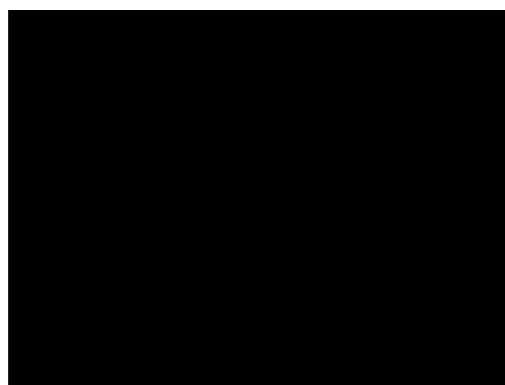


COMOTTO^{srl}

PROGETTAZIONE E COSTRUZIONE ELETTRODOTTI, IMPIANTI ILLUMINAZIONE
STRADALE E SPORTIVA, INFRASTRUTTURE TELEFONIA E SERVIZI,
OPERE EDILI E MOVIMENTO TERRA CONNESSE

Comune	PAESANA (CN) Loc. Calcinere e Ghisola			
Committente	CARTIERE BURGO spa			
Progettista	Ing. Giacomino Sordella Coll. Ing. Giovanni Farotto			
Opera	RICOSTRUZIONE LINEA ELETTRICA AT 70 KV "CALCINERE SANFRONT"			
Descrizione	Analisi idrogeologica e verifica dei sostegni dei tralicci prossimi all'alveo del fiume Po in caso di piena			
Data :04/04/2003	Scala :	Dis. :	N°	
			N°	Agg:
Commessa BT*0888	Settore elettromeccanico			



Nota:

PORTATA DI PIENA STIMATA CON TEMPO DI RITORNO
DUECENTENNALE

INDICE

1.	<u>Premessa</u>	3
2.	<u>Scopo del lavoro</u>	3
3.	<u>Stima della portata di piena</u>	3
4.	<u>Valutazione dell'innalzamento del livello del fiume in caso di piena</u>	4
5.	<u>Limitazioni della metodologia di calcolo applicata</u>	5
6.	<u>Valutazione del rischio per i plinti in caso di piena</u>	5
7.	<u>Tipologia dei plinti</u>	6
8.	<u>Metodologia di verifica della stabilità del plinto</u>	6
9.	<u>Verifica di stabilità</u>	8
9.1.	<u>Verifica 1</u>	9
9.2.	<u>Verifica 2</u>	9
10.	<u>Caratteristiche costruttive dei plinti</u>	9
11.	<u>Conclusioni</u>	10

ALLEGATI

- 1) Planimetria generale
- 2) Disegni dei plinti di fondazione
- 3) Estratto del Piano di Stralcio delle Fasce Fluviali (Autorità di Bacino del Fiume Po, Parma)
- 4) Tracciato delle sezioni in corrispondenza dei tralicci ed indicazione del livello di piena stimato

1. Premessa

Sulla base dell'incarico da Voi conferitoci, il nostro studio ha sviluppato la seguente analisi idrogeologica relativa alla ricostruzione della linea elettrica AT 70 kV "Calcinere Sanfront" (proprietà Cartiere Burgo) in località Calcinere e Ghisola nel comune di Paesana.

La linea, per il tratto in oggetto, è costituita da una serie di 9 tralicci, numerati come segue: 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11 (si veda il disegno allegato, planimetria generale, allegato 1).

I tralicci oggetto di ricostruzione, indicati in rosso sulla planimetria, sono quelli indicati poco sopra fatta eccezione per il traliccio n° 11.

Ciascuno dei tralicci è costituito da una parte metallica sviluppata in elevazione e da un plinto di fondazione parzialmente interrato.

I disegni dei plinti sono raccolti in allegato alla presente (allegato 2).

2. Scopo del lavoro

Sulla base della posizione dei plinti rispetto all'alveo del fiume, ci si propone di verificare la stabilità delle fondazioni dei tralicci in caso di piena del fiume, facendo riferimento, come richiesto dal Magistrato del Po di Moncalieri, ad una portata di piena stimata con tempo di ritorno duecentennale.

3. Stima della portata di piena

In questo senso, l'Autorità di Bacino del Fiume Po ha reso disponibile i risultati di uno studio appositamente sviluppato, in termini di portate stimate con tempo di ritorno 20, 100, 200, 500 anni (si veda l'allegato 3).

In realtà, lo studio di cui sopra ha interessato il fiume Po nel tratto compreso tra Gambasca e Rovigo; pertanto, la zona oggetto di studio, trovandosi a circa 20 km ad Ovest rispetto a Gambasca, risulta esclusa: in sostanza non sono disponibili dati stimati per la grandezza di interesse.

Tentando di fare un'interpolazione dell'incremento della portata in funzione della distanza chilometrica tra le località interessate dall'allegato 2 tabella 2, possiamo stimare che:

		distanza	portata in partenza	portata in arrivo	differenza	incremento al km
da	a	km	mc/s	mc/s	mc/s	(mc/s)/km
calcinere	gambasca	12	350	650	300	25
gambasca	villafranca piemonte	26	650	1300	650	25
villafranca	lombriasco	16	1300	2320	1020	63,75

Dove i numeri in grassetto rappresentano dei valori stimati considerando l'incremento di portata per unità di lunghezza minimo.

Quindi, pur sapendo che i valori ottenuti non sono esatti ma rappresentano un'ipotesi, possiamo sicuramente affermare che la differenza di bacino sotteso tra due ipotetiche sezioni disposte a Calcinere ed a Gambasca comporterebbe una portata di piena sicuramente maggiore per la sezione più a valle, ovvero quella di Gambasca, tanto più se si tiene conto del fatto che il fiume, nel tratto in oggetto, incontra due affluenti.

In sostanza, in prima approssimazione e a favore di sicurezza, si ritiene lecito assumere la portata q_{200} corrispondente alla sezione di Gambasca come valore di riferimento approssimato per eccesso per la portata di piena con tempo di ritorno 200 anni per la sezione di Calcinere.

Pertanto, con riferimento alla tabella 2 dell'estratto allegato (allegato 3), si assume

$$q_{200} = 650 \text{ m}^3/\text{s}$$

Questo valore verrà utilizzato nel seguito per il calcolo dell'innalzamento del livello del fiume nelle sezioni corrispondenti ai tralicci.

4. Valutazione dell'innalzamento del livello del fiume in caso di piena

Sulla base di un rilievo altimetrico effettuato lungo la linea elettrica in oggetto e delle curve altimetriche disponibili per la zona (vedere planimetria generale allegata), si è provveduto a tracciare una sezione in corrispondenza di ciascun plinto, tenendo conto della posizione reciproca plinto - alveo del fiume.

La tracciatura delle sezioni è riportata in allegato (allegato 4), con l'indicazione delle quote altimetriche di alcuni punti salienti (ad esempio la quota del fiume in condizioni normali e la posizione del plinto).

In ciascuna di queste sezioni, quindi, è stata inserita la portata di piena q_{200} .

Per la stima della quota corrispondente del pelo libero, si è applicata la seguente metodologia di calcolo, facendo riferimento alla teoria del moto dell'acqua nelle reti idrauliche:

la portata è stata considerata come

$$q_{200} = A \times v_m$$

con A = sezione di passaggio e v_m = velocità media corrispondente;

la velocità media v_m è stata valutata come segue:

$$v_m = (i \times R / b)^{0,5}$$

con:

i = pendenza del letto del fiume nel tratto considerato, che è stata valutata, sulla base dell'analisi della topografia della zona (vedere planimetria generale in allegato 1) pari al 3%,

R = raggio idraulico della sezione (pari al rapporto tra l'area della sezione ed il corrispondente perimetro bagnato, calcolati sulla base della geometria della sezione),

b = coefficiente di perdita, assunto pari a 0,0004 sulla base della letteratura disponibile in materia;

Appare evidente che, al crescere del livello dell'acqua e, conseguentemente, della sezione di passaggio, variano anche i parametri geometrici della sezione stessa (A , sezione ed R , raggio idraulico) e, quindi, anche la velocità media, da cui dipende la portata risultante.

Tenendo conto di quanto sopra riportato, si è calcolata, mediante un processo di elaborazione iterativo, per ciascun plinto, nella sezione corrispondente, la quota di livello corrispondente alla portata di piena q_{200} .

In generale si ottiene un innalzamento del livello dell'acqua compreso tra 1,5 e 4,5 m, variabile in funzione della tipologia di sezione.

La velocità v_m corrispondente si attesta su 7 m/s circa.

La tabella che segue riporta l'indicazione del livello dell'acqua in condizioni normali (L_0), del livello dell'acqua stimato per le condizioni di piena (L_p), della quota di terreno in corrispondenza del plinto (Q_p) e dell'innalzamento risultante $\Delta L = L_p - L_0$.

L'ultima colonna riporta anche l'indicazione della distanza tra il traliccio e la sponda del fiume.

Plinto n°	L_0 Quota fiume [m]	L_p Quota piena [m]	Q_p Quota plinto [m]	ΔL (innalzamento) [m]	Distanza traliccio - sponda [m]
1	690,0	691,5	694,0	1,5	25
3	682,0	685,0	686,0	3,0	45
4	673,0	676,2	676,0	3,2	25
5	666,0	668,6	670,0	2,6	95
6	658,0	662,0	665,0	4,0	35
7	650,0	654,5	659,0	4,5	80
8	642,0	647,0	655,0	3,0	120
10	634,0	639,5	649,0	4,5	135

Il risultato del calcolo, riportato anche nei disegni in allegato, verrà utilizzato per la verifica di stabilità dei plinti.

5. Limitazioni della metodologia di calcolo applicata

La metodologia di calcolo applicata presenta le seguenti approssimazioni:

- ⌚ la stima della portata è stata effettuata per eccesso, come già evidenziato nel capitolo 3;
- ⌚ non si è considerato il fenomeno di erosione del letto in caso di piena; dal punto di vista del livello di piena, si ritiene che ciò possa essere ritenuto trascurabile, soprattutto tenendo conto delle portate in gioco, dal punto di vista dell'asportazione di materiale presso i plinti, invece, la valutazione verrà effettuata nel seguito in fase di verifica dei plinti;

In sostanza, il metodo applicato non può essere ritenuto particolarmente preciso, ma sicuramente le incertezze risultanti sono in eccesso rispetto ai valori reali delle grandezze oggetto di calcolo; quindi i fattori trascurati (causati dalle approssimazioni) determinano un calcolo a favore di sicurezza.

6. Valutazione del rischio per i plinti in caso di piena

L'analisi dei risultati ottenuti permette di suddividere i plinti costituenti la linea oggetto di esame in tre categorie sulla base del rischio cui sarebbero sottoposti in caso di piena:

- | | | |
|---------------------|--|-----------------------|
| grado di rischio 1) | i plinti che verrebbero molto probabilmente raggiunti dall'acqua in caso di piena con portata q_{200} , $Q_p < L_p$ | → plinto 4; |
| grado di rischio 2) | i plinti che verrebbero raggiunti con probabilità scarsa dall'acqua in caso di piena con portata q_{200} , $Q_p - L_p < 1,5$ m | → plinti 3, 5; |
| grado di rischio 3) | i plinti che non verrebbero ragionevolmente raggiunti dall'acqua in caso di piena con portata q_{200} , $Q_p \gg L_p$ | → plinti 6, 7, 8, 10; |

Pertanto, la verifica di stabilità verrà effettuata soltanto per i plinti ascrivibili alle categorie 1 e 2, ovvero, i plinti n° 3, 4, 5.

7. Tipologia dei plinti

I plinti di cui sopra (categoria di rischio 1 e 2), secondo quanto indicato dal costruttore nelle tabelle e nei disegni degli stessi, corrispondono alle seguenti tipologie costruttive:

Plinto n°	Tipologia costruttiva	Massa del plinto
3	102-1	4470 kg
4	104-5	11015 kg
5	102-1	4470 kg

I disegni allegati riportano le caratteristiche geometriche di ciascuna delle tipologie su indicate. Si può osservare come i plinti del tipo 102-1 risultino di dimensioni minori rispetto agli altri.

8. Metodologia di verifica della stabilità del plinto

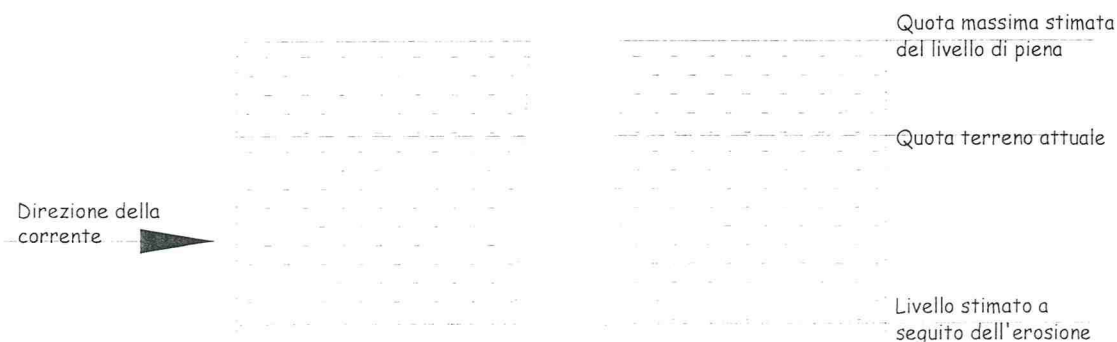
Sulla base dei risultati ottenuti, il plinto maggiormente critico risulta essere il plinto di tipo 104-5. Il plinto 102-1 presenta dimensioni più contenute ed un grado di rischio e sollecitazioni conseguenti minori.

A favore di sicurezza, la verifica verrà effettuata, secondo i criteri esposti nel seguito, sul plinto tipo 102-1, considerando le sollecitazioni corrispondenti alla condizione più critica risultante dal calcolo, ovvero quella corrispondente al plinto n° 4.

Nel caso la verifica risultasse positiva in queste condizioni, il risultato potrebbe essere sicuramente esteso anche agli altri plinti, con grado di sicurezza maggiore.

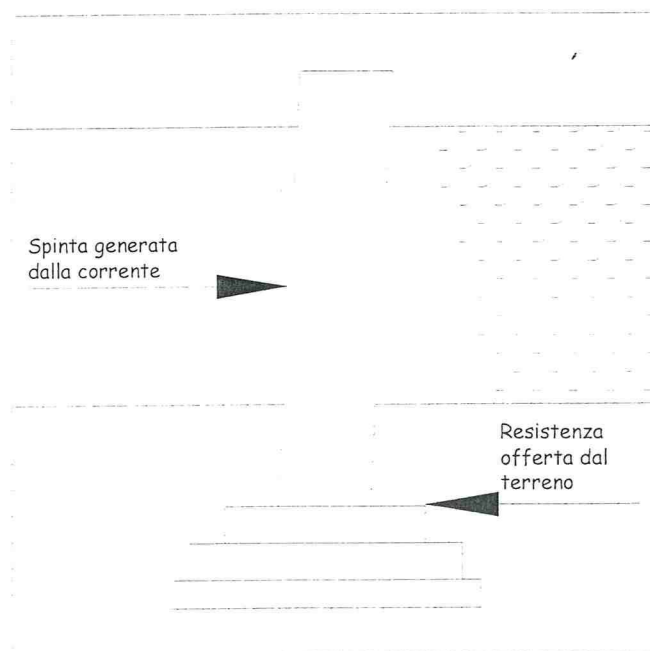
Per la verifica di stabilità del plinto si sono presi in considerazione:

- ① la disposizione del plinto nel terreno come indicata da disegno costruttivo (vedi figura seguente);
- ① un posizionamento del plinto tale da garantire una sporgenza fuori dal terreno pari almeno a 60 cm, allo scopo di garantire una migliore protezione dall'acqua per i tralicci metallici;
- ① un livello dell'acqua superiore, nella peggiore delle ipotesi, di 50 cm rispetto alla quota del terreno, come indicato nella figura seguente;
- ① una asportazione di terreno in corrispondenza del plinto per effetto della piena.



Il livello del terreno risultante per effetto della asportazione è stato valutato diversamente in due condizioni distinte.

- 1) non disponendo di dati precisi relativamente alle caratteristiche di granulometria e di permeabilità del terreno in oggetto, si è ipotizzata una prima condizione corrispondente all'asportazione di 1 m di terreno (figura seguente);



in questo caso, si sono prese in considerazione;

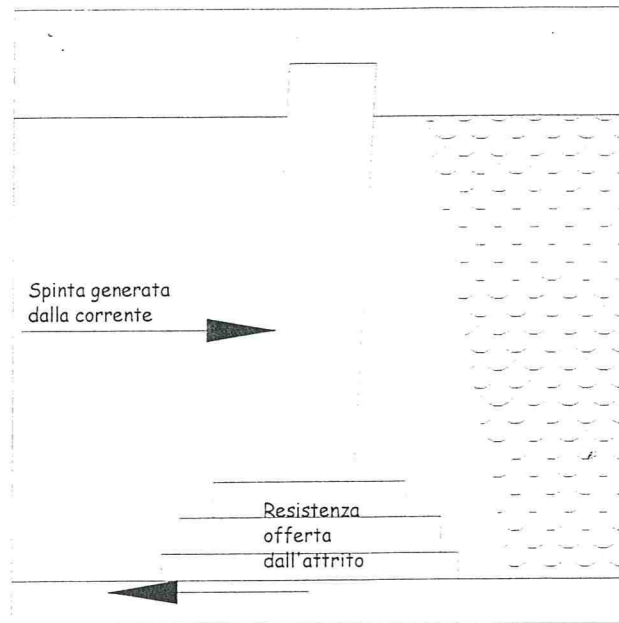
- ① la spinta generata dalla corrente di piena, valutata sulla base della superficie resistente offerta dalla parte immersa in acqua del plinto (A_r) e della velocità di impatto dell'acqua v , stimata in circa 3-4 m/s, sulla base della velocità media v_m pari a 7 m/s circa;

$$\text{Spinta corrente} = F1 = \gamma_o \times v^2 / 2g \quad (\gamma_o, \text{ massa specifica dell'acqua})$$

- ② la forza di risposta del terreno per la parte di plinto interrata, ipotizzata pari a $-F1$; a questa forza corrisponde una determinata tensione di compressione del terreno; al fine di assicurare una buona tenuta del terreno, si ritiene lecito verificare che detta tensione di compressione risulti almeno $< 1,5 \text{ kg/cm}^2$;

$$p = F1 / A_{ri} < 1,5 \text{ kg/cm}^2 \quad (A_{ri}, \text{ superficie resistente della parte interrata del plinto})$$

- 2) allo scopo di prendere in considerazione una condizione ancora più critica, si è ipotizzata l'asportazione di tutto il terreno intorno al plinto, come schematizzato nella figura seguente.



In questo caso, si sono prese in considerazione:

- la spinta generata dalla corrente di piena, valutata sulla base della superficie resistente offerta dalla parte immersa in acqua del plinto (A_r) e della velocità di impatto dell'acqua v , stimata in circa 3-4 m/s, sulla base della velocità media v_m pari a 7 m/s circa;

$$\text{Spinta corrente} = F_1 = \gamma \times v^2 / 2 \quad (\gamma, \text{ massa specifica dell'acqua})$$

- la resistenza offerta dall'attrito della base del plinto sulla sottofondazione, corrispondente a (coefficiente di attrito stimato sulla base della tipologia di sottofondazione e della letteratura disponibile: 0,5):

$$F_{att} = P \times 0,5 \quad (P, \text{ carico statico agente sul plinto})$$

NOTA: a favore di sicurezza, il carico statico agente sul plinto è stato assunto pari alla massa del plinto, trascurando il traliccio soprastante)

La verifica può essere ritenuta positiva nel caso in cui

$$F_1 < F_{att}$$

9. Verifica di stabilità

Sulla base della metodologia sopra esposta, nel seguito verrà effettuata la verifica del plinto tipo 102-1.

9.1. Verifica 1

$$A_r = 0,75 \text{ m}^2$$

$$v = 4 \text{ m/s}$$

$$F1 = 1630 \text{ kg}$$

$$A_{ri} = 1,135 \text{ m}^2$$

$$p = 0,14 \text{ kg/cm}^2$$

$$p < 1,5 \text{ kg/cm}^2$$

→ VERIFICA POSITIVA

9.2. Verifica 2

$$A_r = 2,13 \text{ m}^2$$

$$v = 4 \text{ m/s}$$

$$F1 = 1737 \text{ kg}$$

$$F_{att} = 2235 \text{ kg}$$

$$F1 < F_{att}$$

→ VERIFICA POSITIVA

10. Caratteristiche costruttive dei plinti

Sulla base dei risultati ottenuti, si ritiene utile che:

- i plinti soggetti a grado di rischio 2 e 3 presentino le seguenti caratteristiche costruttive, atte a garantire un buon comportamento degli stessi nell'ambiente oggetto di esame:
 - cemento utilizzato per i getti caratterizzato da $R_{ck} 350 \text{ kg/cm}^2$;
 - additivazione al getto di superfluidificanti;
 - copriferro pari almeno a 5 cm;
 - scavo in profondità e realizzazione di una sottofondazione per garantire una adeguata portanza del terreno;
- i plinti soggetti a grado di rischio maggiore (quelli del traliccio 4) preveda un sovradimensionamento dei tratti snelli di 50 cm in altezza, aumentando la sporgenza rispetto al terreno allo scopo di garantire una migliore protezione dall'acqua per i tralicci metallici;

11. Conclusioni

Sulla base dell'incarico da Voi conferitoci, il nostro studio ha sviluppato una analisi idrogeologica relativa alla ricostruzione della linea elettrica AT 70 kV "Calcinere Sanfront" (proprietà Cartiere Burgo) in località Calcinere e Ghisola nel comune di Paesana (vedere planimetria generale in allegato 1).

Per ciascun traliccio (le cui caratteristiche geometriche sono riportate nell'allegato 2), si è tracciata una sezione trasversale al letto del fiume, sulla base della quale si è effettuata una valutazione dell'innalzamento del livello dell'acqua a seguito di piena.

Per la stima della portata di piena si è fatto riferimento, in via cautelativa, alla portata di piena stimata con tempo di ritorno duecentennale per la sezione di Gambasca, come da studio reso disponibile dall'Autorità di Bacino del Fiume Po (allegato 3).

Per il calcolo dell'innalzamento si è applicata la teoria delle reti idrauliche.

Il confronto del livello dell'acqua risultante a seguito della piena e della quota di posizionamento dei plinti ha permesso di definire una classificazione di rischio per ciascun traliccio.

Di conseguenza si è messa a punto una metodologia, comunque conservativa rispetto alle condizioni evidenziate dal calcolo, per la verifica di stabilità per i plinti dei tralicci a maggior grado di rischio.

La verifica ha dato risultato positivo.

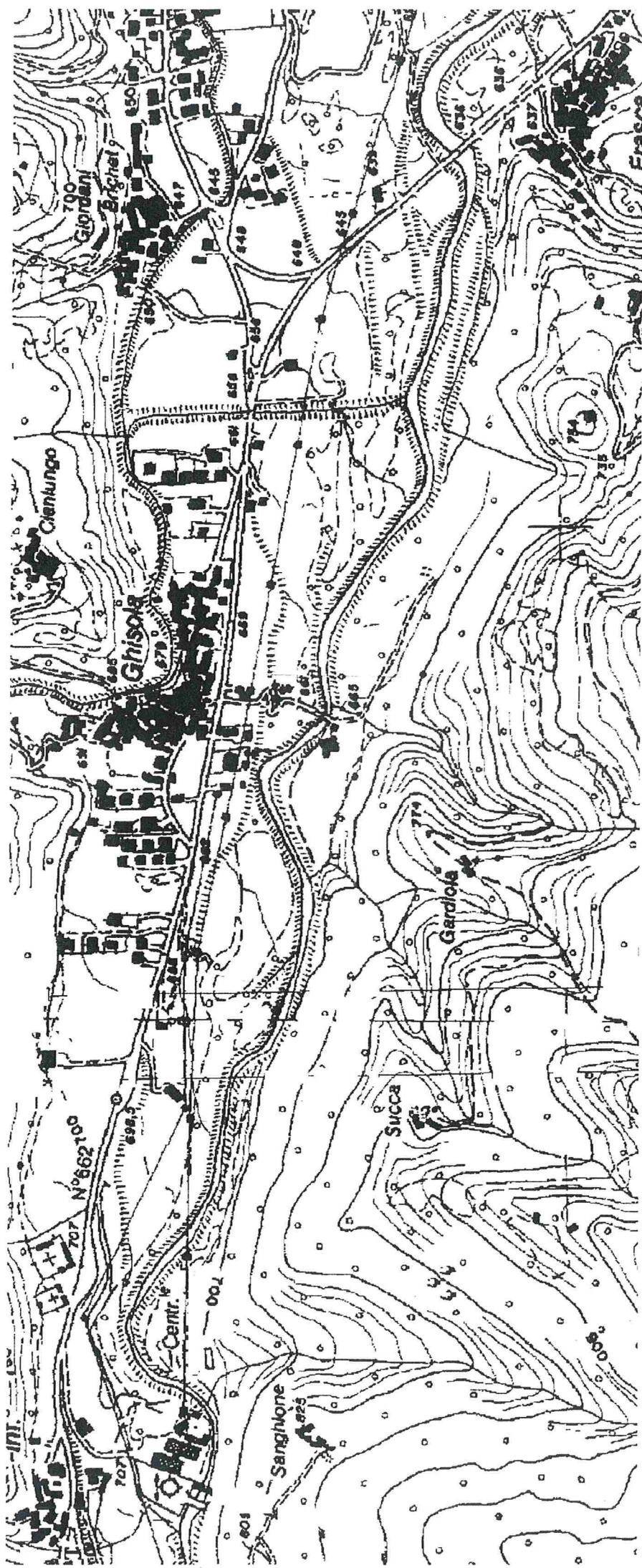
In conclusione, si ritiene che il rischio di inabilità non sussista; in ogni caso, si ritiene opportuno:

- posizionare i plinti del traliccio 4 (quello risultato a maggior grado di rischio) con una sporgenza fuori terra pari almeno a 60 cm, in modo da garantire che la tralicciatura metallica rimanga comunque al di sopra del livello dell'acqua anche in caso di piena;
- prevedere particolari accorgimenti costruttivi per i plinti dei tralicci 3, 4 e 5, allo scopo di garantirne un buon comportamento strutturale anche in ambiente umido.

RICOSTRUZIONE LINEA ELETTRICA AT 70 KV "CALCINERE SANFRONT" (PROPRIETÀ CARTIERE BURGO) IN LOCALITÀ CALCINERE E
GHISOLA NEL COMUNE DI PAESANA
ANALISI IDROGEOLOGICA E VERIFICA DEI SOSTEGNI DEI TRALICCI

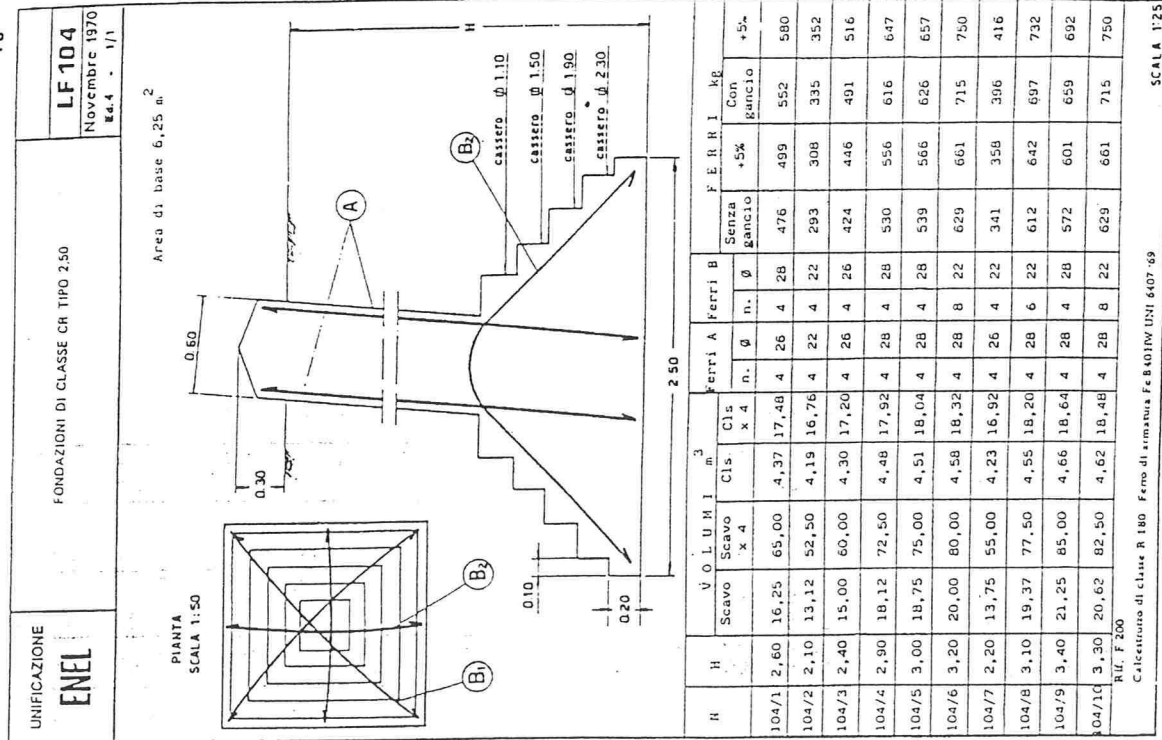
ALLEGATO 1

PLANIMETRIA GENERALE

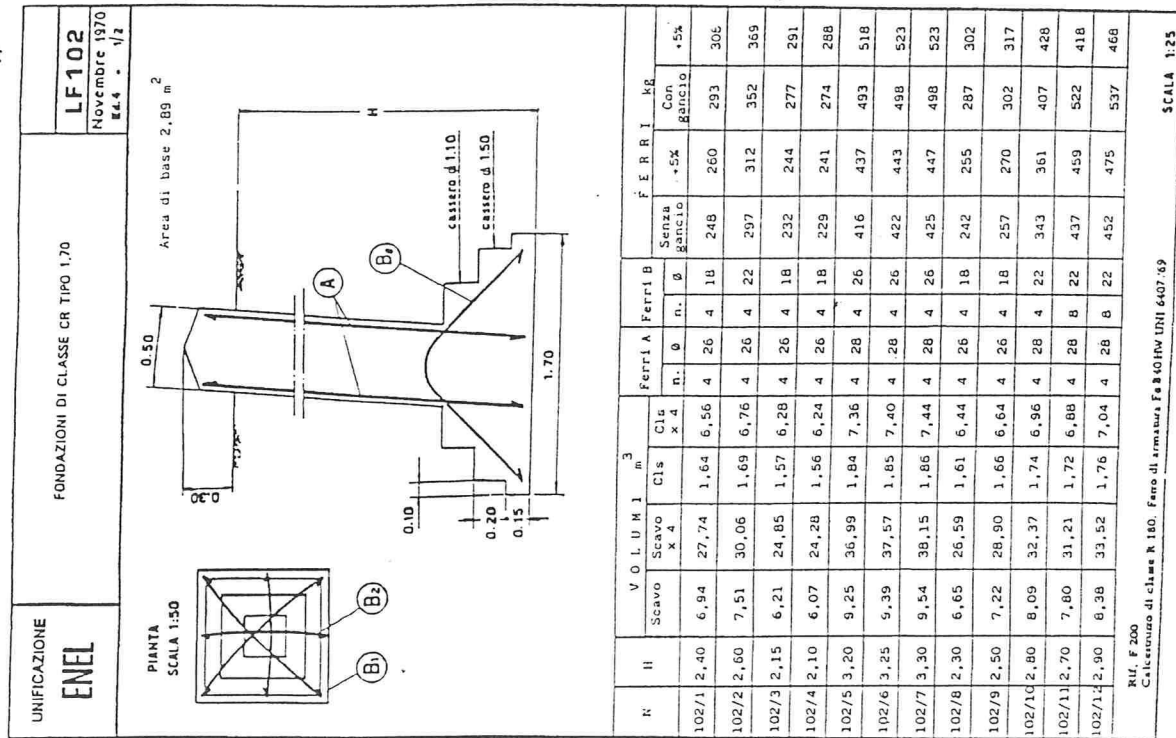


[illegible]

18



17



ALLEGATO 3

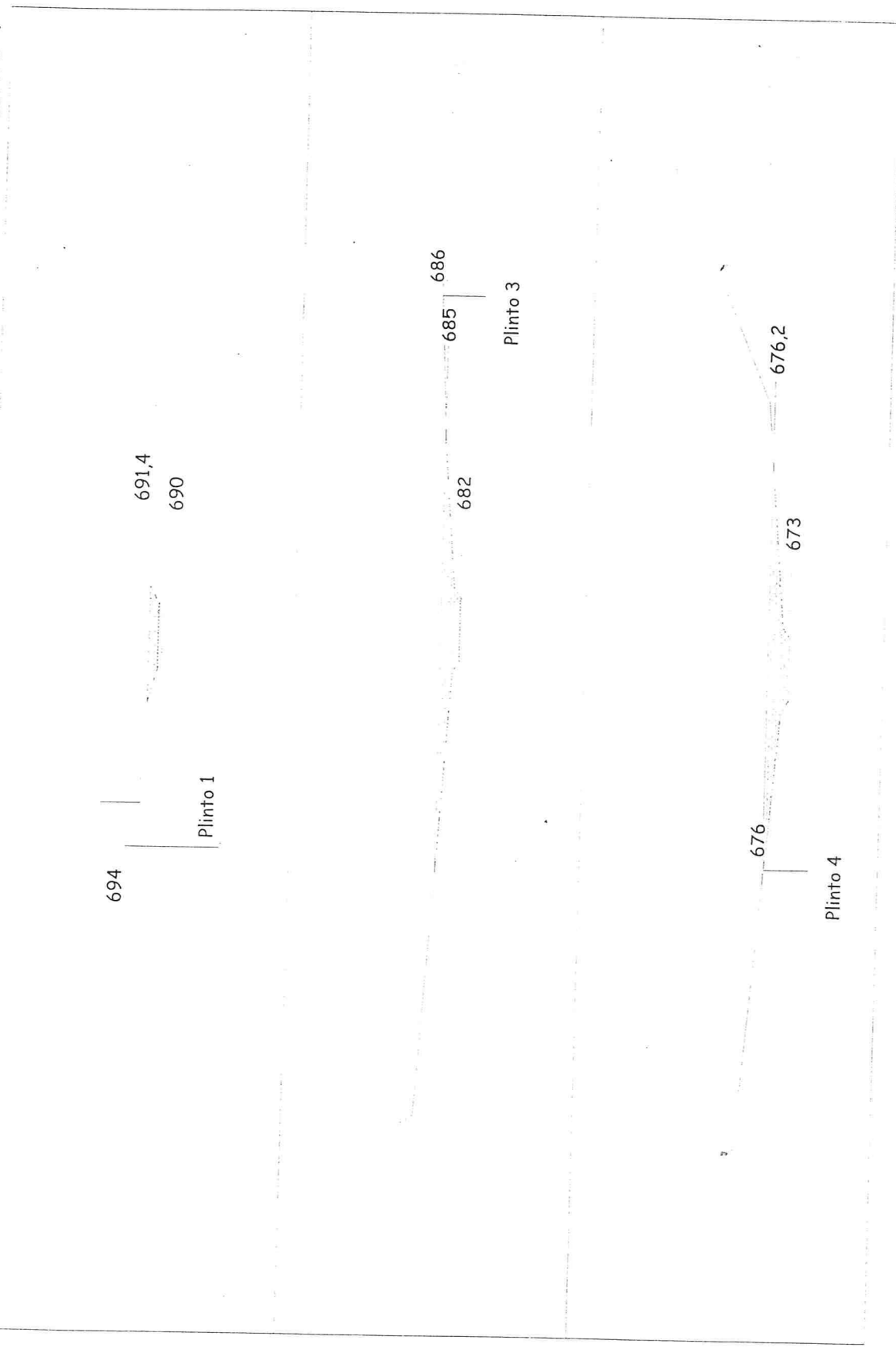
Tabella 2:

portate di piena per il Po nel tratto da Martiniana a Isola Sant'Antonio (confluenza Tanaro)

Bacino	Corso d'acqua	Sezione	Progr.(km)	Cod.	Denomin.	Superficie km²	Q20 m³/s	Q100 m³/s	Q200 m³/s	Q500 m³/s	Idrometro
Alto Po	Po		29.700	325	Gambasca	214	370	540	650	760	Denominazione
Alto Po	Po		53.787	311	Villafranca Piemonte	670	900	1100	1300	1460	
Alto Po	Po		72.000	300	Lombriasco	3500	1550	2100	2320	2630	Po a Moncalieri
Alto Po	Po		90.100	287	La Loggia	3820	1600	2150	2400	2720	
Alto Po	Po		98.051	281	Moncalieri	4885	1730	2350	2600	2950	Po a San Mauro
Alto Po	Po		118.464	255	San Mauro	7408	2600	3600	4000	4600	
Alto Po	Po		132.692	234	Chivasso	8960	3200	4400	4800	5500	Po a Palazzolo
Alto Po	Po		150.500	208	Palazzolo Vercellese	13640	4200	5600	6100	6900	
Alto Po	Po		181.127	163	Casale Monferrato	13940	4200	5600	6100	6900	Po a Casale Monferrato
Alto Po	Po		198.690	136	Breme	16780	5300	7000	7500	8400	
Alto Po	Po		204.761	125	Valenza	17030	5400	7100	7600	8500	
Alto Po	Po		223.273	97	Isola Sant'Antonio	25320	7000	9500	10300	11600	

PROGETTO LINEA ELETTRICA AT 70 KV "CALCINERE SANFRONT" (PROPRIETÀ CARTIERE BURGO) IN LOCALITÀ CALCINERE E
GHISOLA NEL COMUNE DI PAESANA
ANALISI IDROGEOLOGICA E VERIFICA DEI SOSTEGNI DEI TRALICCI

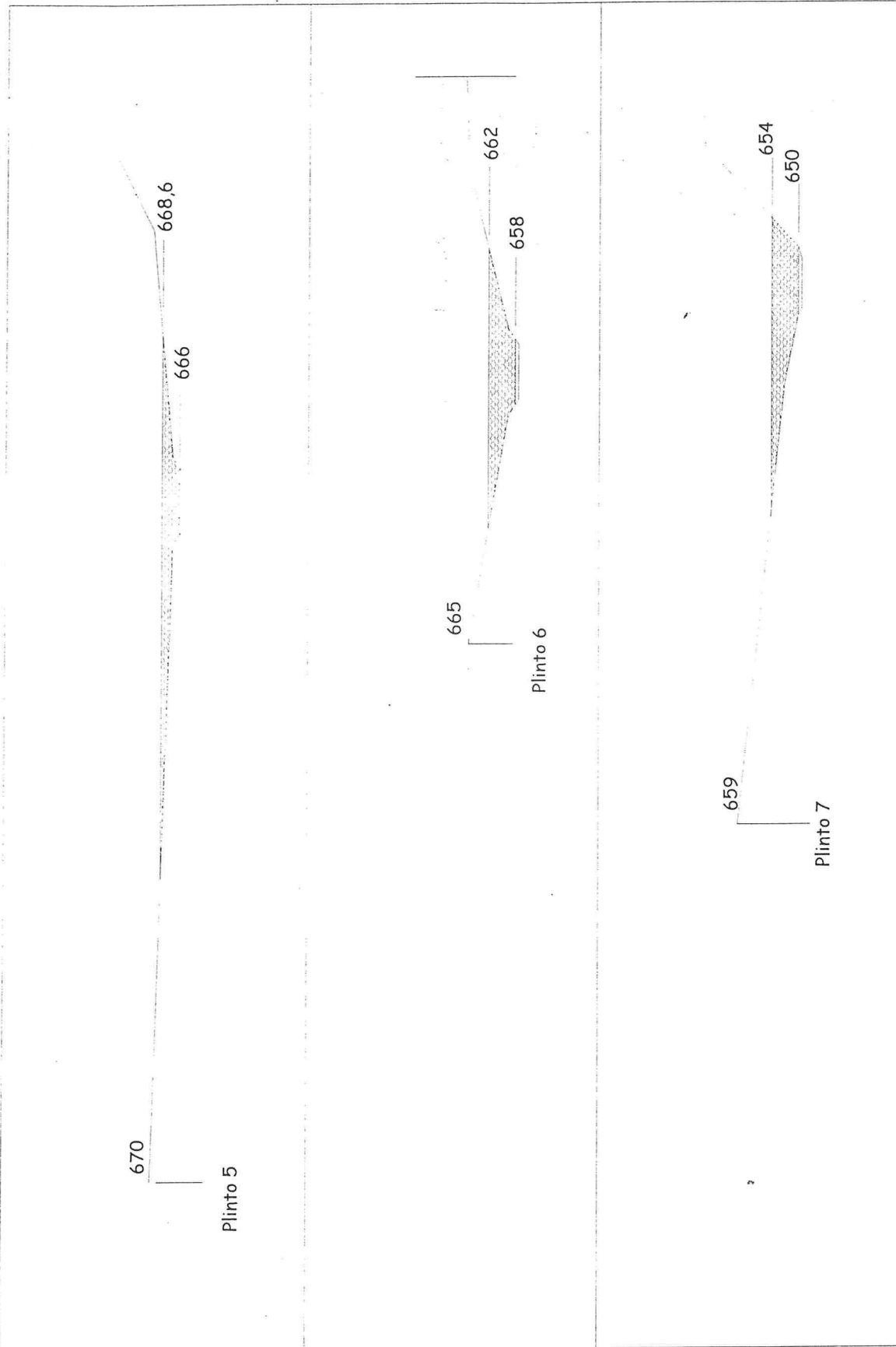
ALLEGATO 4



Unità di misura delle quote: m

RICOSTRUZIONE LINEA ELETTRICA AT 70 KV "CALCINERE SANFRONT" (PROPRIETÀ CARTIERE BURGO) IN LOCALITÀ CALCINERE E
 GHISOLA NEL COMUNE DI PAESANA
 ANALISI IDROGEOLOGICA E VERIFICA DEI SOSTEGNI DEI TRALICCI

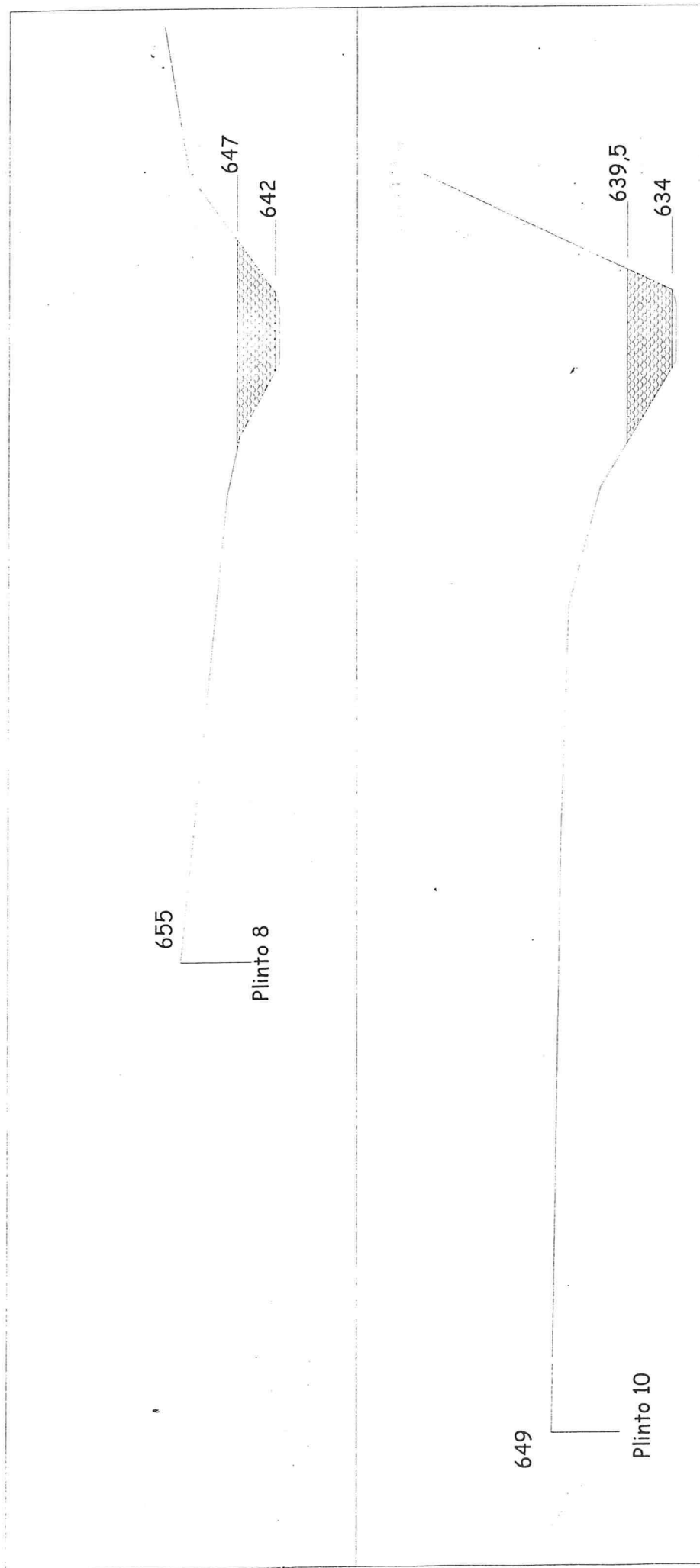
ALLEGATO 4



Unità di misura delle quote: m

RICOSTRUZIONE LINEA ELETTRICA AT 70 KV "CALCINERE SANFRONT" (PROPRIETÀ CARTIERE BURGO) IN LOCALITÀ CALCINERE E
GHISOLA NEL COMUNE DI PAESANA
ANALISI IDROGEOLOGICA E VERIFICA DEI SOSTEGNI DEI TRALICCI

ALLEGATO 4



Unità di misura delle quote: m