



Associazione Idrotecnica Italiana
Sezione Sicilia Occidentale



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI PALERMO



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO



SCUOLA
POLITECNICA

Le dighe in Sicilia. Aggiornamento degli studi idrologici, adeguamento delle opere di scarico e interventi manutentivi strutturali

Palermo, Mercoledì 26 aprile 2017

DIGA DI ROSAMARINA

Volume d'invaso $130 \times 10^6 \text{ m}^3$

Volume di laminazione $30 \times 10^6 \text{ m}^3$



Luigi Da Deppo

Le opere di scarico dei serbatoi e le Norme Tecniche per le dighe del 2014

ORGANIZZAZIONE DELLA PRESENTAZIONE RELATIVA AGLI ORGANI DI SCARICO

- ▶ Premesse
- ▶ Cronologia delle disposizioni regolamentari
- ▶ Disposizioni regolamentari i vigenti e previste
- ▶ Organi di scarico
- ▶ Organi di controllo
- ▶ Alcuni problemi connessi all'esercizio
- ▶ Conclusioni

CRONOLOGIA DELLE DISPOSIZIONI REGOLAMENTARI

Le prime Norme tecniche per la progettazione e l'esecuzione delle Dighe vennero emanate con D.M. 2 aprile 1921. A tale data vi erano 78 dighe.

Il primo Regolamento Dighe fu approvato con R.D. 31 dicembre 1925, dopo il crollo della diga di Gleno (Val Camonica) nel 1923.

Per tener conto dei significativi progetti che si erano verificati nella costruzione delle dighe, con R.D. 1° ottobre 1931 fu approvato un nuovo Regolamento. L'altezza massima per le dighe di terra fu fissata a 20 m. A tale data vi erano 168 dighe costruite o in costruzione.

Dopo la 2^a guerra mondiale, si ricominciò a porre mano al Regolamento, specie per poter regolamentare le dighe di terra di altezza maggiore di 20 m.

Con DPR 1 novembre 1959 n. 1363, è stato emanato il Regolamento costituito da due parti: la Prima tratta delle Norme generali per la progettazione, costruzione ed esercizio; la Seconda tratta delle Norme per il calcolo e la costruzione. Rientravano nel Regolamento le dighe con $H > 10$ m e $V > 100.000$ m³ (363 dighe). La seconda parte del D.P.R. è stata sostituita, una prima volta, dal D.M. del 24 marzo 1982.

Diga di Gleno, f. Nembo (BG) crollata l'1 dicembre 1923 (500 morti)

CRONOLOGIA DELLE DISPOSIZIONI REGOLAMENTARI

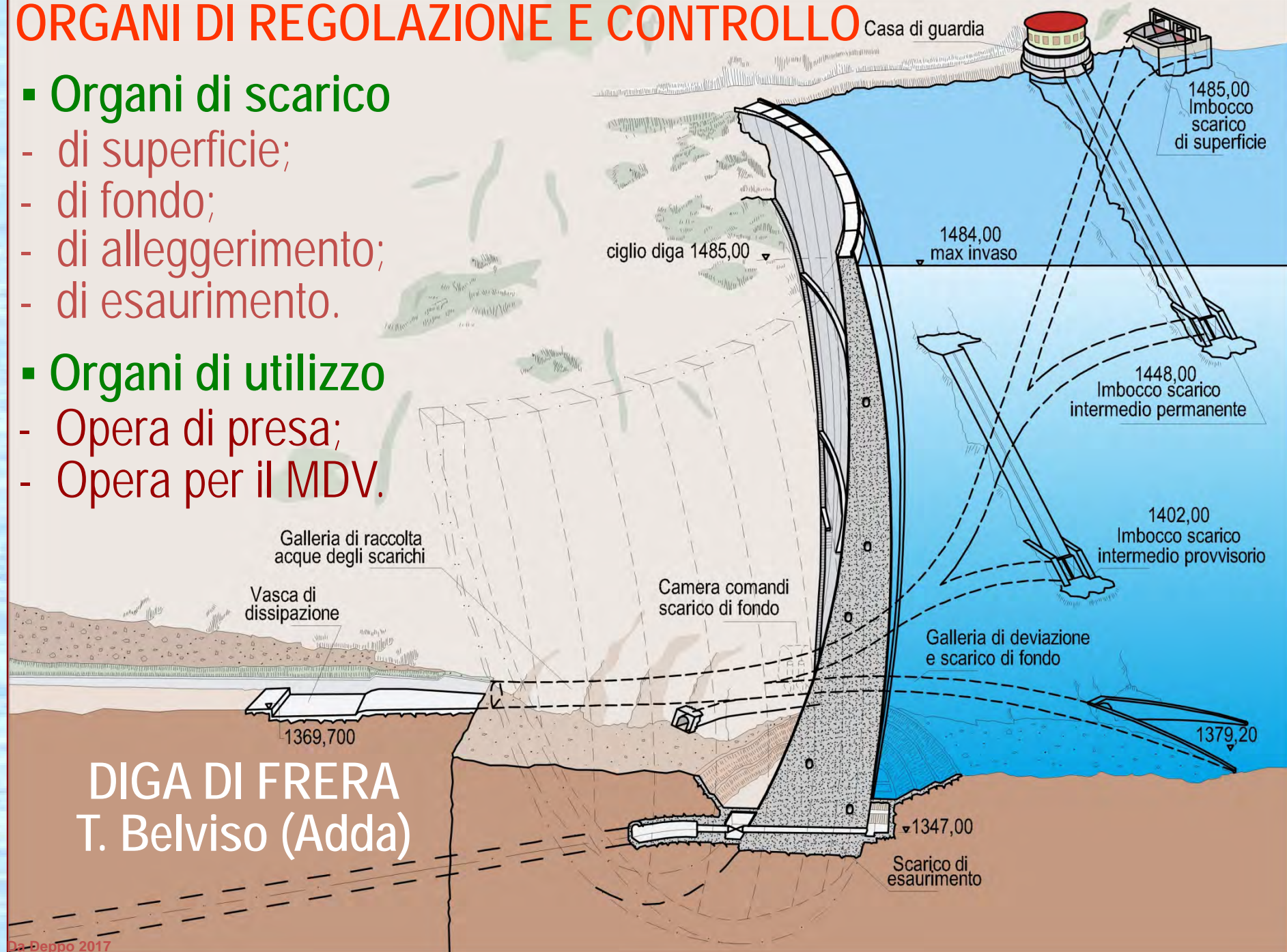
La L. 584 del 1994 (Misure urgenti in materia di dighe) modificò le competenze del Servizio Nazionale Dighe (S.N.D.), riservando ad esso gli sbarramenti d'altezza superiore a 15 m o con volume d'invaso superiore a 1.000.000 m³.

Nel 1998 è stato soppresso il S.N.D., sostituito dal Registro Italiano Dighe (R.I.D.), operativo dal 2003. Il D. L. 3 ottobre 2006 n. 262 ha soppresso il RID e passato le competenze alla Direzione Generale per le Dighe e gli impianti idroelettrici del MIT.

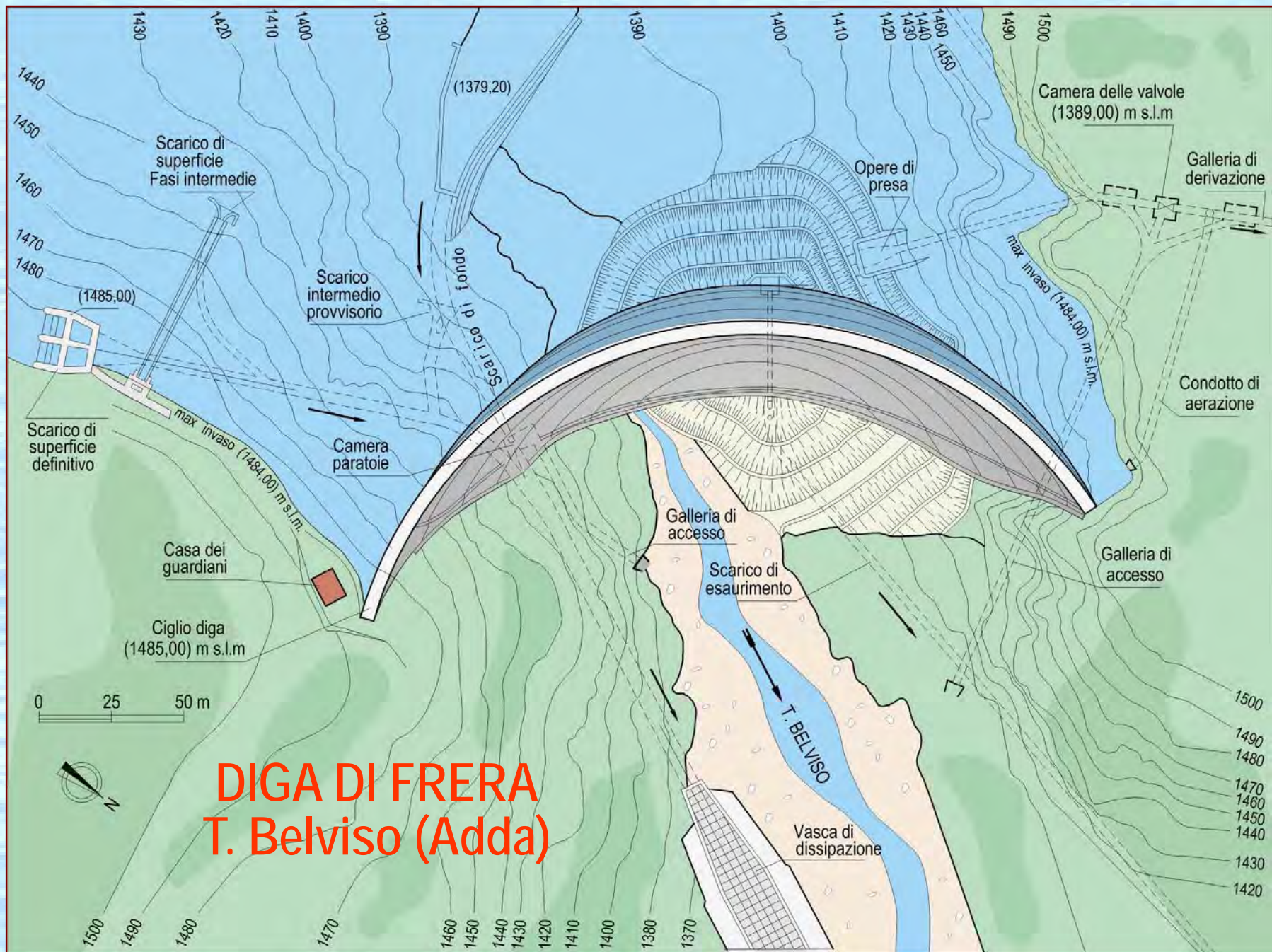
Con D.M. 26.6.2014 sono state nuovamente modificate le Norme Tecniche del DPR del 1959; le norme del 2014 sono in fase di revisione. La 1° parte del DPR del 1959 è stata da anni modificata dal C.S.LL.PP., ma il DPR non è ancora stato emanato. Le grandi dighe sono 539, l'età media è di 60 anni; 42 (in esercizio) sono in Sicilia: età media 46 anni.

ORGANI DI REGOLAZIONE E CONTROLLO

- **Organi di scarico**
 - di superficie;
 - di fondo;
 - di alleggerimento;
 - di esaurimento.
- **Organi di utilizzo**
 - Opera di presa;
 - Opera per il MDV.



DIGA DI FRERA
T. Belviso (Adda)



DIGA DI FRERA T. Belviso (Adda)

CONSIDERAZIONI SUL TEMPO DI RITORNO DA ADOTTARE

L'evento di piena di riferimento è fissato in 1000 anni per le dighe di calcestruzzo ed in 3000 anni per le dighe di materiale sciolto. Impiegando la classica relazione di *Fuller* si ha che l'evento con $Tr=3000$ anni è 1,11 volte più elevato di quello con $Tr=1000$ anni, a sua volta più elevato di 1,31 volte di quello con $Tr=100$ anni.

Senza entrare nel merito della validità di estrapolare i risultati ottenuti con qualche decina di anni di osservazioni per ottenere il valore di un evento millenario, si osserva che, qualora si verificasse, il territorio dove fosse costruita la diga uscirebbe talmente sconvolto che a testimoniare la situazione pre-evento rimarrebbe forse solo la diga e le sue opere di scarico. Un tale evento potrebbe classificarsi come biblico e riportare alla memoria l'Arca di Noè.



TEMPO DI RITORNO E RISCHIO DI SUPERAMENTO PER LE DIGHE

Indicata con $P = 1 - 1/T_r$ la probabilità di non superamento dell'evento di riferimento, $1 - P$ rappresenta la probabilità di superamento. Il rischio R_{A, T_r} che l'evento di riferimento, possa essere superato nella durata A (anni) della vita dell'opera, è:

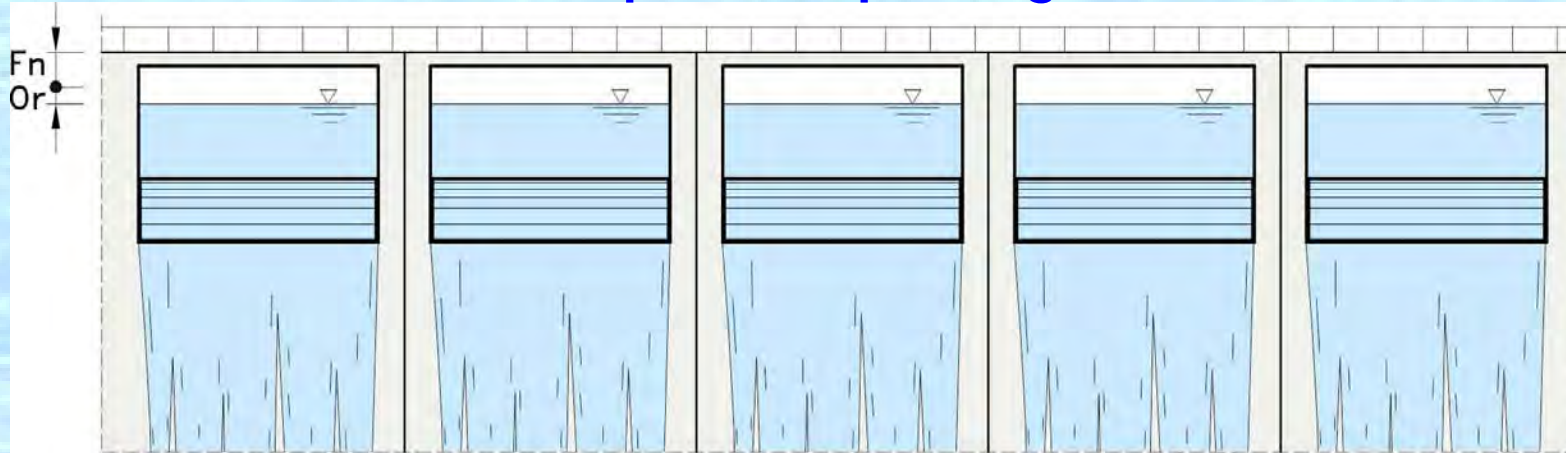
$$R_{A, T_r} = 1 - P^A = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^A$$

Per una diga, prefissato $T_r = 1000$ anni, assegnando alla diga una vita $A = 100$ anni, il rischio che, durante il normale esercizio della diga, possa essere superato l'evento di riferimento è:

$$R_{100, 1000} = 1 - \left(1 - \frac{1}{1000}\right)^{100} = 0,095$$

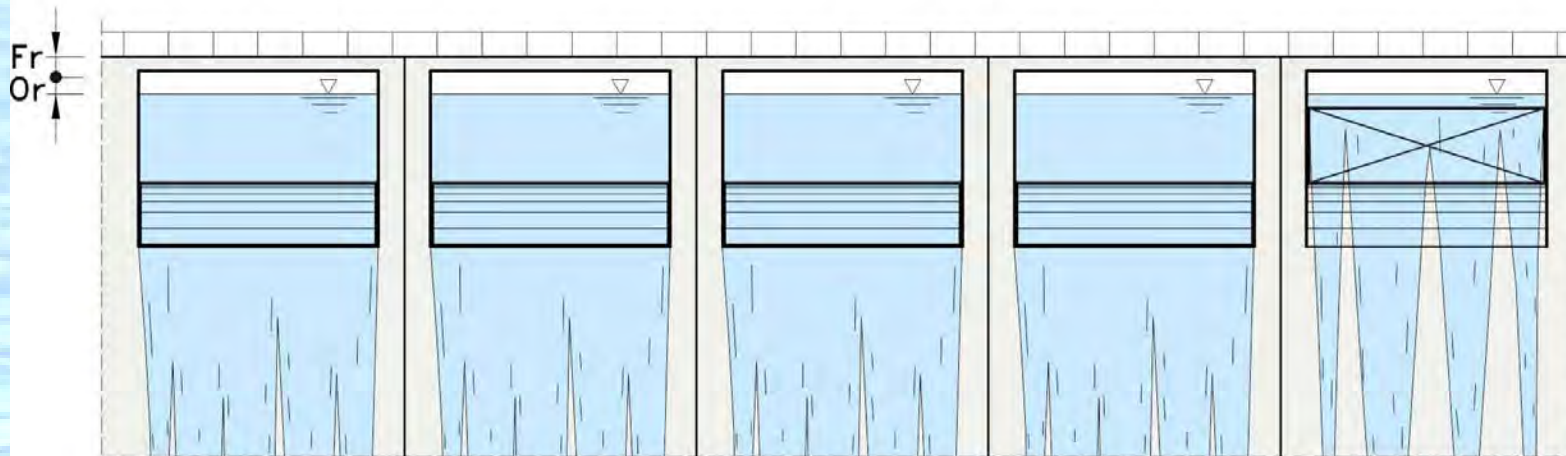
Ossia la probabilità che in 100 anni si verifichi un evento uguale o più raro di quello di riferimento è del 9,5%.

Scaricatore di superficie per diga di calcestruzzo



Scaricatore per diga di calcestruzzo con paratoie aperte
Fn = franco netto Or = onda riflessa + run-up

Vista da valle

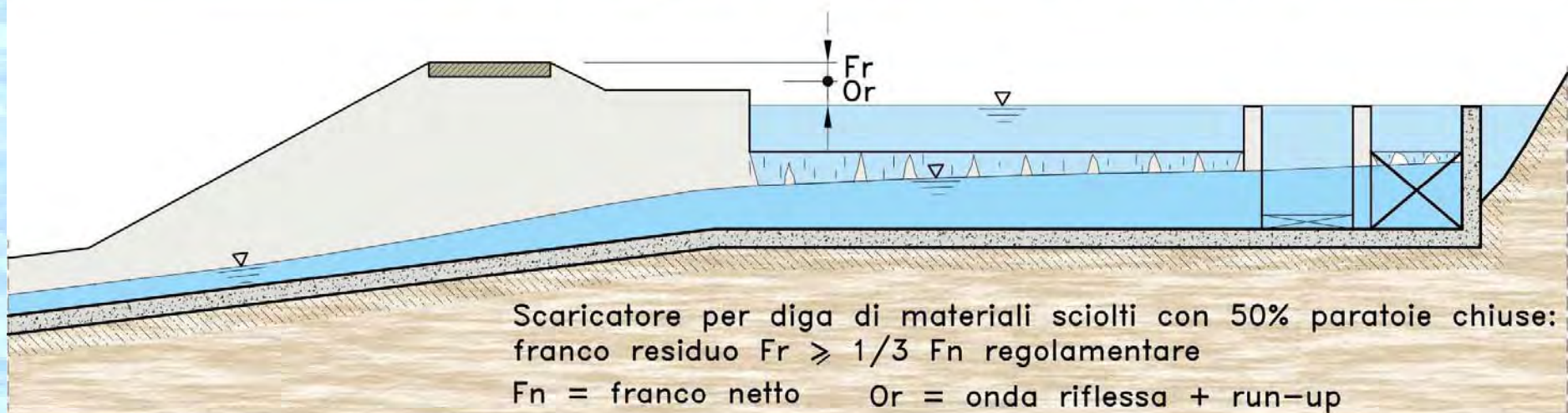
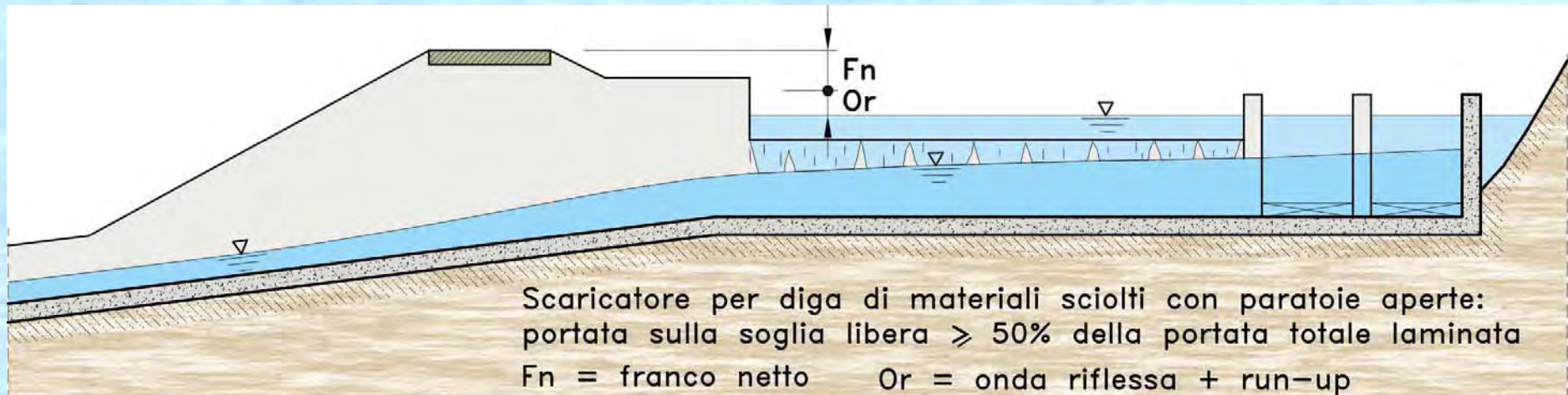


Scaricatore per diga di calcestruzzo con 20% paratoie chiuse
franco residuo $Fr \geq 1/3$ Fn regolamentare
Fn = franco netto Or = onda riflessa + run-up

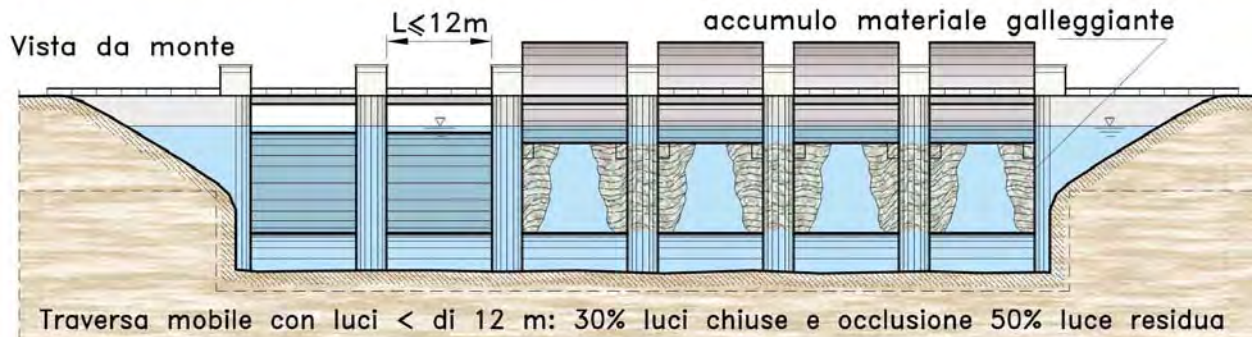
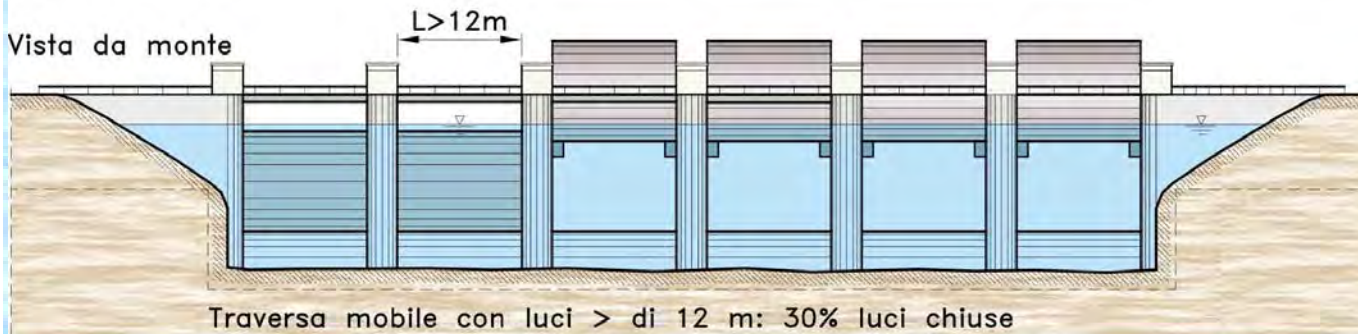
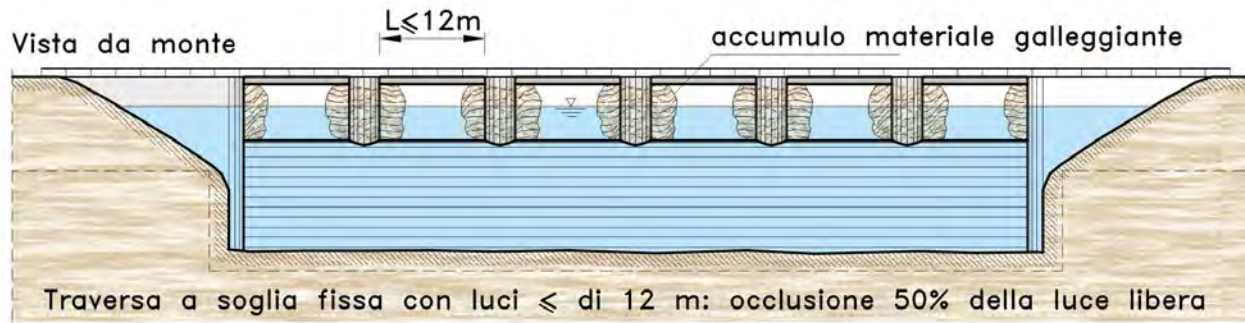
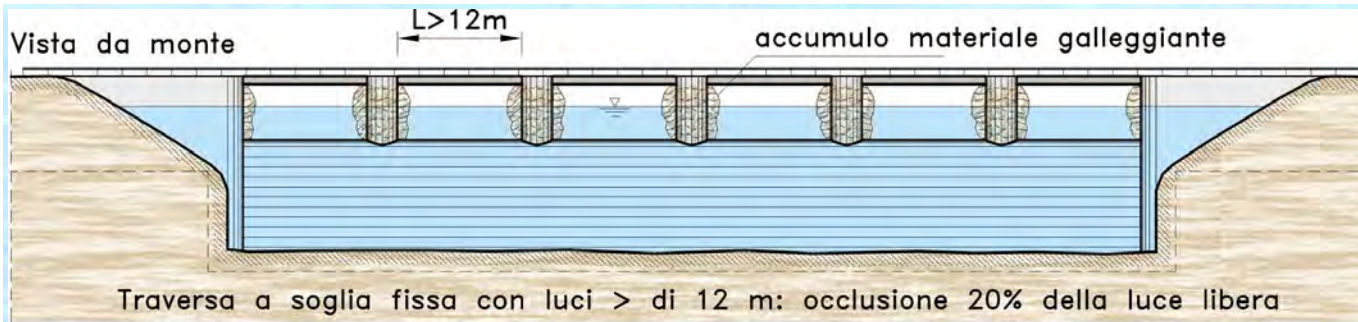
Vista da valle

Gli scarichi delle dighe di calcestruzzo sono dimensionati per evacuare, l'onda con Q al colmo con $Tr=1000$ anni. Il franco netto deve essere non inferiore a 1,0 m.

Scaricatore di superficie per diga di materiali sciolti



Gli scarichi sono dimensionati per evacuare, quando il livello sia alla quota di regolazione e senza superare il massimo invaso, l'onda con Q al colmo con $T_r=3000$ anni. Il franco deve essere: 1,5 m per dighe alte fino a 15 m e 3,5 m per dighe alte fino a 90 m e più, con interpolazione per valori intermedi. ¹⁰



Traversa con soglia fissa

Traversa con paratoie mobili

SOGLIE SFIORANTI

Noti la portata Q da scaricare ed il carico h_0 massimo sulla soglia, si determina la portata q per unità di lunghezza da $q = C_q h_0 \sqrt{2g h_0}$ e lo sviluppo l della soglia. Il ciglio e il paramento sono sagomati in modo che per il carico h_0 la lama aderisca ad esso.

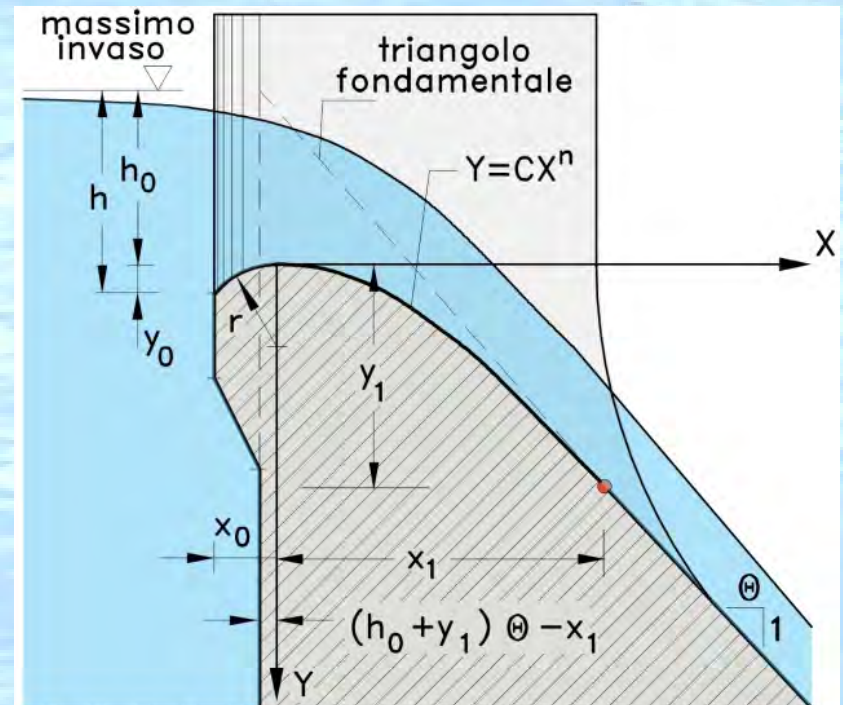
L'equazione della soglia sfiorante, con profilo Scimemi-Creager è:

$$Y/h_0 = C(X/h_0)^n$$

$$x_0 = 0,285 h_0; \quad y_0 = 0,12 h_0; \quad r = 0,40 h_0.$$

espressa in forma adimensionale rispetto al carico fondamentale h_0 :
 $y = C x^n$ essendo $C=0,5$ e $n=1,85$.

Con il profilo indicato il coefficiente di portata è 0,48 se riferito al carico fondamentale h_0 , ma può essere incrementato fino a 0,52 sagomando la cresta per un carico di $0,75 h_0$, come suggerito dall'U.S.B.R., ed ora consentito anche dalle Norme italiane del 2014.



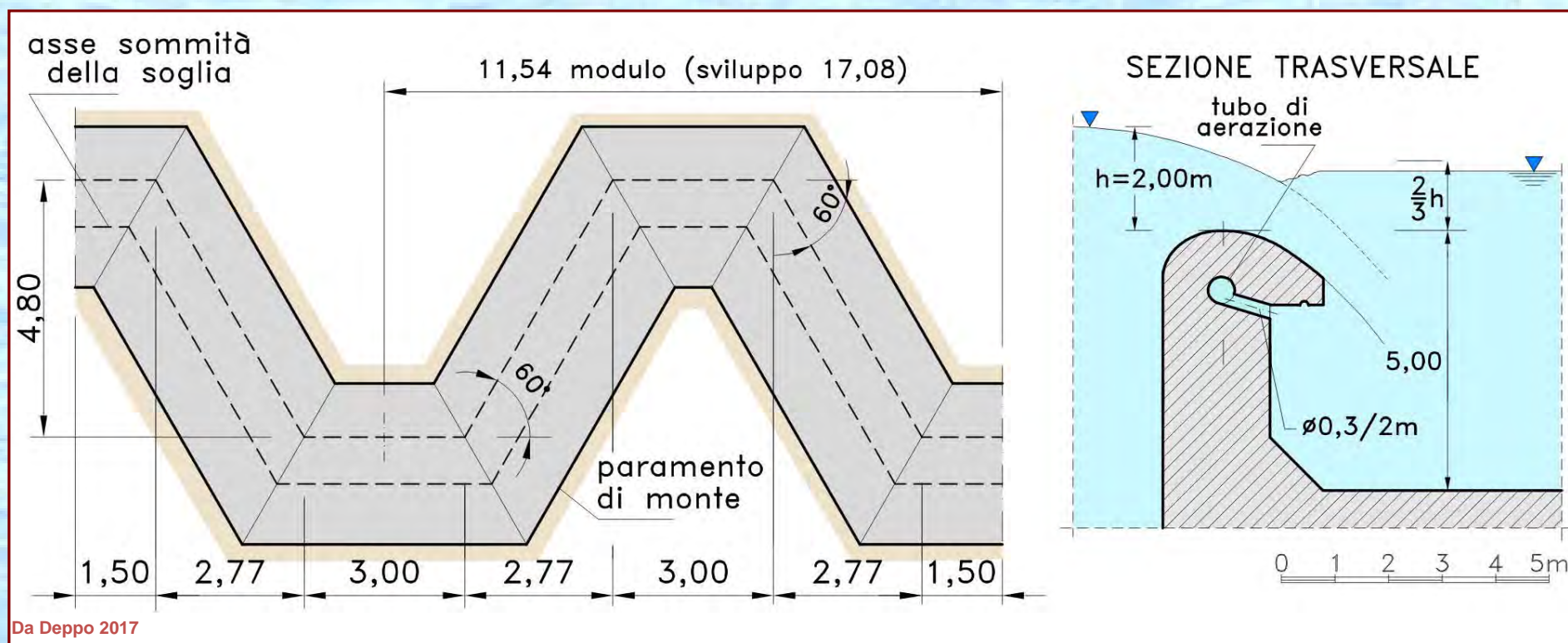
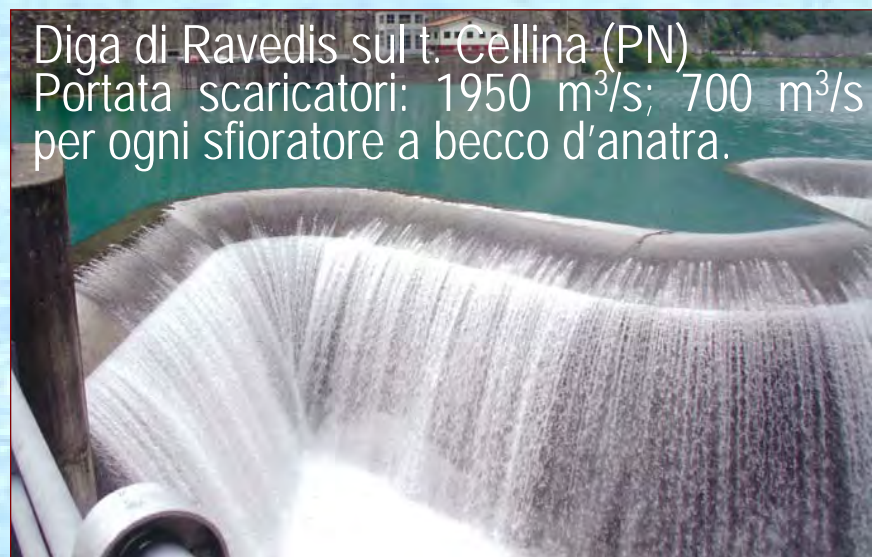
Sfioratori di superficie della diga di Santa Rosalia sul f. Irminio



Comune di Ragusa;
diga di terra zonata con nucleo centrale;
volume della diga $1,54 \times 10^6 \text{ m}^3$;
altezza della diga 53,50 m;
altezza di max ritenuta 46 m;
coronamento 386,00 m s.m.m.;
volume d'invaso $20 \times 10^6 \text{ m}^3$;
portata scarico di superficie $1170 \text{ m}^3/\text{s}$;
portata scarico di fondo $67,70 \text{ m}^3/\text{s}$,

SOGLIA A BECCO D'ANATRA

Quando lo spazio per la realizzazione dello sfioratore sia contenuto si può ricorrere ad una soglia sagomata a becco d'anatra o a zig-zag. E' evidente che più si stringe il becco, più diminuisce il valore di C_q rispetto a quello di una soglia rettilinea.



Se per sfioratori di superficie di dighe di materiale sciolto si adotta il tipo a calice od analoghi, soggetti a saturazione, le dimensioni dovranno essere tali che la quota di saturazione risulti superiore a quella di massimo invaso aumentata di 1 m.



Diga di Sciaguana

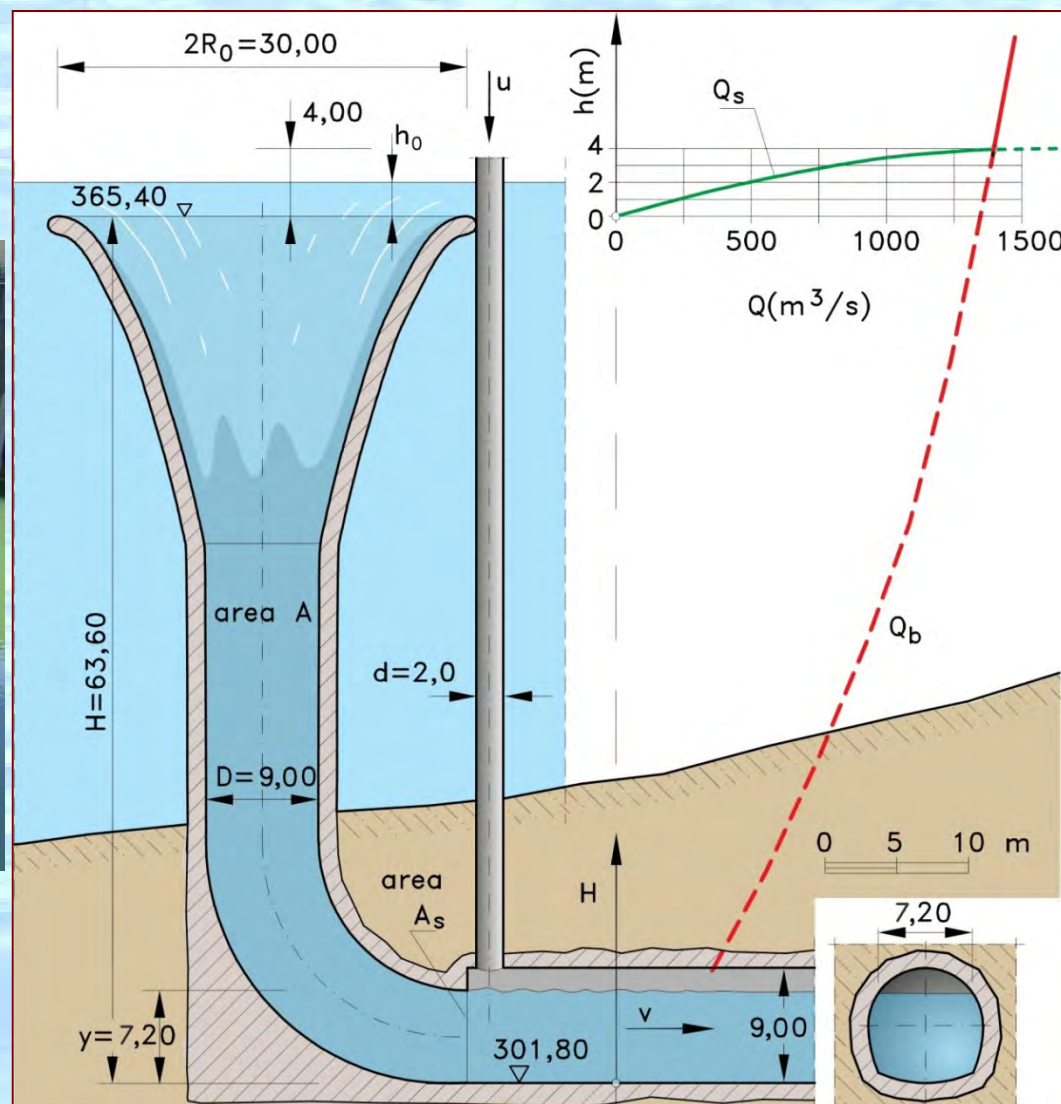
29.09.2006

Comune di Agira e Regalbuto (EN);
 Portata scarico superficie $960 \text{ m}^3/\text{s}$;
 Volume d'invaso $11,4 \times 10^6 \text{ m}^3$;
 Bacino imbrifero sotteso $65+26=91 \text{ km}^2$.

Da Deppo 2017

SCARICATORI A CALICE

In Italia il carico assunto per gli sfioratori è compreso tra 1 e 2,5 m. Con un carico di 1,5 m, la portata di dimensionamento aumenta di 2,15 volte.



RIFORNIMENTO D'ARIA A VALLE GLI ORGANI DI REGOLAZIONE

Il moto a valle degli organi di regolazione è, di norma, a superficie libera con velocità assai elevate e parimente elevati numeri di Froude. Quando lo sbocco, e quindi il deflusso, avvenga in galleria, si deve provvedere con un aeroforo a rifornire di aria la corrente affinché il moto si mantenga a superficie libera.

La portata d'aria necessaria Q_a , da consegnare alla sezione di sbocco, dipende dal numero di Froude e dalla portata Q secondo le relazioni:

$$Q_a = 0,03Q(F - 1)^{1,06} \quad \text{e} \quad Q_a = 0,0066Q(F - 1)^{1,4}$$

valide, rispettivamente, quando il deflusso in galleria avvenga senza la produzione di un risalto o con un risalto.

La depressione per derivare con una condotta d'aerazione lunga L e di diametro d è, in colonna d'acqua,

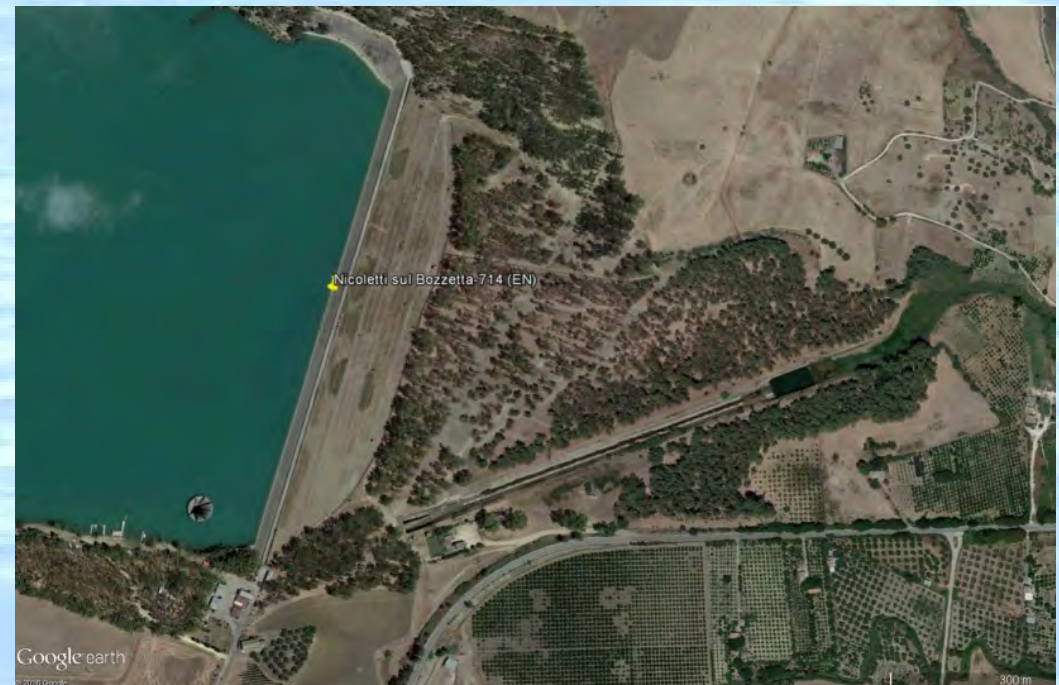
$$\Delta = \frac{\gamma_a}{\gamma_w} \left(1 + k_i + fL/d + k_s \right) \frac{u^2}{2g}$$

essendo $\gamma_a / \gamma_w \cong 1,15 \div 1,30 \cdot 10^{-3}$ (aria secca); $k_i=0,5$; $k_s=1$ e $f=0,02$. La velocità da assumere è generalmente non superiore a $30 \div 50$ m/s.

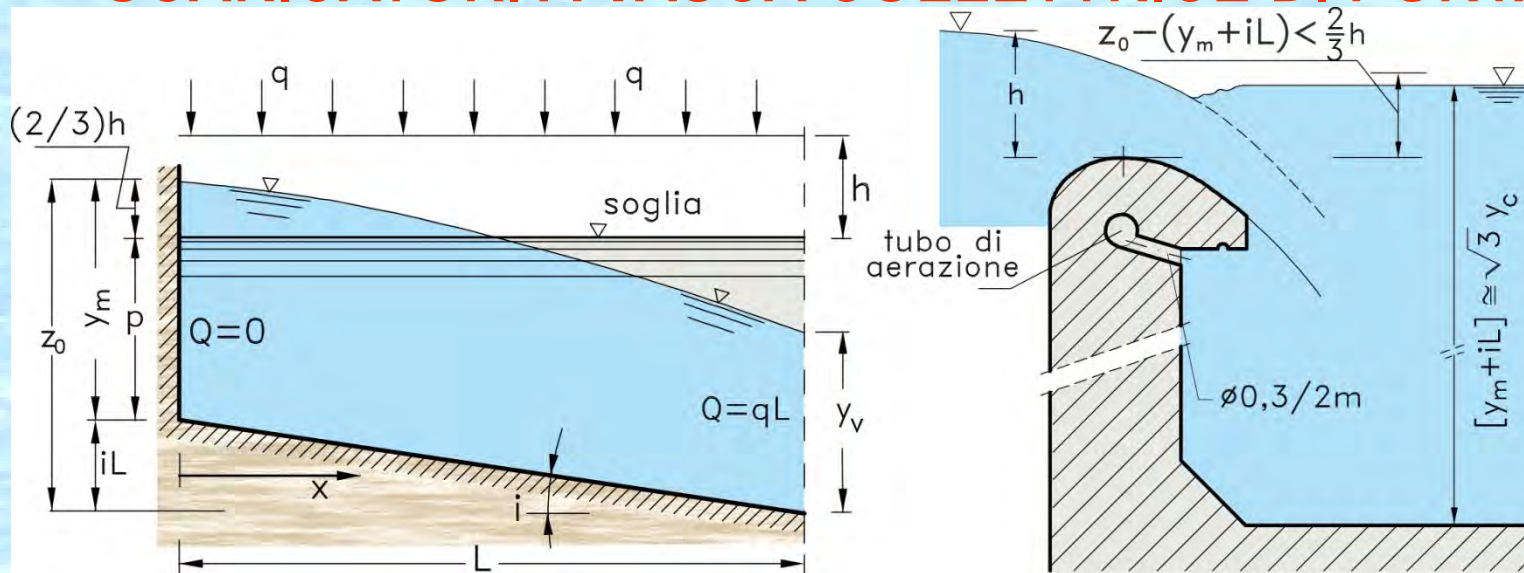


Sfioratore di superficie della diga Nicoletti

Comune di Leonforte (EN);
diga di terra con nucleo centrale;
altezza della diga 47,10 m;
altezza di max ritenuta 387,10 m;
coronamento 389,10 m s.m.m.;
volume d'invaso $20,6 \times 10^6 \text{ m}^3$;
portata scarico superficie $639 \text{ m}^3/\text{s}$;
portata scarico di fondo $211 \text{ m}^3/\text{s}$.

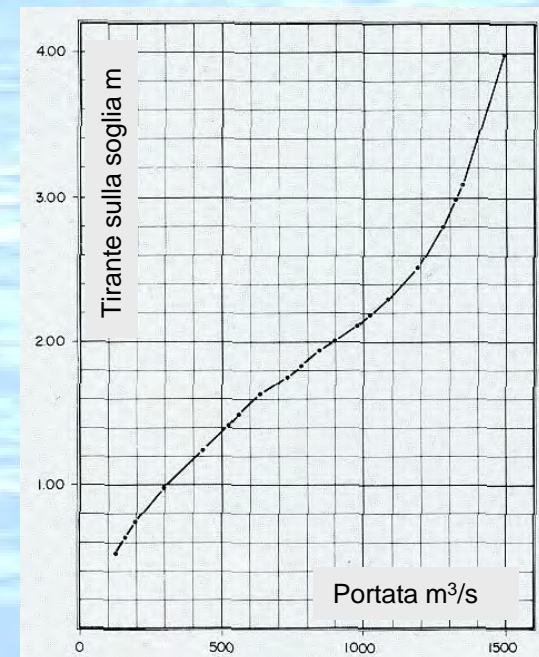


SCARICATORI A VASCA COLLETTRICE DI PORTATA



Lo scaricatore è impiegato principalmente per le dighe di materiale sciolto: la vasca raccoglie la portata sfiorata su uno o più lati e la restituisce a valle dal quarto lato. Le condizioni più favorevoli si hanno se allo scarico si hanno condizioni critiche, essendo minimo il valore della spinta totale.

La vasca è generalmente collocata subito a monte della diga, sul lato ove le condizioni topografiche sono più favorevoli per la vasca ed il canale (o galleria) di scarico. La soglia è sagomata secondo il profilo Creager-Scimemi.



Sfioratore di superficie della diga Lentini



Comune di Lentini;
altezza max della diga 24,70 m;
diga fuori alveo che invasa portate del
Simeto e altri;
volume della diga $1,54 \times 10^6 \text{ m}^3$;
altezza di max ritenuta 18,50 m;
coronamento 36,70 m s.m.m.;
Volume della diga $10 \times 10^6 \text{ m}^3$;
volume d'invaso $134 \times 10^6 \text{ m}^3$;
portata scarico di superficie $160 \text{ m}^3/\text{s}$;
portata scarico di fondo $214 \text{ m}^3/\text{s}$.



DISPOSIZIONI DEL REGOLAMENTO DIGHE PER GLI SCARICHI

Le Norme tecniche per le dighe del 2014 al punto c) che tratta delle Dighe murarie in generale prevedono:

Prove idrauliche su modello circa la forma e l'efficienza delle opere di scarico di fondo e di superficie nonchè sui relativi dispositivi di dissipazione di energia sono di norma necessarie.



Modello in scala 1:50, dello scarico di superficie della diga sul T. Locone funzionamento con la portata al reale di $890 \text{ m}^3/\text{s}$.

20

Modello in scala 1:50, dello scarico di superficie della diga di Sciaguana (EN); portata scarico superficie 960 m³/s; prove eseguite dal prof. M.Santoro nel Laboratorio di Idraulica Università di Palermo.



Modello del calice con setti antivortice e prese piezometriche



Efflusso rigurgitato nello sfioratore



Sfioratore nella seconda configurazione



Risalto idraulico in vasca di dissipazione

NUMERO DI FROUDE

Quando le forze gravitazionali risultino prevalenti sulle altre dovute alla viscosità, alla tensione superficiale e all'elasticità, come di norma si verifica nelle correnti a superficie libera, è di grande interesse stabilire in che rapporto le forze d'inerzia si trovino con quelle gravitazionali. Se si indicano con ρ e γ_w , rispettivamente, la densità e il peso specifico del fluido, con L una lunghezza significativa e M la massa, e infine con v la velocità e a l'accelerazione, si hanno le seguenti espressioni:

forza d'inerzia: $[F_i] = [Ma] = \rho L^3 \frac{L}{T^2} = \rho L^2 v^2$

forza peso: $[F_p] = \gamma_w L^3$

Il rapporto fra esse, ricordando che è $g = \gamma_w / \rho$ ed estraendo la radice, è un numero adimensionale:

definito numero di Froude. $F = \frac{v}{\sqrt{gL}}$

MODELLI IDRAULICI IN SIMILITUDINE DI FROUDE

La legge di Froude riveste un ruolo di notevole importanza nel campo dei modelli fisici per la riproduzione in scala ridotta di processi idraulici che si svolgono nel campo gravitazionale, quelli propri dei moti a superficie libera.

La legge di similitudine di Froude consente di definire le scale con le quali restituire al reale le grandezze misurate sul modello.

Assunta la scala delle lunghezze λ_l , che assicura la similitudine geometrica, le altre scale si deducono dalla condizione:

$$\frac{v_o}{\sqrt{gy_o}} = \frac{v_m}{\sqrt{gy_m}}$$

avendo indicato col pedice o e m originale e modello; le scale sono:

velocità

portate

tempi

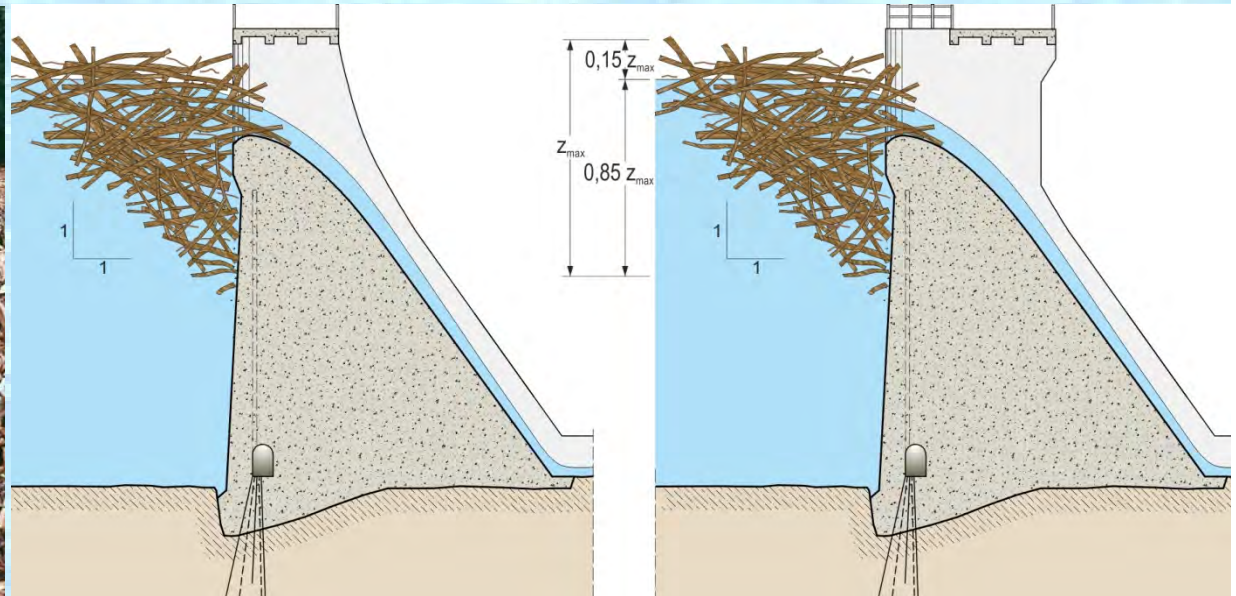
$$\lambda_v = \frac{v_o}{v_m} = \sqrt{\frac{y_o}{y_m}} = \lambda_l^{1/2}$$

$$\lambda_Q = \lambda_v \cdot \lambda_l = \lambda_l^{5/2}$$

$$\lambda_t = \frac{\lambda_l}{\lambda_v} = \lambda_l^{1/2}$$

La scala di riduzione è, di norma, dell'ordine di $\lambda_l=30\div 50$. Essa è scelta principalmente in base alle dimensioni dell'opera e al valore delle portate.

TRASPORTO DI MATERIALE GALLEGGIANTE



Il franco tra quota di regolazione e sottotrave del ponte dovrebbe essere di 1,50 m (NTC 2008); lo spostamento del ponte verso valle rispetto al triangolo fondamentale aumenta il franco tra vena sfiorante e sottotrave, creando tuttavia problemi per la manutenzione a monte.

Per facilitare il deflusso del materiale galleggiante è anche opportuno che le luci tra le pile dello sfioratore siano di ampiezza pari a due concii, ossia di circa 25 m, essendo, per i nostri climi, per motivi di smaltimento del calore di idratazione, la larghezza di ogni concio di circa 12 m.

PARATOIE

Le paratoie sono strutture mobili che servono a chiudere parzialmente o completamente una struttura fissa per ritenuta d'acqua: le perdite d'acqua devono essere (in genere) contenute il più possibile.

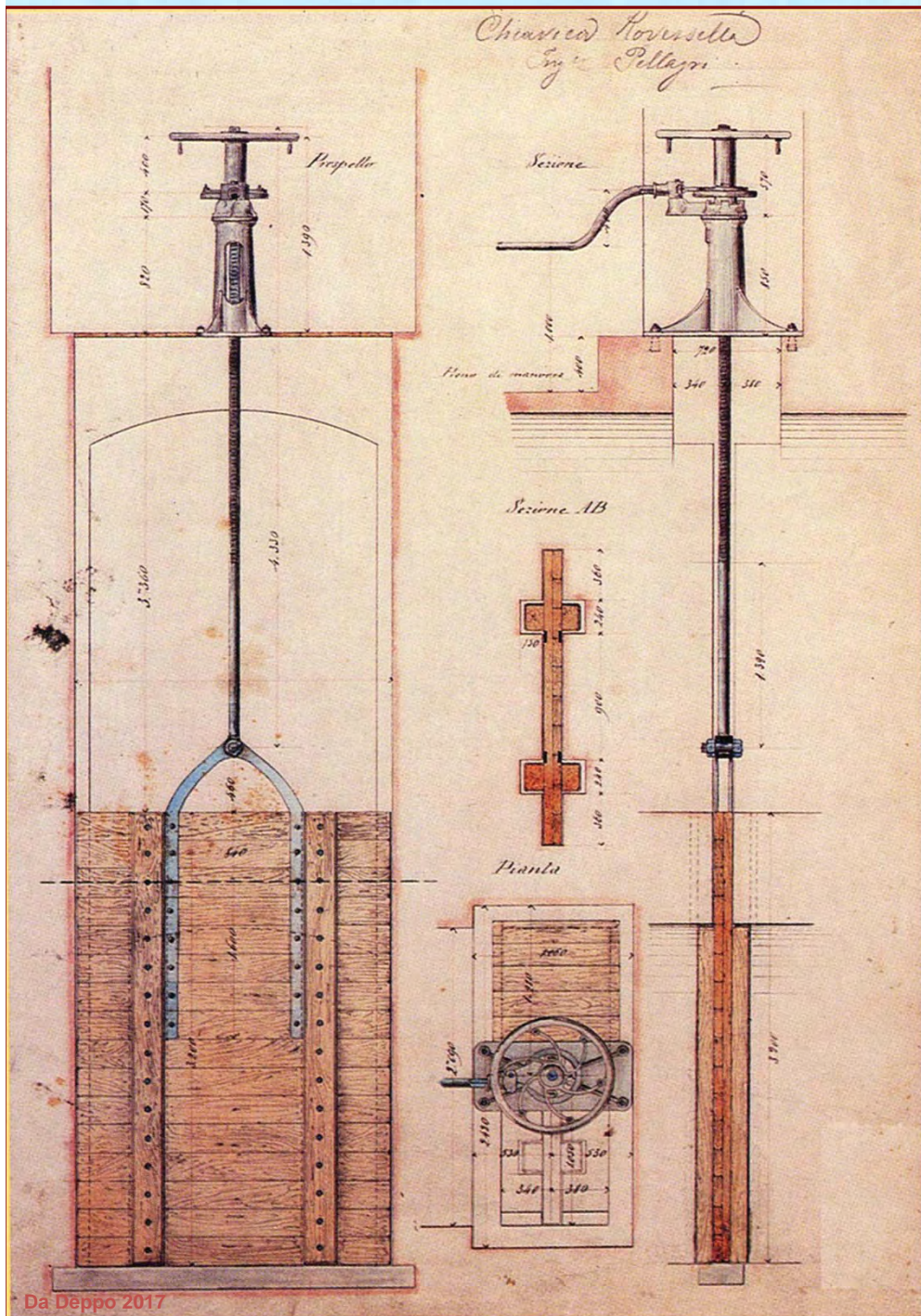
I tipi fondamentali sono:

- paratoia piana;
- paratoia a ventola;
- paratoia a settore.

Alcune di queste paratoie possono comporsi tra loro e danno luogo ai seguenti tipi principali:

- paratoia piana su piana;
- paratoia piana con ventola sovrapposta;
- paratoia a settore con ventola sovrapposta.

Chiavica Roverella
Ing. Pellagri

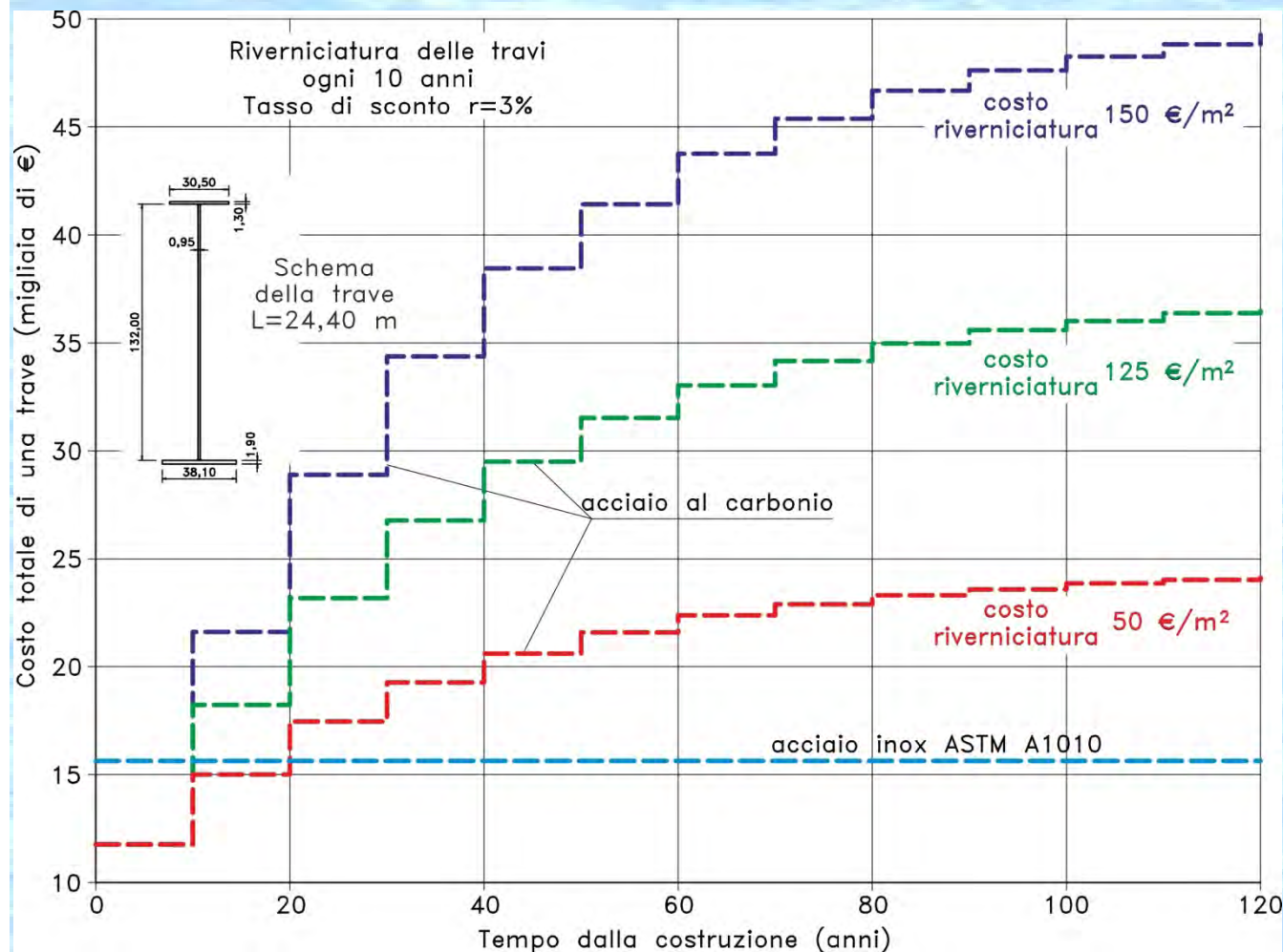


PARATOIA DI LEGNO CON
ORDITURA DI ACCIAIO PER LA
CHIAVICA ROVERSELLA (FINE '800)

PARATOIE DI ACCIAIO PER LA
REGOLAZIONE DI UN CANALE
(FINE '800)



Le paratoie sono generalmente realizzate con strutture saldate di acciaio al carbonio; lo spessore minimo degli elementi è di 6÷8 mm per garantire la facile saldabilità e per limitare la riduzione percentuale di spessore per l'ossidazione. Recentemente si vanno diffondendo strutture di acciaio inox.



La struttura di acciaio inox ha un costo di costruzione ~1,5 volte quella di acciaio al carbonio; dopo 15÷20 anni il costo, compresa la manutenzione, risulta inferiore per la struttura inox.

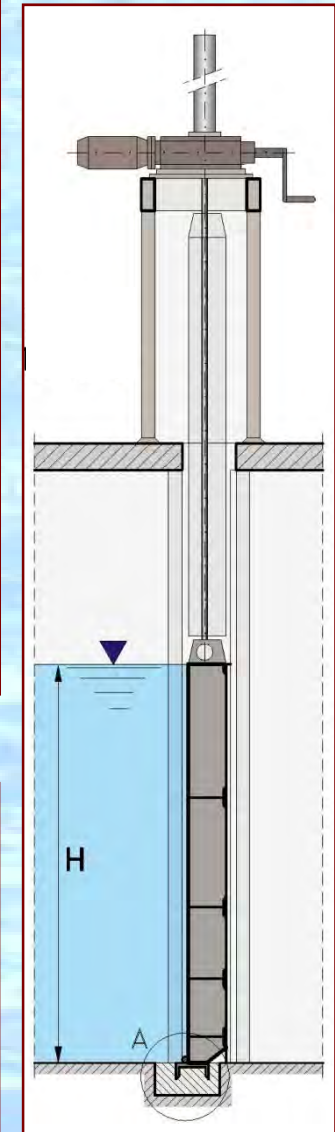
**MATERIALI
IMPIEGATI PER
LE PARATOIE**

AZIONI SULLE PARATOIE

I carichi che sollecitano una paratoia sono di due tipi: permanenti (o quasi) ed accidentali.

Appartengono alla prima categoria: il carico idrostatico legato allo stato idrometrico (variabile con l'esercizio, ma pur sempre la principale fonte di sollecitazione così da potersi accreditare come permanente) e l'eventuale presenza di fango; il peso proprio, da considerare, con l'azione idrostatica, per proporzionare gli organi di manovra e la loro potenza; l'eventuale spinta di galleggiamento per paratoie a struttura, in tutto o in parte, chiusa.

Le azioni accidentali sono: quelle d'origine sismica e quelle dovute ai possibili urti provocati dal materiale trasportato dalla corrente, grossi tronchi, ghiacci od altro; ritenendo trascurabili le azioni ondose, eventualmente legate al vento, che possono prodursi nei corsi d'acqua.





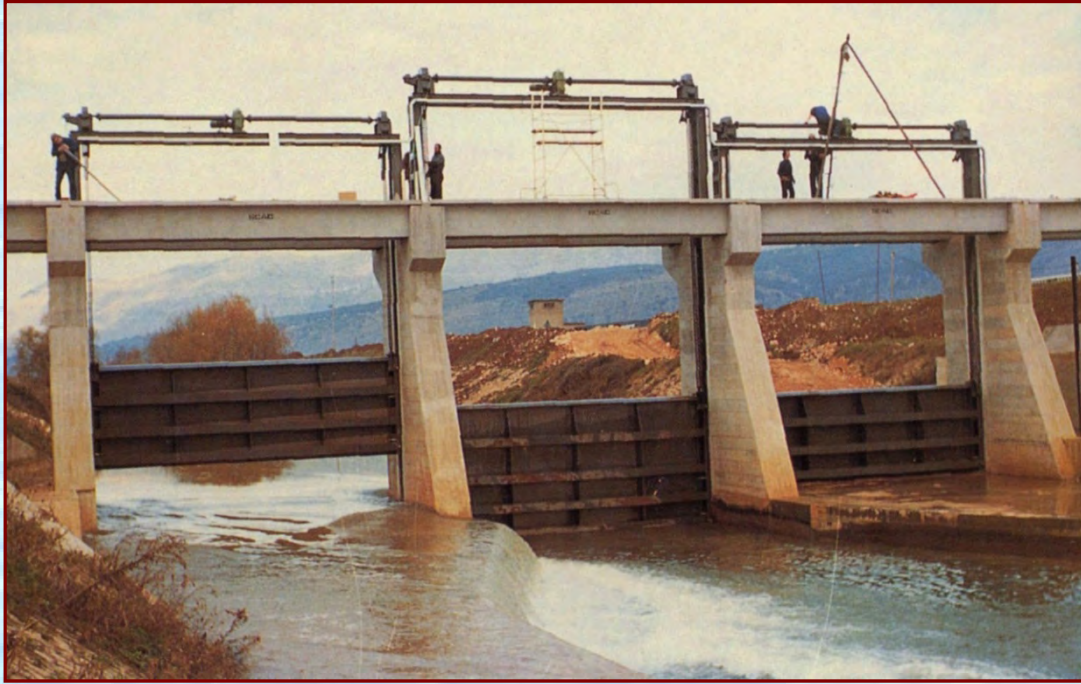
L=7,20 m; H=3,34 m

Le paratoie piane e le loro parti accessorie (gargami e dispositivi di tenuta) possono essere esposte all'azione del materiale solido trasportato: con qualche sofferenza per le manovre o per danni alla soglia: problemi da considerare con attenzione per impianti posti sui corsi d'acqua naturali o per gli scarichi di fondo.

PARATOIE PIANE

Le paratoie piane, nella più semplice forma strutturale, con travi orizzontali costituite da profilati sono utilizzate per luci L e altezze H di ritenuta relativamente modeste. Il prodotto $L \cdot H$ può spingersi fino a valori di circa 30 m^2 : quindi, per $L=10 \text{ m}$, può assumersi $H=3 \text{ m}$; oppure $H=5 \text{ m}$ per $L=6 \text{ m}$: con un peso d'acciaio dell'ordine di $\sim 250 \text{ N/m}^2$. Luci maggiori richiedono strutture con travi orizzontali composte e pesi specifici dell'ordine di $250 \div 300 \text{ N/m}^2$. A questi pesi sono da aggiungere quelli relativi ai gargami, ai modi di sollevamento e agli organi di manovra.

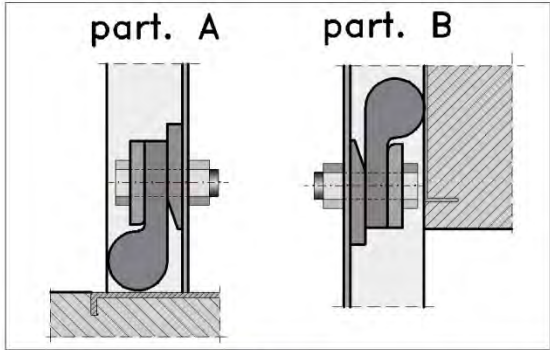
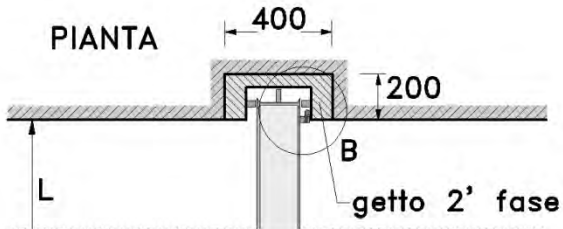
AMPIEZZA DELLE LUCI



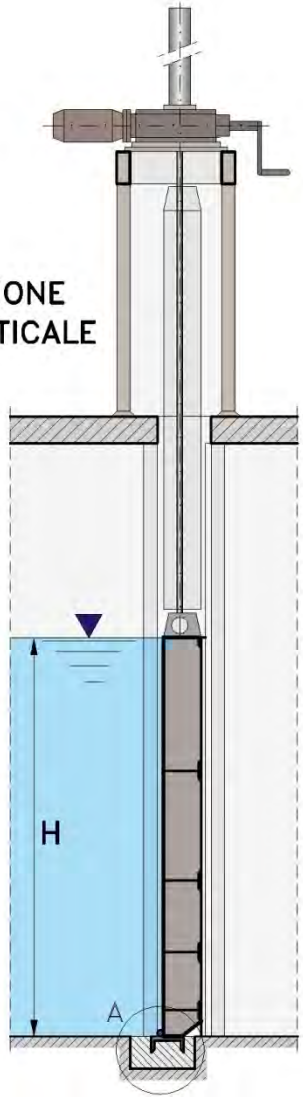
Nelle traverse la definizione del migliore rapporto tra l'ampiezza delle luci e l'altezza della ritenuta è legata ai magisteri civile ed elettromeccanico da impiegare, rispettivamente, per la costruzione delle pile in alveo (di norma, in presenza d'acqua) e per la costruzione e montaggio delle paratoie.

E' da ricordare come, a parità di larghezza da sbarrare, il costo della traversa non sia molto influenzato da una diversa modulazione delle luci; essendo per contro, notevoli i vantaggi, costruttivi e d'esercizio, legati a un ridotto numero delle pile. In questa prospettiva, luci spinte fino a valori compresi tra 20 e 40 m sono da considerare con interesse, i maggiori valori applicati, ovviamente, alle traverse d'ampiezza relativamente notevole. La luce di 40 m è pari a quella prevista tra le pile dei ponti dalle NTC2008 ed anche dalle emanande NTC2017.

PARATOIA PIANA: SUDDIVISIONE IN ZONE DI EGUALE SPINTA

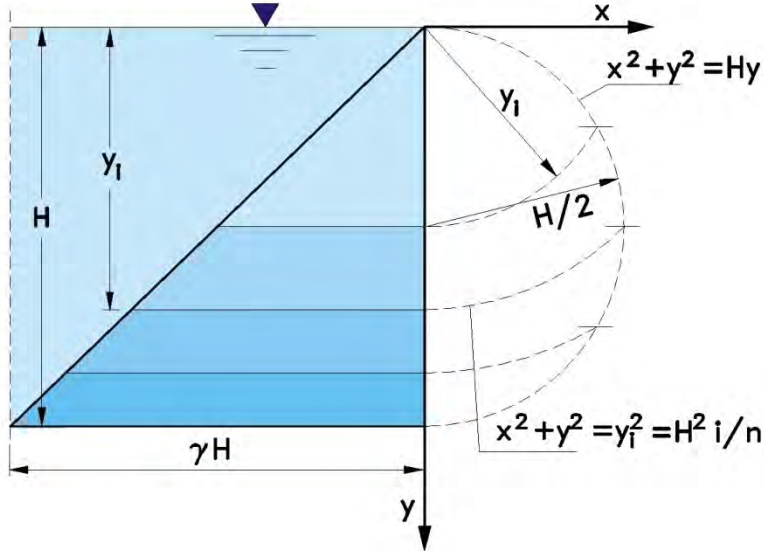
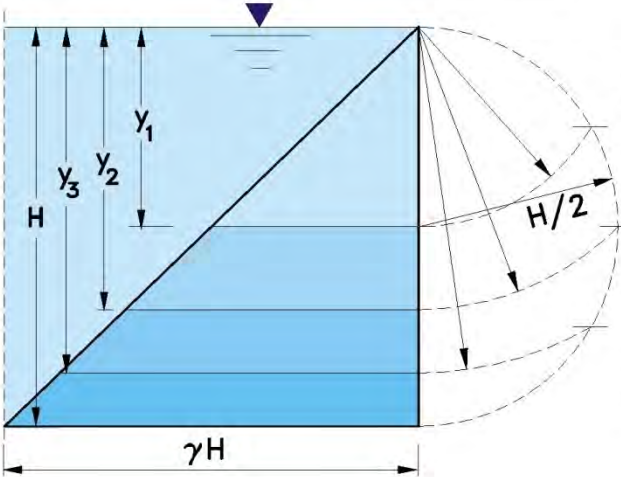


SEZIONE VERTICALE



l'intersezione tra $\begin{cases} x^2+y^2=Hy \\ x^2+y^2=y_i^2 \end{cases}$

è data da: $Hy=y_i^2$;
 nel caso specifico si ha: $y=Hi/n$,
 e quindi: $H^2i/n=y_i^2$,
 da cui: $y_i=H\sqrt{\frac{i}{n}}$.



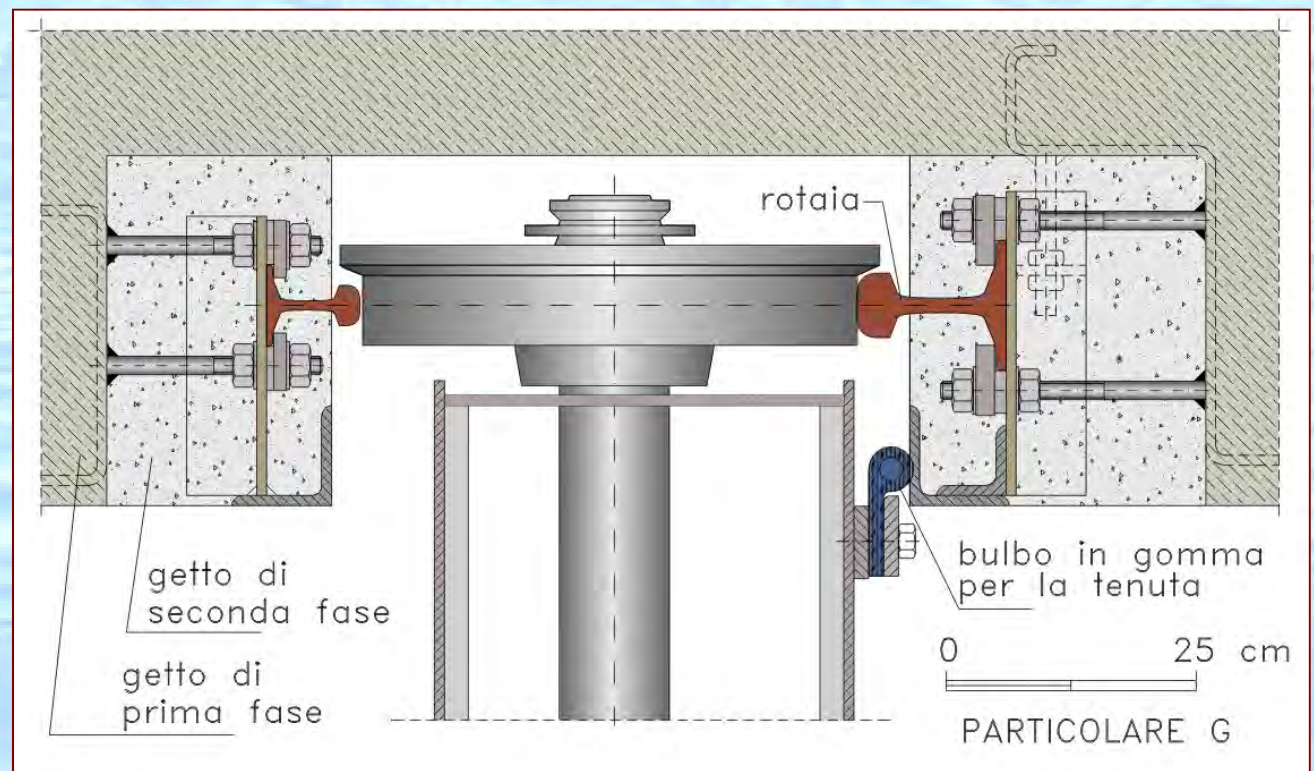
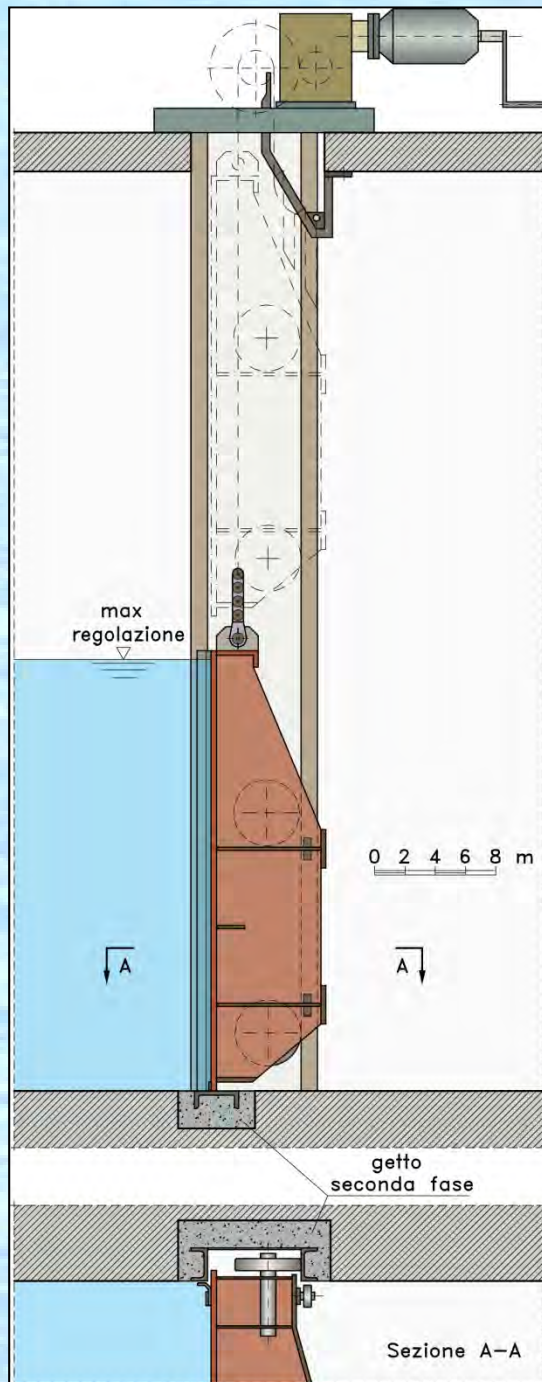
ORDITURA DI UNA PARATOIA PIANA E POSIZIONE DELLE RUOTE

L'orditura di una paratoia piana è costituita da una successione di travi orizzontali, tutte sottoposte allo stesso carico. Queste travi (secondarie) vanno poi a scaricarsi sulle travi principali, a queste ortogonali, poste in corrispondenza dei gargami. Queste ultime sono quindi caricate con un numero discreto di forze che derivano da un carico triangolare. Le travi principali sono a loro volta sovente poggiate su due ruote.

La collocazione delle ruote deve essere tale da dar luogo (nella condizione di paratoia chiusa) allo stesso carico sulle ruote (reazioni) ma anche tale da rendere alquanto prossimi i momenti positivi e negativi sulla trave. La presenza delle ruote ($f = 0,08-0,1$) riduce a meno della metà l'attrito tra acciaio e bronzo ($f = 0,2$).

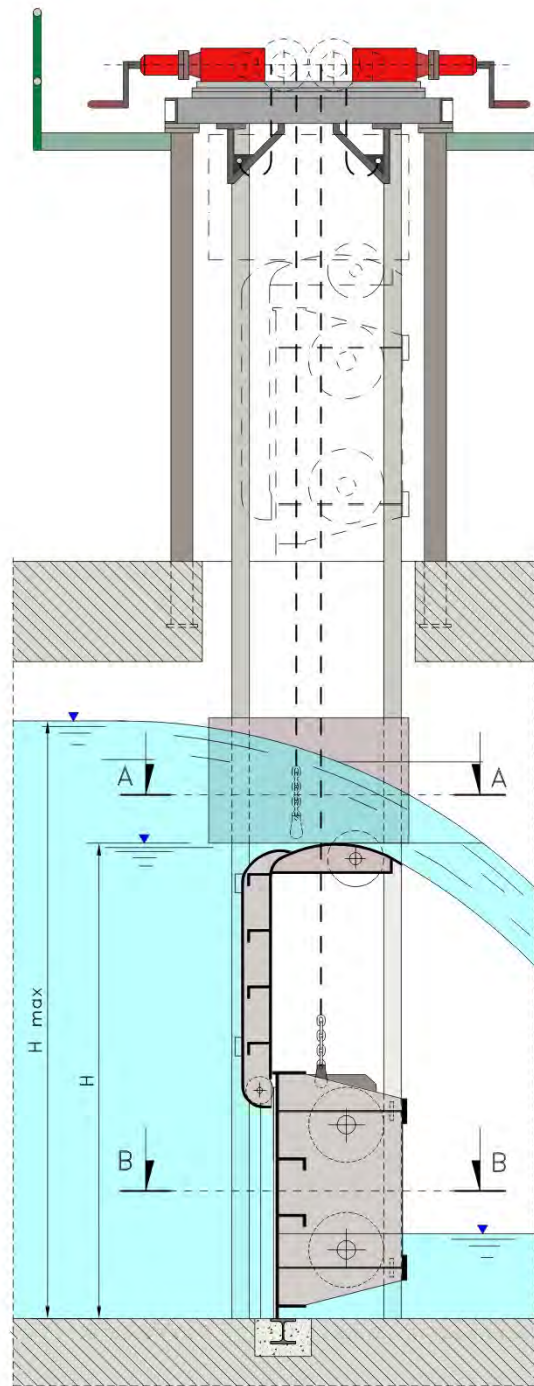
SCHEMA DI PARATOIA PIANA SU RUOTE CON SOLLEVAMENTO AD ARGANO TRAMITE CATENA

Predisposizione dei gargami di una paratoia
piana sul getto di prima fase

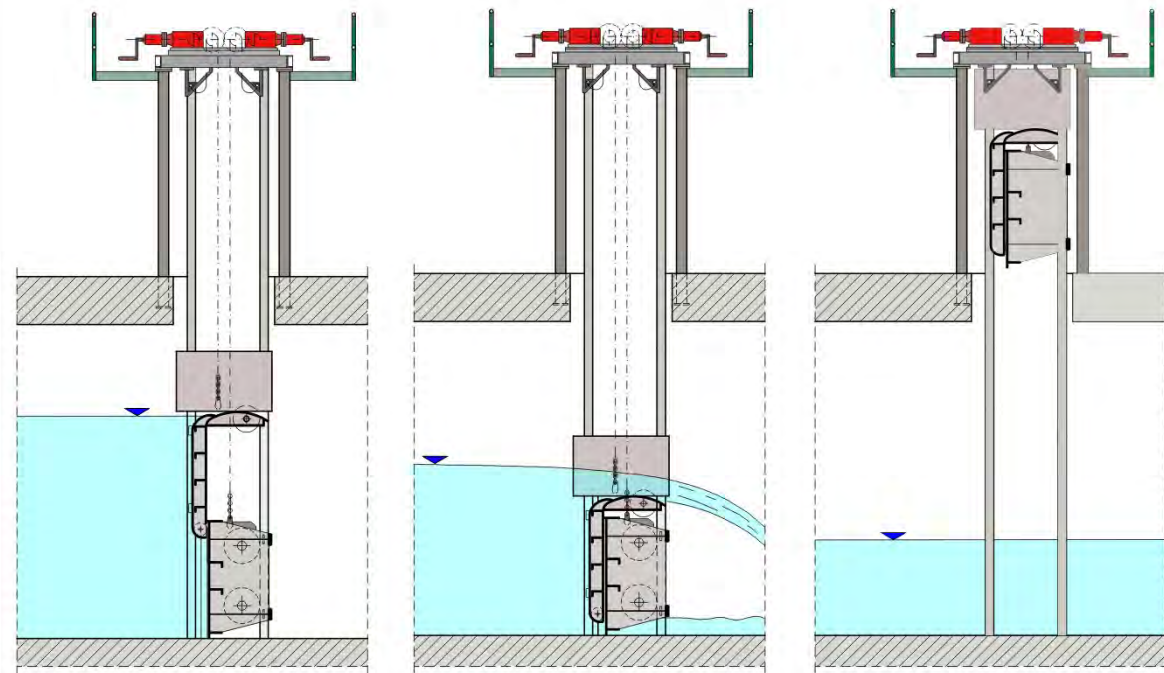


PARATOIA PIANA SU PIANA (A GANCIO)

È adottata per il controllo di scarichi di superficie con elevato battente. È composta da due elementi, quello superiore può abbassarsi sovrapponendosi a quello inferiore: la paratoia può poi essere sollevata, con una spinta di un quarto del totale.



Sequenza d'apertura



Paratoia chiusa

Parte superiore abbassata

Paratoia sollevata

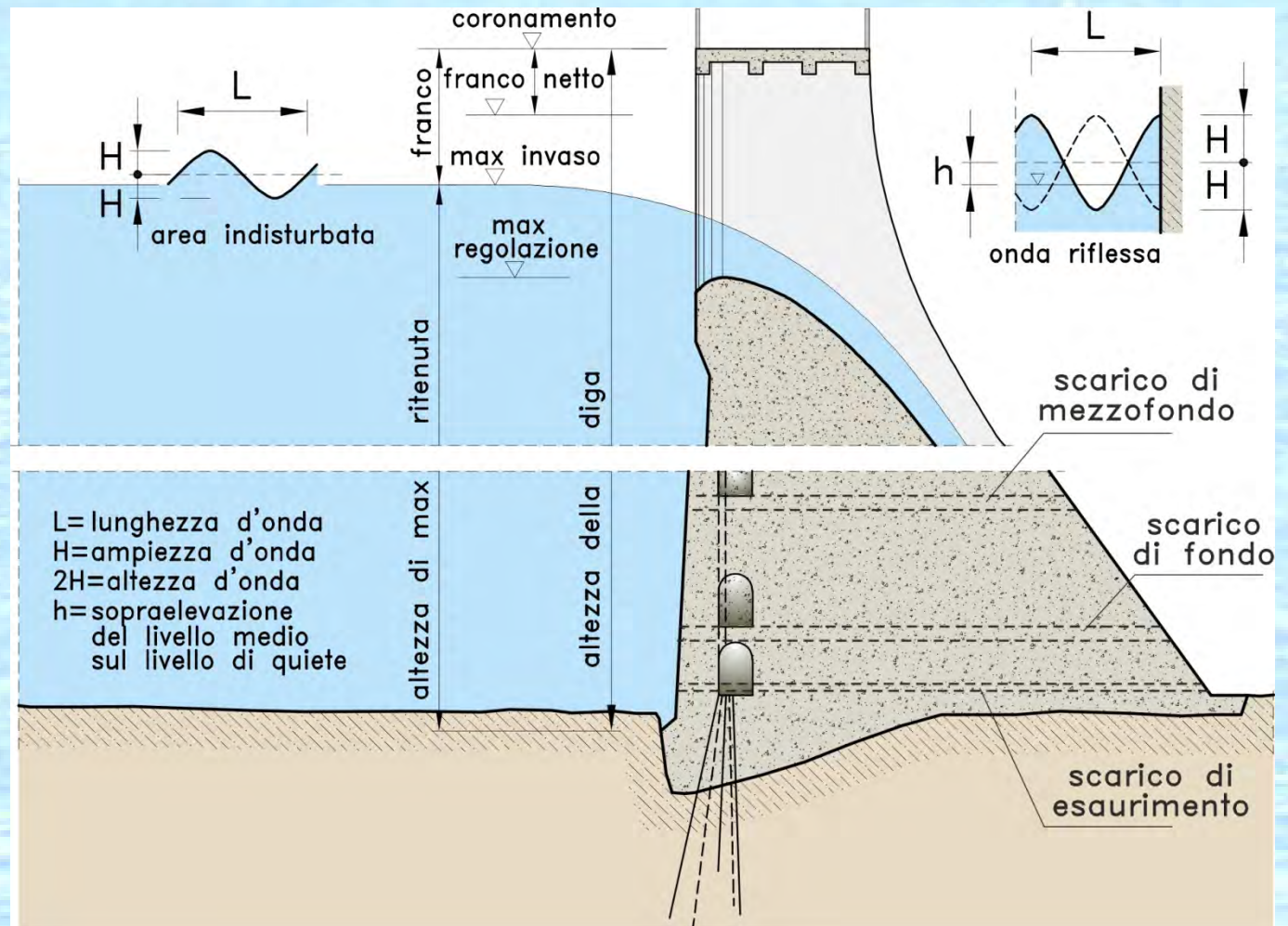
Da Deppo 2017

IMPIANTO DEL FLUMENDOSA (SARDEGNA) PARATOIA A GANCIO 12x12 m²



La paratoia piana su piana oltre all' apprezzabile vantaggio per il suo sollevamento, con una spinta ridotta ad 1/4 rispetto a quella che si avrebbe per un'unica paratoia, hanno il vantaggio di poter far defluire verso valle il materiale galleggiante accumulato a monte senza dover sollevare per intero la paratoia.

ORGANI DI CONTROLLO DEGLI SCARICHI PROFONDI



Gli organi d'intercettazione degli scarichi profondi devono assicurare in chiusura una perfetta tenuta; essere facilmente manovrabili; permettere un deflusso parziale e totale regolare; resistere all'usura dovuta alla portata solida; essere facilmente ispezionabili e riparabili. Essi sono: **scarico di fondo, di mezzo fondo, di esaurimento.**

DIGA DI ROSAMARINA

Scarico di fondo 250 m³/s



SCARICHI DI FONDO

Lo scarico di fondo serve per il vuotamento del serbatoio: per emergenza; per manutenzione; per rimuovere il materiale sedimentato; per integrare in emergenza lo scaricatore di superficie durante le piene e per uno svaso preventivo.

Nelle dighe di calcestruzzo esso è spesso inserito nel corpo murario, suddiviso eventualmente in due scarichi in parallelo.

Nelle dighe di terra deve essere collocato fuori dal corpo diga, utilizzando talvolta la deviazione provvisoria, con un'unica eccezione: quando lo scarico possa essere cementato in una trincea scavata in roccia, se questa è presente, al di sotto della diga.



Diga di Dirillo in località
Ragoletto, Comune di Licodia
Eubea (CT)

Scarico di fondo

Da Deppo 2017



DIGA DI ROSAMARINA

Scarico di mezzo fondo 250 m³/s



SCARICHI DI MEZZOFONDO

Per ritenute maggiori di 50 m e/o capacità maggiori di 50 milioni di m³, è da adottare uno scarico intermedio o di alleggerimento per garantire una maggiore affidabilità del sistema nel processo di vuotamento.

Esso, infatti, può essere aperto con maggiore facilità anche in emergenza, consentendo di scaricare una frazione significativa del volume invasato. Ridotto così il carico sullo scarico di fondo (di qui la dizione di alleggerimento) questo può essere più facilmente aperto. A differenza dello scarico di fondo, a ridosso del quale possono accumularsi materiali che ne ostacolano l'apertura, gli scarichi superiori non hanno di fatto soggezioni.

La presenza dello scarico d'alleggerimento riduce ovviamente i problemi dovuti alla velocità per lo scarico di fondo.

SCARICO DI ESAURIMENTO

E' adottato quando l'imbocco dello scarico di fondo sia tenuto, più alto del fondo alveo: esso provvede al vuotamento completo del serbatoio. La sua sezione è circolare con diametro non inferiore a 1000 mm, per assicurarne l'ispezionabilità. In dipendenza dal carico il presidio è talvolta fatto con paratoie di serie.

Una griglia inclinata è posta a protezione dell'imbocco; frequenti aperture sono praticate per rimuovere il materiale depositato nell'intorno dell'imbocco e tra questo e l'organo di controllo, per impedire che il materiale stesso abbia ad aggregarsi; le manovre vanno eseguite alcune volte all'anno e, comunque, dopo piene significative.

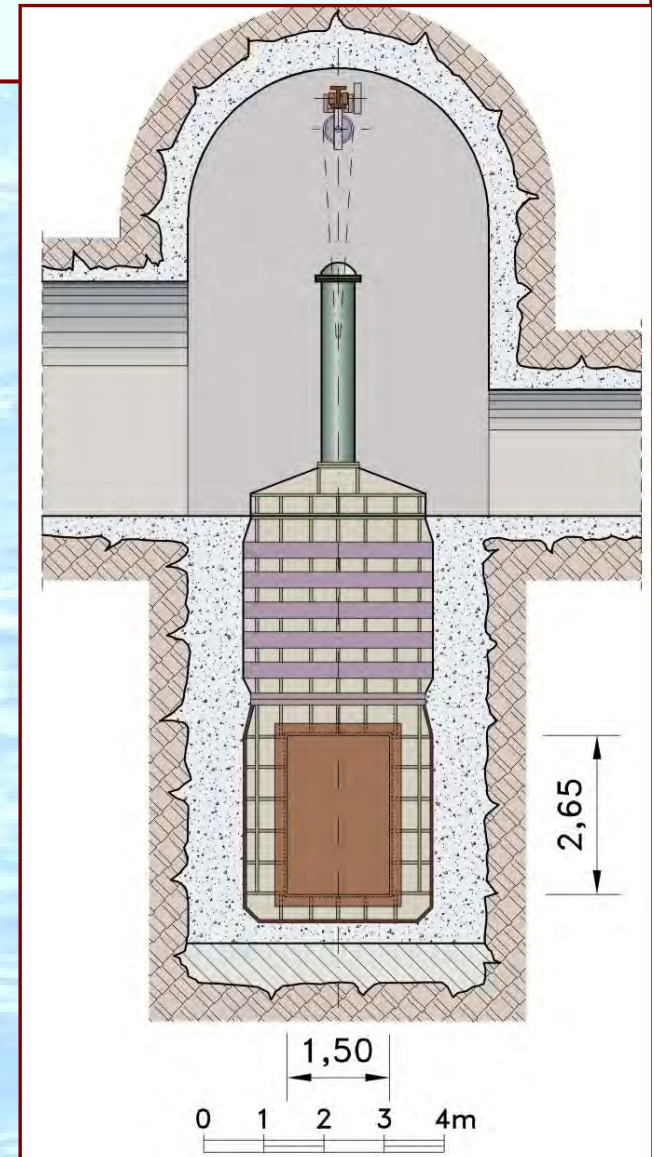
Gli scarichi di fondo e di esaurimento sono anche utili per allontanare le acque di magra e consentire il montaggio delle paratoie dello scarico di fondo e altre finiture nella parte bassa. Sono spesso manovrabili solo quando la quota liquida sia scesa circa fino alla quota dello scarico di fondo.

PARATOIE PIANE A SARACINESCA PER SCARCHI DI FONDO

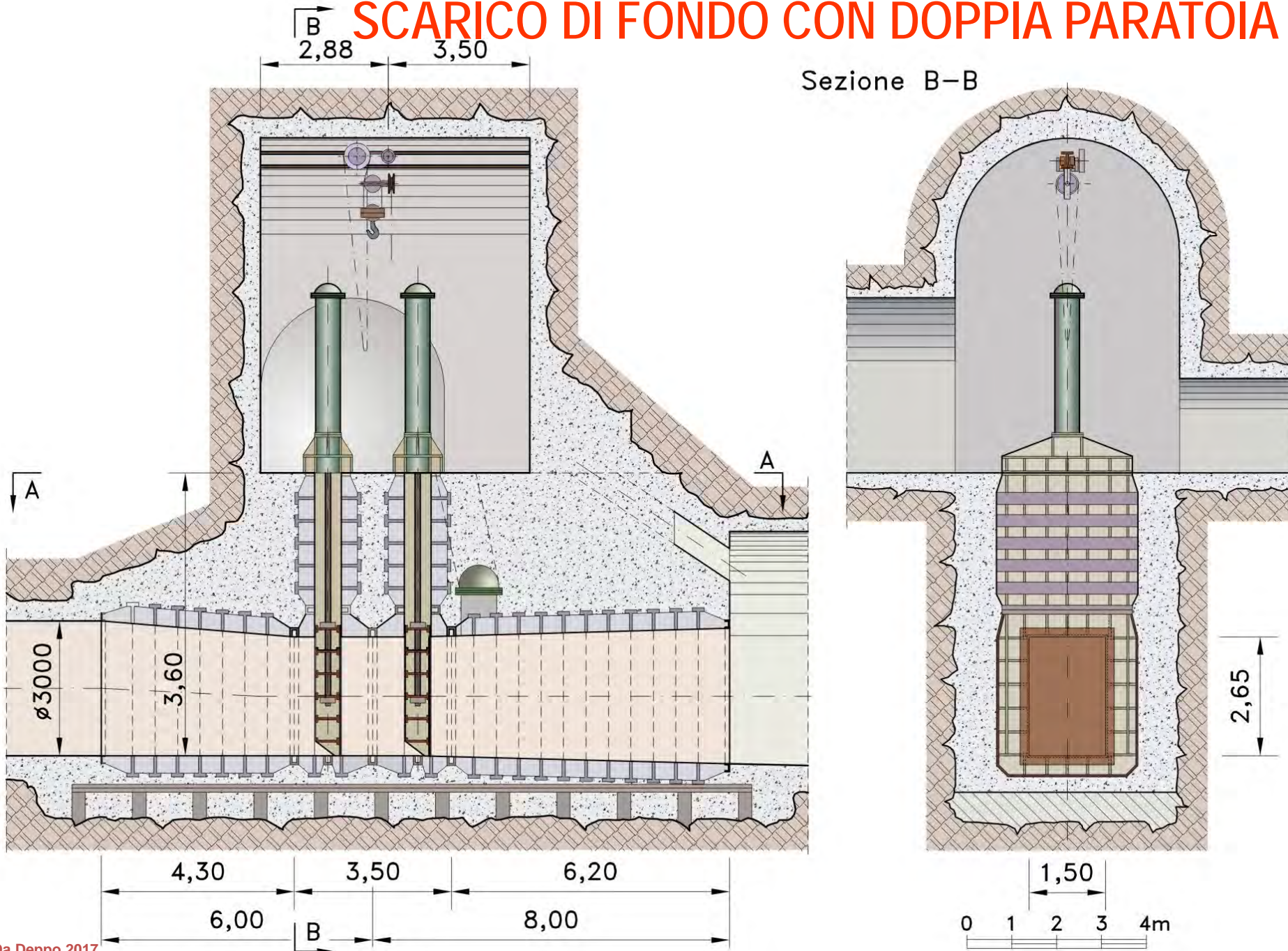
Sono paratoie piane a strisciamento (quella di guardia talvolta su ruote) in grado di manovrare sia in apertura che in chiusura sotto i massimi carichi idrostatici.

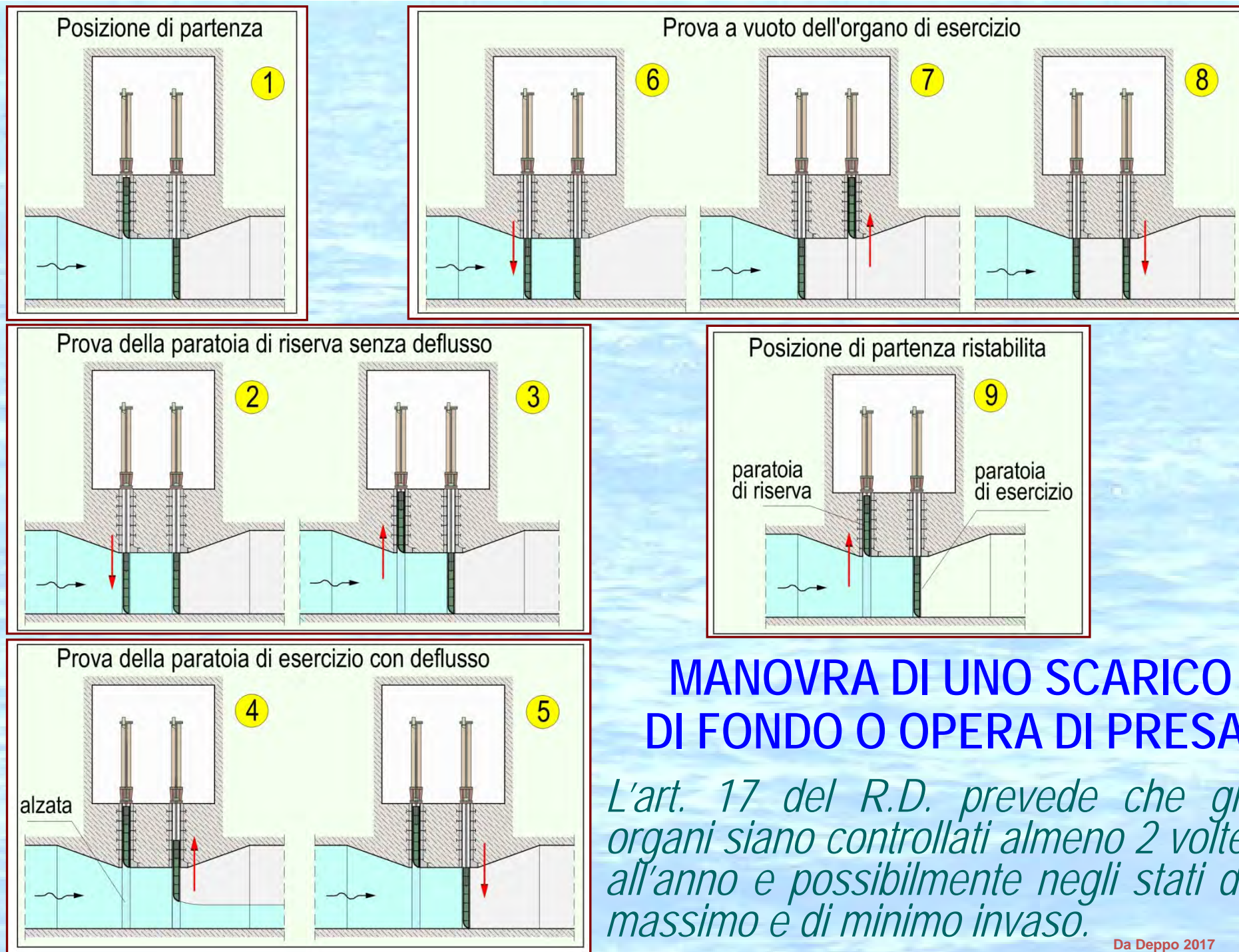
In dipendenza dal battente sulla paratoia e della disposizione generale dell'opera, il comando può essere realizzato in due modi:

- per le saracinesche collegando il diaframma mobile con un cilindro a doppio effetto alimentato con olio in pressione e racchiudendo il diaframma entro una cassa di contenimento;
- per le paratoie piane collegando il diaframma mobile al cilindro tramite una catena di aste rigide e prolungando le guide fino al piano di manovra.



SCARICO DI FONDO CON DOPPIA PARATOIA





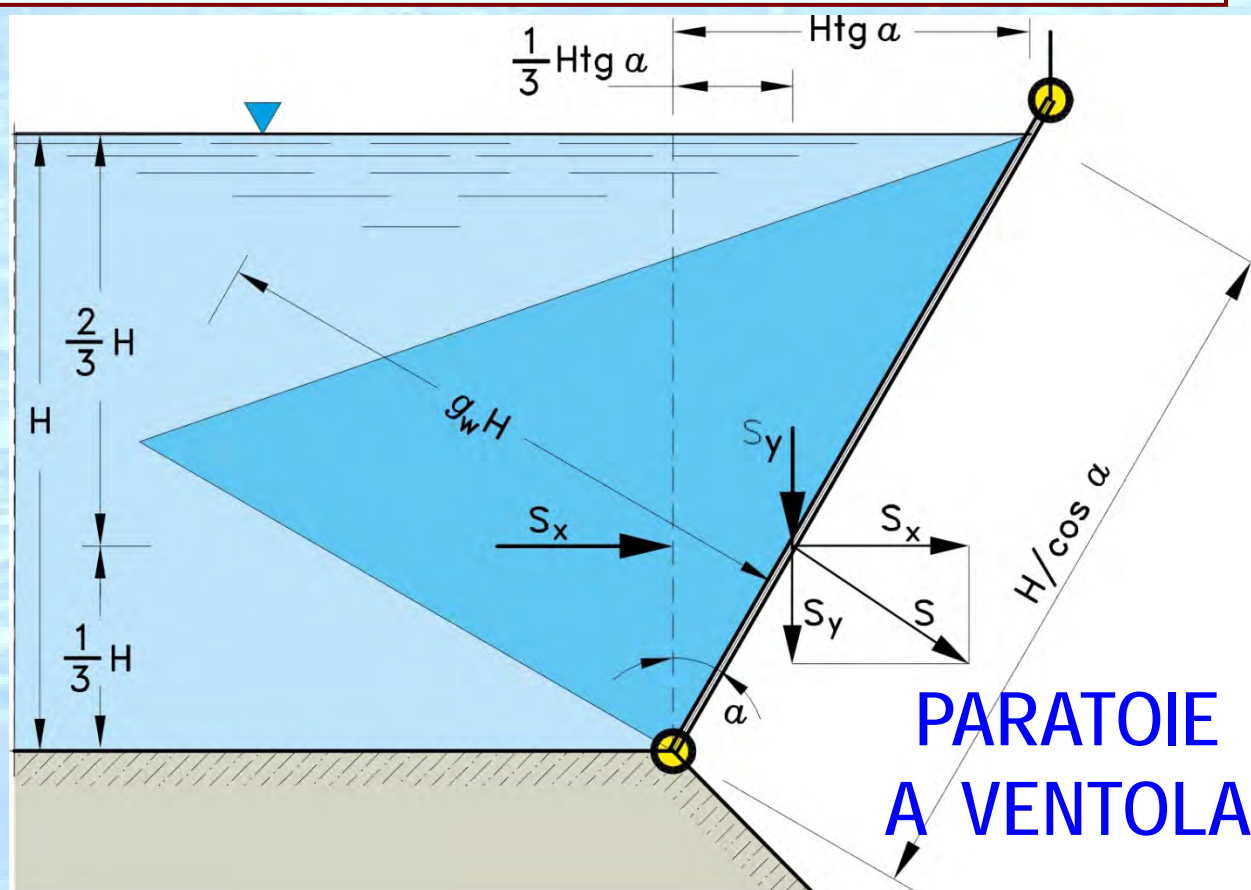
MANOVRA DI UNO SCARICO DI FONDO O OPERA DI PRESA

L'art. 17 del R.D. prevede che gli organi siano controllati almeno 2 volte all'anno e possibilmente negli stati di massimo e di minimo invaso.

Le paratoie a ventola, trovano largo impiego associate alle paratoie piane o a quelle a settore nelle traverse con alte e medio-alte ritenute; hanno invece limitate applicazioni negli impianti ad acqua fluente.

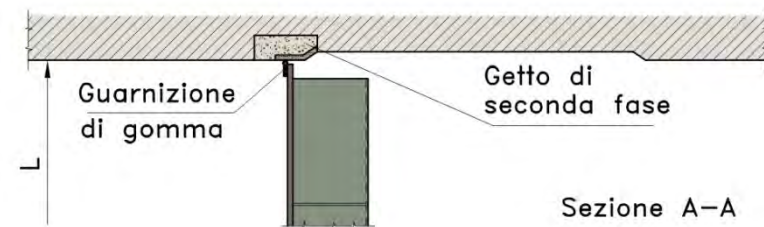
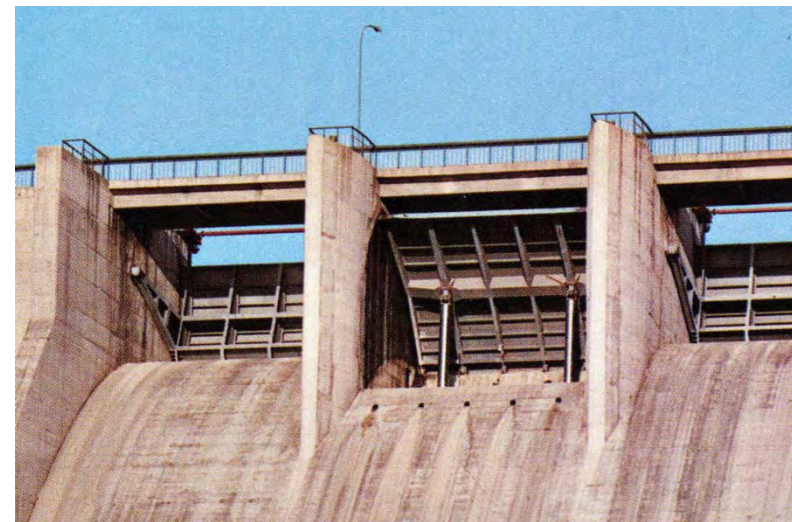
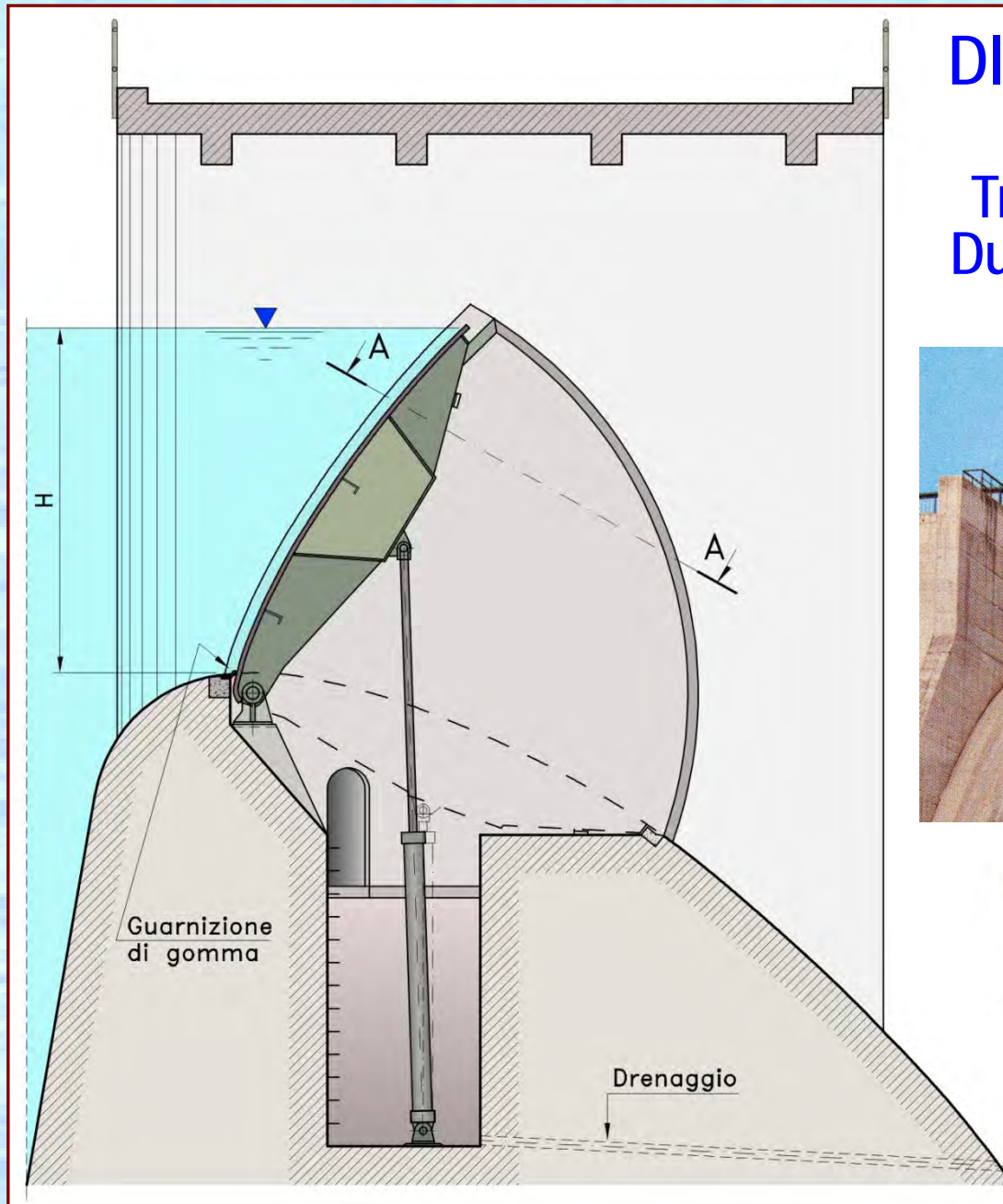
Al vantaggio d'essere prive, come i settori, di gargami oppongono, infatti, l'esposizione, a ventole abbattute, all'azione del trasporto solido di fondo associato ai deflussi di morbida e di piena.

Di contro, esse hanno avuto larga diffusione nella versione automatica (ma con abbattimento anche volontario) al servizio degli scaricatori di superficie degli impianti a serbatoio o degli scarichi di emergenza dei canali.



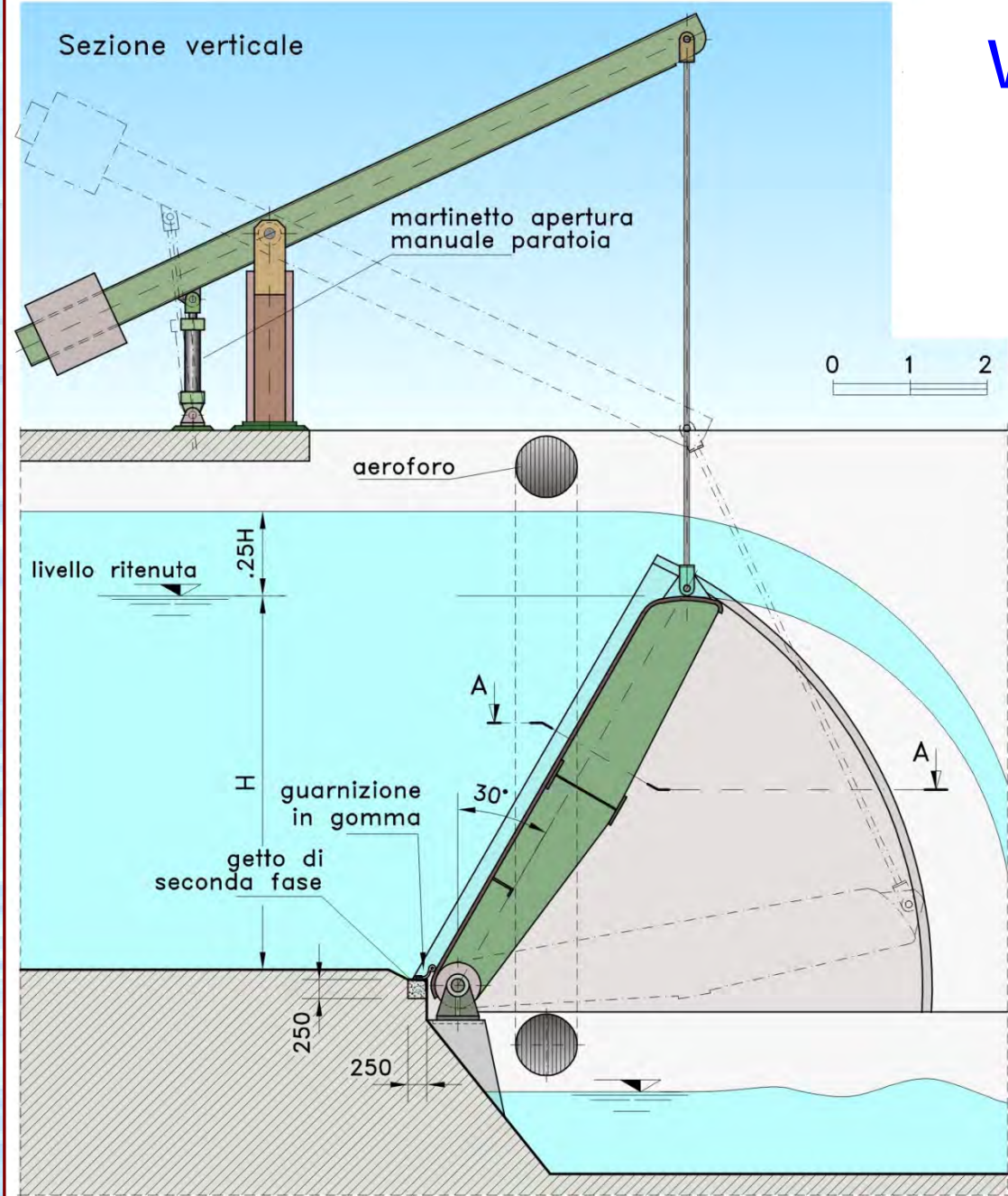
DIGA DI CORBABA SUL TEVERE (1961)

Tre settori $b \times h = 10,60 \times 6 \text{ m}^2$
Due ventole $b \times h = 10,60 \times 6 \text{ m}^2$



VENTOLA SOSTENUTA

VENTOLA AUTOMATICA



Le paratoie a ventola trovano largo impiego specie se associate alle paratoie piane o a quelle a settore nelle traverse con alte ritenute.

Al vantaggio d'essere prive, come i settori, di gargami oppongono l'esposizione, a ventole abbattute, al trasporto solido di fondo associato ai deflussi di piena. Di contro, esse hanno avuto larga diffusione nella versione automatica al servizio degli scaricatori di superficie degli impianti a serbatoio.

Diga di Dirillo in località Ragoletto, Comune di Licodia Eubea (CT)



Diga a gravità massiccia in calcestruzzo.

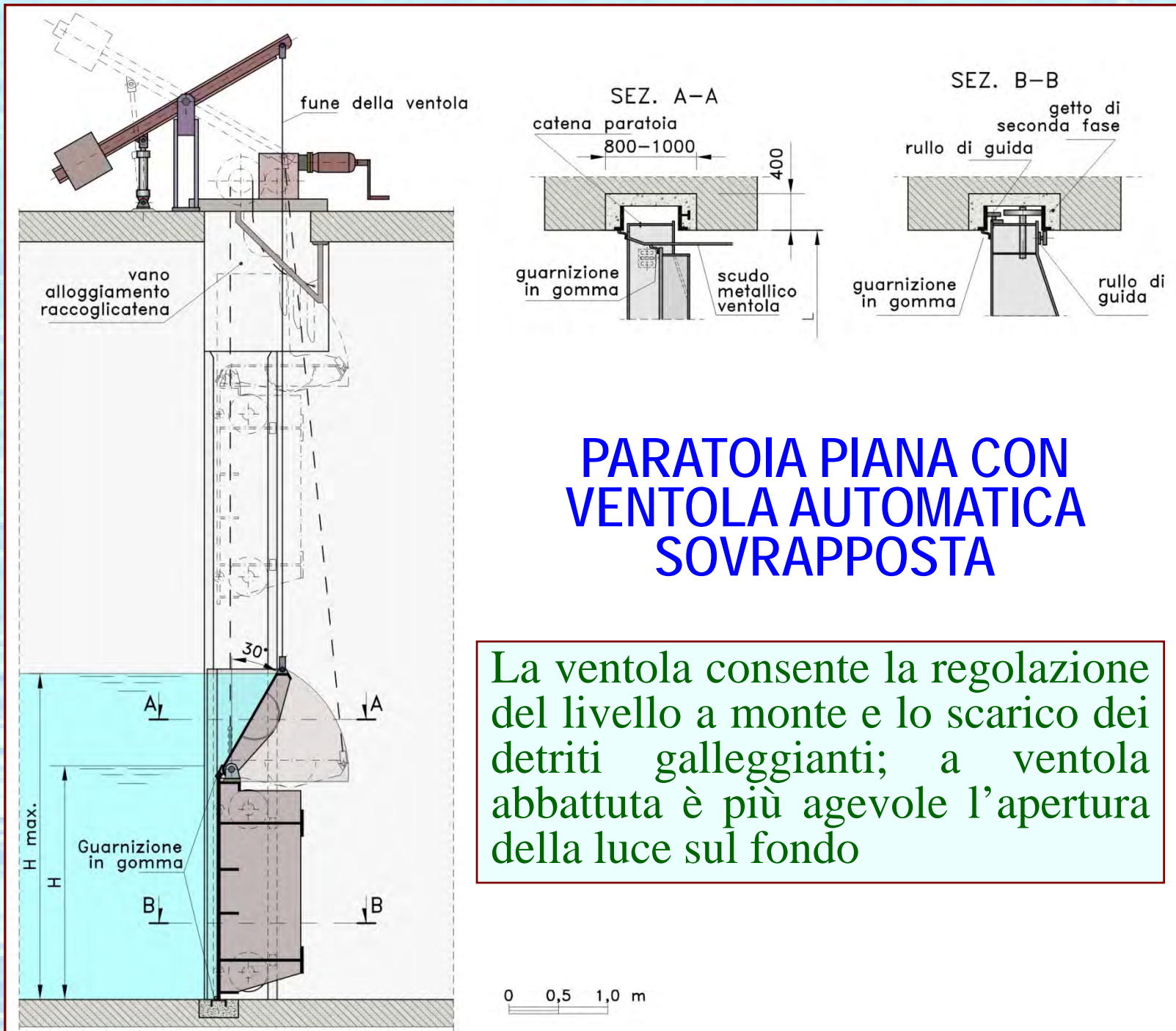
Altezza diga 58,50 m; volume totale di invaso $20,4 \times 10^6 \text{ m}^3$;

quota coronamento m s.m. 331,00; Quota massimo invaso 329,82 m s.m.;

quota di massima regolazione di progetto 328,00 m s.m..

Scarico di superficie: quota soglia fissa 324,50 m s.m.; portata $651 \text{ m}^3/\text{s}$.

Scarico di fondo: quota soglia 285,00 m s.m.; portata $33 \text{ m}^3/\text{s}$.



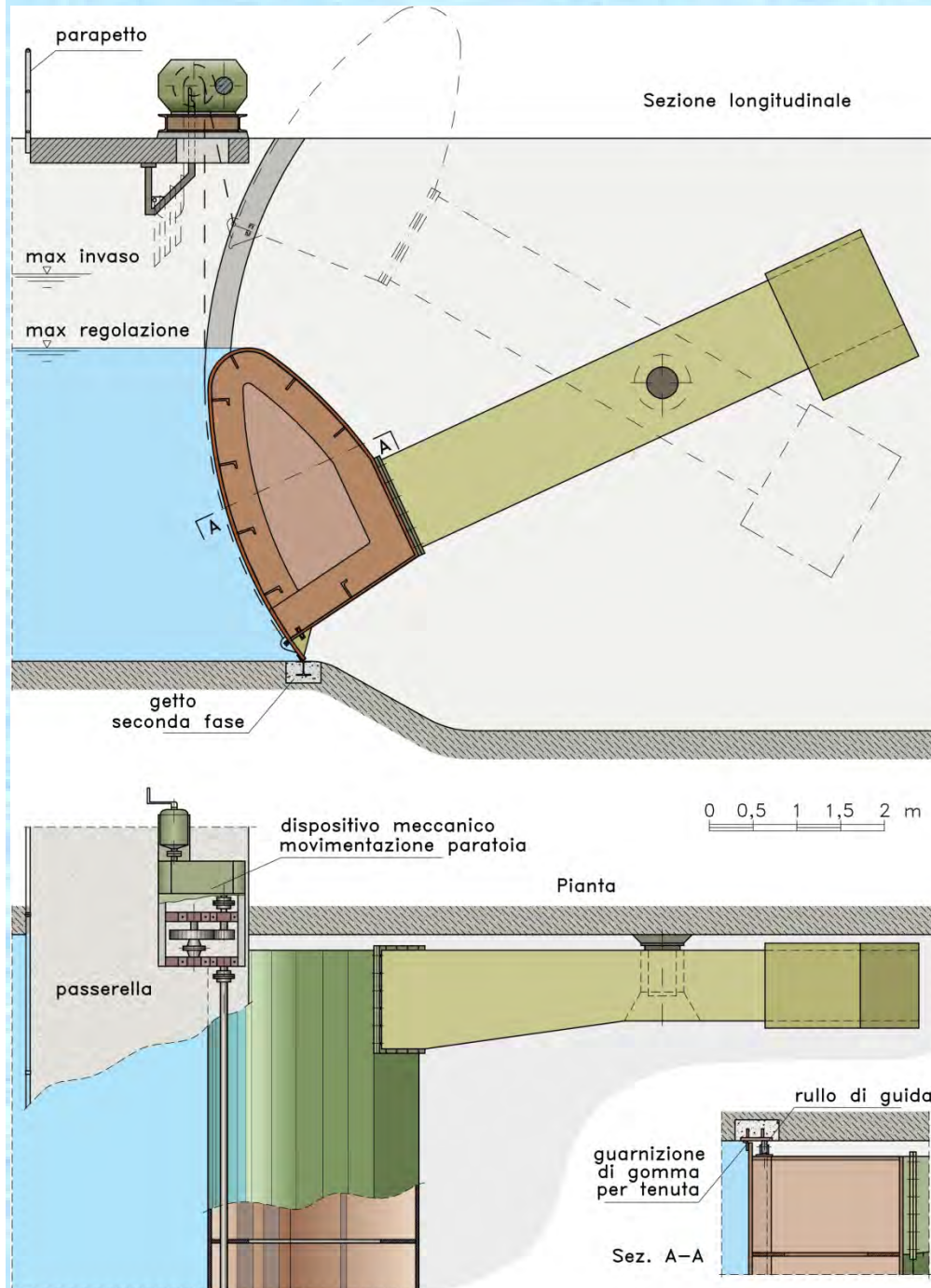
PARATOIA PIANA CON VENTOLA AUTOMATICA SOVRAPPOSTA

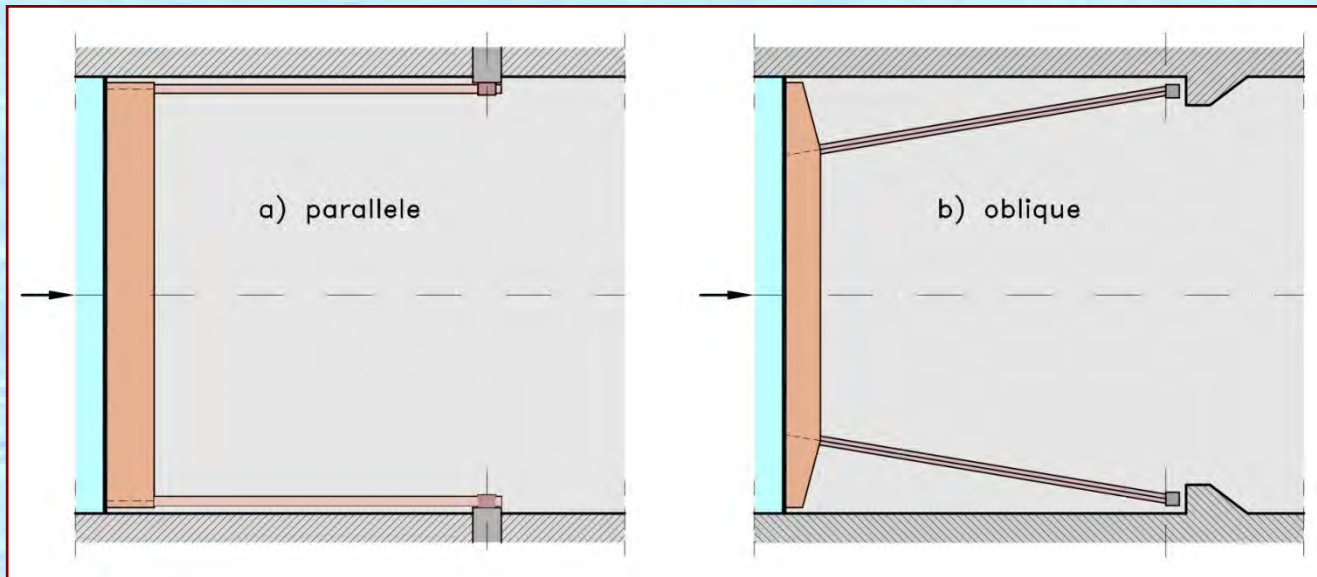
La ventola consente la regolazione del livello a monte e lo scarico dei detriti galleggianti; a ventola abbattuta è più agevole l'apertura della luce sul fondo

Paratoie a settore

Le paratoie a settore sono costituite da un settore di cilindro, che costituisce la ritenuta, supportato da una struttura che scarica su bracci laterali (due o tre per lato se costituiti da profilati, uno se è realizzato con cassoni) incernierati alle pile.

Il paramento viene talvolta realizzato con una struttura autoportante a cassone; con lo stesso tipo di struttura possono essere realizzati anche i bracci. Le strutture a cassone sono normalmente preferite per luci notevoli ed altezza di ritenuta modesta per garantire una buona rigidezza con peso ridotto.





PARATOIE A SETTORE

Le paratoie a settore consentono di limitare al massimo lo sforzo di sollevamento, sia per il ridotto attrito, sia per la possibilità, spostando il centro di rotazione di favorire l'apertura.

Un limite nell'impiego dei settori è costituito dalla spinta sui perni, spinta che raramente supera i 15 MN per perno. Indicata con h la ritenuta e b la larghezza della paratoia la condizione che la spinta non superi 15 MN porta a stabilire che con $b=35$ m la massima ritenuta sarà non superiore a 13 m circa, mentre con $b=20$ sarà $h \approx 17$ m.

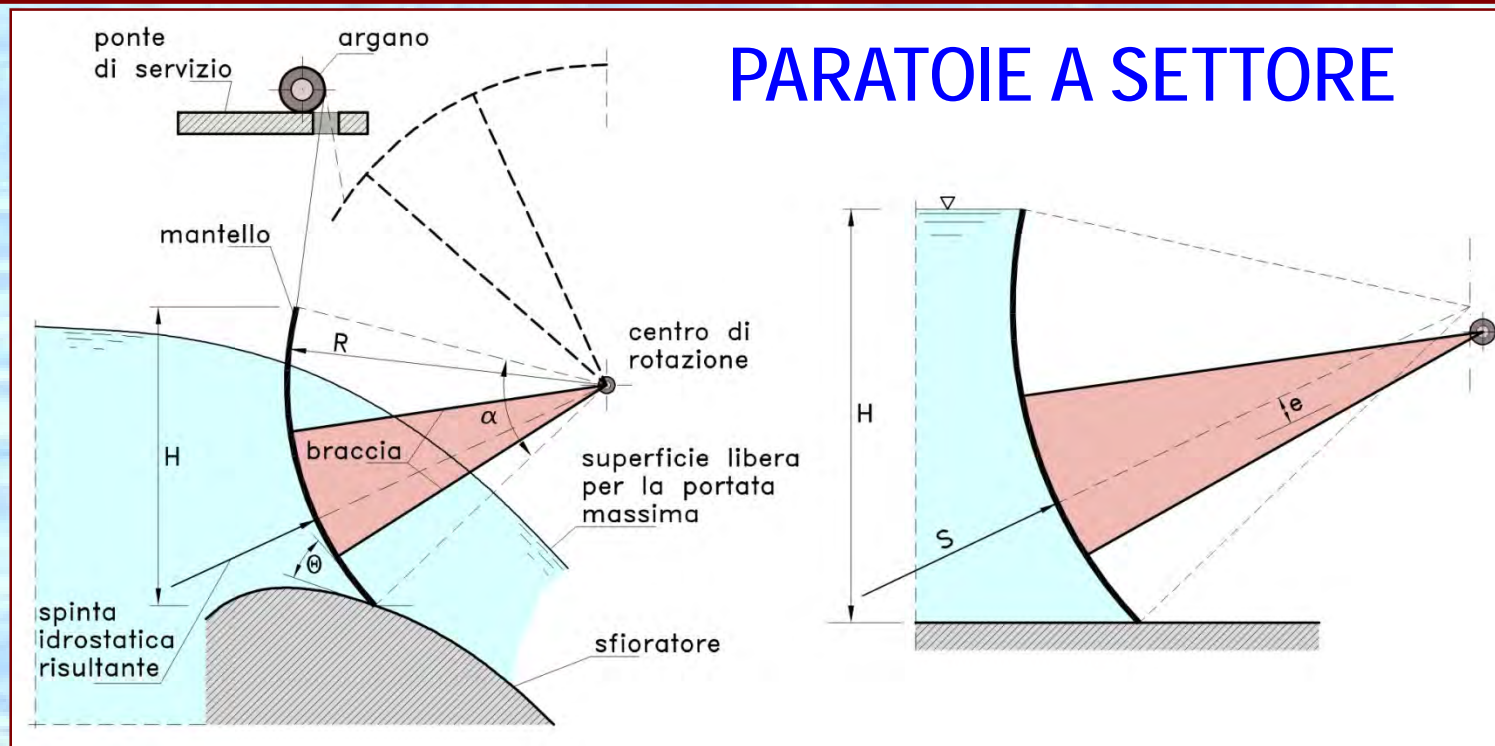
Un settore lungo 35 m avrà quindi un'altezza massima di 13 m, mentre un settore lungo 20 m potrà avere un'altezza di 17 m.

La paratoia a settore offre questi vantaggi rispetto alle paratoie piane:

- assenza di vani nelle murature laterali;
- coefficiente di attrito al perno di appoggio ridotto;
- perni di rotazione normalmente fuori acqua;
- minor impiego di potenza per la manovra.

Gli aspetti negativi sono:

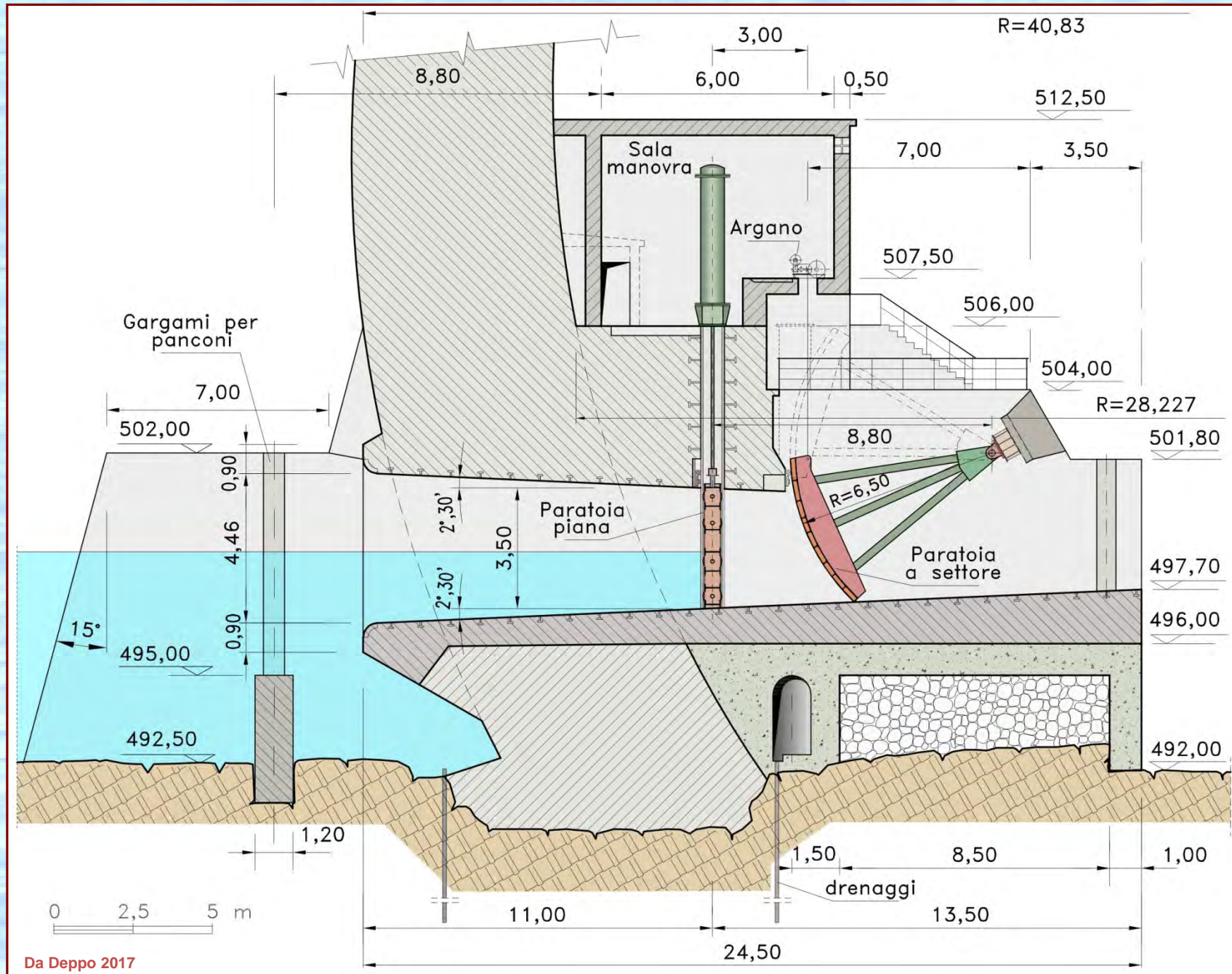
- maggior lunghezza delle opere civili e azione concentrata della spinta sulle murature;
- maggiori oneri di montaggio.



Scarico di superficie della diga di Corbara sul fiume Tevere, costituito da tre paratoie a settore e due a ventola



SCARICO DI FONDO CON PARATOIA PIANA ED A SETTORE



CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo schema di *Regolamento per la disciplina del procedimento di approvazione dei progetti e del controllo sulla costruzione e l'esercizio degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)* in via di pubblicazione e le *Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)* del 2014, hanno introdotto, anche per gli aspetti idraulici, significative modifiche rispetto al Regolamento ed alle Norme vigenti.

Le principali differenze riguardano:

- il tempo di ritorno della piena cui fare riferimento;
- l'ipotesi, per gli scaricatori di superficie con luci presidiate da paratoie, di mancato funzionamento di una percentuale delle luci stesse;
- L'obbligo dello scarico intermedio per gli sbarramenti che superano i 50 m di altezza o che invasano più di 50 milioni di m³ d'acqua.

La circostanza che praticamente tutta Italia sia classificata come zona sismica, impone la verifica degli organi di scarico agli eventi sismici. Per le paratoie sono da prevedersi dispositivi particolari per evitare il blocco a seguito di eventi sismici.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio:

il Sig. Gianluigi Bugno per la consueta cura dedicata ai disegni e alla grafica;

l'ing. Angelica Catalano e l'ing. Fabrizio Altese della Direzione generale per le dighe per alcuni dati e foto relativi alle dighe siciliane.

Comune di Melilli (SR);
diga di calcestruzzo;
altezza della diga 16,35 m;
altezza di max ritenuta 15,35 m;
coronamento 157,35 m s.m.m.;
volume d'invaso $110 \times 10^3 \text{ m}^3$;
portata max piena $300 \text{ m}^3/\text{s}$.

Diga di Mulinello

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
CIVILE, EDILE E AMBIENTALE - I.C.E.A.
DEPARTMENT OF CIVIL, ENVIRONMENTAL
AND ARCHITECTURAL ENGINEERING



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Luigi Da Deppo e Paolo Salandin
Coordinamento grafico di Gianluigi Bugno

OPERE DI SCARICO E PRESA PER DIGHE, TRAVERSE E CANALI



EDIZIONI PROGETTO
PADOVA

TERZA EDIZIONE

Il materiale utilizzato in questa presentazione è stato tratto dal testo qui indicato.