

CAPITOLO 10

ESEMPI DI CASSE DI ESPANSIONE E MANUFATTI IDRAULICI ACCESSORI

1. Le casse di espansione di La Moder e d'Erstein sul fiume Reno

1.1 Premessa

Il Reno nasce nell'arco alpino e si spinge fino al mare del Nord per una lunghezza totale di 1320 Km.

E' uno dei più grandi fiumi europei per lunghezza e ampiezza di bacino (220000 kmq) ed il primo dell'Europa occidentale. Nel suo tragitto scorre per 867 km nella Germania, 190 dei quali in corrispondenza del confine con la Francia, 375 km in Svizzera e per il resto in Olanda.

Nel tratto ricadente in Francia e in Germania, la gestione del fiume risale al diciannovesimo secolo. Fino al 1840 il Reno rimase in condizioni di naturalità assoluta. Il letto era disseminato di isole, spesso molto estese, separate da canali. La larghezza complessiva del fiume era notevole, compresa tra i 2 ed i 3 km. Ad ogni piena nuove isole si formavano mentre altre venivano sommerse e sparivano per sempre (figura 1).



Figura 1 Il Reno in un dipinto di Peter Birmann – Bale 1844 (V.N.F.)

Poiché gli argini che proteggevano la pianura crollavano frequentemente sotto le sollecitazioni della corrente in piena, gli stati rivieraschi furono spinti ad attivare una adeguata protezione delle città colpite dalle inondazioni.

La soluzione che si presentò più vantaggiosa fu quella di eliminare le isole e costringere le acque all'interno di un unico alveo. La *correzione* del fiume, pianificata dal colonnello Badois Tulla, ebbe inizio nel 1840 e si concluse nel tratto compreso tra *Sondernheim* e *Bale* nel 1860.

Questi lavori migliorarono effettivamente la protezione idraulica dei territori circostanti ma comportarono un notevole aumento della velocità dell'acqua: l'accorciamento del letto tra *Bale* e *Lauterbourg* risultò infatti del 14%. L'incremento di pendenza a ciò conseguente, assieme alle diminuite resistenze idrauliche, provocò un notevole incremento delle attività erosive ed un approfondimento del fondo del letto, che raggiunse una media di 6 cm per anno con un abbassamento complessivo a *Chalampé* di ben 7 m. Questo approfondimento fece emergere di fronte a *Kembs* la barra rocciosa *d'Istein*, ostacolo che divenne rapidamente un grosso problema per la navigazione.

Questi effetti negativi della sistemazione secondo il progetto di Tulla, costrinsero ad effettuare importanti lavori di *regolarizzazione* del canale del fiume tra *Lauterbourg* e *Strasbourg* e poi tra *Strasbourg* e *Bale* a partire dal 1930, durante la costruzione del *Grand Canal d'Alsace* situato parallelamente al *Reno*.

A partire dal 1932 entrarono in servizio i salti idroelettrici sul *Grand Canal d'Alsace*, il cui percorso era previsto inizialmente fino a *Strasbourg*.

Successivamente la gestione del fiume venne cambiata attraverso la realizzazione di quattro derivazioni del Reno sulle quali furono costruiti alcuni impianti idroelettrici (*Chute de Marckolsheim*, *Chute de Rhinau*, *Chute de Gerstheim*, *Chute de Strasbourg*) e chiuse. Questa gestione prese il nome di “gestione a festoni” in quanto l'aspetto del Reno, alla fine della realizzazione di queste opere, assunse un aspetto somigliante fortemente ad un festone.

Poiché vi fu una ripresa dei fenomeni erosivi a valle dell'ultimo salto idroelettrico, che rischiava di mettere fuori uso i porti di *Strasbourg* e *Kehl* ed avere effetti negativi sulle falde idriche sotterranee, visti i molteplici interessi che avrebbe prodotto il proseguimento della *canalizzazione*, furono costruiti due altri salti idroelettrici nello stesso letto del Reno a valle di *Strasbourg* (a *Gambsheim* e a *Iffzheim*).

Attualmente quindi il Reno risulta canalizzato da *Bale* a *Iffzheim*, mentre a valle di *Iffzheim* riprende il suo corso naturale (figura 2).

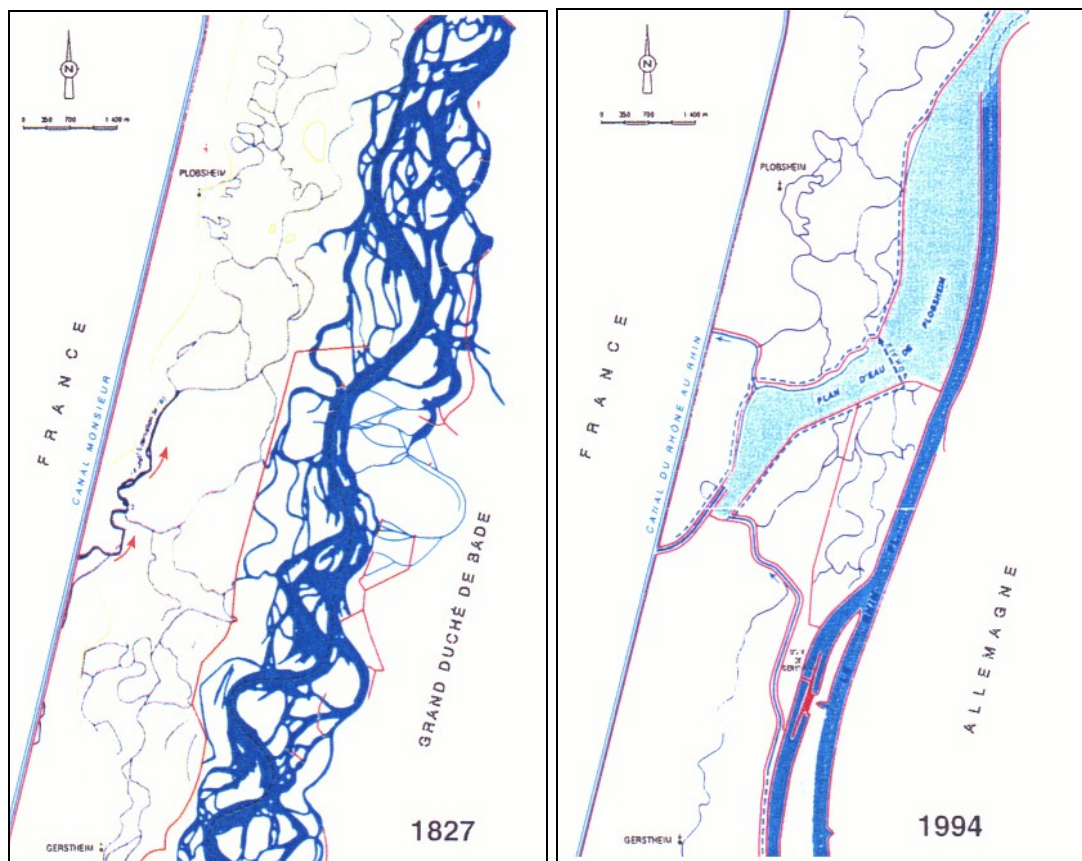


Figura 2 L'evoluzione del Reno dal 1827 al 1994 (V.N.F.)

Se è vero che la canalizzazione del fiume ha prodotto grandissimi vantaggi socio-economici - il Reno è infatti diventato un'importantissima via di comunicazione e nel tratto canalizzato è in grado di contenere piene millenarie - è altrettanto vero che dal punto di vista ambientale si è avuta la scomparsa di un paesaggio ricco e variegato caratterizzato da fitte foreste ed aree umide.

Inoltre la canalizzazione del fiume, riducendo l'estensione delle aree di allagamento, ha prodotto un incremento delle portate di piena: è stato infatti stimato che a valle di *Iffezheim* le portate a cui prima del 1955 erano attribuiti tempi di ritorno di duecento anni, si verificano attualmente con una frequenza sessantennale, con un incremento del 13 % (in accordo con il modello MG).

Come già detto in precedenza, si è avuto anche un notevole aumento delle azioni tangenziali sul fondo e quindi dei fenomeni erosivi.

La gravità della situazione venutasi a creare ha reso indispensabile un accordo franco-tedesco che nel 1982 si è concretizzato in una convenzione che prevede tra l'altro di riportare il rischio di esondazione nelle condizioni precedenti al 1955 oltre a quello di recuperare, per quanto possibile, le condizioni ambientali esistenti prima della canalizzazione.

La soluzione escogitata e quindi successivamente adottata è stata quella di trattenere il volume di piena in eccesso tra *Bale* e *Worms* attraverso una combinazione di misure localizzate principalmente tra *Bale* e *Iffezheim*. Simulazioni numeriche effettuate hanno dimostrato inizialmente che era necessario immagazzinare 220 milioni di mc per

ottenere gli effetti desiderati; attualmente si ritiene che il volume necessario sia di 265 milioni di mc a causa dell'intensificarsi dei fenomeni di urbanizzazione. L'insieme di provvedimenti adottati è il seguente:

- 1) Manovre eccezionali delle turbine del'E.D.F. (l'ENEL francese). In caso di piena vengono fermate le turbine ed alzate le paratoie lungo i quattro canali di cui si è parlato in precedenza. In questo modo è possibile invasare un volume d'acqua di 45 milioni di mc;
- 2) utilizzo di alcuni sbarramenti mobili per uso agricolo. In caso di piena questi vengono sollevati e l'area circostante allagata;
- 3) abbassamento delle golene per il contenimento di portate maggiori in alveo;
- 4) costruzione di casse di espansione (polder). Ne sono previste 2 sul lato francese del Reno (il *polder de La Moder* ed il *polder d'Erstein*) e 15 sul lato tedesco. Il volume globale di invaso previsto per quelle francesi è di circa 13,4 milioni di mc: 5,6 per la prima e 7,8 per la seconda.

Allo stato attuale le casse di espansione in funzione sono quelle di *La Moder* e quella di *Altenheim* in Germania mentre quella d'*Erstein* è in fase di costruzione (figura 3).

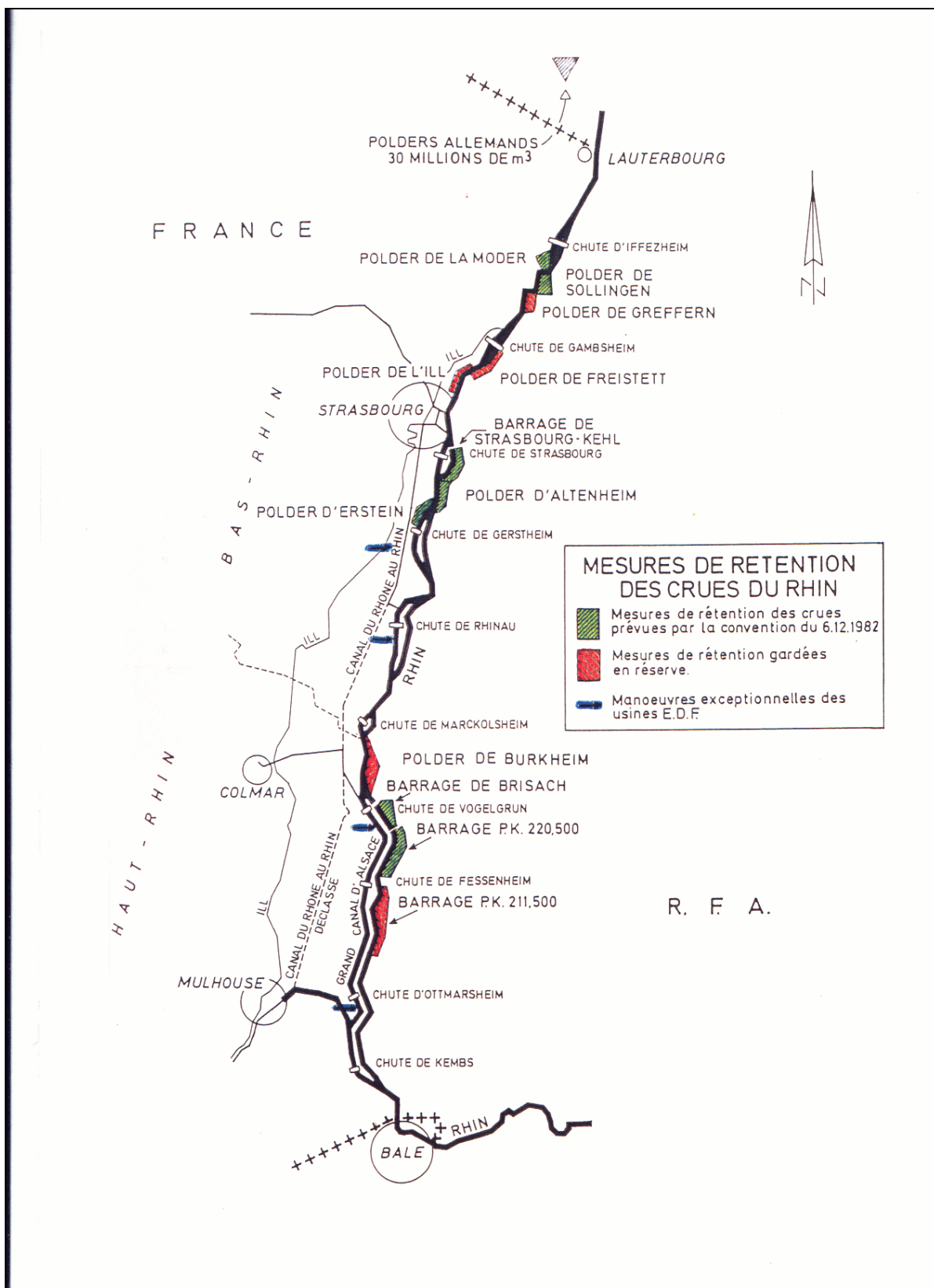


Figura 3 Il sistema di casse di espansione sul Reno (V.N.F.)

1.2 La Cassa di espansione di la Moder

La cassa di espansione di *La Moder* (figura 4 e 5) è gestita dal V.N.F. (Voies Navigable de France) la cui centrale operativa si trova a *Gerstheim*. Il V.N.F. è impegnato su più fronti per quel che concerne la gestione del Reno: controllo dell'inquinamento, fornitura di servizi per la navigazione, controllo delle piene, gestione del sistema di allerta e monitoraggio per l'inquinamento e per le piene e relativo servizio di pronto intervento.

Per ciò che concerne la gestione della cassa per il controllo delle piene vengono utilizzati i seguenti dati: le temperature della zona alpina fornite dal servizio meteorologico svizzero, le temperatura della zona dei Vosgi fornite dal servizio meteorologico francese (indicazioni utili per valutare le portate e i volumi derivanti dallo scioglimento della neve), la quantità di pioggia caduta nei giorni precedenti, le immagini satellitari fornite da *Meteo France*, le previsioni delle portate provenienti dal Servizio Idrologico di *Berna* rilevate alla sezione di *Basilea* con anticipo di 3 giorni, le portate di tutti gli affluenti del Reno in Svizzera con anticipo di otto ore, i livelli idrici nel tratto di competenza del V.N.F (da *Bale* a *Gerstheim*) che vengono rilevati una volta al giorno in condizioni normali e ogni 15 minuti durante le piene più intense.

Poiché dalla sezione di *Basilea* a quella di *Strasburgo* la piena impiega circa due ore, in fase di allerta l'organizzazione del V.N.F è in grado, entro le due ore, di mettere in atto una serie di procedure di prevenzione e di allertamento di tutti gli enti interessati.

La cassa di espansione di *La Moder* si trova nella zone di *Fort-Luis* poco più a nord di *Strasbourg*.



Figura 4 La cassa di La Moder in una foto aerea (V.N.F.)

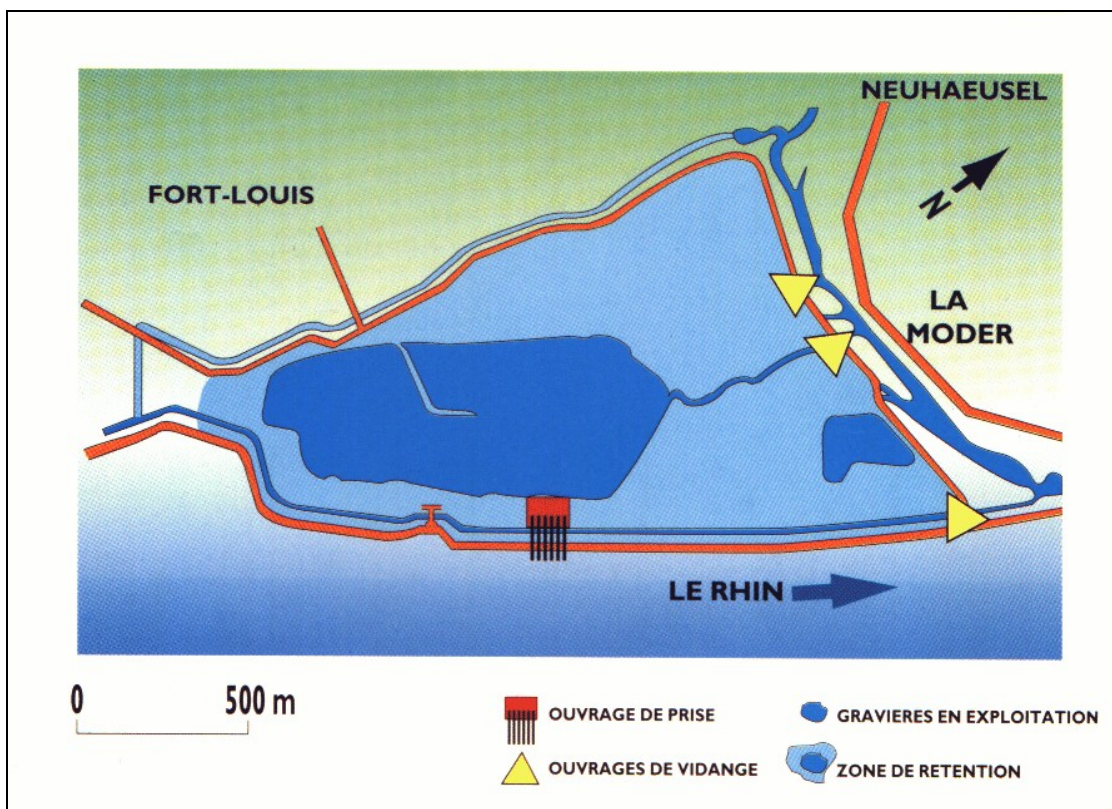


Figura 5. Schema di funzionamento idraulico della cassa di espansione di La Moder. (V.N.F.)

L'alimentazione della cassa avviene tramite 6 sifoni del diametro di 2,1 m. In caso di necessità vengono trasportati in loco un gruppo elettrogeno e una pompa che permette di produrre una depressione necessaria all'innescio dei sifoni. Gli altri sifoni vengono innescati a cascata in quanto sono collegati l'uno all'altro. Il primo sifone in funzione provoca una depressione nel secondo che a sua volta si innesci. La condizione di regime si raggiunge in 45 minuti circa e la portata complessivamente convogliata è di 160 mc/s (figura 6, 7).

Le bocche di ingresso sono costantemente sott'acqua, ciò consente l'innescio dei sifoni in qualunque periodo dell'anno. Di fronte alle bocche è posta una barriera flottante per impedire che il materiale galleggiante venga risucchiato dalle bocche e vada ad intasare i sifoni. Il disinnesco dei sifoni avviene attraverso l'apertura di una valvola collocata nel punto più alto del sifone che consente l'ingresso dell'aria ed il ripristino della pressione atmosferica.

Lo sbocco dei sifoni avviene all'interno di una vasca di dissipazione ove i massi, collocati per agevolare la dissipazione dell'energia, sono opportunamente fissati in modo da evitarne lo scalzamento sotto l'azione del getto d'acqua.

La scelta di questo sistema è stata consigliata dalla circostanza che nel sito in cui è situata la cassa, il Reno si trova ad un livello di 10 metri al di sopra del piano campagna. In queste condizioni le soluzioni classiche (sfioratore laterale o manufatto di ingresso regolato a sottopassare o a interrompere l'argine) avrebbero comportato eccessivi rischi per la stabilità delle arginature.



Figura 6 La batteria di sifoni (V.N.F.)

La cassa è dotata di tre manufatti di scarico che interrompono l'argine muniti di paratoie piane comandabili a distanza. Ciascuno di essi è in grado di smaltire una portata di 15 mc/s.

Gli argini presentano un nucleo centrale in argilla e sono rinforzati con una banchina impermeabile ed un diaframma centrale per evitare ogni possibilità di innesco di fenomeni di sifonamento.

Il franco arginale è di 0,5 m.

Il terreno costituente la cassa è molto permeabile e se questa rimane piena per qualche giorno provoca il rialzo locale della falda dando luogo a problemi di impaludamento locale e all'allagamento di abitazioni.

La cassa è costeggiata in parte da un contro canale e in parte dal fiume La Moder che ricevono le acque di scarico. In alcuni casi, se le opere di scarico sono aperte, l'acqua può scorrere dal fiume verso la cassa, dando vita ad aree umide circostanti. D'altro canto

se il livello del fiume sale eccessivamente, l'acqua può invadere la cassa attraverso le opere di scarico. Per questo motivo è importante il controllo dei manufatti di restituzione in tutti i periodi dell'anno.

All'interno della cassa esiste attualmente una cava per l'estrazione di ghiaia e sabbia. Questa attività sembra avere ammortizzato i costi sostenuti per la realizzazione della cassa.

Il riempimento della cassa avviene in 12 ore, mentre il tempo di permanenza dell'acqua all'interno di essa è tra i 2 ed i 4 giorni al massimo in quanto le coltivazioni ivi esistenti non possono rimanere sommerse a lungo. L'altezza d'acqua prevista raggiunge al massimo i 2,30 metri.

Il funzionamento dei sifoni era inizialmente previsto con cadenza annuale con scopo esclusivamente ecologico, ma i costi degli indennizzi ai proprietari sono risultati eccessivi e quindi la cassa ha oggi principalmente funzioni idrauliche. D'altro canto le inondazioni provocate per verificare il funzionamento complessivo della cassa hanno favorito la creazione di un'oasi naturalistica di invidiabile bellezza.

1.3 La Cassa di espansione d'Erstein

Questa cassa di espansione è situata a Nord di *Strasbourg* in adiacenza al bacino di compensazione di *Plobsheim*. La sua superficie totale è di circa 600 ettari ed il suo volume di ritenzione, come già detto, di 7,8 milioni di mc. Il progetto interessa tre comuni: *Erstein*, *Plobsheim* e *Nordhouse* (rispettivamente per il 89,5 %, il 10%, ed il 0,5%).



Figura 7 La cassa di espansione de'Erstein in una foto aerea (V.N.F.).

La cassa è delimitata a Nord Nord-Ovest dall'argine de bacino di compensazione di *Plobsheim*, ad Est dall'argine di canalizzazione del Reno ed a Sud Sud-Ovest dal vecchio canale di alimentazione dell'*Ill*.

Il funzionamento della cassa è previsto a partire da una portata caratterizzata da un tempo di ritorno di 10 anni.

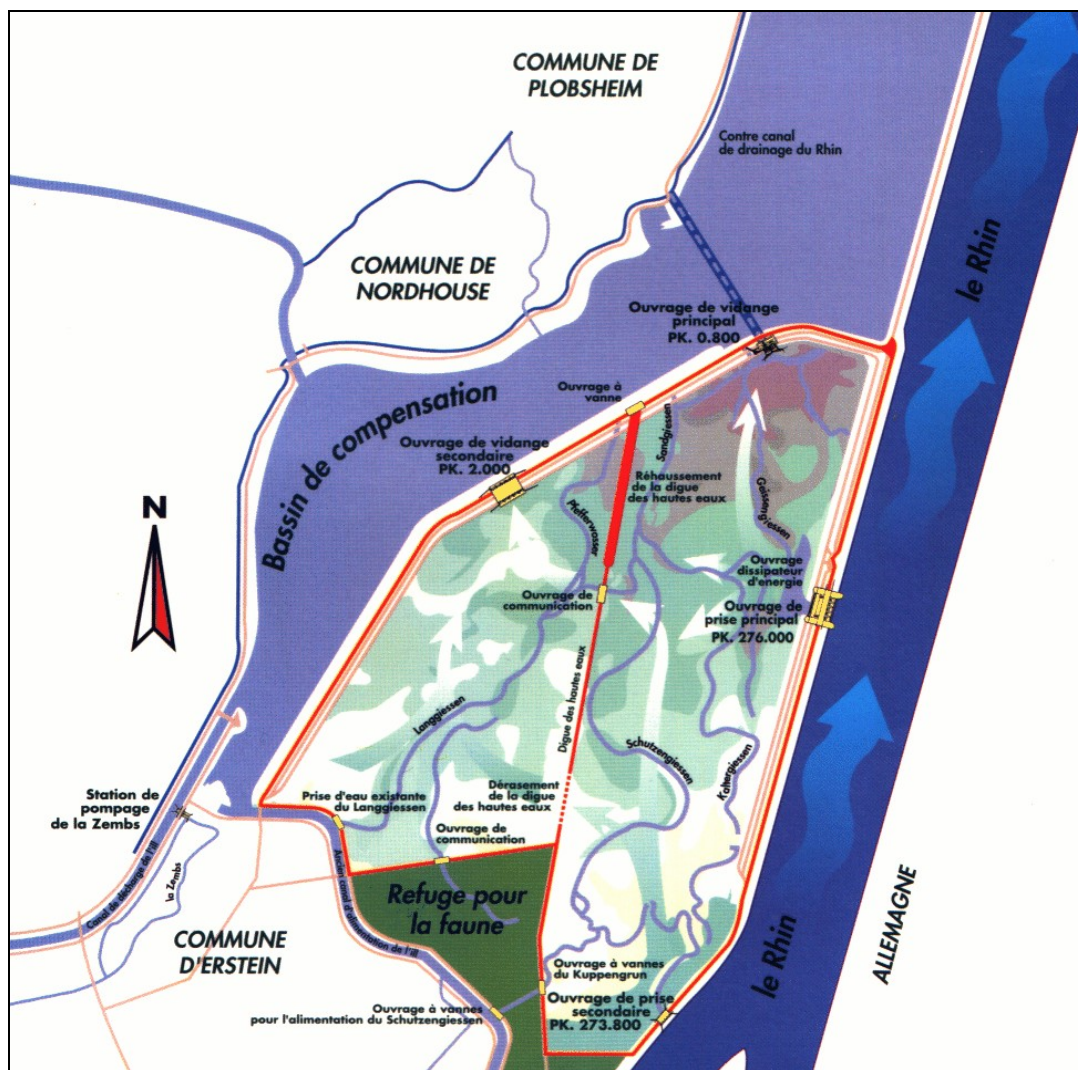


Figura 8 Schema di funzionamento (V.N.F.).

Il manufatto di alimentazione principale è collocato all'interno dell'arginatura sul Reno ed è sostanzialmente costituito da 5 ingressi, ciascuno munito di paratoie piane. La portata prevista in ingresso alla cassa in caso di evento di piena è pari a 160 mc/s. Le paratoie vengono aperte quando in alveo si raggiungono i 3500 mc/s ed il riempimento della cassa avviene in mezza giornata.

Al fine di evitare che corpi galleggianti ostruiscano gli ingressi impedendo la manovra delle paratoie, all'imbocco dell'opera di presa sono collocate barre flottanti. L'angolo ottimale delle barre, pari a 22°, è stato ottenuto tramite sperimentazione su modello fisico.

Lo sbocco dell'organo di alimentazione avviene all'interno di un bacino di dissipazione posto al di sotto del livello della falda in quel punto. Questo accorgimento permette di ridurre i fenomeni erosivi prodotti dall'acqua in ingresso alla cassa e quindi anche le dimensioni effettive del bacino di dissipazione.



Figura 9 Organo di alimentazione principale (V.N.F.).

La cassa è munita di un secondo organo di alimentazione posto più a Sud rispetto al primo. Esso consente il prelievo di una portata di circa 20 mc/s quando il Reno raggiunge una portata pari al 1600 mc/s, e di circa 30 mc/s quando la portata è di 3500 mc/s. E' costituito da quattro tubi di diametro 1,5 m progettati per il funzionamento esclusivo in pressione. Per realizzare questo obiettivo gli imbocchi sono regolati da paratoie asservite ad un misuratore di livello.

Per impedire l'intasamento dei tubi ed il blocco delle paratoie è stata prevista l'utilizzazione di griglie di protezione.

Per limitare i fenomeni di erosione sono stati collocati una serie di massi di 10/70 kg per una lunghezza di 13 metri nella sezione di ingresso e per una lunghezza di 30 metri nella sezione di sbocco.

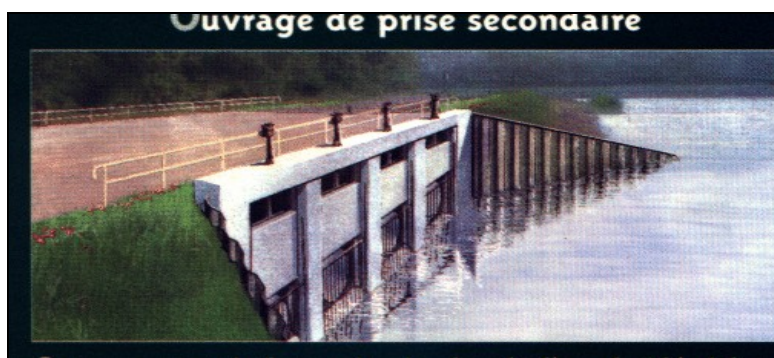


Figura 10 Organo di alimentazione secondario (V.N.F.).

La pendenza naturale del terreno ed anche quella della falda freatica hanno una orientazione Sud - Nord Est. Il punto più basso della cassa è quindi collocato tra l'argine del bacino di compensazione di *Plobsheim* e quello del Reno. Per questo motivo, quando fu costruito il bacino di compensazione, furono collocate al di sotto di esso due tubazioni di diametro interno pari a 1,96 metri e lunghe 800 metri che mettono in comunicazione il punto più basso del sito con il contro canale di drenaggio.

La presenza di un reticolo di drenaggio naturale all'interno della cassa che convoglia le acque all'ingresso delle tubazioni, consente di utilizzare questi manufatti come organo di scarico.

Questo manufatto è stato opportunamente adattato rinforzando le protezioni dell'arginatura e collocando nelle sezioni di imbocco due paratoie piane e due griglie.

La portata massima scaricabile è pari a 15 mc/s.



Figura 11 Organo di scarico principale (V.N.F.).

Nell'interno dell'argine del bacino di compensazione è situato un organo di scarico addizionale che permette, in caso di necessità, di svuotare più rapidamente la cassa e di consentire una migliore circolazione interna dell'acqua. La portata massima scaricabile è pari a 30-40 mc/s ed è ottenuta tramite 5 luci a sezione rettangolare regolate da paratoie piane.

E' possibile in questo modo, prevedendo una portata in ingresso di 30-40 mc/s, ottenere una ritenzione dell'acqua all'interno della cassa finalizzata a scopi ecologici.

La circolazione dell'acqua consente il mantenimento di una temperatura quasi costante ed un tasso di ossigeno disciolto elevato. Queste due condizioni permettono il mantenimento e lo sviluppo della flora del sito.

La circolazione idrica con una portata di 40 mc/s consente un ricambio d'acqua dell'80% in 45 ore.

L'organo di scarico ausiliario, consentendo di ridurre il tempo di svuotamento della cassa a una giornata, impedisce che le piante più giovani, interamente sommerse, soffrano eccessivamente.

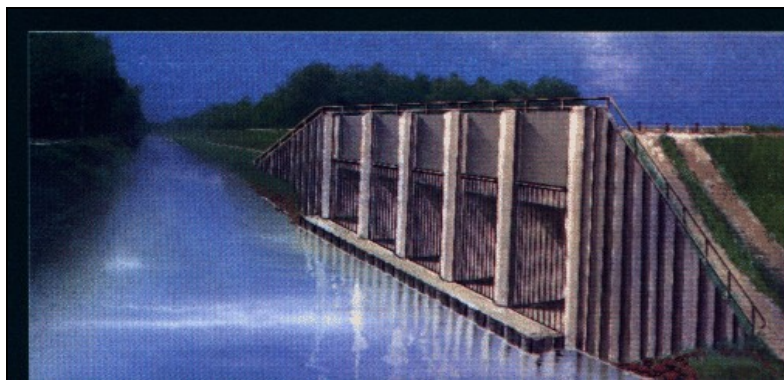


Figura 12 Organo di scarico ausiliario (V.N.F.).

L'altezza media dell'acqua all'interno della cassa è di circa 1,30 metri con valori massimi di 2,30 e 2,60 nel punto più basso.

1.4 Altri esempi di casse di espansione.

Nelle figure 13-20 sono riportati i dettagli della cassa di espansione realizzata sul fiume Secchia, mentre nelle figure 21 e 22 sono rappresentate le planimetrie di due casse di espansione previste sul fiume Tanaro e sul fiume Piave.



Figura 13 Cassa di espansione sul fiume Secchia (foto aerea)

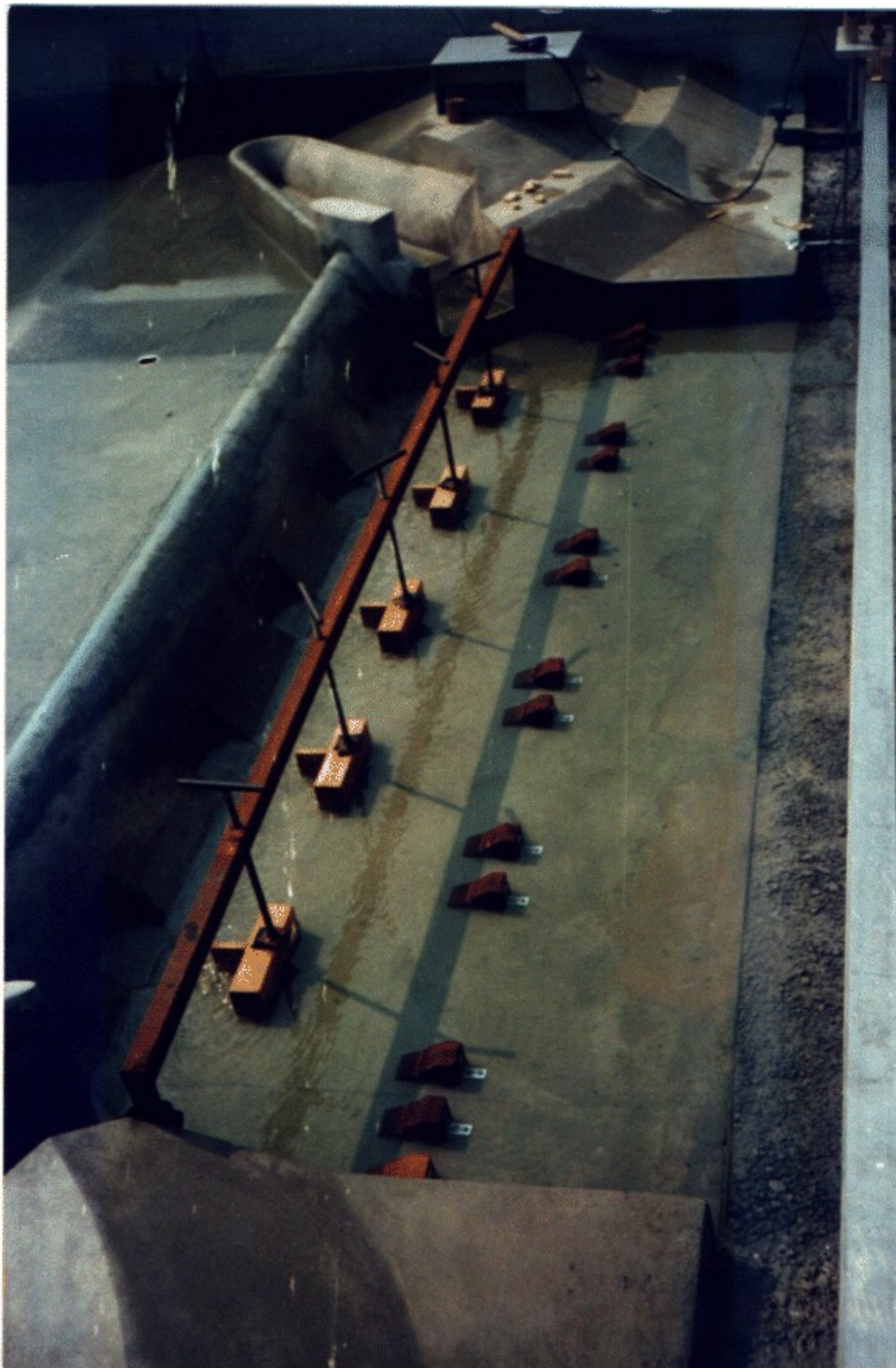


Figura 14 Modello fisico dello sfioratore laterale e dei manufatti di dissipazione della cassa di espansione sul fiume Secchia (Per gentile concessione di Studio Ingegneria G.M. Susin)



Figura 15 Modello fisico dello sfioratore laterale in funzione. Nella parte superiore della foto è visibile lo sfioratore di sicurezza.



Figura 16 Cassa di espansione sul fiume Secchia, particolari costruttivi

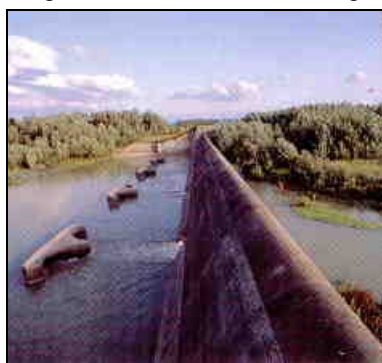


Figura 17 Cassa di espansione sul fiume Secchia, particolari costruttivi

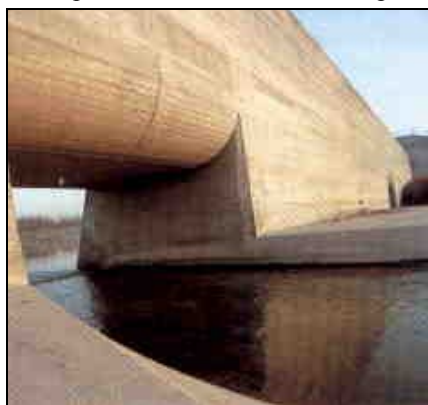


Figura 18 Cassa di espansione sul fiume Secchia, particolari costruttivi



Fig. 22 - Cassa di espansione sul Panaro a S. Cesario - Manufatto principale

Figura 19 Sfioratore laterale (da Baroncini, 1995)

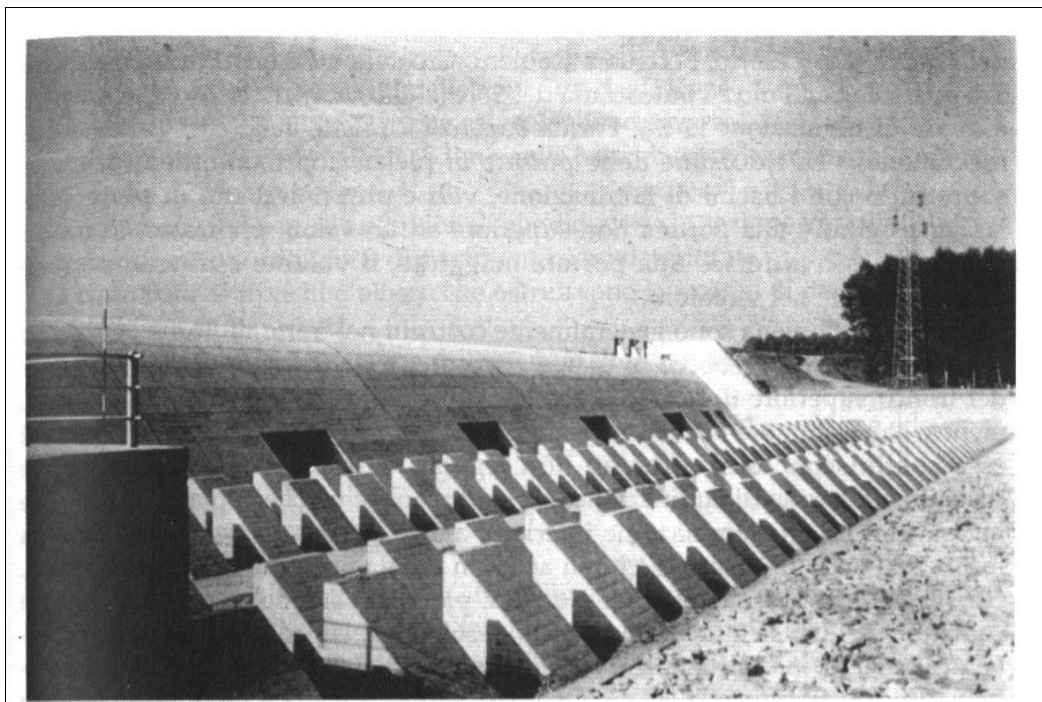


Figura 20 Dissipatori a valle dello sfioratore laterale (da Baroncini, 1995)

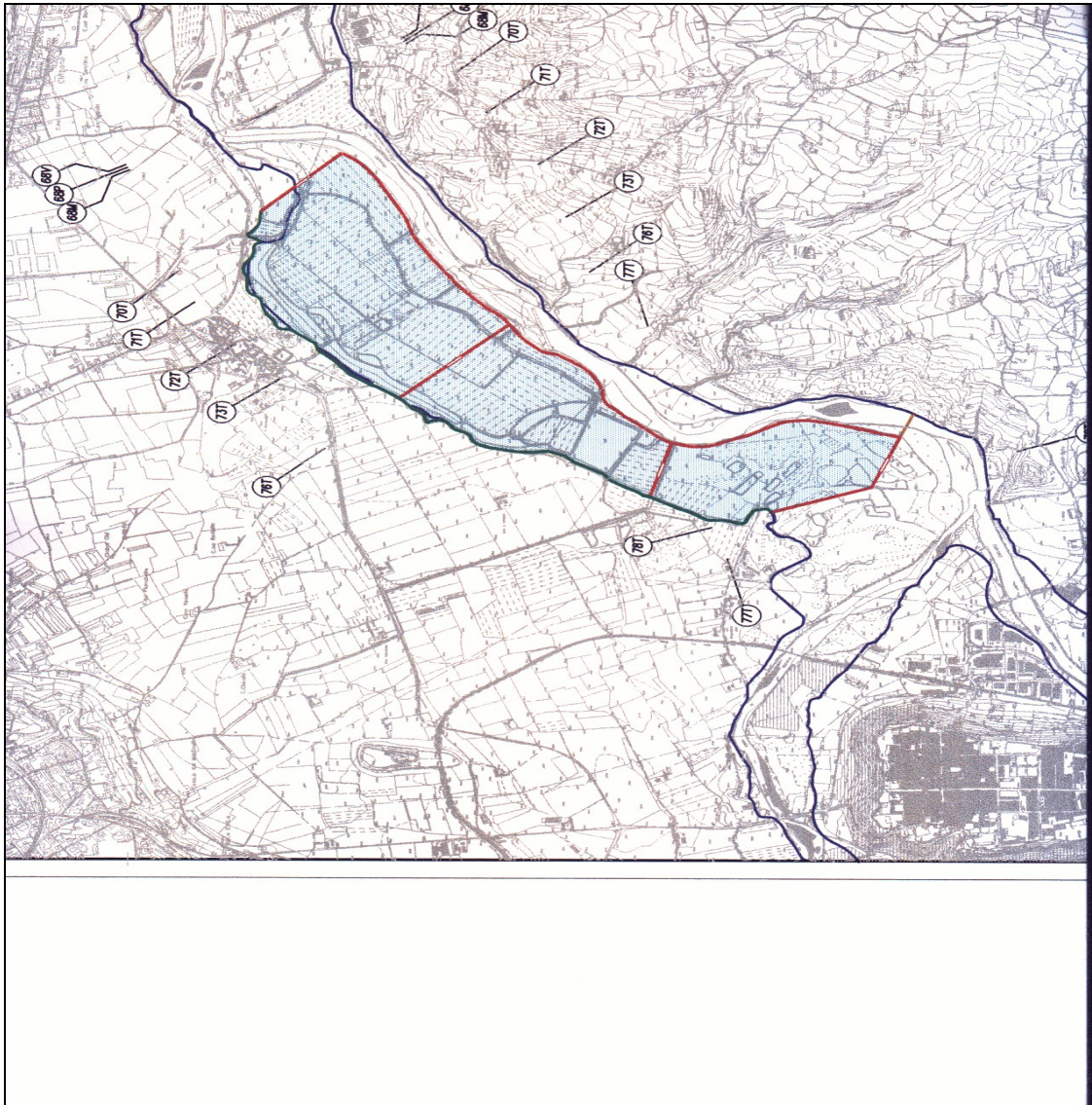


Figura 21 Cassa di espansione sul fiume Tanaro (Per gentile concessione di Di Zeta Ingegneria).

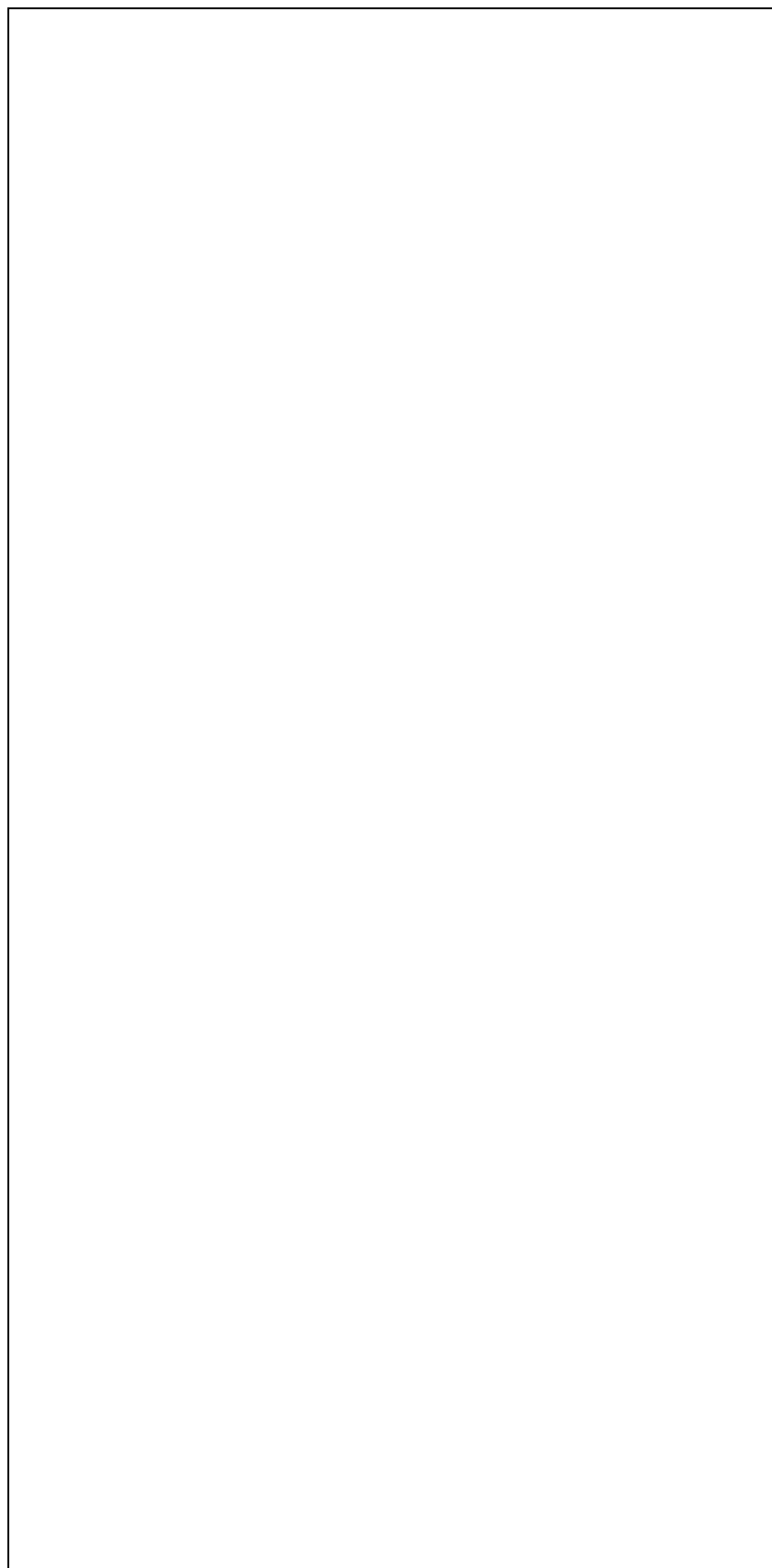


Figura 22 Cassa di espansione sul fiume Piave(per gentile concessione di Studio Professor Ugo Maione e Studio Ingegneria G.M. Susin)

2. Esempi di arginature e manufatti idraulici accessori.

Nelle pagine che seguono sono riportati alcuni esempi di arginature, scarichi di fondo, scarichi di superficie progettati e realizzati in alcune casse di espansione

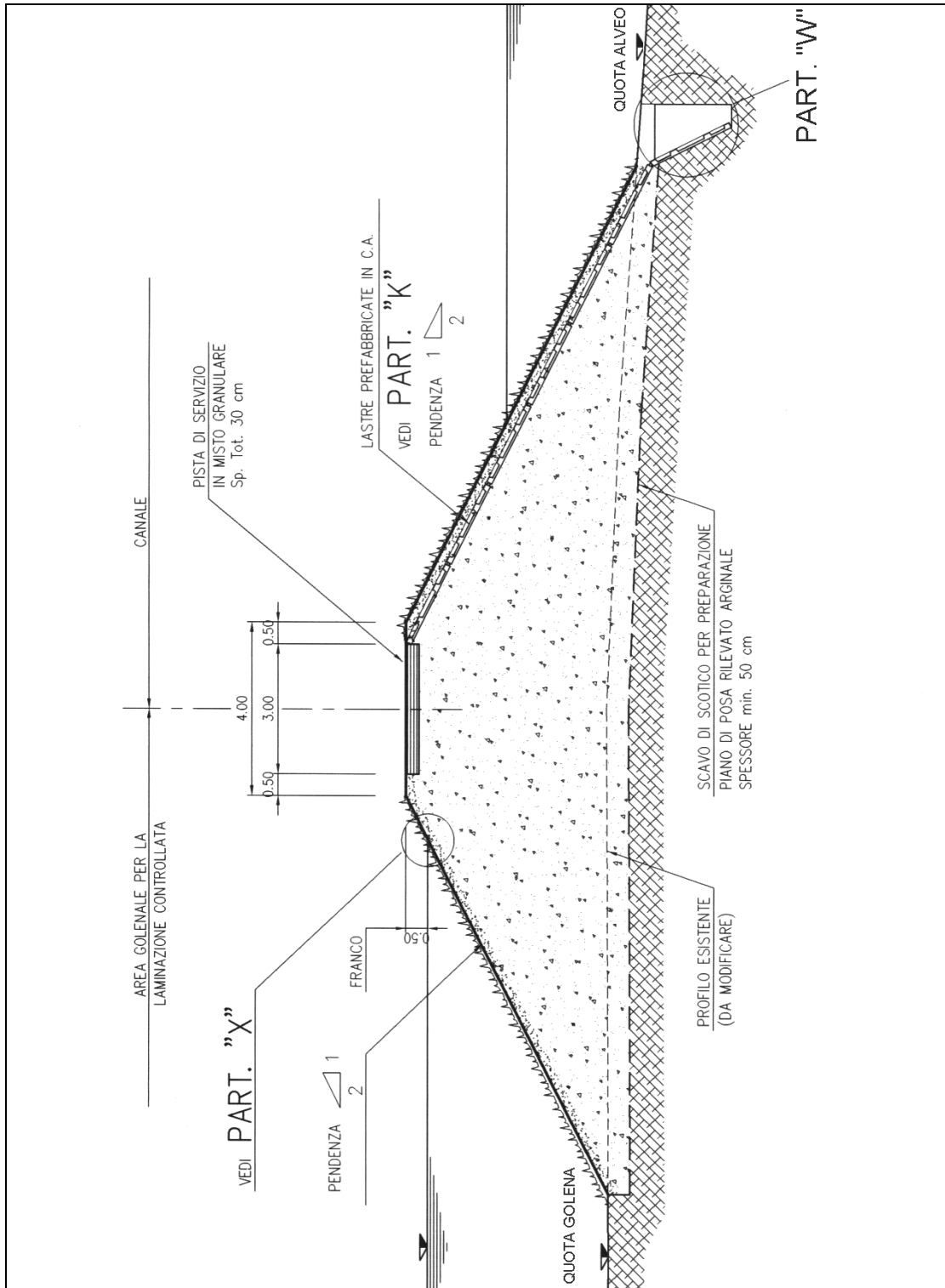


Figura 23 Rilevato arginale tra canale ed area golenale. Cassa di espansione sul fiume Tanaro (Per gentile concessione Di Zeta Ingegneria).

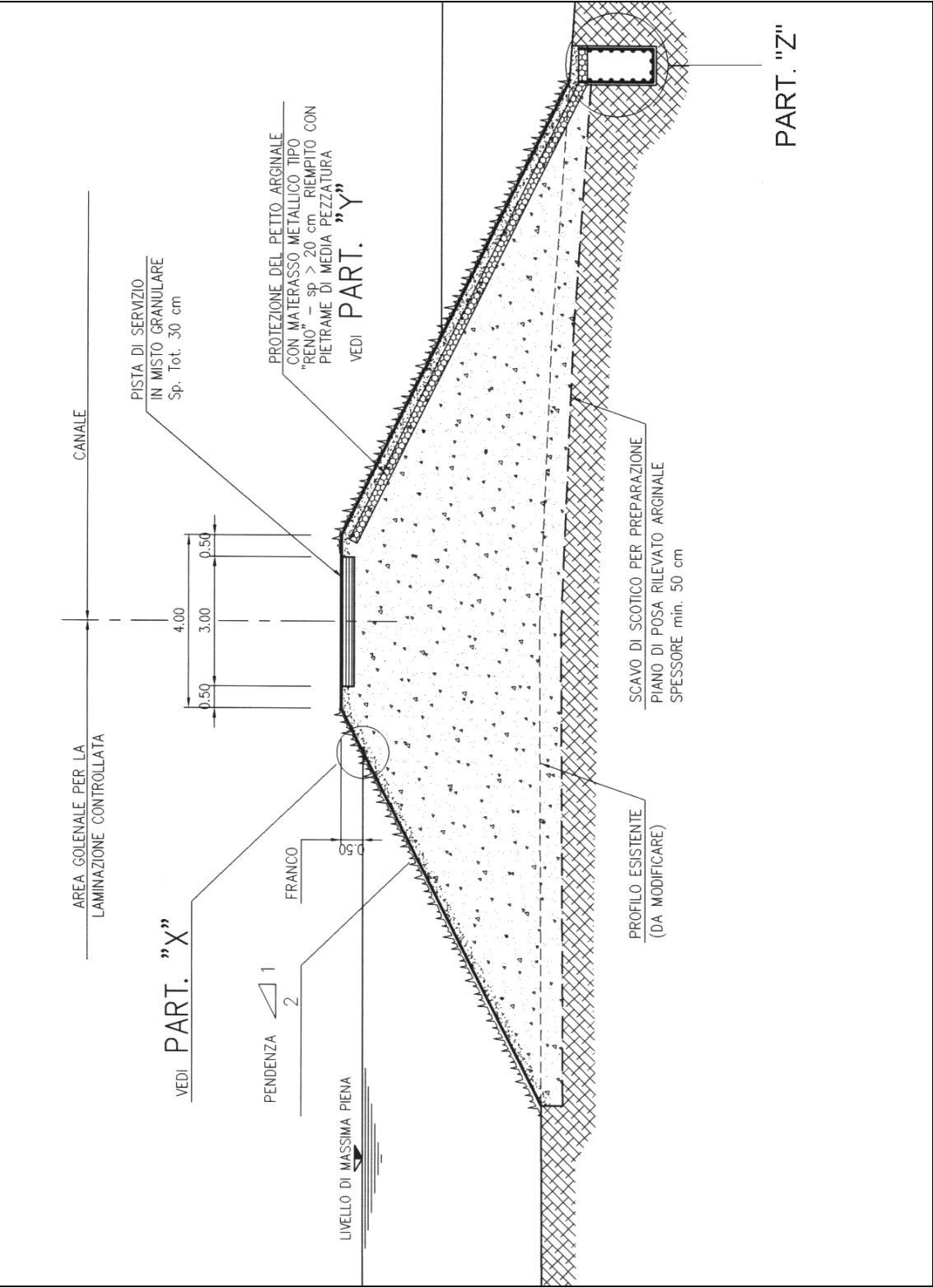


Figura 24 Rilevato arginale tra canale ed area golenale. Cassa di espansione sul fiume Tanaro.

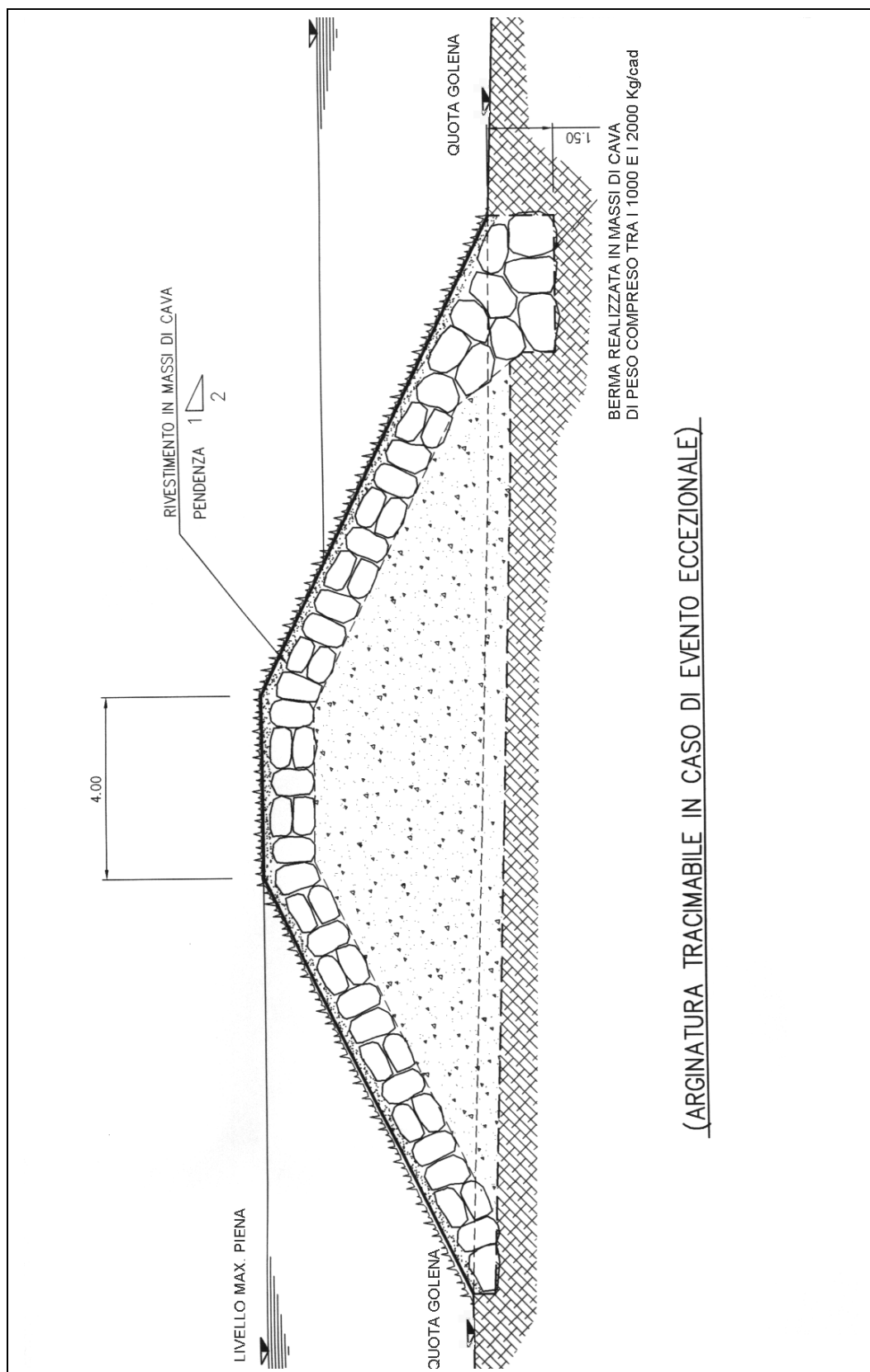


Figura 25 Argine tra due settori. Cassa di espansione sul fiume Tanaro

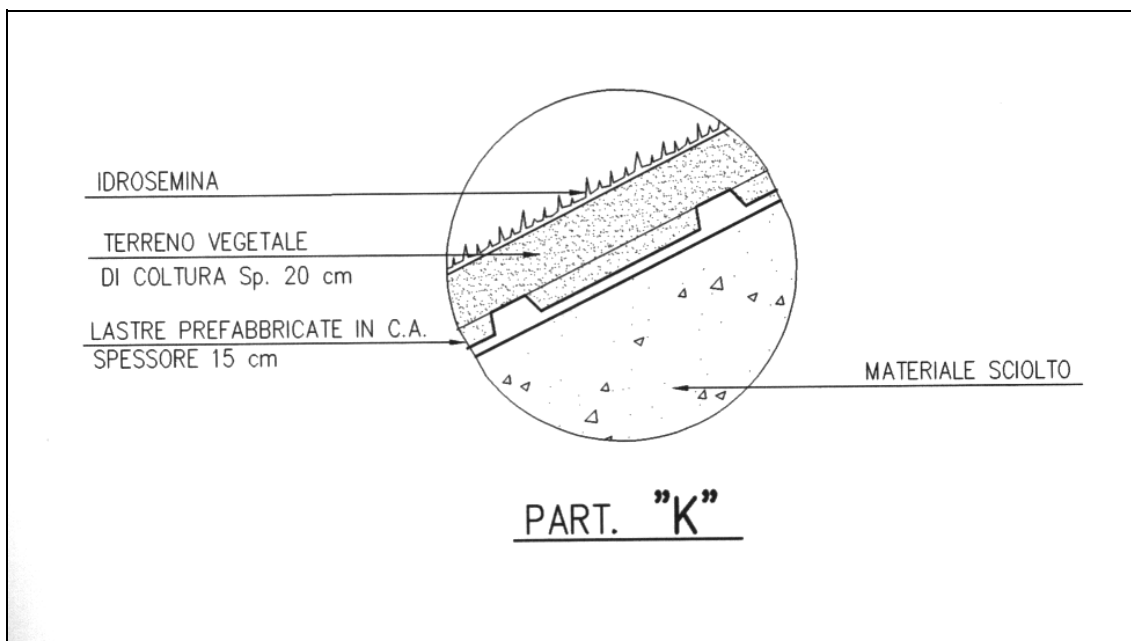


Figura 26 Particolare costruttivo. Cassa di espansione sul fiume Tanaro

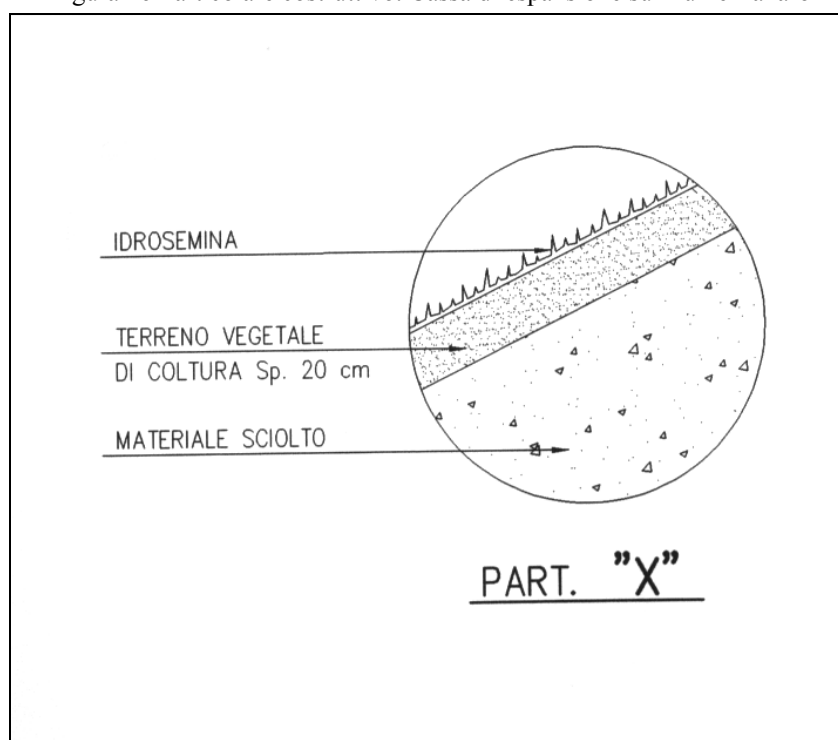


Figura 27 Particolare costruttivo. Cassa di espansione sul fiume Tanaro

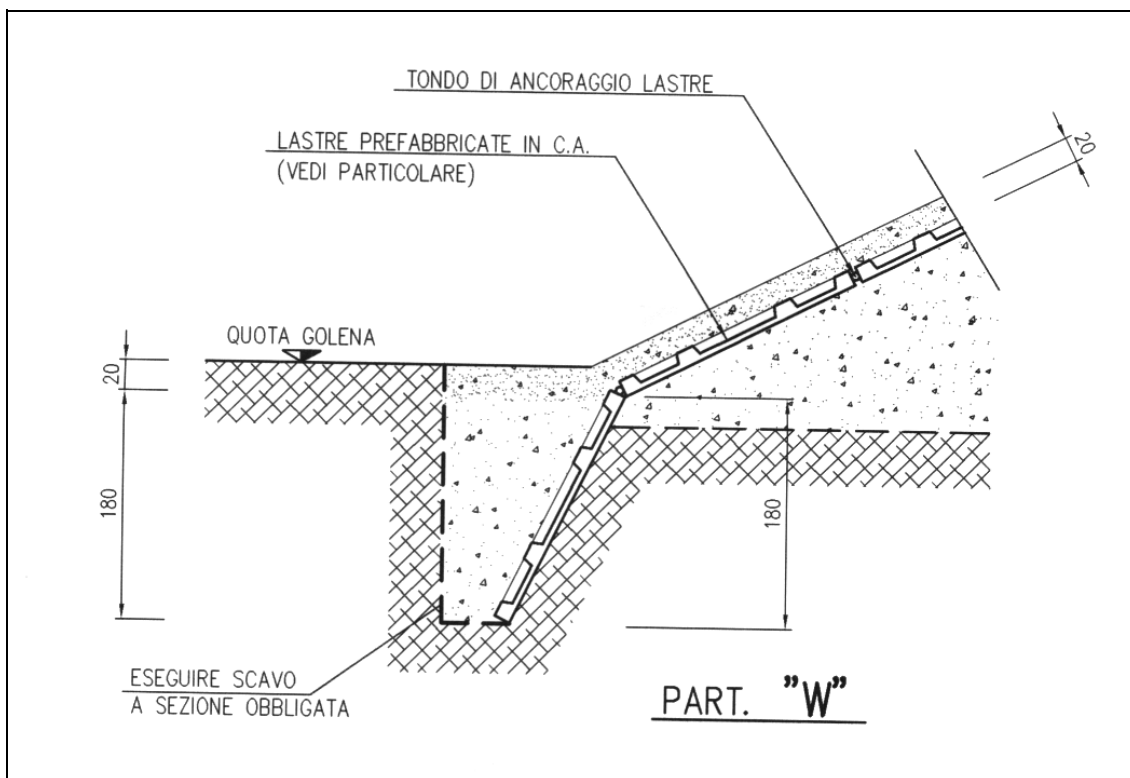


Figura 28 Particolare costruttivo. Cassa di espansione sul fiume Tanaro

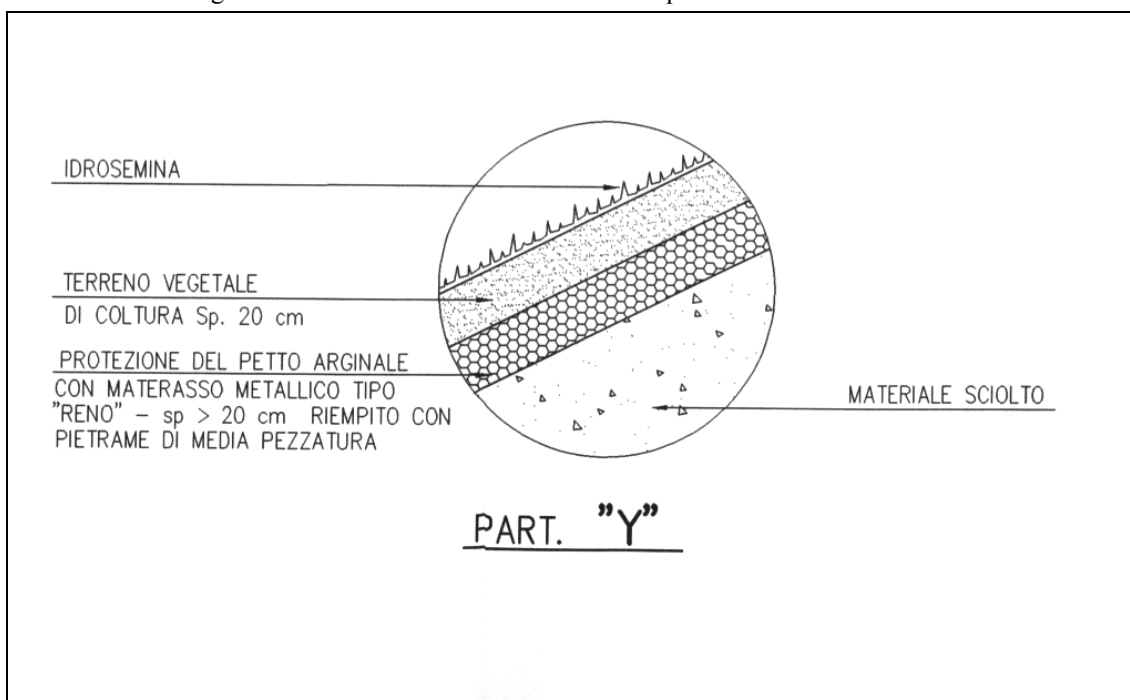


Figura 29 Particolare costruttivo. Cassa di espansione sul fiume Tanaro.

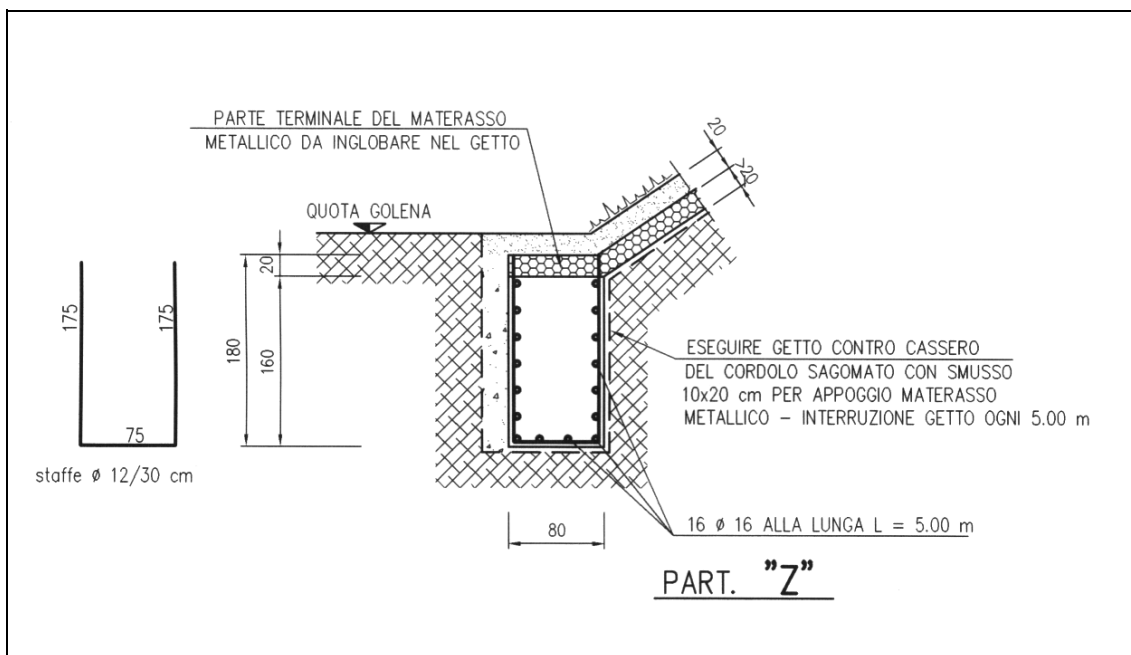


Figura 30 Particolare costruttivo. Cassa di espansione sul fiume Tanaro.

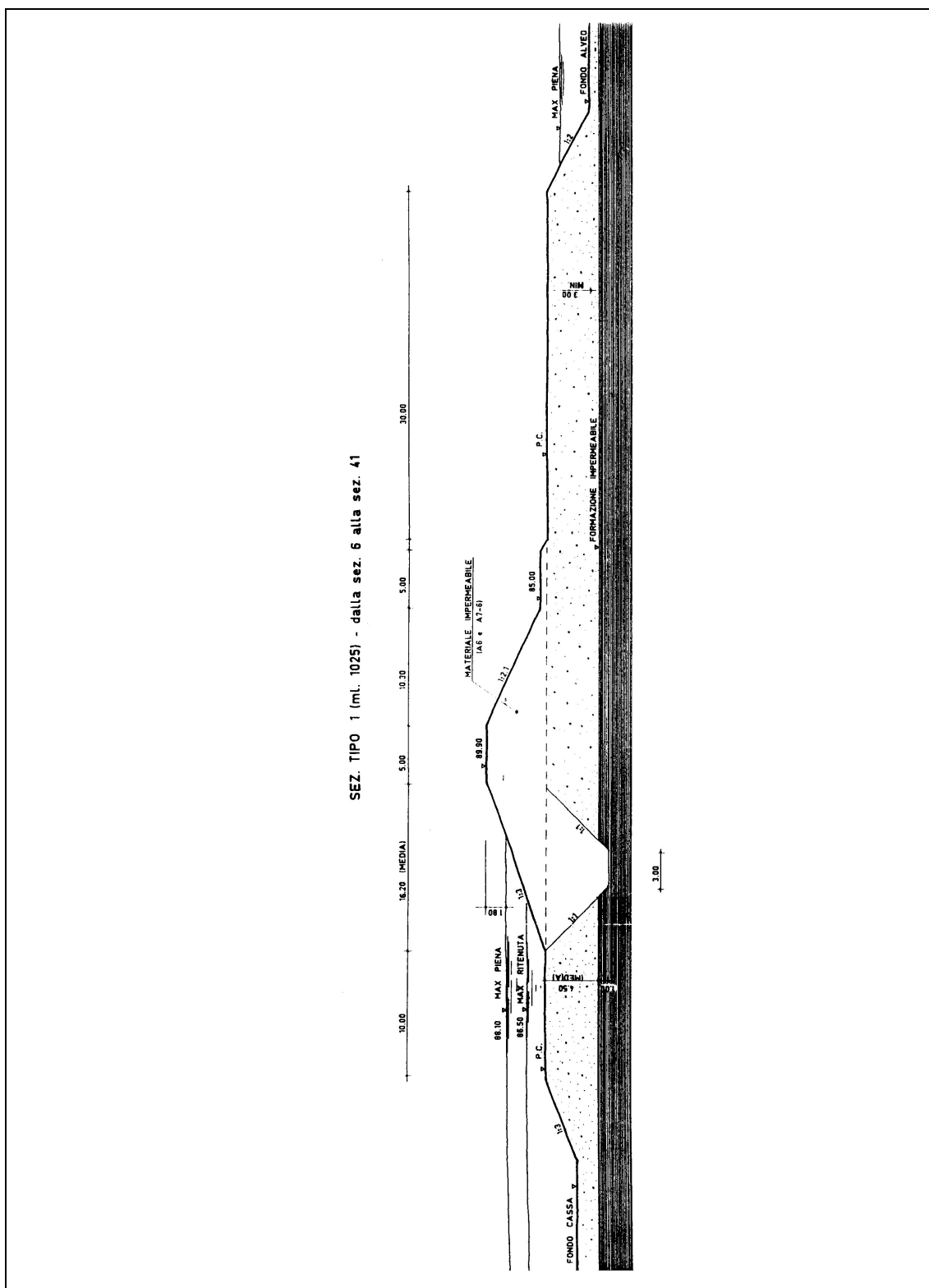


Figura 31 Arginatura della cassa di espansione sul Torrente Enza

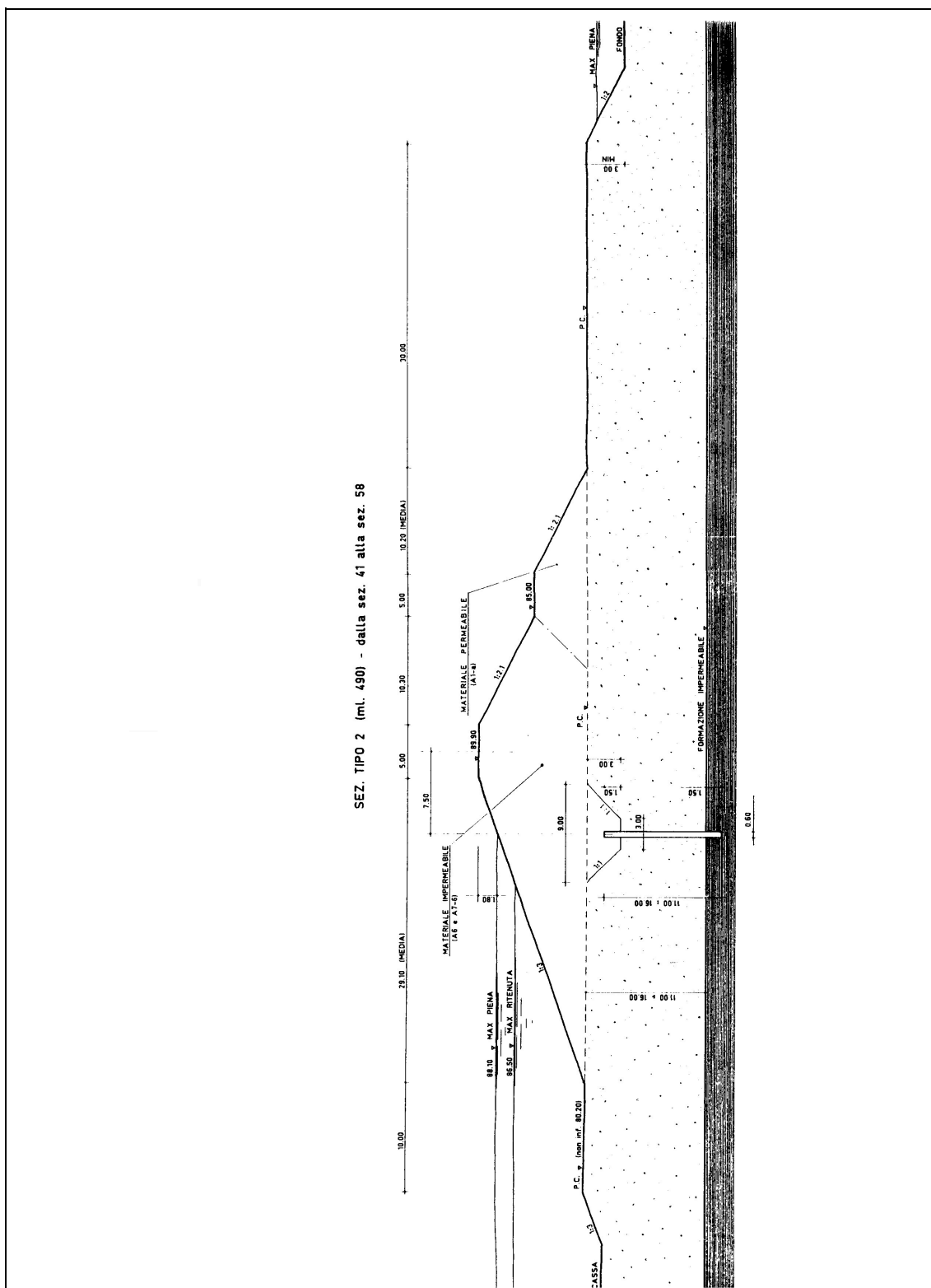


Figura 32 Cassa di espansione sul Torrente Enza

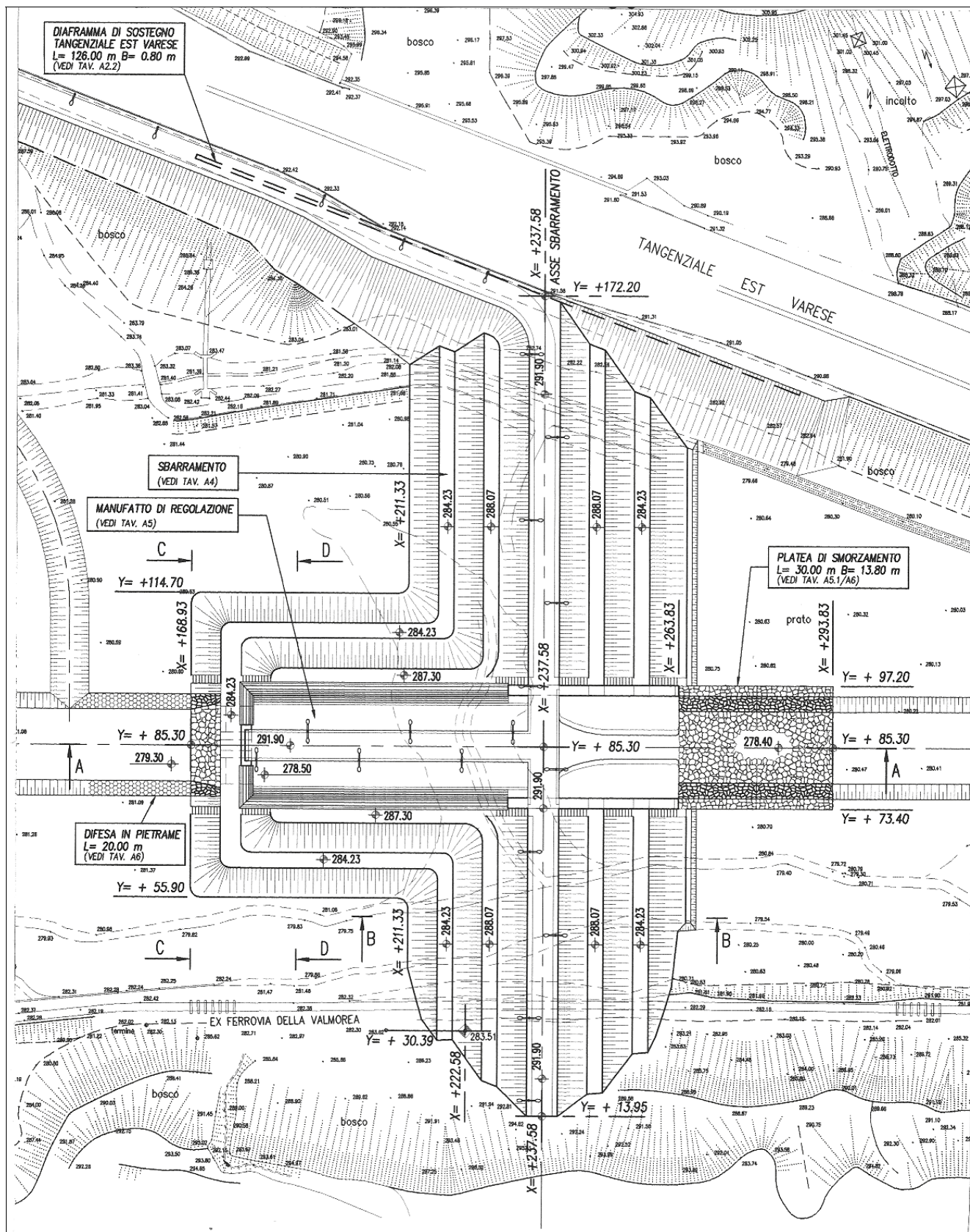


Figura 34 Pianta della traversa della cassa di espansione sul fiume Olona (Per gentile concessione di Di Zeta Ingegneria)

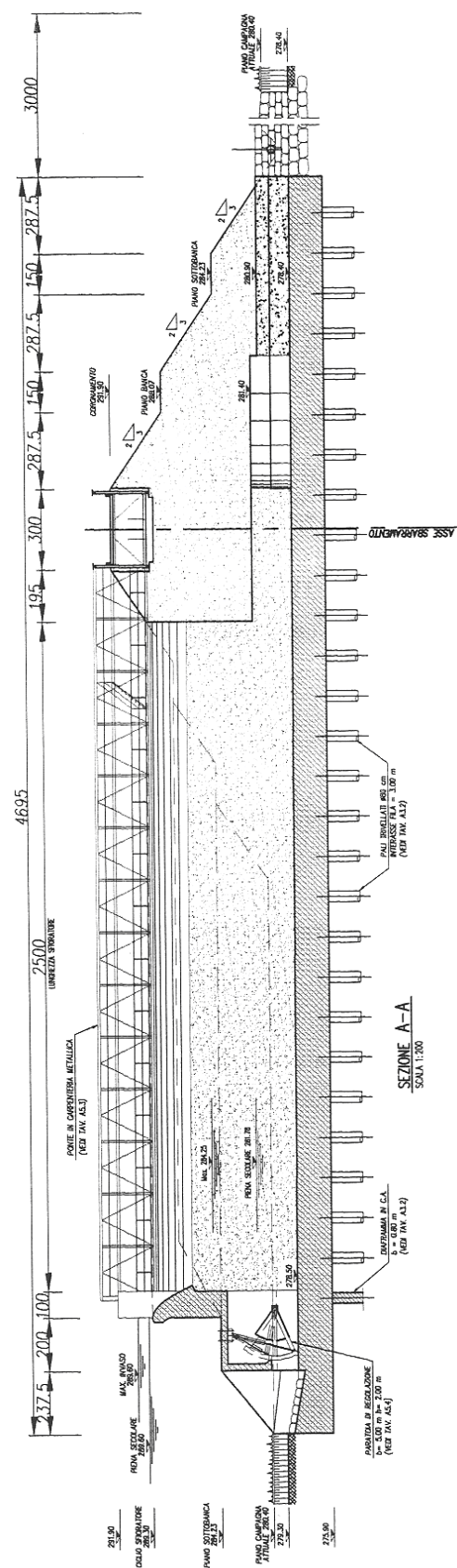


Figura 35 Sezione longitudinale della traversa della cassa di espansione sul fiume Olona.

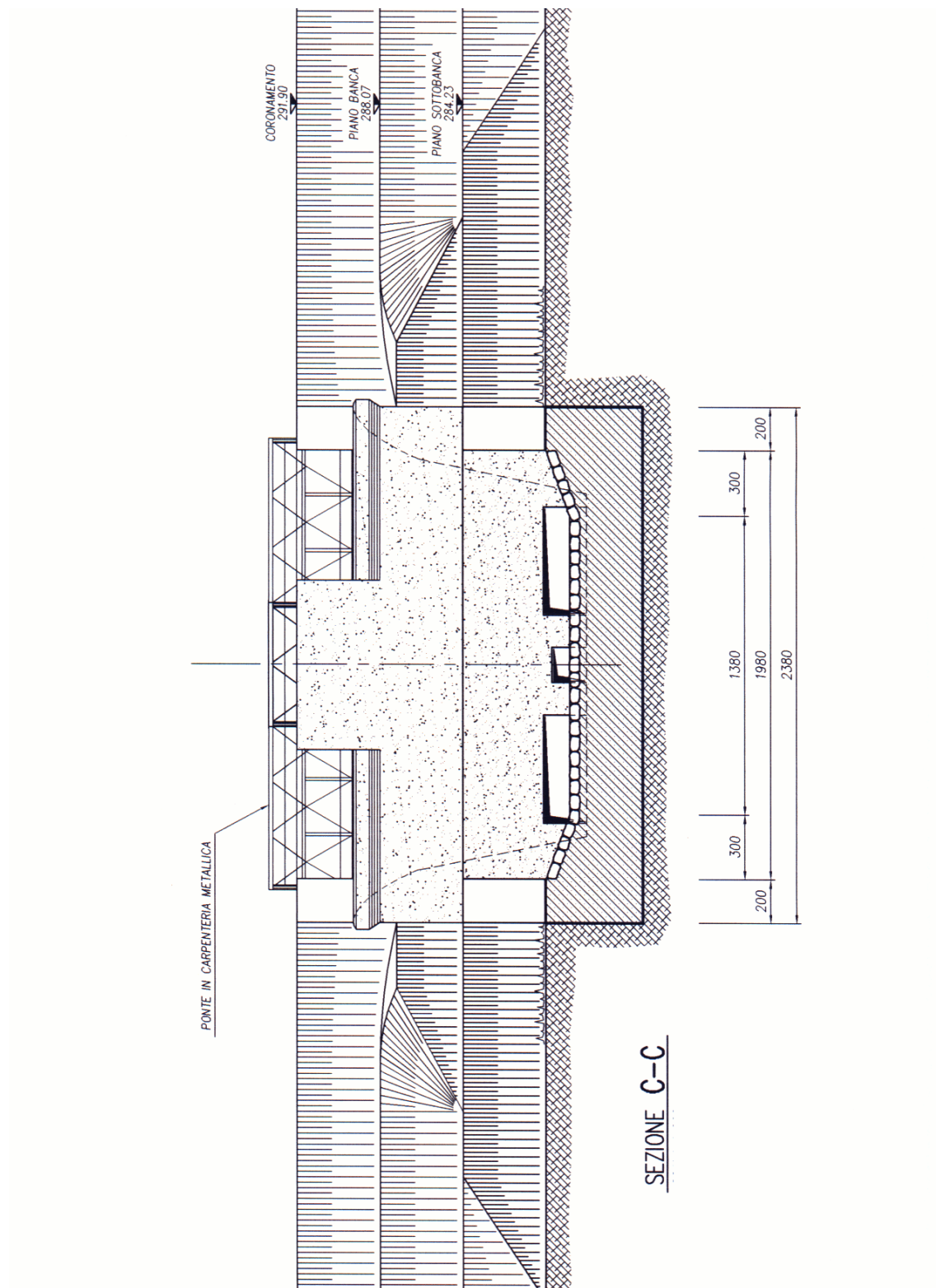


Figura 37 Sezione trasversale della traversa della cassa di espansione sul fiume Olona

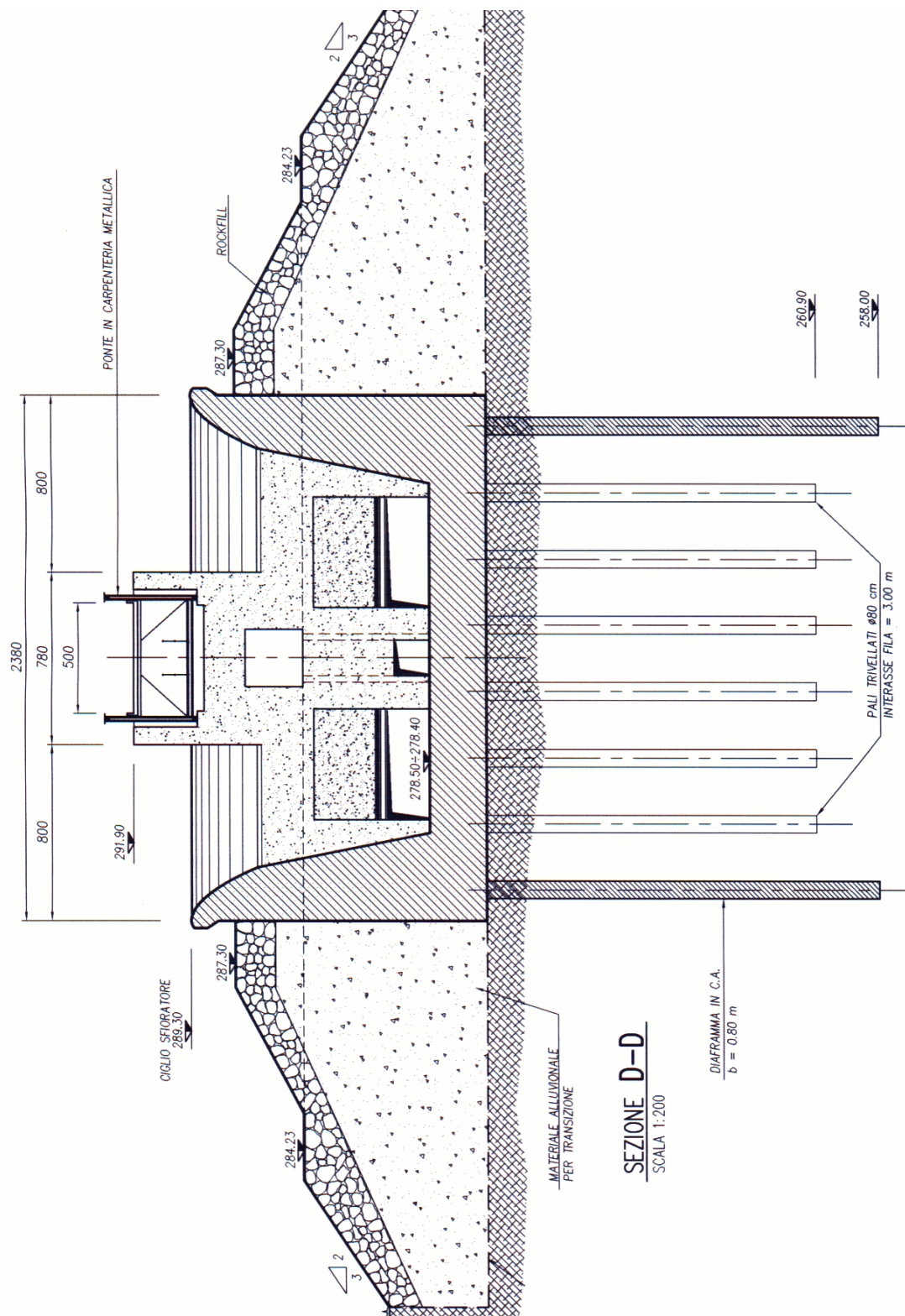
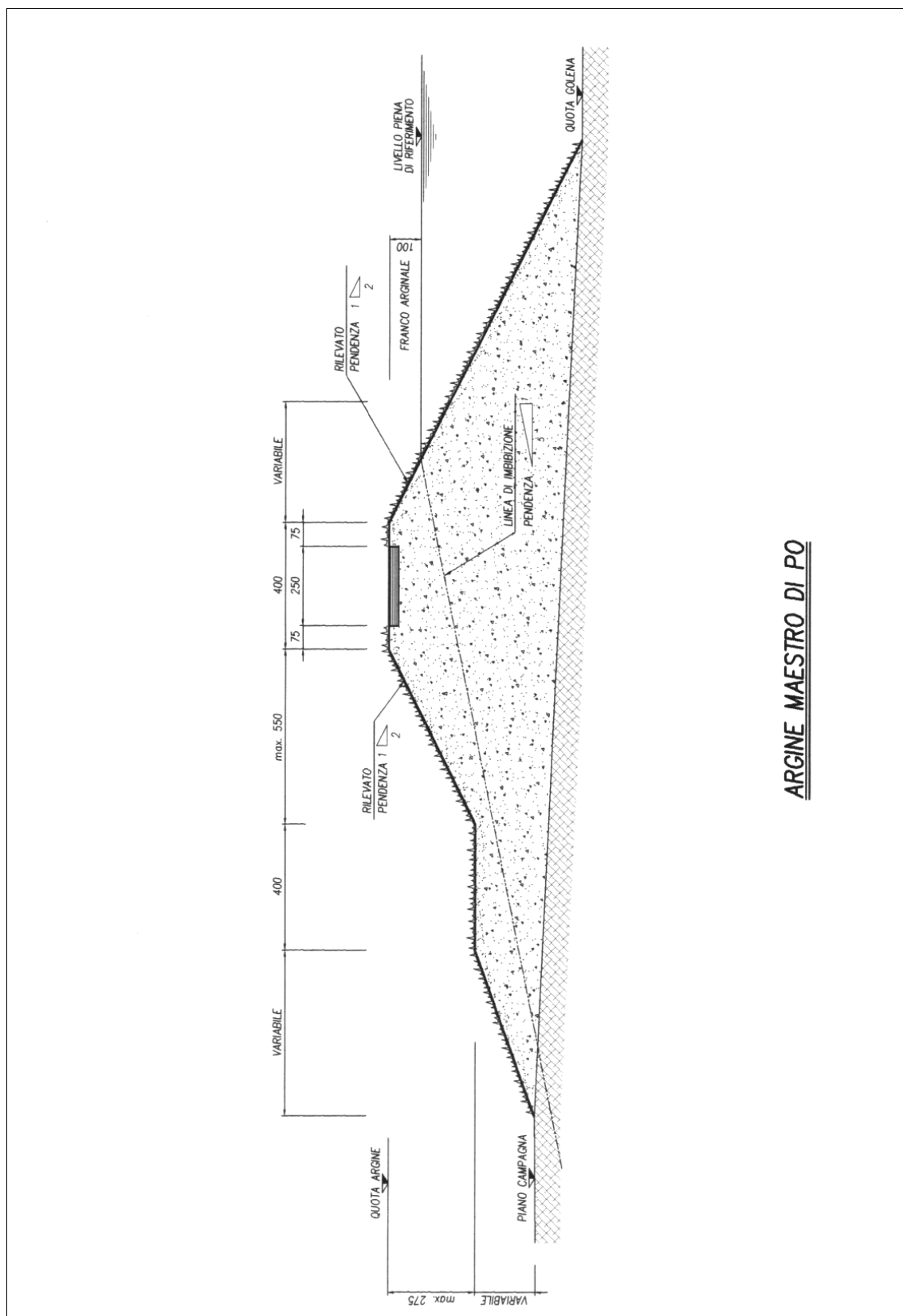


Figura 38 Sezione trasversale della traversa della cassa di espansione sul fiume Olona



ARGINE MAESTRO DI PO

Figura 39 Arginatura del Po (Per gentile concessione di Studio Professor Ugo Maione)

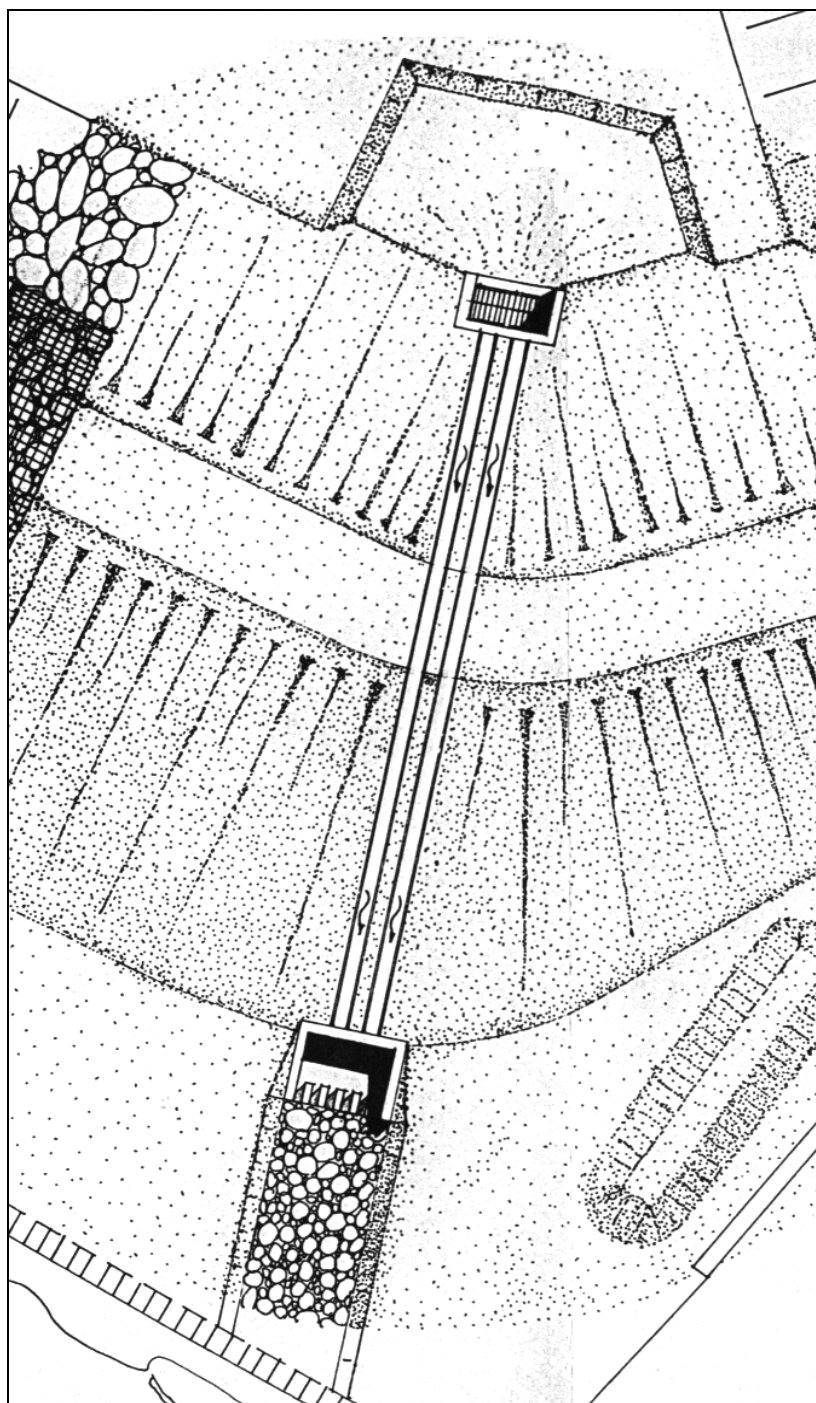


Figura 40 Pianta dello scarico di fondo della cassa di espansione sul T. Pesa località Graziani-Turbone
(Per gentile concessione di GEOECO Studio Associato e Consorzio di Bonifica delle colline del Chianti)

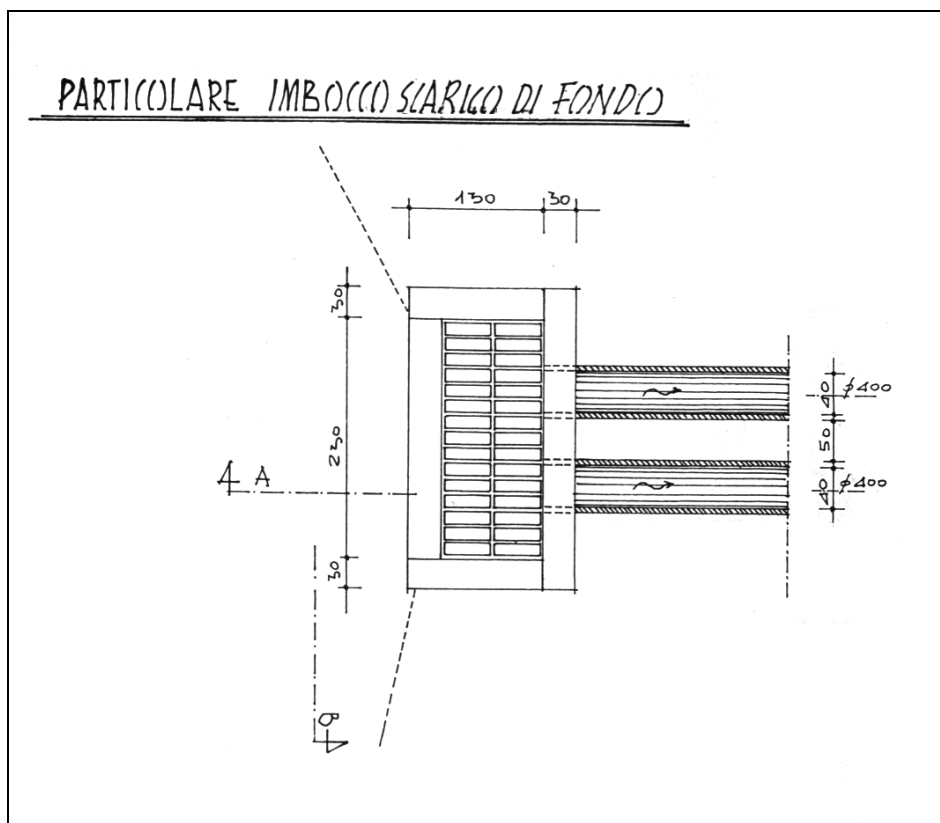


Figura 41 Pianta imbocco scarico di fondo della cassa di espansione sul T. Pesa località Graziani-Turbone
(Per gentile concessione di GEOECO Studio Associato e Consorzio di Bonifica delle colline del Chianti)

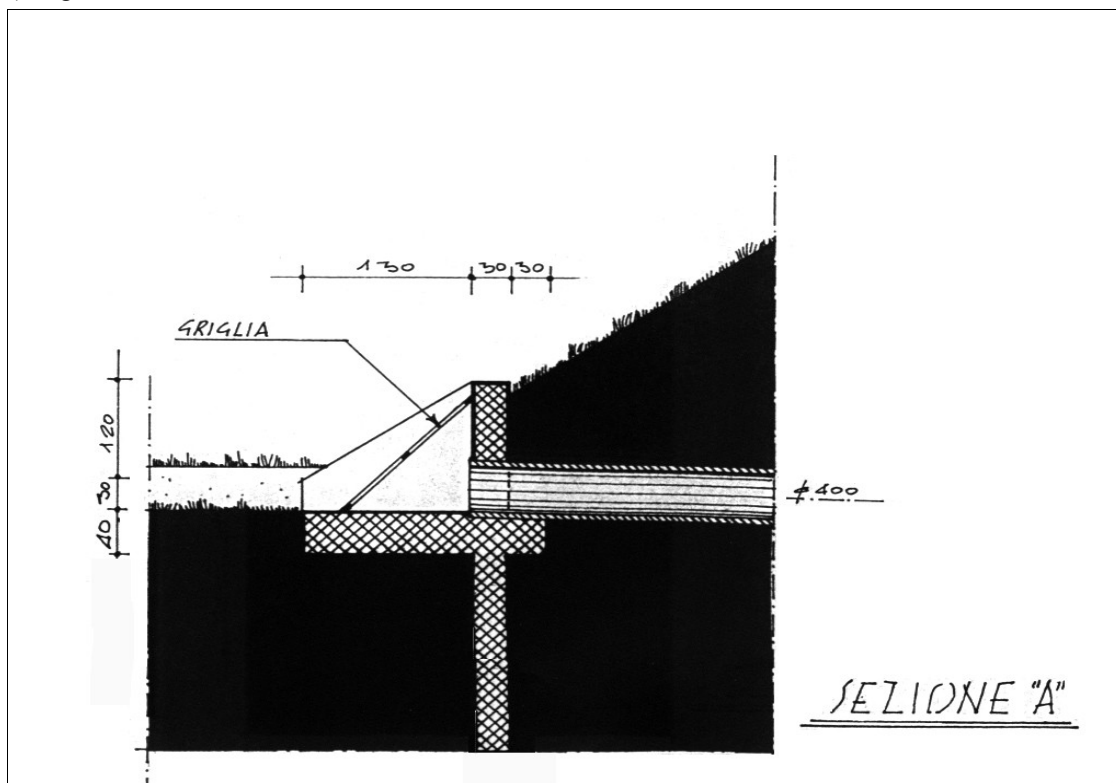


Figura 42 Sezione imbocco scarico di fondo della cassa di espansione sul T. Pesa località Graziani-Turbone (Per gentile concessione di GEOECO Studio Associato e Consorzio di Bonifica delle colline del Chianti).

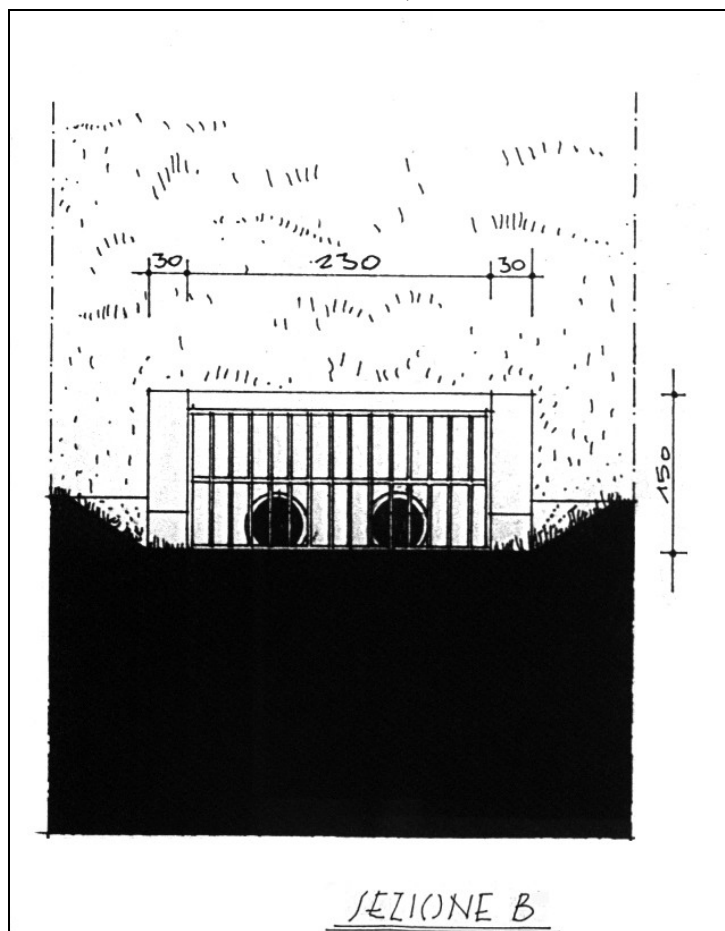


Figura 43 Vista dell'imbocco dello scarico di fondo della cassa di espansione sul T. Pesa località Graziani-Turbone (Per gentile concessione di GEOECO Studio Associato e Consorzio di Bonifica delle colline del Chianti)

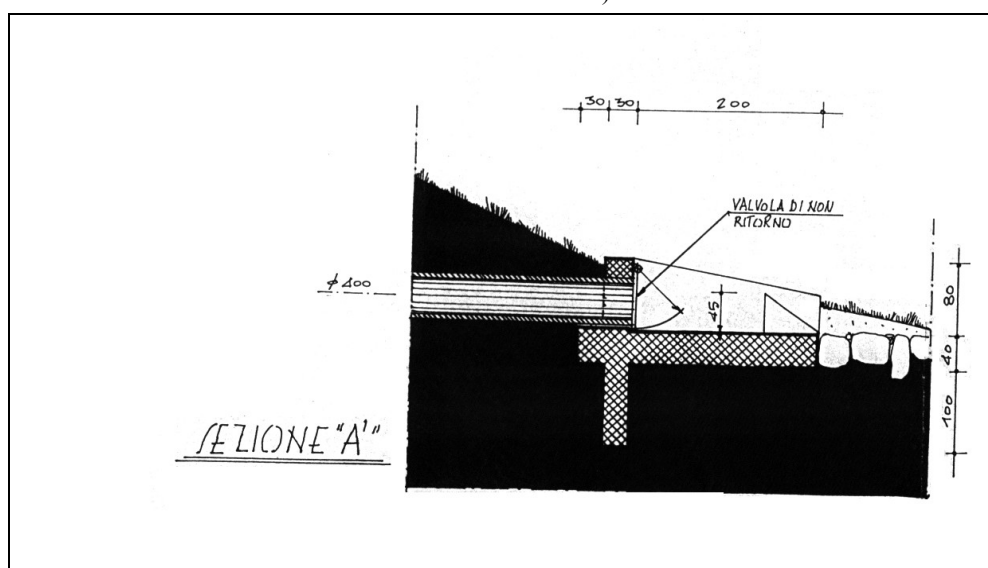


Figura 44 Particolare dello sbocco dello scarico di fondo. Cassa di espansione sul T. Pesa località Graziani-Turbone (Per gentile concessione di GEOECO Studio Associato e Consorzio di Bonifica delle colline del Chianti)

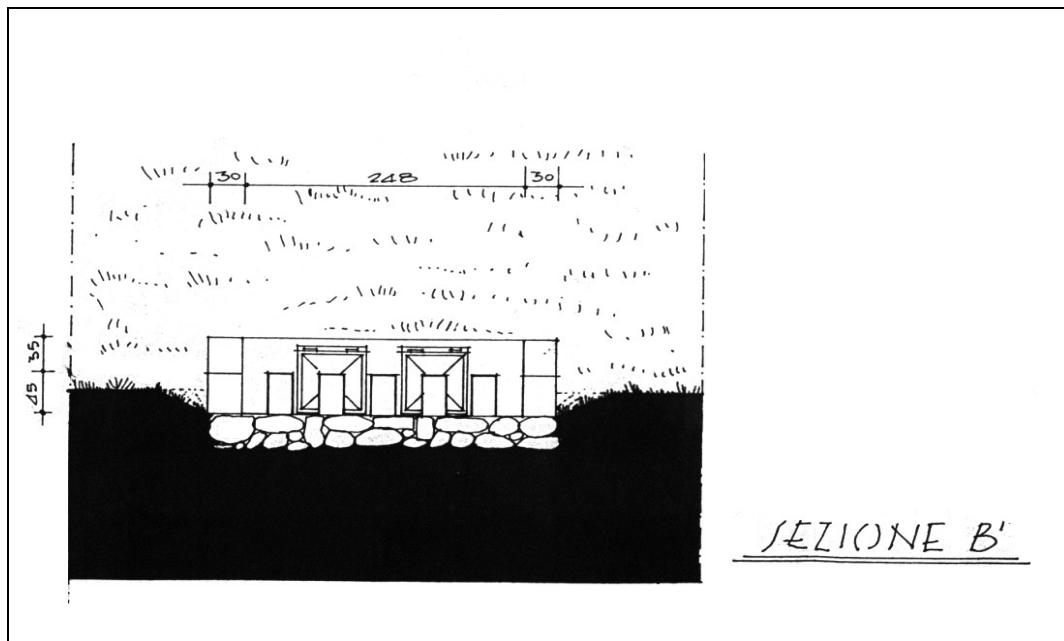


Figura 45 Vista del manufatto di sbocco dello scarico di fondo della cassa di espansione sul T. Pesa località Graziani-Turbone (Per gentile concessione di GEOECO Studio Associato e Consorzio di Bonifica delle colline del Chianti)



Figura 46 Sfioratore laterale della cassa di espansione sul T. Pesa località Graziani-Turbone (Per gentile concessione di GEOECO Studio Associato e Consorzio di Bonifica delle colline del Chianti)

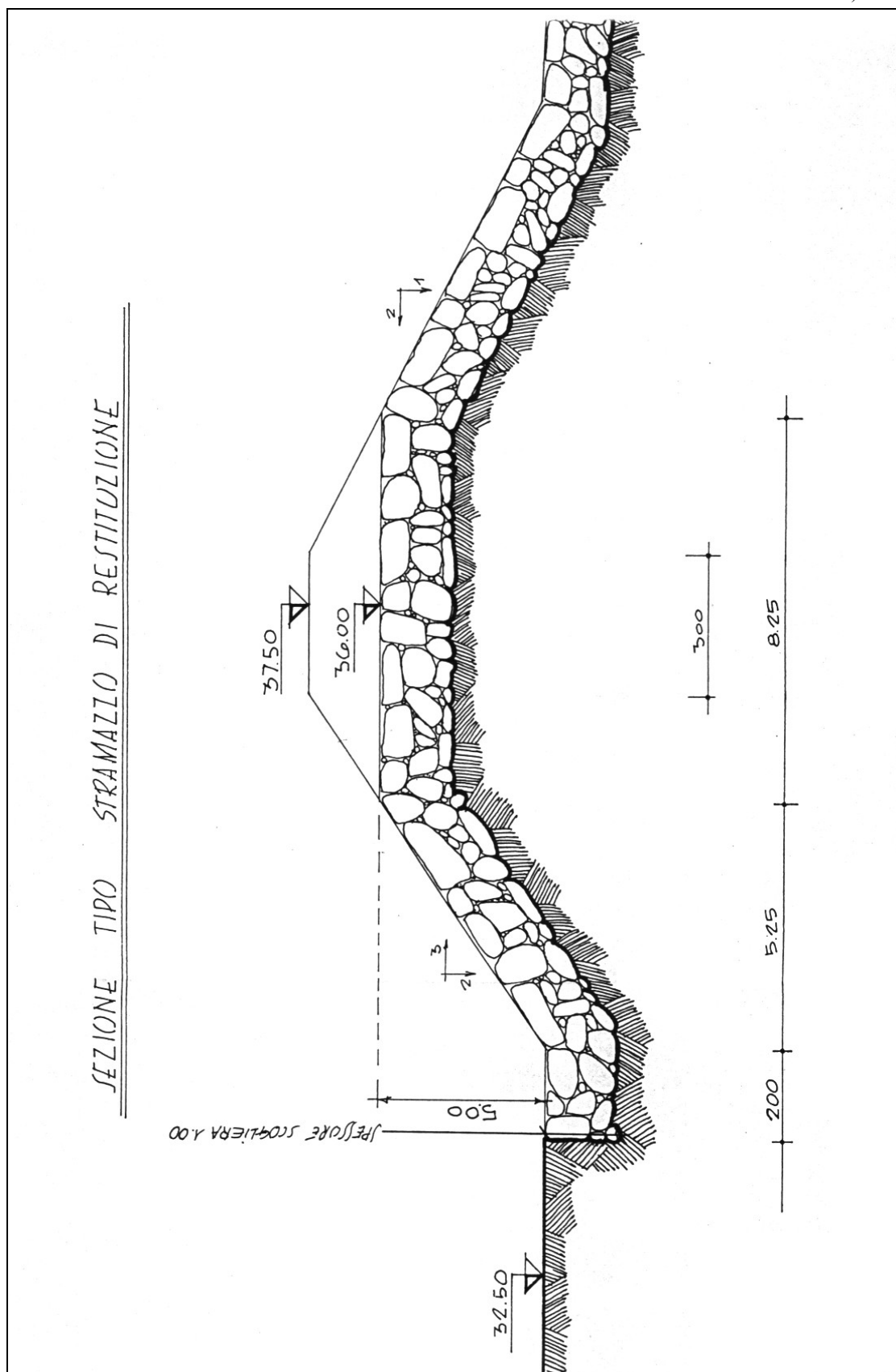


Figura 47 Sfiatore di sicurezza della cassa di espansione sul T. Pesa località Graziani-Turbone (Per gentile concessione di GEOECO Studio Associato e Consorzio di Bonifica delle colline del Chianti).