30	[mm]
Distanza tra i baricentri delle barre	s	200	[mm]
Distanza massima di riferimento tra le barre	S _{r,max}	200	[mm]
Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante per la combinazione Quasi Permanente	M_{Ed,q.p.}	21	[kNm]
Durata del carico		breve	[-]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	60,79	[mm]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ _s	90,95	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	f _{ct,eff}	2,8	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	k ₁	0,6	[-]
Altezza efficace	h _{c,eff}	46,4032843	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	A _{c,eff}	46403,2843	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	ρ _{p,eff}	0,03385	[-]
Rapporto tra E _s /E _{cm}	α _e	6,32	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	ε _{sm} - ε _{cm}	0,000145	[-]
		0,000265	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	φ _{eq}	20,00	[mm]
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	k ₁	0,8	[-]
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k ₂	0,5	[-]
	k ₃	3,4	[-]
	k ₄	0,425	[-]
Distanza massima tra le fessure	S _{r,max}	202,44	[mm]
		202,44	[mm]
Ampiezza delle fessure	w_k	0,0536	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	w_{max}	0,2	[mm]
Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Frequente			
Momento sollecitante per la combinazione Frequente	M_{Ed,req.}	24,803	[kNm]
Durata del carico		breve	[-]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	60,79	[mm]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ _s	107,42	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	f _{ct,eff}	2,8	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	k ₁	0,6	[-]
Altezza efficace	h _{c,eff}	46,4032843	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	A _{c,eff}	46403,2843	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	ρ _{p,eff}	0,03385	[-]
Rapporto tra E _s /E _{cm}	α _e	6,32	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	ε _{sm} - ε _{cm}	0,000225	[-]
		0,000313	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	φ _{eq}	20,00	[mm]
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	k ₁	0,8	[-]
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k ₂	0,5	[-]
	k ₃	3,4	[-]
	k ₄	0,425	[-]
Distanza massima tra le fessure	S _{r,max}	202,44	[mm]
		202,44	[mm]
Ampiezza delle fessure	w_k	0,0633	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	w_{max}	0,2	[mm]
Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Caratteristica			
Momento sollecitante per la combinazione Caratteristica	M_{Ed,charatt.}	30,3	[kNm]
Durata del carico		breve	[-]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	60,79	[mm]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ _s	131,23	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	f _{ct,eff}	2,8	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	k ₁	0,6	[-]
Altezza efficace	h _{c,eff}	46,4032843	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	A _{c,eff}	46403,2843	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	ρ _{p,eff}	0,03385	[-]
Rapporto tra E _s /E _{cm}	α _e	6,32	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	ε _{sm} - ε _{cm}	0,000341	[-]
		0,000382	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	φ _{eq}	20,00	[mm]
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	k ₁	0,8	[-]
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k ₂	0,5	[-]
	k ₃	3,4	[-]
	k ₄	0,425	[-]
Distanza massima tra le fessure	S _{r,max}	202,44	[mm]
		202,44	[mm]
Ampiezza delle fessure	w_k	0,0774	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	w_{max}	0,3	[mm]

La sezione della soletta superiore di spessore pari a 20 cm., risulta verificata anche agli stati limiti di esercizio e fessurazione.

2.8.6 Verifica SLE Soletta inferiore

Sollecitazioni massime da Involuppo combinazioni SLE QP quasi permanenti, SLE FREQUENTE e SLE RARA/caratteristica :

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	35,0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15,0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d	260	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	1571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	80,77	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	971696447,8	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	17,43	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	2,91	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	96,83	[MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	23,0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15,0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	300	[-]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[-]
Copriferro	d'	40	[-]
Altezza utile della sezione	d'	260	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	1571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	80,77	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	971696447,8	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	13,0725	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	1,91	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	63,63	[MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	31,5	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15,0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	300	[MPa]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[-]
Copriferro	d'	40	[kNm]
Altezza utile della sezione	d'	260	[kNm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	1571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	80,77	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	971696447,8	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	2,62	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	87,15	[MPa]

CONTROLLO DI FESSURAZIONE A SLS			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d	260	[mm]
Area dell'armatura tesa	A _s	1571	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A' _s	1571	[mm ²]
Distanza tra il bordo del cls e l'armatura	c	40	[mm]
Distanza tra i baricentri delle barre	s	200	[mm]
Distanza massima di riferimento tra le barre	s _{ref,max}	250	[mm]
Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante per la combinazione Quasi Permanente	M_{ed,q.p.}	23	[kNm]
Durata del carico		breve	[-]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	80,77	[mm]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ _s	63,63	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	f _{ct,eff}	2,8	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	k _f	0,6	[-]
Altezza efficace	h _{c,eff}	73,0753875	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	A _{c,eff}	73075,3875	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	ρ _{p,eff}	0,02150	[-]
Rapporto tra E _s /E _{cm}	α _e	6,32	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	ε _{sm} - ε _{cm}	-0,000127	[-]
		0,000185	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	φ _{eq}	20,00	[mm]
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	k ₁	0,8	[-]
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k ₂	0,5	[-]
	k ₃	3,4	[-]
	k ₄	0,425	[-]
Distanza massima tra le fessure	s _{r,max}	294,17	[mm]
		294,17	[mm]
Ampiezza delle fessure	w_k	0,0545	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	w_{max}	0,2	[mm]
Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Frequente			
Momento sollecitante per la combinazione Frequente	M_{ed,freq.}	31,5	[kNm]
Durata del carico		breve	[-]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	80,77	[mm]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ _s	87,15	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	f _{ct,eff}	2,8	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	k _f	0,6	[-]
Altezza efficace	h _{c,eff}	73,0753875	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	A _{c,eff}	73075,3875	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	ρ _{p,eff}	0,02150	[-]
Rapporto tra E _s /E _{cm}	α _e	6,32	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	ε _{sm} - ε _{cm}	-0,000013	[-]
		0,000254	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	φ _{eq}	20,00	[mm]
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	k ₁	0,8	[-]
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k ₂	0,5	[-]
	k ₃	3,4	[-]
	k ₄	0,425	[-]
Distanza massima tra le fessure	s _{r,max}	294,17	[mm]
		294,17	[mm]
Ampiezza delle fessure	w_k	0,0747	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	w_{max}	0,2	[mm]
Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Caratteristica			
Momento sollecitante per la combinazione Caratteristica	M_{ed,caratt.}	35	[kNm]
Durata del carico		breve	[-]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	80,77	[mm]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ _s	96,83	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	f _{ct,eff}	2,8	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	k _f	0,6	[-]
Altezza efficace	h _{c,eff}	73,0753875	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	A _{c,eff}	73075,3875	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	ρ _{p,eff}	0,02150	[-]
Rapporto tra E _s /E _{cm}	α _e	6,32	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	ε _{sm} - ε _{cm}	0,000034	[-]
		0,000282	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	φ _{eq}	20,00	[mm]
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	k ₁	0,8	[-]
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k ₂	0,5	[-]
	k ₃	3,4	[-]
	k ₄	0,425	[-]
Distanza massima tra le fessure	s _{r,max}	294,17	[mm]
		294,17	[mm]
Ampiezza delle fessure	w_k	0,0830	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	w_{max}	0,3	[mm]

La sezione della soletta inferiore di spessore pari a 30 cm., risulta verificata anche agli stati limiti di esercizio e fessurazione.

2.8.7 Verifica SLE Piedritti

Sollecitazioni da Inviluppo combinazioni SLE QP quasi permanenti, SLE FREQUENTE e SLE RARA/caratteristica :

VERIFICA A FESSURAZIONE + TENSIONI DI ESERCIZIO - COND. CARATTERISTICA					
B	100 cm	Md	24 kNm		
H	30 cm	Nd	201 kN		
c	4 cm	Rck	35		
d	26 cm	fck	29,05		
nbarre	5	fctm	2,834993		
dmedio	2,00 cm	fctm/1.2	2,36 N/mm ²		
c'	3,00 cm	fyd	391,31 N/mm ²		
deff1	18,0 cm	fyk	450 N/mm ²		
deff2	6,23 cm				
deff	6,2 cm				
Determinazione asse neutro - sezione parzializzata - armatura simmetrica:					
PRESSOFLESSIONE RETTA			FLESSIONE SEMPLICE RETTA		
$y^3 + 3(e - H/2)y^2 + 12\left(\frac{A_s}{b}\right)ey - 6\left(\frac{A_s}{b}\right)(hd + hc) = 0$			$\frac{by^2}{2} + nA_s(y - c) - nA_s(d - y) = 0$		
ULS - determinazione σ_s					
b [cm] =	100	d [cm] =	26	c [cm] =	4
Md=	24,00 kNm			n =	15
Nd=	201,00 kN				
e=	11,94 cm				
A's=	15,71 cm ²				
As=	15,71 cm ²				
Ast=	31,42 cm ²				
h=	22,94 cm				
h'=	0,94 cm				
Δ =	0,00 cm ³				
y=	17,53 cm				
Jid=	239631,3286 cm ⁴				
σ_{c_max}	1,76 N/mm ²	<	0,6fck=	17,43 N/mm ²	OK
σ_{s_max}	12,72 N/mm ²	<	0,8fck=	360 N/mm ²	OK
determinazione σ_{sr}					
B	100 cm				
Mfess	45,51 kNm				
b [cm] =	100	d [cm] =	26	c [cm] =	4
Md=	45,51 kNm	y_G =	15,00 cm	Jid =	282019,9 cm ⁴
Nd=	201,00 kN	H=	30 cm	Wid =	18801,33 cm ³
e=	22,64015292 cm	h=	33,64 cm	Aid=	3471,239 cm ²
A's=	15,71 cm ²	h'=	33,64 cm		
As=	15,71 cm ²				
Ast=	31,42 cm ²				
Δ =	0,00 cm ³				
y=	12,93 cm				
Jid=	131067,6291 cm ⁴				
σ_{c_max}	4,49 N/mm ²	<	0,6fc=	18 N/mm ²	OK
σ_{s_max}	68,08 N/mm ²	<	fca=	500 N/mm ²	OK
determinazione ϵ_{sm}					
β_1	0,4			c'	3,00 cm
β_2	0,5			s	20,00 cm
E_s	206000 N/mm ²			k2	0,4
ϵ_{sm}	-0,029%			k3	0,125
				ϕ	2,00 cm
				nbarre	5
S_{rm}	13,96904641 cm			As	15,71 cm ²
w_m	0,040775161 mm			b	100 cm
				Ac,eff	623,46 cm ²
				ρ_r	0,025195
determinazione w_d					
w_d	0,000 mm	w_{lim}	0,3 mm		OK

2.9 ARMATURA

