



12 APRILE 2024

UNISS
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI SASSARI



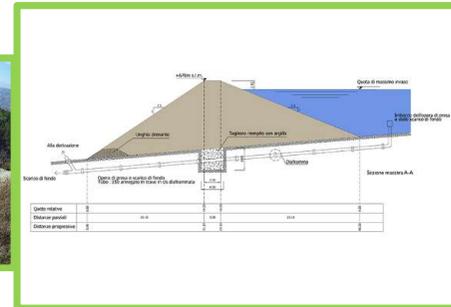
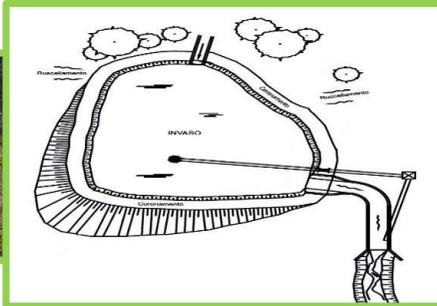
ORDINE
DEI DOTTORI AGRONOMI
E DEI DOTTORI FORESTALI
DELLA PROVINCIA DI SASSARI



Ministero della Giustizia



Prof. Mario Pirastru



DIPARTIMENTO DI AGRARIA

2. STATO DI CONSISTENZA E CARATTERISTICHE DELLO SBARRAMENTO

Questo paragrafo della relazione deve essere utilizzato per fornire una descrizione ampia e dettagliata dello sbarramento e delle sue opere (paramento di monte e paramento di valle, coronamento, soglia sfiorante, canale fuggatore, scarico di fondo, camera di manovra, recapito in alveo, dreni, sponde, etc.) nel loro stato attuale come rilevato dal professionista.

In particolare, devono essere esplicitati i seguenti dati caratteristici delle opere nello stato attuale (con riferimento alle definizioni di cui al Cap. B del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 26.06.2014) e deve essere riportata la curva di invaso, ricostruita sulla base dei rilievi effettuati e della documentazione tecnica disponibile.

Dovranno inoltre essere evidenziate eventuali difformità rispetto al progetto di costruzione autorizzato.

ALTEZZA DELLA DIGA [m]	
ALTEZZA DI MASSIMA RITENUTA [m]	
FRANCO [m]	
FRANCO NETTO [m]	
QUOTA CORONAMENTO [m s.l.m.]:	
QUOTA DI MASSIMO INVASO [m s.l.m.]	
QUOTA MASSIMA DI REGOLAZIONE [m s.l.m.]	(relativa alla piena millenaria per le dighe in alla piena cinquecentesca per le dighe in
VOLUME DI INVASO [m ³]	
VOLUME TOTALE DI INVASO [m ³]	
VOLUME UTILE DI REGOLAZIONE [m ³]	
VOLUME DI LAMINAZIONE [m ³]	
VOLUME MORTO [m ³]	

3. ANALISI IDROLOGICA

Il paragrafo deve comprendere:

- le caratteristiche ed i parametri idrologici e geomorfologici del bacino imbrifero di riferimento;
- le ipotesi e il modello utilizzato per la stima della portata di piena con tempi di ritorno di 50, 100, 200, 500 e 1000 anni (N.B. il calcolo della portata millenaria è richiesto solo per le dighe in materiali sciolti). In particolare, la portata di piena dovrà essere valutata con metodi probabilistici, preferibilmente applicando alla Formula Razionale del metodo indiretto il modello probabilistico TCEV, come suggerito dalle Linee Guida del PAI regionale. Tutti i parametri coinvolti nel modello utilizzato (tempo di corrivazione, Curve Number (CN), coefficiente di deflusso, ARF, pioggia indice giornaliera, coefficienti a,n etc.) devono essere chiaramente esplicitati così come devono essere riportati i criteri e le scelte operate per la loro definizione in modo da rendere i calcoli facilmente ripercorribili;
- la determinazione delle portate di massima piena.

AVVISO PUBBLICO A SPORTELLO

PER LA SELEZIONE DELLE PROPOSTE DI FINANZIAMENTO PER LA MESSA IN SICUREZZA E L'ADEGUAMENTO NORMATIVO DELLE OPERE DI SBARRAMENTO MINORI DI COMPETENZA REGIONALE AI SENSI DELLA L.R. N.12 DEL 31 OTTOBRE 2007

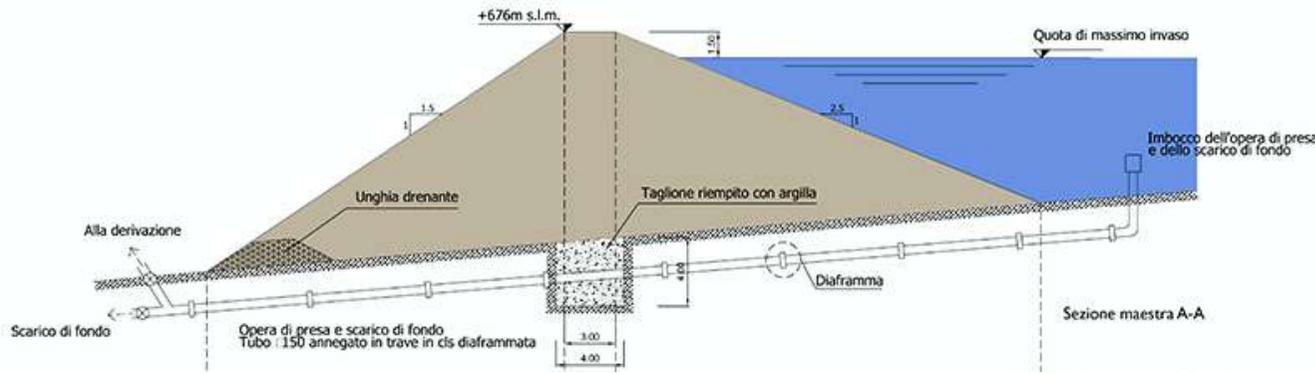
ALLEGATO B - Schema relazione tecnico-economica

4. ANALISI IDRAULICA

Il paragrafo deve comprendere:

- la verifica idraulica della soglia sfiorante (ai sensi del cap. C.1 del D.M. 26.06.2014): calcolo del franco e del franco netto in corrispondenza delle portate di piena definite nell'analisi idrologica; calcolo del periodo di ritorno dell'evento di piena che annulla il franco netto
- la verifica idraulica dello scarico di fondo (ai sensi del cap. C.1 del D.M. 26.06.2014): calcolo del tempo necessario per la vuotatura del 75% del volume d'invaso del serbatoio a partire dalla quota di massima regolazione. Il calcolo dovrà tener conto della curva d'invaso rilevata.

Dati tecnici dei laghetti collinari



Materiali dello sbarramento

(da Cap. B del D.M. del 26.06.2014: *Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)*)

- **Dighe di materiali sciolti** (di terra omogenea, di terra e/o pietrame con struttura di tenuta interna; di terra e/ o pietrame, con struttura di tenuta esterna)
- **Dighe murarie** (calcestruzzo: a gravità, ordinarie, alleggerite, a volta, ad arco, ecc.)

Misure richieste dallo Schema di relazione tecnico-economica:

- SVILUPPO DEL CORONAMENTO [m]
- LARGHEZZA DEL CORONAMENTO [m]
- PENDENZA DEL PARAMENTO DI MONTE
- PENDENZA DEL PARAMENTO DI VALLE

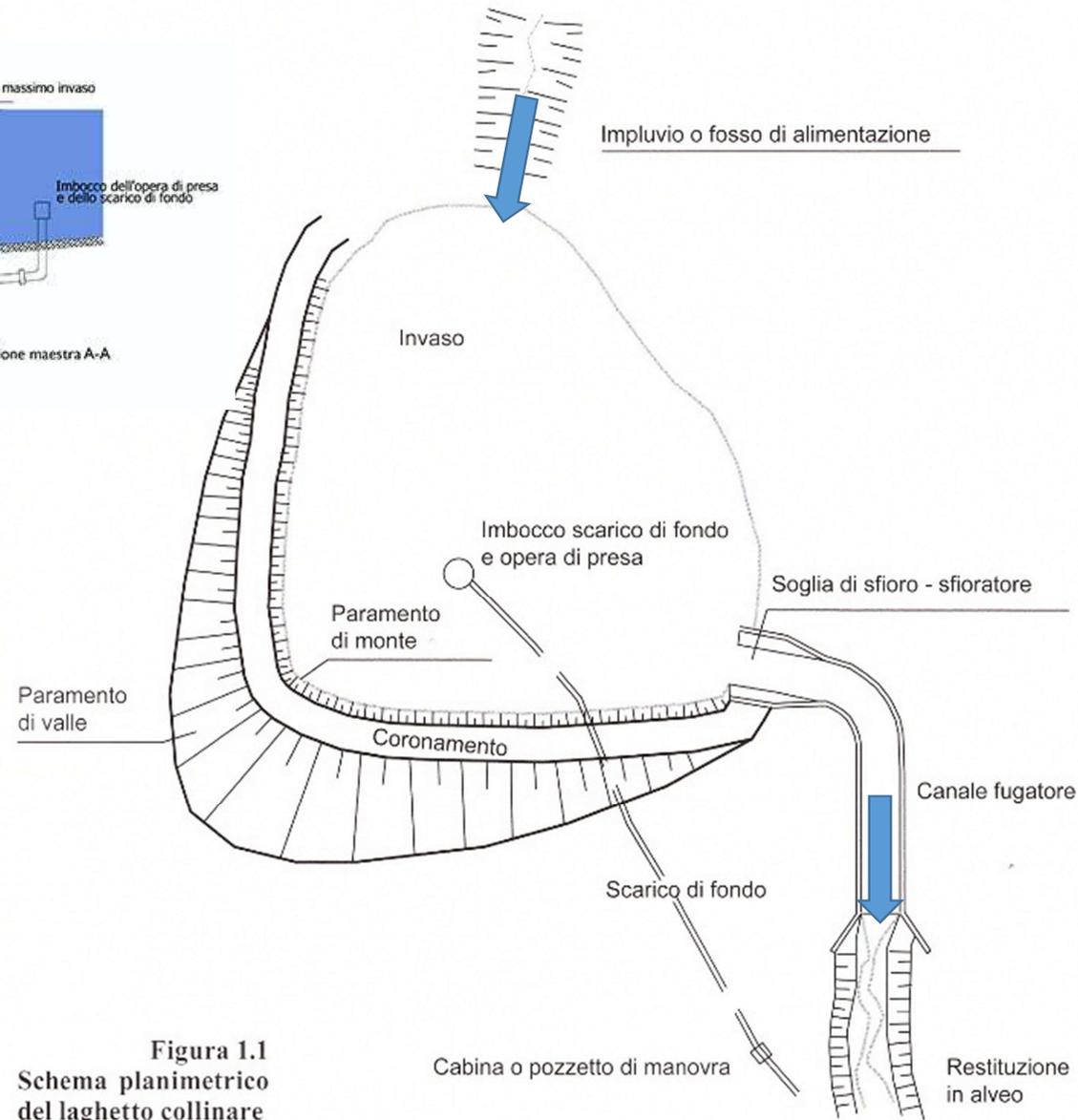


Figura 1.1
Schema planimetrico del laghetto collinare

Dati tecnici dei laghetti collinari

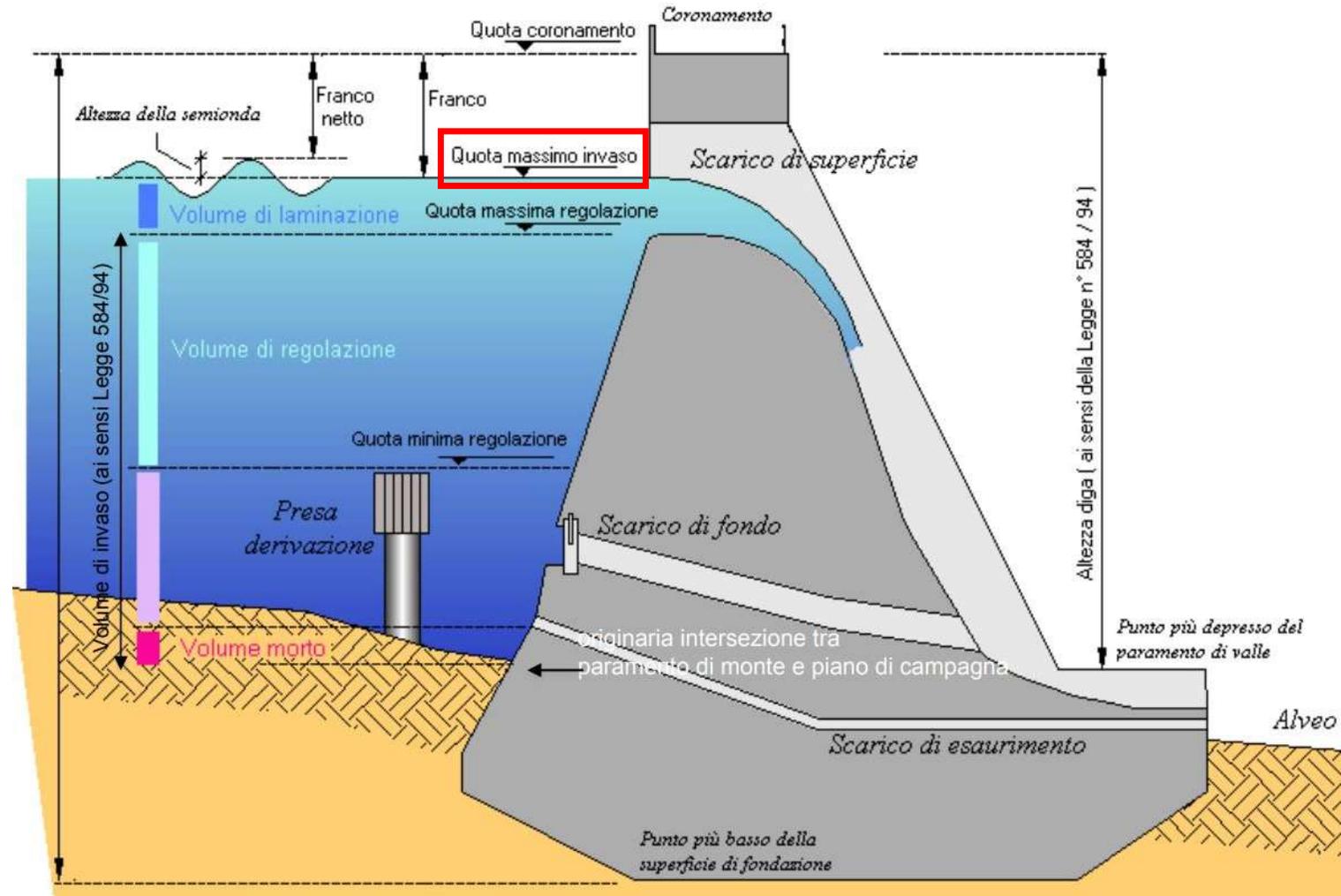
con riferimento alle definizioni di cui al Cap. B del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 26.06.2014

Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)

L.R. 31 ottobre 2007, n. 12

Norme in materia di progettazione, costruzione, esercizio e vigilanza degli sbarramenti di ritenuta e dei relativi bacini di accumulo di competenza della Regione Sardegna

- ALTEZZA DELLA DIGA [m]
- ALTEZZA DI MASSIMA RITENUTA [m]
- FRANCO [m]
- FRANCO NETTO [m]
- QUOTA CORONAMENTO [m s.l.m.]:
- QUOTA DI MASSIMO INVASO [m s.l.m.]
- QUOTA MASSIMA DI REGOLAZIONE [m s.l.m.]
- VOLUME DI INVASO [m³]
- VOLUME TOTALE DI INVASO [m³]
- VOLUME UTILE DI REGOLAZIONE [m³]
- VOLUME DI LAMINAZIONE [m³]
- VOLUME MORTO [m³]

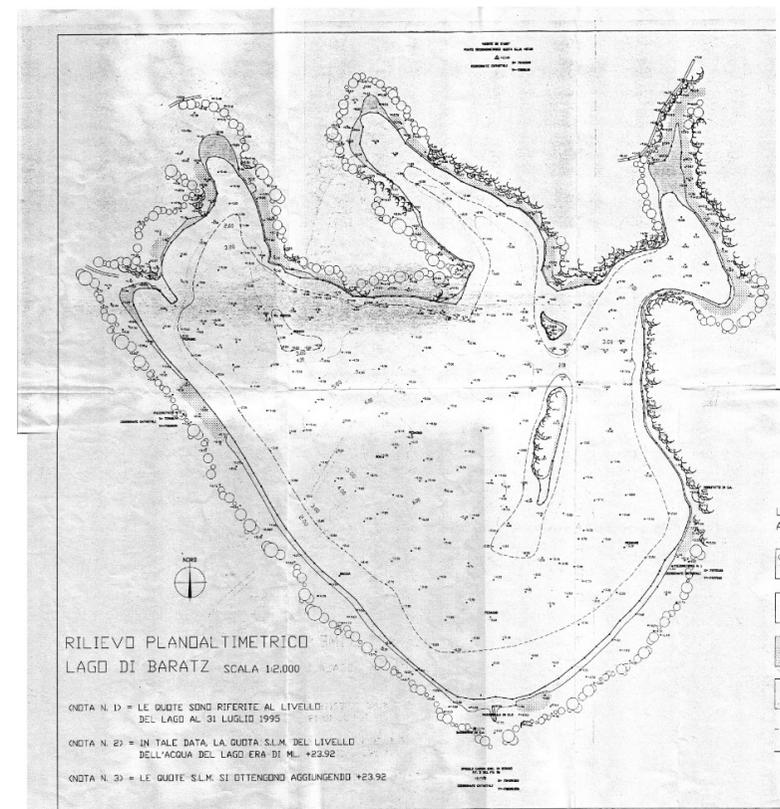


CURVA DI INVASO (relazione tra quote e volumi invasati)

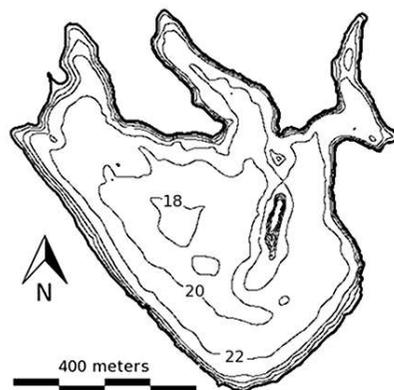
È il documento tecnico di progetto preliminare a tutta l'analisi idraulica (richiesto dall'allegato B della relazione tecnica).
La curva di invaso deve essere ricostruita sulla base dei rilievi effettuati e della documentazione tecnica disponibile

Lago del Baratz

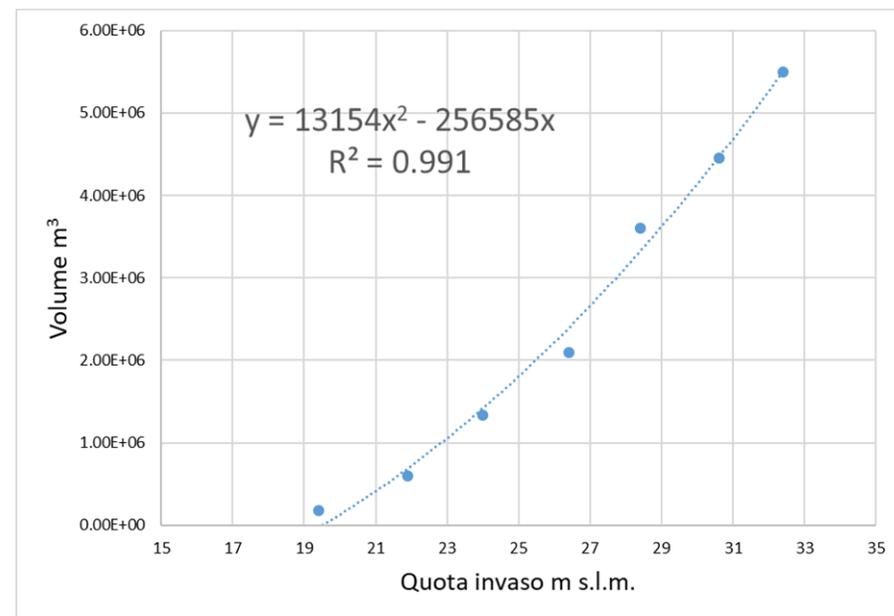
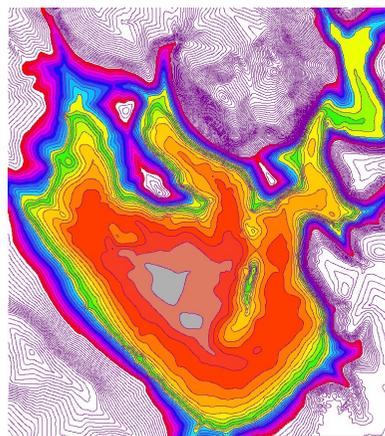
Rilievo planimetrico (documentazione storica)



Modellazione in ambiente GIS



quote s.l.m.

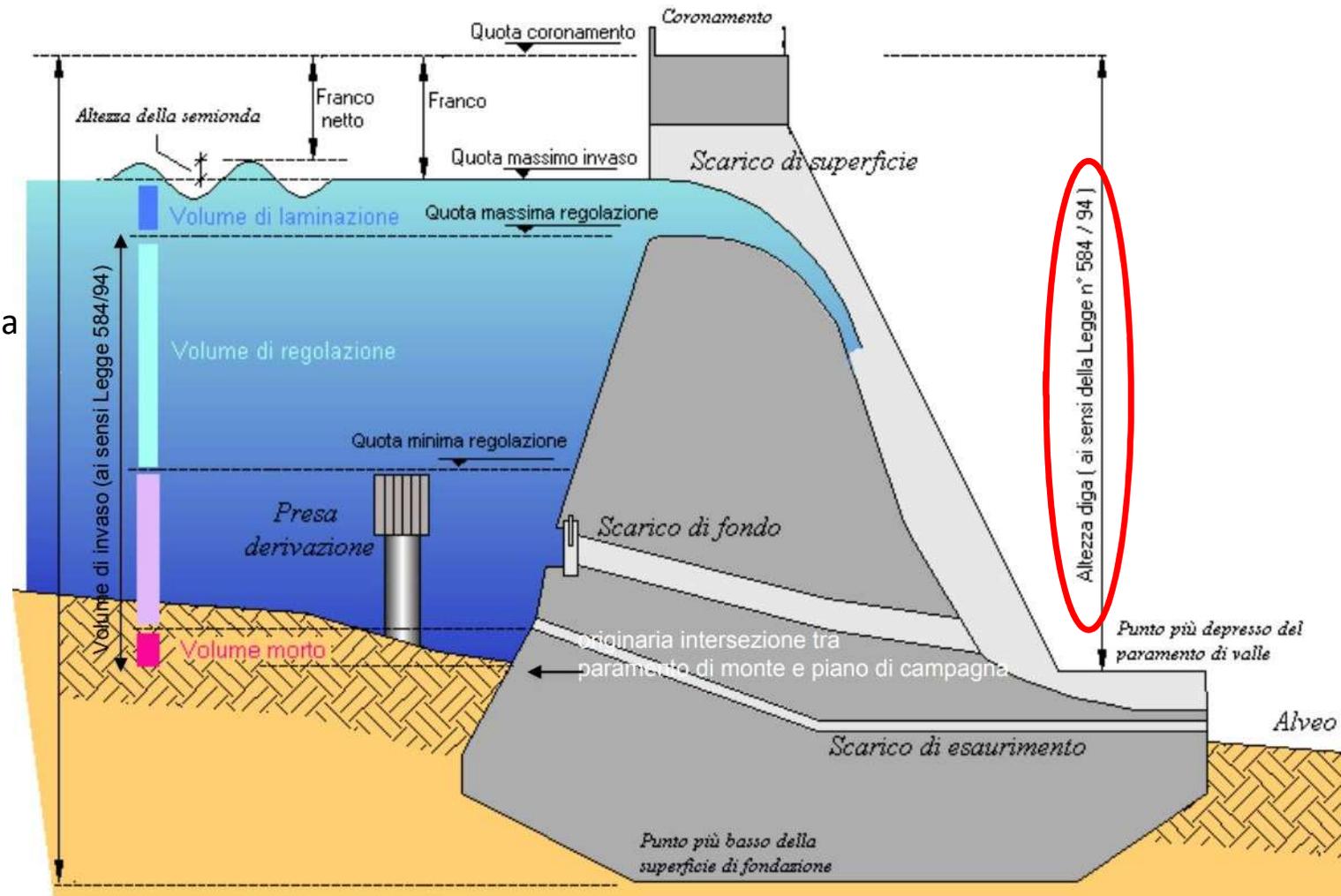


Dati tecnici dei laghetti collinari

con riferimento alle definizioni di cui al Cap. B del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 26.06.2014
Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)

ALTEZZA DELLA DIGA [m]

è la differenza tra la quota del piano di coronamento e quella del punto più depresso dei paramenti. Per le traverse prive di coronamento si fa riferimento alla quota del punto più elevato della struttura di ritenuta.



Dati tecnici dei laghetti collinari

con riferimento alle definizioni di cui al Cap. B del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 26.06.2014
Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)

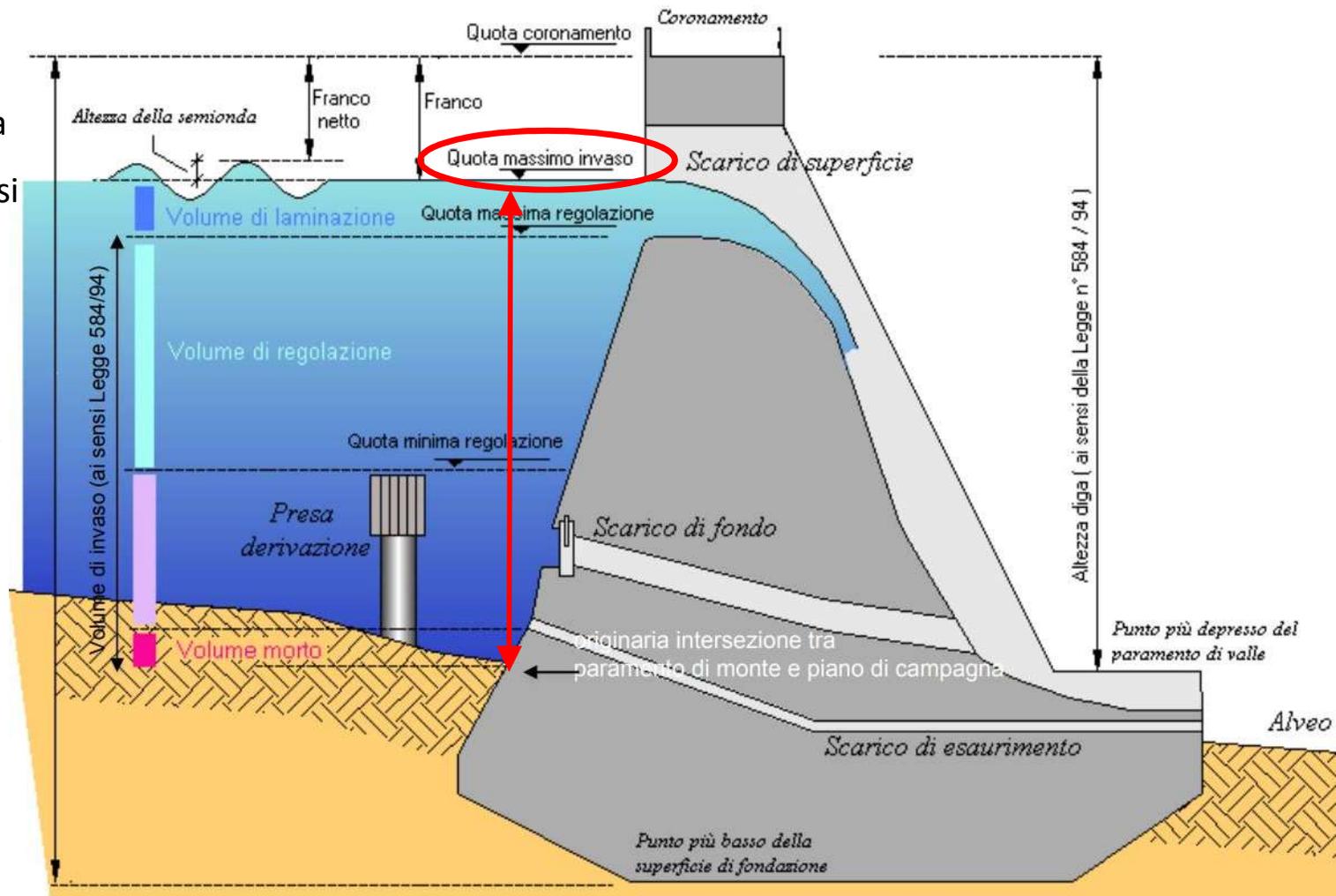
QUOTA DI MASSIMO INVASO [m s.l.m.]

Quota di massimo invaso: quota massima cui può giungere il livello dell'invaso ove si manifesti il più gravoso evento di piena previsto in progetto. Non si considera la sopraelevazione del moto ondoso.

Si considera la *piena millenaria per le dighe in materiali sciolti* e alla *piena cinquecentenaria per le dighe in calcestruzzo*

ALTEZZA DI MASSIMA RITENUTA [m]

differenza tra la quota di massimo invaso e quella del punto più depresso del paramento di monte.



Dati tecnici dei laghetti collinari

con riferimento alle definizioni di cui al Cap. B del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 26.06.2014
Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)

FRANCO [m]: differenza tra la quota del piano di coronamento e quella di massimo invaso.

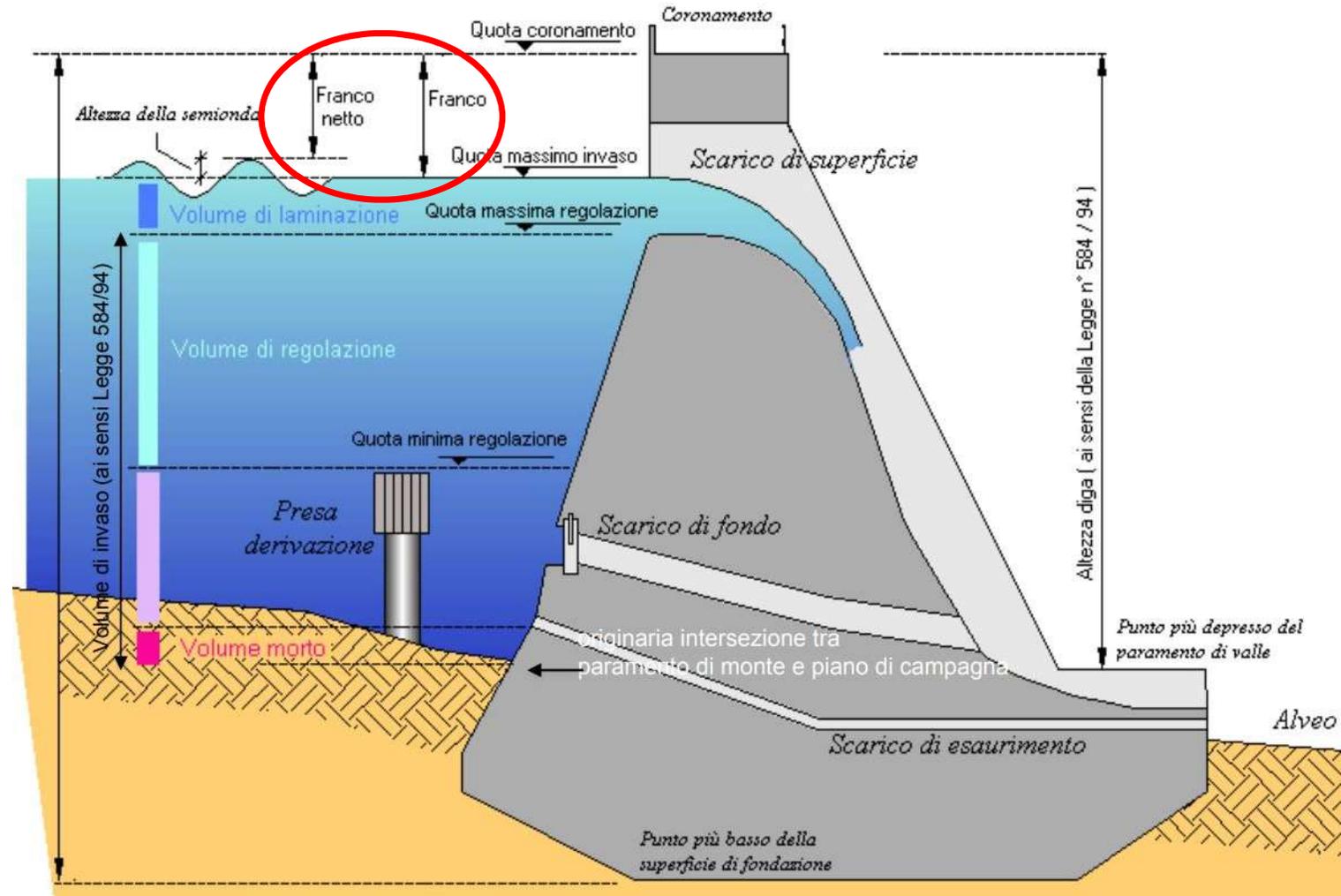
FRANCO NETTO [m]: differenza tra la quota del piano di coronamento e quella di massimo invaso incrementata della semialtezza della maggiore tra l'onda generata dal vento.

Per il calcolo del franco netto dovranno essere, inoltre, considerati i fenomeni di interazione tra moto ondoso e diga: "riflessione" e "risalita" (run-up).

Punto C.2. - Onde da vento e da sisma nel serbatoio

Velocità vento [km/h]	Ampiezza d'onda [m]									
	Fetch [km]									
	1	2	4	6	8	10	11	20	40	50
100	0.27	0.38	0.53	0.65	0.75	0.84	0.88	1.18	1.67	1.87
80	0.20	0.29	0.40	0.49	0.57	0.64	0.67	0.90	1.27	1.42
60	0.14	0.20	0.29	0.35	0.41	0.45	0.48	0.64	0.90	1.01
40	0.09	0.13	0.18	0.22	0.26	0.29	0.30	0.40	0.57	0.63
run_up [m]										
	0.033	0.063	0.12	0.17	0.223	0.273	0.298	0.518	0.973	1.188

Fetch: massima lunghezza in linea retta dello specchio liquido del serbatoio alla quota del massimo invaso.



Dati tecnici dei laghetti collinari

con riferimento alle definizioni di cui al Cap. B del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 26.06.2014
Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)

QUOTA MASSIMA DI REGOLAZIONE [m

s.l.m.]

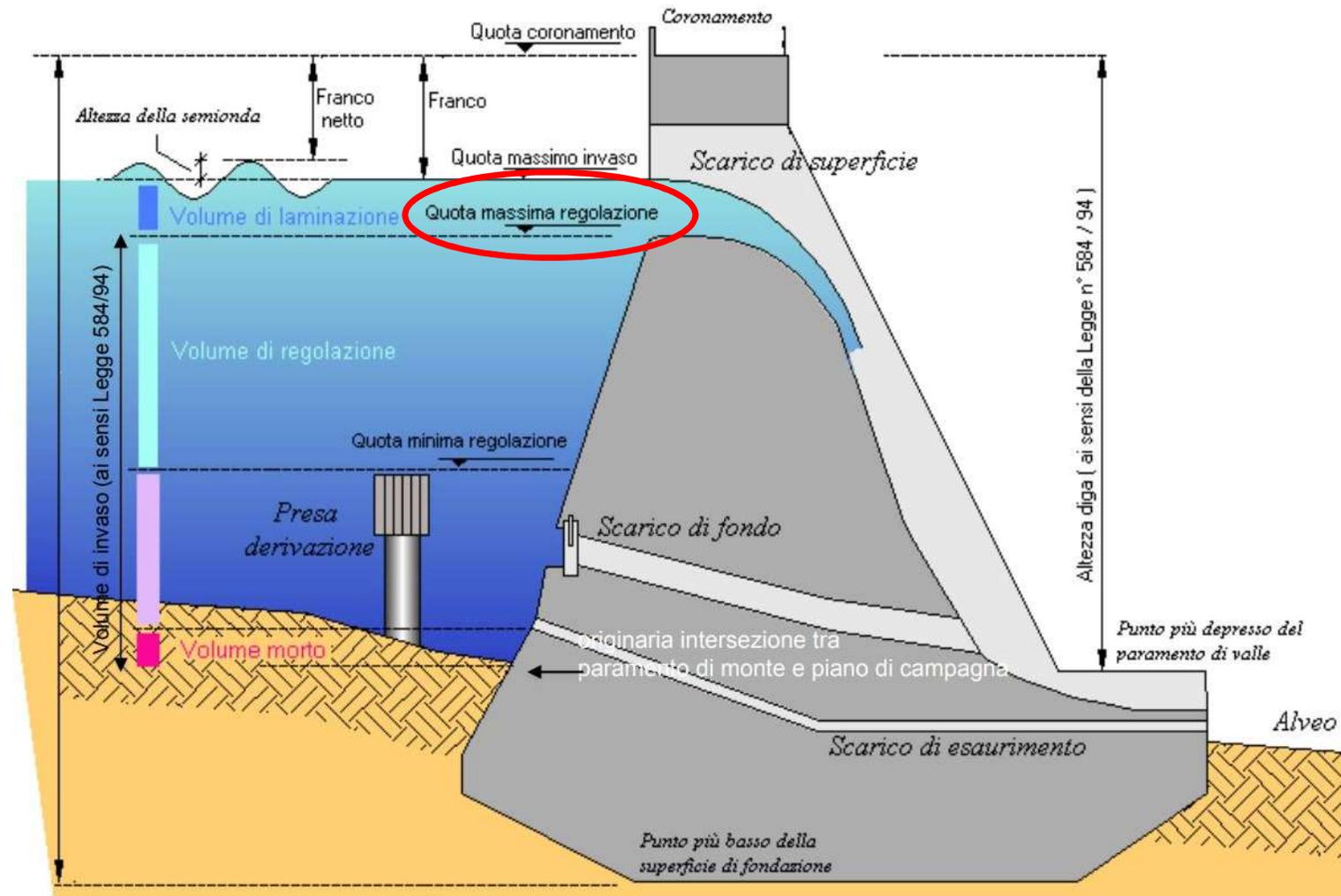
quota del livello d'acqua al quale ha inizio, automaticamente, lo sfioro dagli appositi dispositivi.

VOLUME DI LAMINAZIONE [m³]

volume del serbatoio compreso tra la quota di massimo invaso e quella massima di regolazione;

VOLUME UTILE DI REGOLAZIONE [m³]

volume del serbatoio compreso tra la quota massima di regolazione e quella minima alla quale è derivata l'acqua invasata.



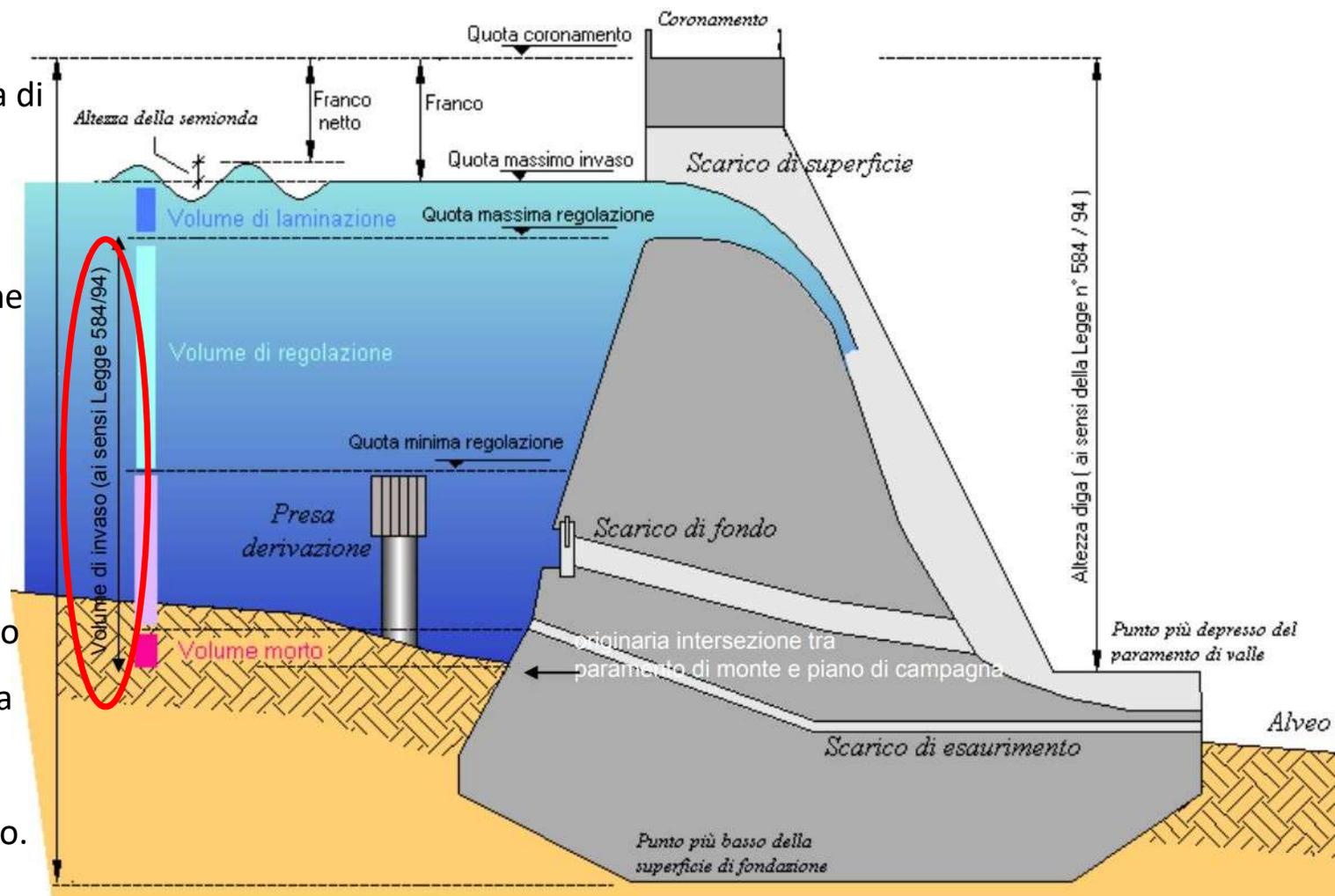
Dati tecnici dei laghetti collinari

con riferimento alle definizioni di cui al Cap. B del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 26.06.2014
Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)

VOLUME DI INVASO [m3]: volume del serbatoio compreso tra la quota massima di regolazione e la quota del punto più depresso del paramento di monte.

VOLUME TOTALE DI INVASO [m3]: volume del serbatoio compreso tra la quota di massimo invaso e quella del punto più depresso del paramento di monte.

VOLUME MORTO [m3]: volume del serbatoio compreso tra la quota del punto più depresso del paramento di monte e la più bassa tra la quota dell'imbocco dell'opera di presa o dello scarico di fondo.



Analisi idrologica (2 ore)

Obiettivo:

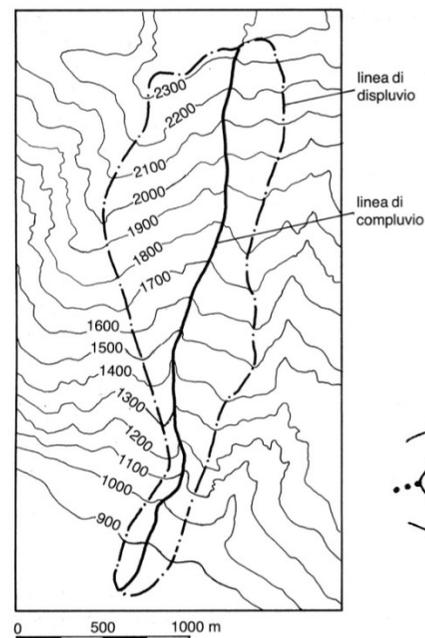
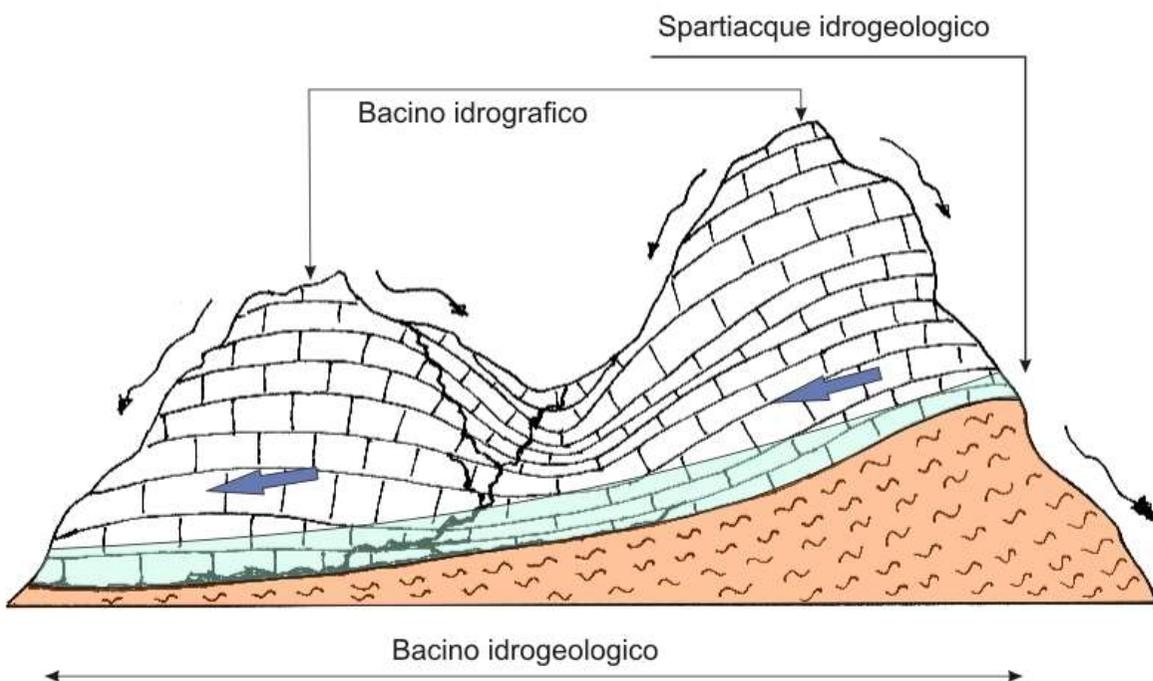
modellazione dell'onda di massima piena, considerando tempi di ritorno di 500 anni (dighe murarie) o 1000 anni (dighe in materiali sciolti)

Metodo:

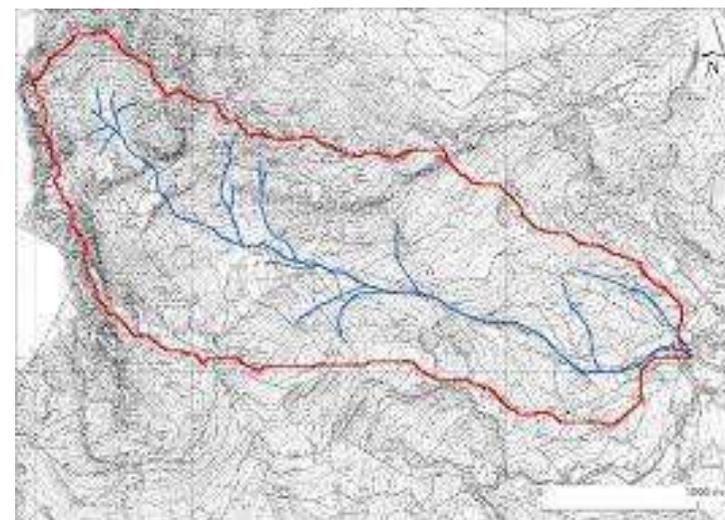
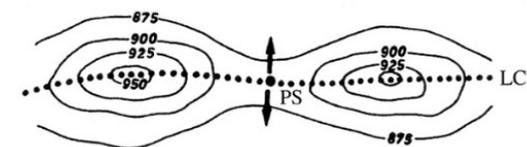
- 1) Individuazione e analisi del **bacino imbrifero di riferimento**: caratterizzazione idrologica e geomorfologica del bacino;
- 2) Stima del **tempo di corrivazione** del bacino
- 3) Individuazione della altezza di pioggia critica con **metodo probabilistico TCEV** per prefissati tempi di ritorno
- 4) Stima del **coefficiente di deflusso** (approccio CN-SCS)
- 5) Stima del **coefficiente ARF di ragguglio**
- 6) Applicazione di un modello di trasformazione afflussi deflussi (**Formula Razionale**)

Individuazione del bacino imbrifero

- 1) Si studia il bacino idrografico analizzando le linee di deflusso superficiale
- 2) Si trascura l'apporto del deflusso sotterraneo
- 3) Per piccoli bacini la differenza tra bacino idrografico e idrogeologico può essere rilevante
- 4) L'analisi dei percorsi superficiali è sufficiente se si vuol valutare la risposta impulsiva del bacino (picco di piena)



Individuazione 'su carta' della linea di spartiacque principale a partire da una sezione di chiusura (sbarramento)



Individuazione del bacino idrografico su cartografia digitale

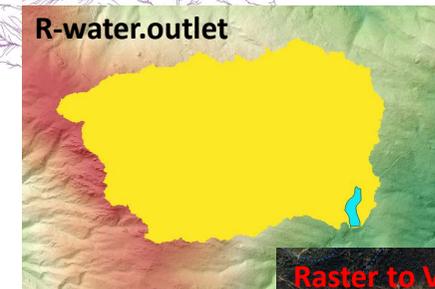
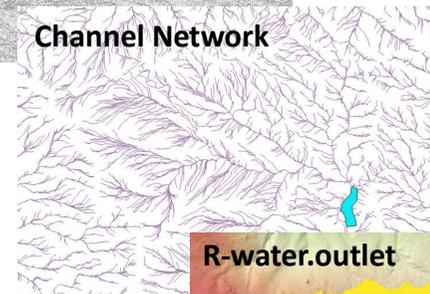
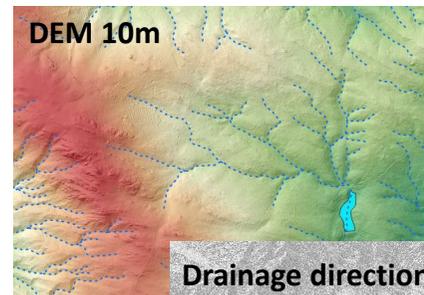
Materiale di base

Reticolo idrografico (da servizio WFS).

Modello digitale del terreno (DEM); da Sardegna Geoportale. Risoluzione spaziale a 10 m (tutta la Sardegna), 5 o 1 m (zona costiera)

PROCEDURA QGIS

- 1) Comando **Fill Sinks** (per eliminare aree depresse)
- 2) Creare raster Drainage direction (**R.Watershed**)
- 3) Estrazione automatica del reticolo idrografico (**Channel Network and Drainage basin**)
- 4) Individuazione automatica del bacino (**R-water.outlet**), con indicazione delle coordinate della sezione di chiusura.
- 5) Vettorializzazione del Raster del bacino idrografico (**Poligonize**)

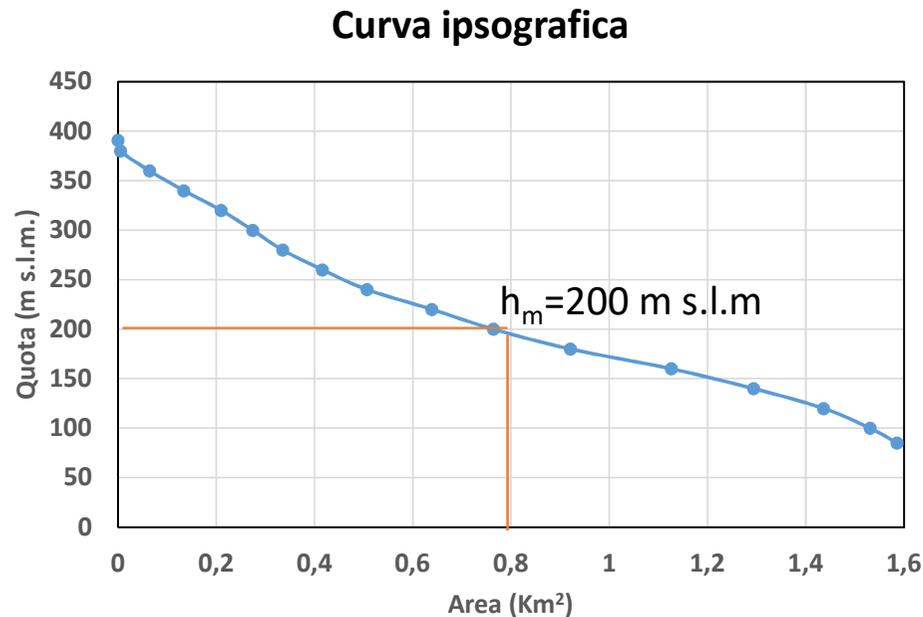


<https://www.sardegnageoportale.it/areetematiche/modellidigitalidielevazione/>

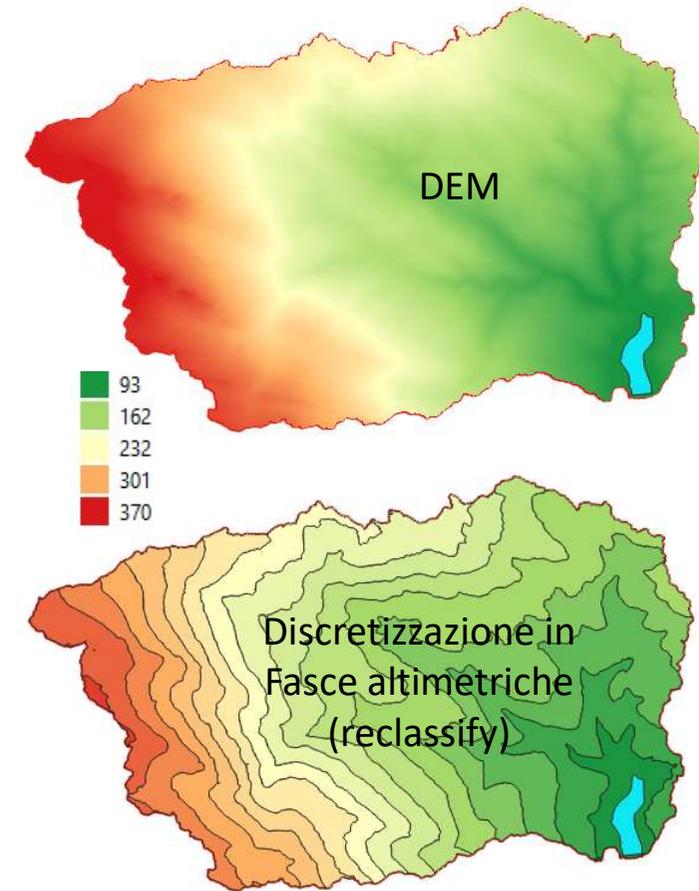
Analisi morfologica di bacino: calcolo delle quota media

Fornisce la distribuzione delle superfici nelle diverse fasce altimetriche

Su QGIS può essere agevolmente sfruttata la funzione 'RECLASSIFY' applicata sul DEM con successivo calcolo delle aree parziali.



$$h_m = \frac{\sum h_i \cdot A_i}{A}$$



Le stesse caratteristiche possono essere ottenute tramite la funzionalità 'Zonal Statistics' applicata al DEM e al contorno del bacino

Q min = 85 m s.l.m

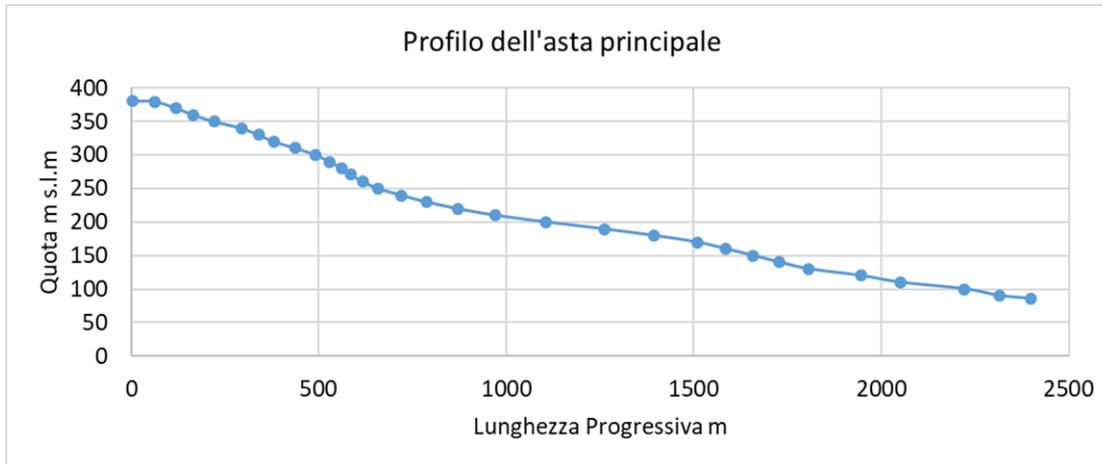
Qmax= 391 m s.l.m.

Qmedia = 205 m s.l.m.

Analisi idrologica di bacino: pendenza dell'asta principale

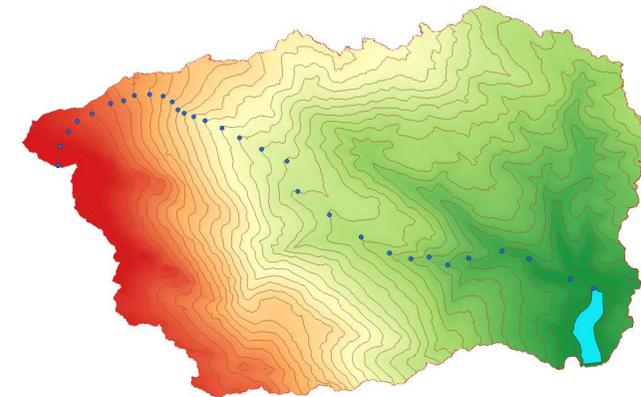
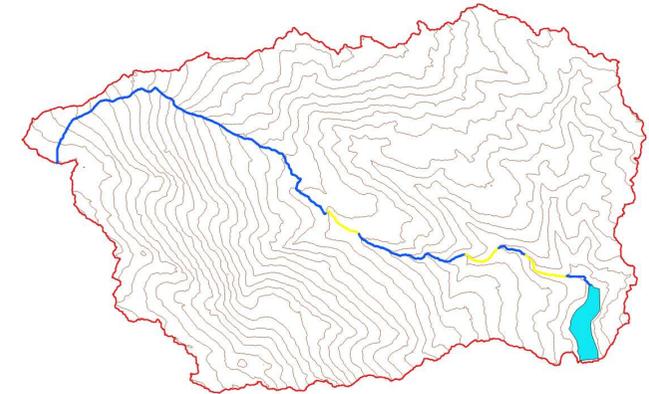
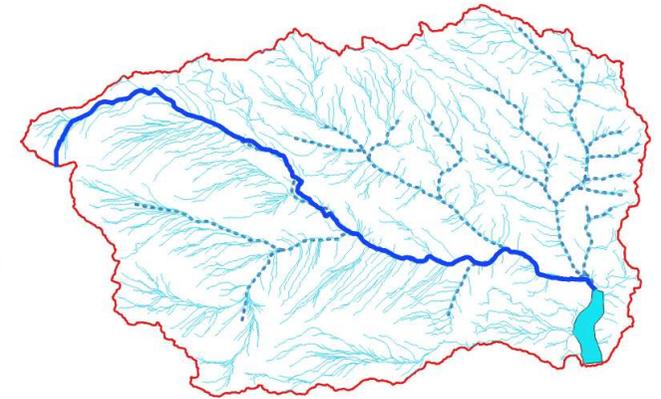
Profilo dell' asta principale a partire dal reticolo estratto automaticamente

- 1) Channel network + **shortest path** (percorso più corto);
- 2) Estrazione curve di livello dal DEM (**contours**);
- 3) Estrazione dei segmenti dell'asta principale tra le curve di livello (**Split lines to lines**), calcolo del lunghezze parziali, e assegnazione di una ID progressiva (\$ID da field calculator);
- 4) Trasformazione degli estremi dei segmenti in punti (**extract specific vertices**):
- 5) Assegnazione della quota ai vertici (**sample raster values**)



Pendenza media i_m dell'asta principale (Formula Taylor-Schwartz),
dove L_i e i_i sono lunghezze e pendenze del tratti i -esimo.

$$i_m = \left[\frac{L}{\sum_i \frac{L_i}{\sqrt{i_i}}} \right]^2 \quad [\%]$$



Tempo di Corrivazione

È il tempo impiegato da una singola particella d'acqua caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino per raggiungere la sezione di chiusura. È il momento in cui a partire dall'inizio della pioggia **il bacino inizia ad essere integralmente contribuente**.

Formula di Viparelli
$$T_c = \frac{L}{3.6 \cdot v}$$

dove:

- L è la lunghezza dell'asta principale, espressa in Km;
- 3.6 è un fattore di conversione delle unità di misura che permette di ottenere il tempo in ore;
- v è una velocità media di scorrimento che in genere si può ritenere pari a 1+1.5 m/s.

Formula di Giandotti
$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H_m + H_o}}$$

dove:

- S è la superficie del bacino, espressa in Km²;
- L è la lunghezza dell'asta principale, espressa in Km;
- H_m è la quota media del bacino, espressa in m s.l.m.;
- H_o è la quota della sezione di chiusura, espressa in m s.l.m.

Formula di Pasini
$$T_c = \frac{0.108 \cdot \sqrt[3]{S \cdot L}}{\sqrt{i_m}}$$

dove:

- S è la superficie del bacino, espressa in Km²;
- L è la lunghezza dell'asta principale, espressa in Km;
- i_m è la pendenza media dell'asta principale.

Formula di Puglisi
$$T_c = \frac{6 \cdot L^{\frac{2}{3}}}{(h_{max} - h_{min})^{1/3}}$$

dove:

- T_c è tempo di corrivazione;
- (h) h_{max} è la quota massima del bacino;
- h_{min} è quota della sezione di chiusura (m s.l.m.);
- L è lunghezza dell'asta principale (km).

Formula di Kirpich (1940)
$$T_c = 0.000325 \cdot \frac{L^{0.77}}{i_p^{0.385}}$$

dove:

- T_c è il tempo di corrivazione (h);
- L è la lunghezza dell'asta principale, espressa in Km;
- i_v è la pendenza media del versante (-).

Formula di Tournon
$$T_c = \frac{0.396 \cdot L}{\sqrt{i}} \cdot \left(\frac{S}{L^2} \sqrt{\frac{i}{i_v}} \right)^{0.72}$$

dove:

- T_c è tempo di corrivazione;
- L è lunghezza dell'asta principale (km).
- i è la pendenza media dell'asta principale (-).
- S è la superficie del bacino, espressa in Km²;
- i_v è la pendenza media del versante (-).

Formula del Soil Conservation Service
$$T_c = 0.00227 \cdot \frac{(1000 \cdot L)^{0.8} \cdot \left[\left(\frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]}{i_b^{0.5}}$$

dove:

- i_b è la pendenza media del bacino (-).
- L è lunghezza dell'asta principale (km).

Formula VAPI-Sardegna
$$T_c = 0.212 \cdot S^{0.231} \cdot \left(\frac{H_m}{J_m} \right)^{0.289}$$

dove:

- S è la superficie del bacino, espressa in Km²;
- H_m è la quota media del bacino, espressa in m s.l.m.;
- j_m è la pendenza dell'asta principale.

In linea di massima i valori che si ottengono sono sempre discordanti e difficilmente verificabili.

Conviene proporre differenti formulazioni e accettare il valore che restituisce la portata di piena più critica.

Stima delle piogge di breve durata (<24 ore) con modello TCEV (two component extreme value distribution)

consente di valutare le altezze di pioggia intensa di durate t comprese tra 30 minuti e 24 ore, per tempi di ritorno T compresi tra 2 e 1000 anni.

Traduce in termini statistici la differente provenienza degli eventi idrologici estremi rispetto alla popolazione di piogge ordinarie.

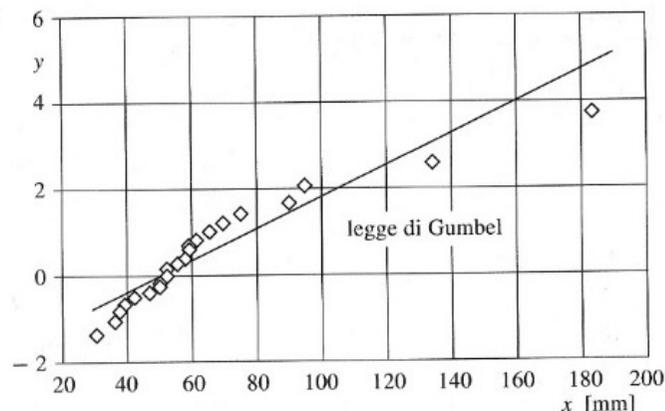


Figura 3.17 Individuazione degli outliers sulla carta probabilistica di Gumbel.

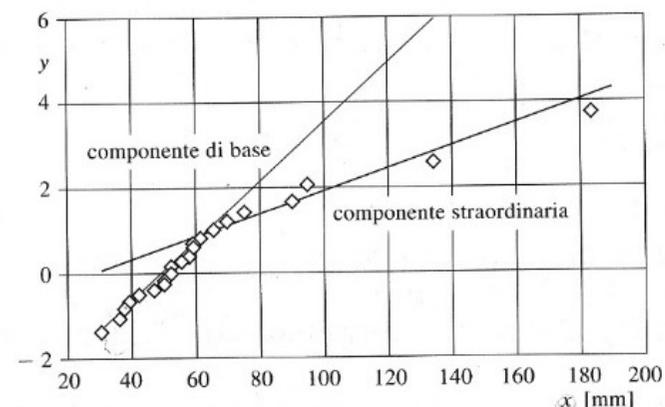


Figura 3.18 Adattamento di un campione empirico alla legge TCEV.

Formalmente la formulazione TCEV si riconduce al prodotto di due funzioni di probabilità (componente ordinaria * componente straordinaria) del tipo GUMBEL

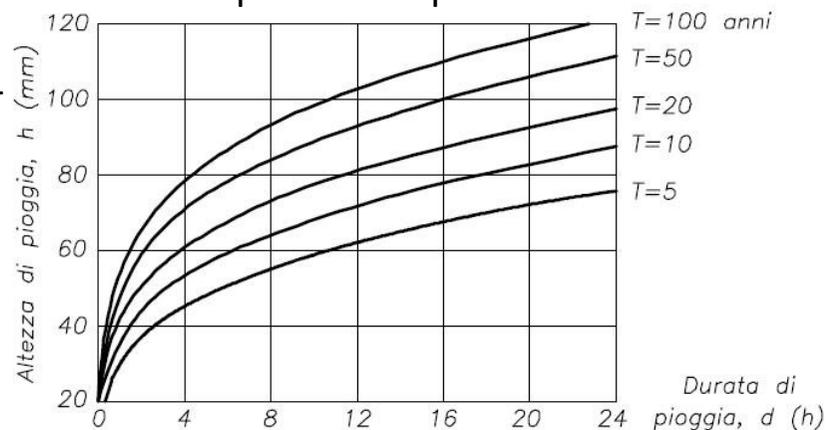
1) formulazione generica di una curva di probabilità pluviometrica a singola componente

$$h(T,t) = a t^n$$

2) formulazione generica di una curva di probabilità pluviometrica di tipo TCEV

$$h(T,t) = a_1 a_2 t^{(n_1+n_2)}$$

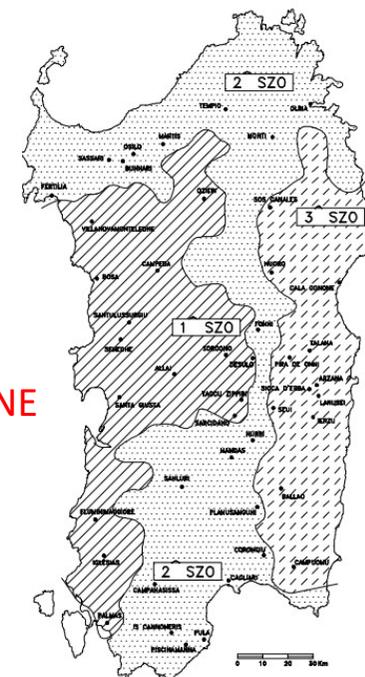
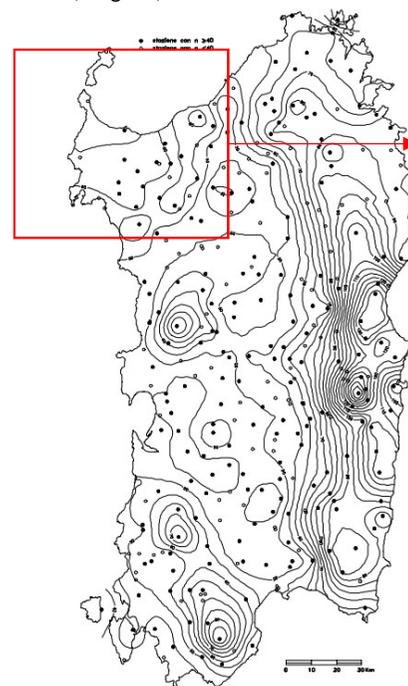
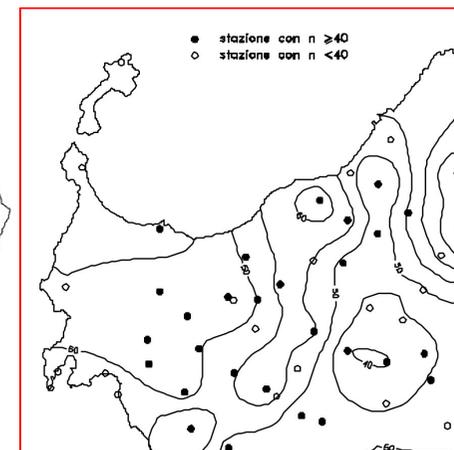
Curve di probabilità pluviometrica



PROCEDURA APPLICATIVA TCEV*: $h(T, t_c) = a_1 a_2 t_c^{(n_1+n_2)}$

*Deidda, R. e E. Piga, Curve di possibilità pluviometrica basate sul modello TCEV, Informazione, 81, pagine 9-14, Cagliari, 1998.

CARTA ISOIETE



CARTA SOTTOZONE

t_c è durata della pioggia intensa. È il tempo di corrivazione in ore
 T è il tempo di ritorno

Stima di a_1 , n_1 in base alla durata della pioggia

$$n_1 = -0.493 + 0.476 \log_{10}(\mu g)$$

$$a_1 = \mu g / (0.886 \cdot 24^{n_1})$$

μg = pioggia indice giornaliera, da carta delle isoiete, in mm

Stima di a_2 , n_2 in base alla durata della pioggia e tempo di ritorno

$10 < T < 1000$ anni T =tempo di ritorno

Espressioni di a_2 e n_2

1° SZO: $a_2 = 0.46378 + 1.0386 \log T$;
 $n_2 = -0.18449 + 0.23032 \log T - 0.33330 \cdot 10^{-1} (\log T)^2$;
 $n_2 = -0.10563 \cdot 10^{-1} - 0.79034 \cdot 10^{-2} \log T$;

(per $t_c \leq 1$ ora)
 (per $t_c > 1$ ora)

2° SZO: $a_2 = 0.44182 + 1.0817 \log T$;
 $n_2 = -0.18676 + 0.24310 \log T - 0.35453 \cdot 10^{-1} (\log T)^2$;
 $n_2 = -0.56593 \cdot 10^{-2} - 0.40872 \cdot 10^{-2} \log T$;

(per $t_c \leq 1$ ora)
 (per $t_c > 1$ ora)

3° SZO: $a_2 = 0.41273 + 1.1370 \log T$;
 $n_2 = -0.19055 + 0.25937 \log T - 0.38160 \cdot 10^{-1} (\log T)^2$;
 $n_2 = -0.15878 \cdot 10^{-2} - 0.76250 \cdot 10^{-2} \log T$;

(per $t_c \leq 1$ ora)
 (per $t_c > 1$ ora)

ESEMPIO NUMERICO (BARATZ, T= 100 anni, $t_c=3$ ore)

DATI:

- Bacino di un corso d'acqua affluente del lago di Baratz sito nella Sardegna nord-occidentale.
- Tempo di Ritorno T= 100 anni

CALCOLARE:

le altezze di pioggia intensa $h(t_c)$ per durate 3 ore

SVOLGIMENTO

- 1 - il Tempo di Ritorno T è fissato in 100 anni;
- 2 - dalla carta delle isoiete si ricava il valore della pioggia indice giornaliera μg pari a **50 mm**
- 3 - dalla carta delle sottozone si deduce che il bacino ricade nella sottozona **2 SZO**

Calcolo dell'altezza di pioggia intensa $h(\tau)$:

Dapprima si calcolano i coefficienti n_1 , a_1 in funzione di μg .

$$n_1=0,31571$$
$$a_1=20,691$$

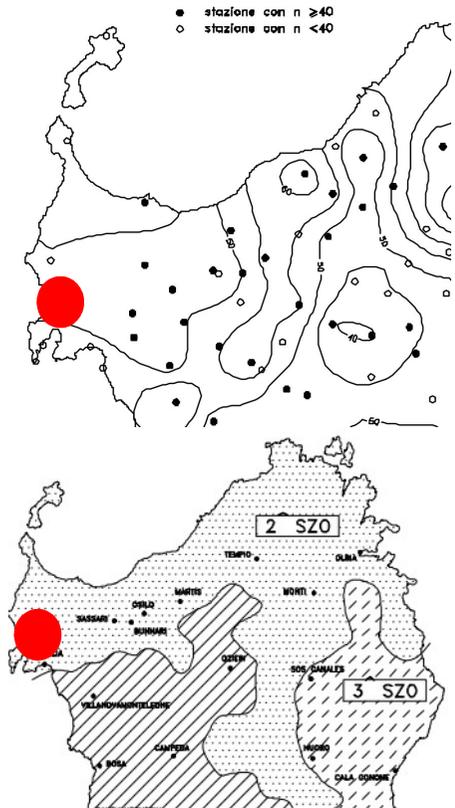
4 - la durata della pioggia τ è fissata in **3** ore;

Per il calcolo dei coefficienti a_2 e n_2 si usano le equazioni relative al tempo di ritorno T superiore a 10 anni, scegliendo per n_2 quella relativa a durate superiori ad 1 ora.

Dai calcoli risulta:

$$n_2=-0,0138$$
$$a_2=2,605$$

da cui → $h(t_{c=3ore}) = \underline{\underline{54,39 \text{ mm}}}$

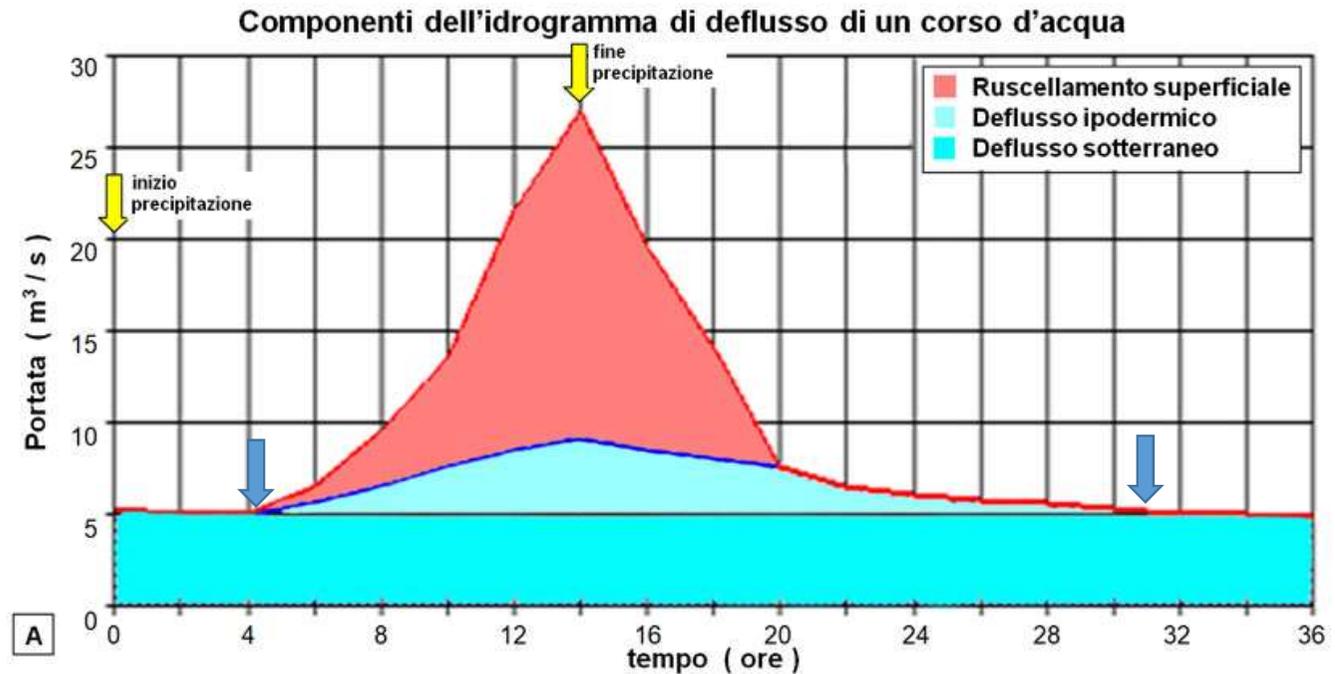


Coefficiente di deflusso

V_d = Volume defluito durante la piena dalla sezione di sbocco del bacino

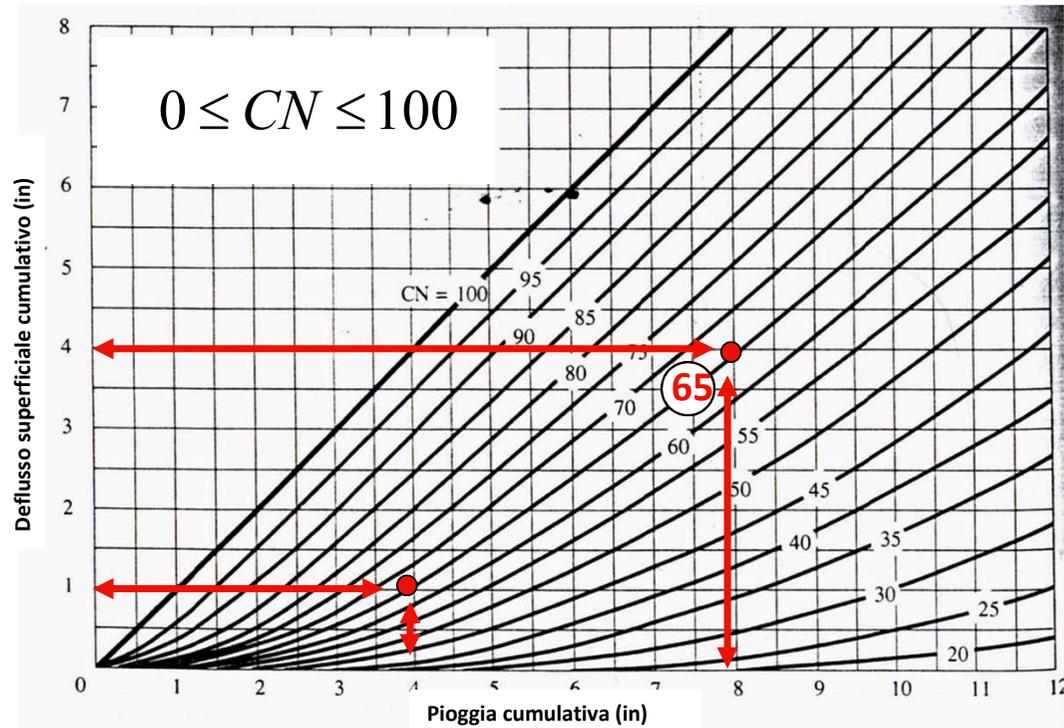
V_a = Volume affluito (precipitazione)

$$c = \frac{V_d}{V_a} \quad 0 \leq c \leq 1$$



• Variabilità del coefficiente c

- Natura pedologica dei suoli (tessitura, tipo e stabilità della struttura, contenuto in sostanza organica);
- Tipo ed estensione della copertura vegetale;
- Gestione del territorio (agricoltura e grado di urbanizzazione);
- Morfologia del territorio (pendenza);
- Condizioni di umidità del suolo antecedenti l'evento di precipitazione considerato;
- Caratteristiche della precipitazione



Curve Number

1) Uso del suolo

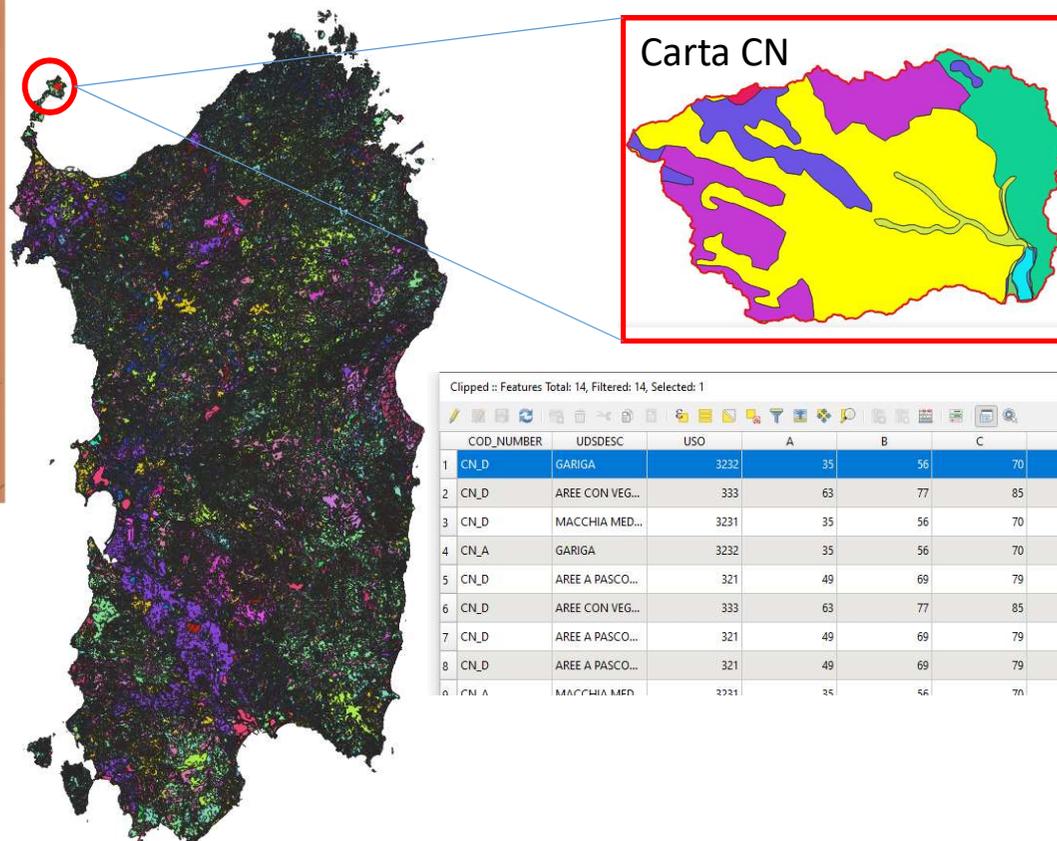
2) Tipo di suolo

3) Condizioni di umidità del suolo
antecedenti l'evento di
precipitazione

Valori del CN in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale e per condizioni medie di umidità antecedenti l'evento (AMCII)

Destinazione	Sistemazione	Condizione idrica	A	B	C	D
Incolto Coltivazioni in filari	Rittochino	Povera	77	86	91	94
		Buona	72	81	88	91
	Girapoggio	Povera	67	78	85	89
		Buona	70	79	84	88
Cereali da granella	Terrazzato	Povera	65	75	82	86
		Buona	66	74	80	82
	Rittochino	Povera	62	71	78	81
		Buona	65	76	84	88
Prati di leguminose o a rotazione	Girapoggio	Povera	63	74	82	85
		Buona	61	73	81	84
	Terrazzato	Povera	61	72	79	82
		Buona	59	70	78	81
Prato permanente Boschi	Rittochino	Povera	66	77	85	89
		Buona	58	72	81	85
	Girapoggio	Povera	64	75	83	85
		Buona	55	69	78	83
Strade sterrate Superfici impermeabili e superfici d'acqua	Terrazzato	Povera	63	73	80	83
		Buona	51	67	76	80
	Boschi	Povera	30	58	71	78
		Discreta	45	66	77	83
Superfici impermeabili e superfici d'acqua		Buona	25	55	70	77
			74	84	90	92
			100	100	100	100

Mappa del Curve Number scaricabile dal WFS del SITR RAS
<https://webgis.regione.sardegna.it/geoserver/ows?service=WFS&request=GetCapabilities>



Clipped :: Features Total: 14, Filtered: 14, Selected: 1									
	COD_NUMBER	UODESC	USO	A	B	C	D	CN	
1	CN_D	GARIGA	3232	35	56	70	77	77	
2	CN_D	AREE CON VEG...	333	63	77	85	88	88	
3	CN_D	MACCHIA MED...	3231	35	56	70	77	77	
4	CN_A	GARIGA	3232	35	56	70	77	35	
5	CN_D	AREE A PASCO...	321	49	69	79	84	84	
6	CN_D	AREE CON VEG...	333	63	77	85	88	88	
7	CN_D	AREE A PASCO...	321	49	69	79	84	84	
8	CN_D	AREE A PASCO...	321	49	69	79	84	84	
9	CN_A	MACCHIA MED...	3231	35	56	70	77	35	

Per un bacino idrografico si dovrà utilizzare una media ponderata dei CN presenti nel bacino rispetto alle aree

$$CN = \frac{\sum CN_i \cdot A_i}{A}$$

Classificazione dei suoli secondo il metodo SCS

- Gruppo A: sono suoli caratterizzati da basso potenziale di deflusso e alti tassi di infiltrazione. Sono principalmente composti da sabbie e ghiaie profonde molto ben drenate;
- Gruppo B: questi suoli hanno un moderato tasso di infiltrazione, sono discretamente profondi e drenati. La tessitura è di tipo medio (tipo franco-sabbioso o franco), hanno un buon contenuto in sostanza organica;
- Gruppo C: suoli che presentano un basso tasso di infiltrazione, sono costituiti da limo e argille oppure presentano uno strato sottosuperficiale impermeabile;
- Gruppo D: hanno il massimo potenziale di deflusso superficiale, sono principalmente i suoli con elevate percentuali di argille rigonfiabili oppure suoli salini, oppure suoli poco profondi su substrati impermeabili.

$$CN(A) < CN(B) < CN(C) < CN(D)$$

Classificazione delle condizioni di umidità precedenti (AMC) secondo il metodo SCS:

Gruppo AMC	Pioggia (mm) caduta nei 5 giorni precedenti l'evento	
	<i>Riposo vegetativo</i>	<i>Periodo vegetativo</i>
I	Meno di 13	Meno di 35
II	Da 13 a 28	Da 35 a 53
III	Più di 28	Più di 53

In genere solo i valori relativi al CN(II) sono stati tabulati, per il CN(I) e il CN(III) occorre utilizzare le seguenti formule di conversione:

$$CN(I) = \frac{4,2 \cdot CN(II)}{10 - 0,058 \cdot CN(II)}$$

$$CN(I) < CN(II) < CN(III)$$

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0,13 \cdot CN(II)}$$

Tutti i valori disponibili nelle tabelle sono sempre riferiti ad una condizione AMCII
I valori devono essere sempre trasformati verso una condizione AMC(III), più critica

Calcolo coefficiente di deflusso c (metodo CN-SCS, 1972)

1) Individuazione del valore di CN più appropriato



2) Calcolo del volume potenziale di ritenzione S



3) Calcolo dell'altezza di precipitazione efficace h_e



4) Essendo nota la pioggia che da origine all'evento, è ora possibile calcolare il coefficiente di deflusso c

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad [\text{mm}] \quad \text{è il massimo invaso del suolo}$$

$$h_e = \frac{(h_c - 0,2 \cdot S)^2}{h_c + 0,8 \cdot S} \quad [\text{mm}] \quad \begin{array}{l} \text{È l'altezza d'acqua} \\ \text{che defluisce} \\ \text{verso valle} \end{array}$$

$$c = \frac{h_e}{h_c}$$

VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI RAGGUAGLIO (ARF)

La stima di ARF, coefficiente di ragguaglio delle piogge all'area, dipende alla durata della precipitazione e alla superficie del bacino,

È calcolabile nella formulazione usata nel VAPI Sardegna, che fa riferimento al Flood Studies Report - Wallingford Institute, UK 1977:

$$\text{per } S < 20 \text{ km}^2 \quad ARF = 1 - (0.0394 \cdot S^{0.354}) \cdot T_c^{(-0.40 + 0.0208 \cdot (4.6 - \ln(S)))}$$

$$\text{per } S > 20 \text{ km}^2 \quad ARF = 1 - (0.0394 \cdot S^{0.354}) \cdot T_c^{(-0.40 + 0.003832 \cdot (4.6 - \ln(S)))}$$

Dove:

Tc = il tempo di corrivazione, espresso in ore;

S è la superficie del bacino, espressa in Km².

CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA: FORMULA RAZIONALE

Assunzioni di base:

- 1) Pioggia con intensità costante;
- 2) pioggia uniformemente distribuita in tutto il bacino;
- 3) tempo di corrivazione non varia con l'intensità della pioggia.

La pioggia di durata pari al tempo di corrivazione ($t_p=t_c$) rappresenta la situazione limite in cui tutto il bacino, sia pur per un solo istante, contribuisce al deflusso con la pioggia di durata minima, e perciò più intensa.

$$Q_p = \frac{c * ARF * h_c * A}{t_c * 3.6} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

V_d = volume defluito durante la piena [m^3]

V_a = volume di pioggia affluito [m^3]

c = coefficiente di deflusso

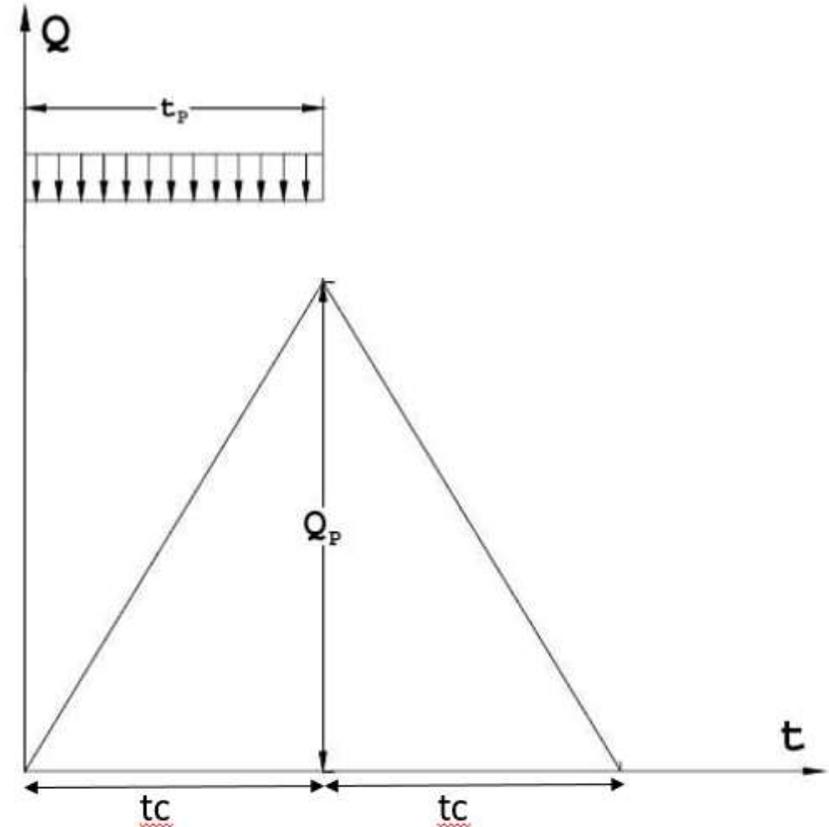
ARF = coefficiente di ragguglio

h_c = altezza di pioggia critica [mm]

A = area del bacino [km^2]

t_c = durata della pioggia [ore], pari al tempo di corrivazione

3.6 = fattore di conversione tra unità di misura



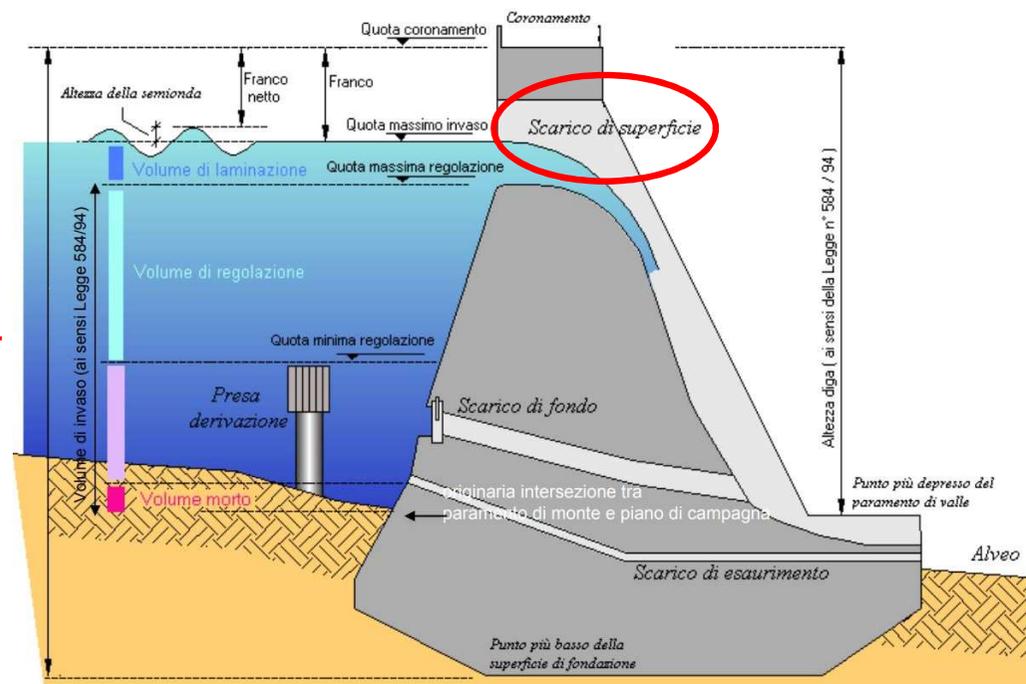
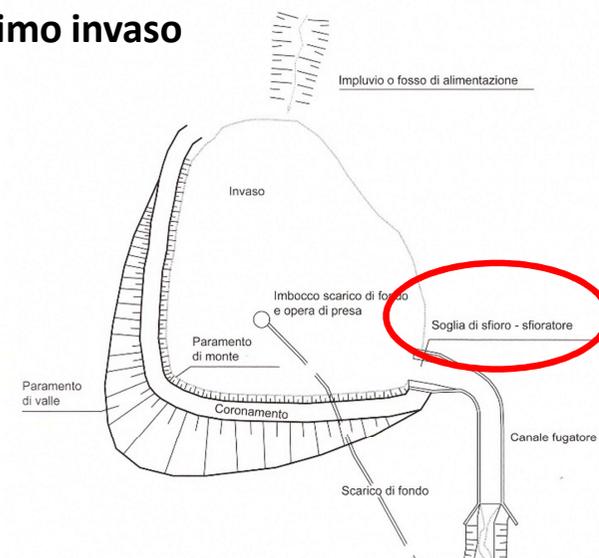
Verifica idraulica degli organi di scarico (SFIORATORE) - Quota di massimo invaso

Lo scarico di superficie ha lo scopo di evitare che una piena particolarmente gravosa porti alla tracimazione dello sbarramento.

L'evento di progetto da considerare è la piena millenaria (diga in materiali sciolti)

La verifica idraulica della soglia sfiorante (ai sensi del cap. C.1 del D.M. 26.06.2014):

- calcolo del franco
- calcolo del franco netto in corrispondenza delle portate di piena definite nell'analisi idrologica;
- **Gli scarichi di superficie della diga dovranno essere dimensionati in modo tale che il franco netto non sia inferiore a 1,0 m per le dighe di calcestruzzo e a 1.5 m per le dighe di materiali sciolti (C.1 di Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse) D.M. 26.06.2014)**
- calcolo del periodo di ritorno dell'evento di piena che annulla il franco netto



FRANCO e FRANCO NETTO

con riferimento alle definizioni di cui al Cap. B del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 26.06.2014
Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)

FRANCO [m]: differenza tra la quota del piano di coronamento e quella di massimo invaso.

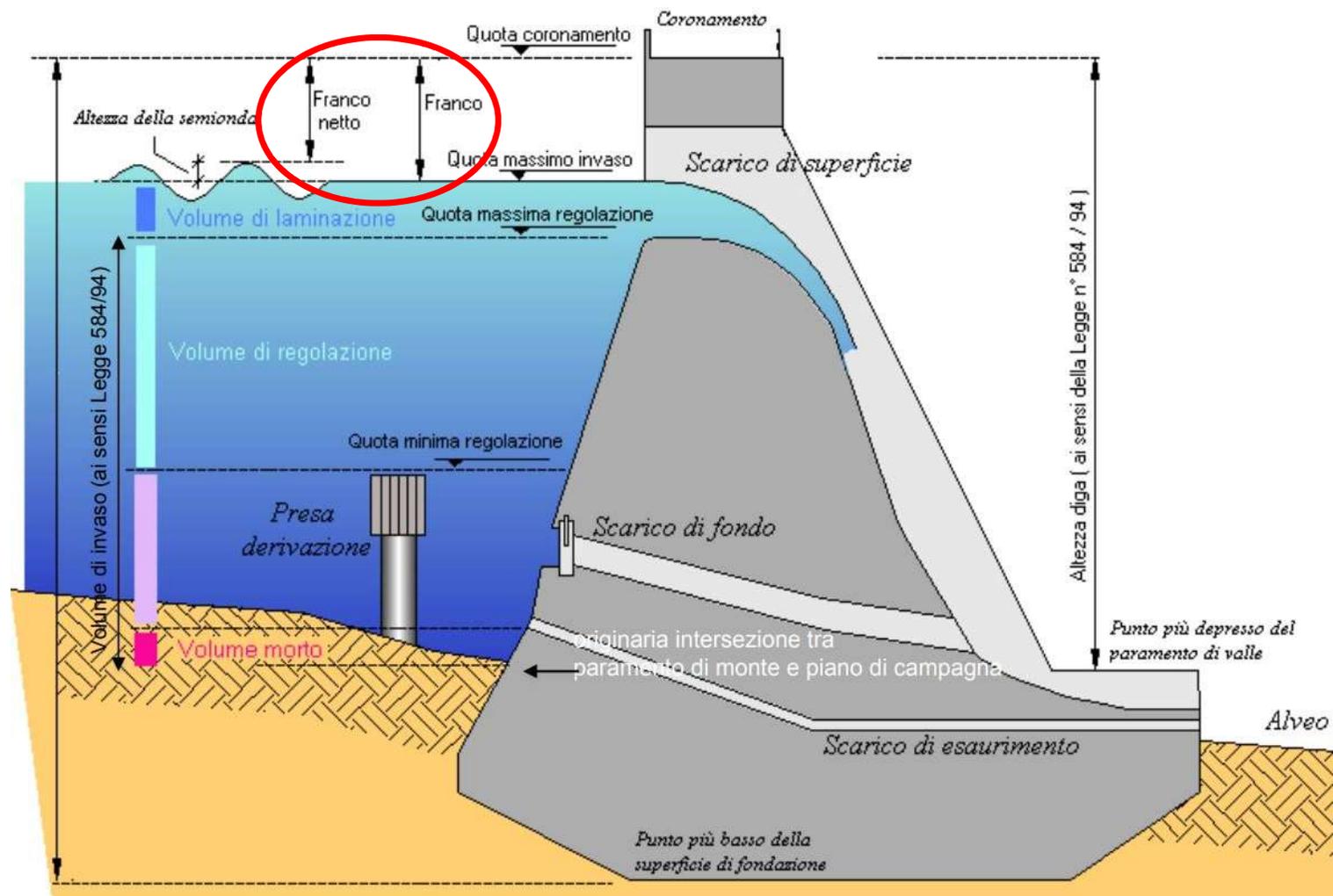
FRANCO NETTO [m]: differenza tra la quota del piano di coronamento e quella di massimo invaso incrementata della semialtezza della maggiore tra l'onda generata dal vento.

Per il calcolo del franco netto dovranno essere, inoltre, considerati i fenomeni di interazione tra moto ondoso e diga: "riflessione" e "risalita" (run-up).

Punto C.2. - Onde da vento e da sisma nel serbatoio

Velocità vento [km/h]	Ampiezza d'onda [m]									
	Fetch [km]									
	1	2	4	6	8	10	11	20	40	50
100	0.27	0.38	0.53	0.65	0.75	0.84	0.88	1.18	1.67	1.87
80	0.20	0.29	0.40	0.49	0.57	0.64	0.67	0.90	1.27	1.42
60	0.14	0.20	0.29	0.35	0.41	0.45	0.48	0.64	0.90	1.01
40	0.09	0.13	0.18	0.22	0.26	0.29	0.30	0.40	0.57	0.63
run_up [m]										
	0.033	0.063	0.12	0.17	0.223	0.273	0.298	0.518	0.973	1.188

Fetch: massima lunghezza in linea retta dello specchio liquido del serbatoio alla quota del massimo invaso.



Verifica idraulica degli organi di scarico (SFIORATORE)

Dal punto di vista idraulico lo sfioratore può essere assimilarsi ad uno stramazzo in parete grossa ($u=0,385$)

$$Q = u L h \sqrt{2gh}$$

Dove

Q = portata effluente (m^3/s)

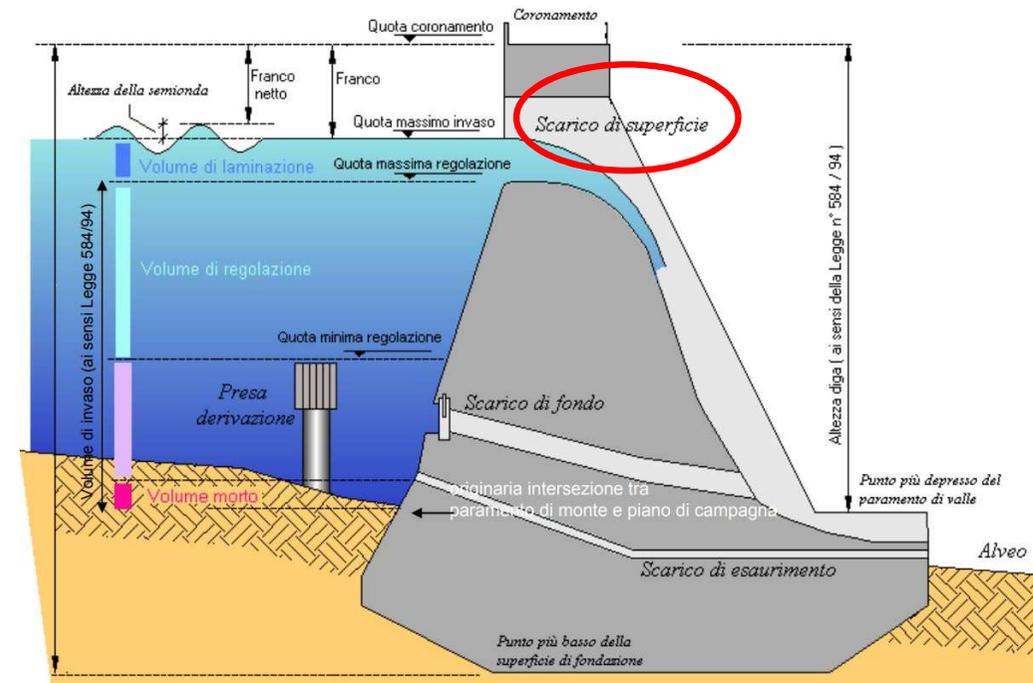
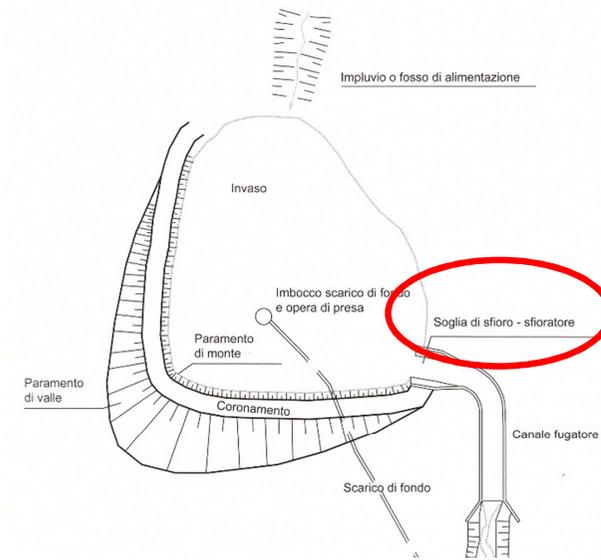
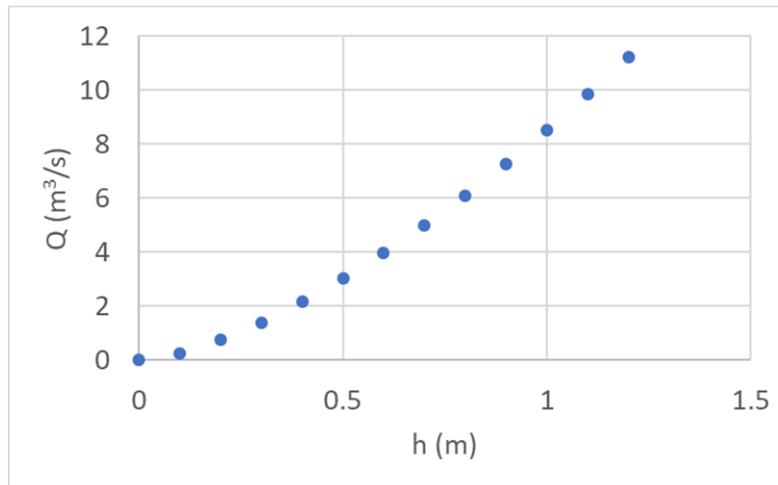
L = larghezza della soglia di sfioro (m)

h = carico idraulico sullo sfioro (m)

g = accelerazione di gravità ($9.81 m/s^2$)

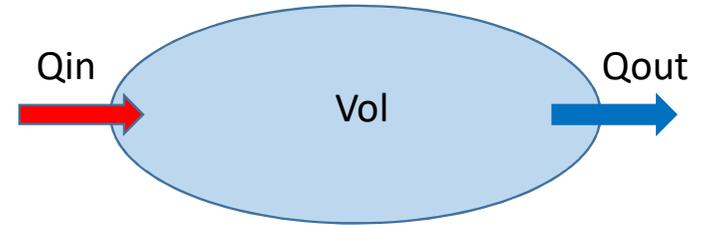
Scala di efflusso di
uno sfioratore

$L=5$
 $u=0,385$



Valutazione dell'effetto di laminazione del corpo idrico

Calcolo del Bilancio idrico dell'invaso

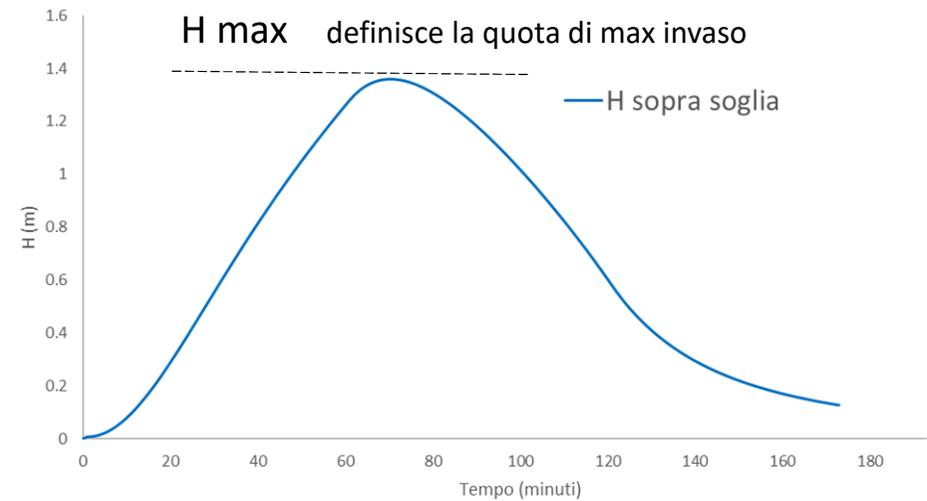
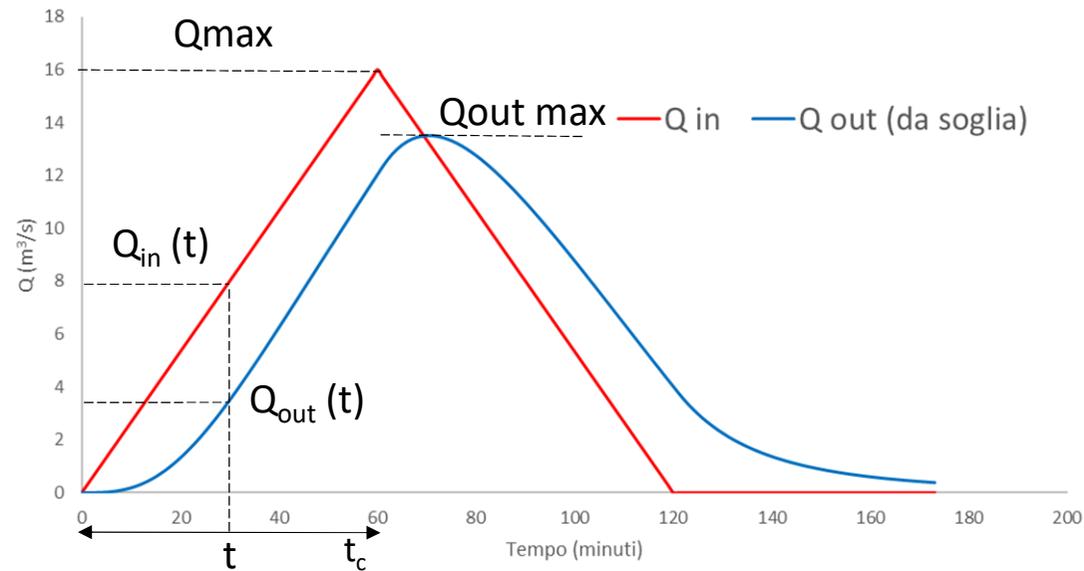


Curva di invaso

da Formula Razionale
(T=1000 anni)

$$\frac{dVol}{dt} = Q_{in}(t) - Q_{out}(t)$$

Scala di efflusso dello sfioratore



Verifica idraulica degli organi di scarico (SCARICO DI FONDO)

Ai sensi del cap. C.1 del D.M. 26.06.2014 (*Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse*)) occorre verificare il **tempo necessario per la vuotatura del 75%** del volume d'invaso del serbatoio a partire dalla quota di massima regolazione.

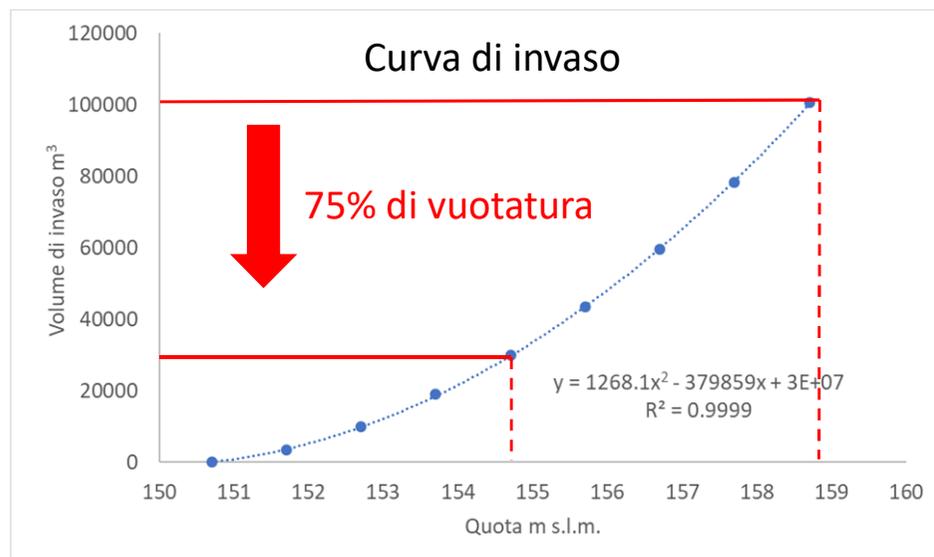
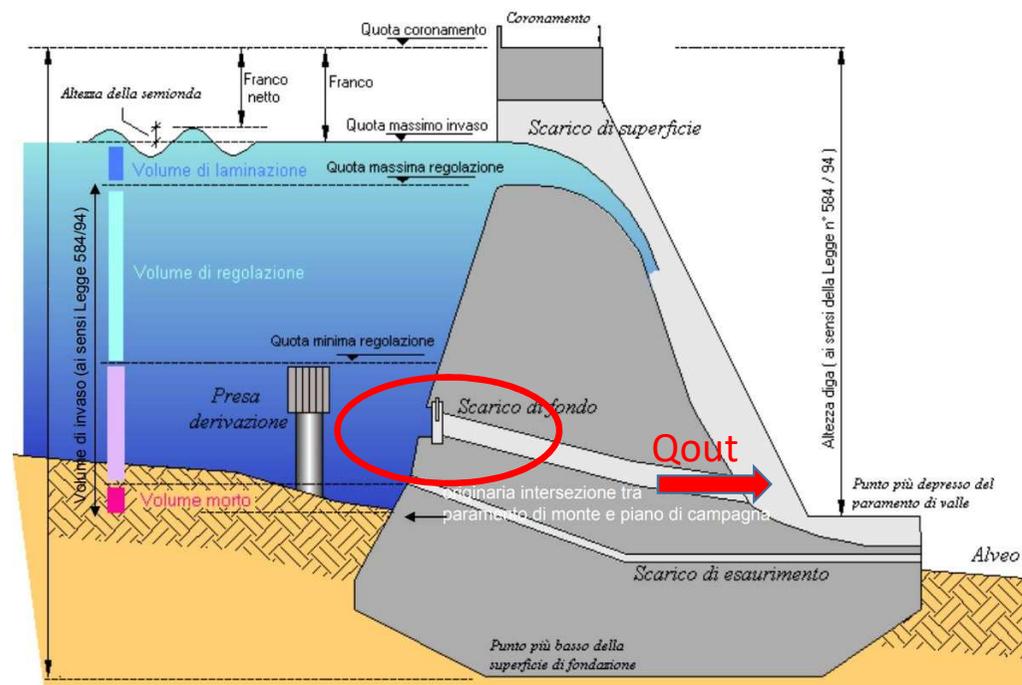
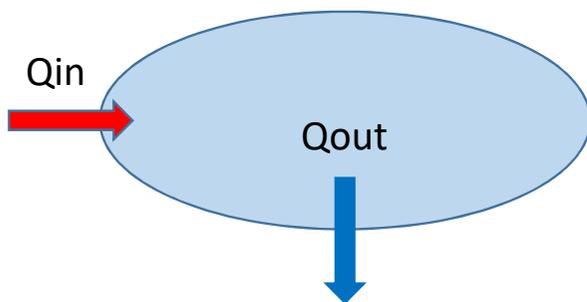
La vuotatura dovrà realizzarsi in max **3 GIORNI**

Il calcolo dovrà tener conto della curva d'invaso rilevata.

Calcolo del Bilancio idrico dell'invaso

$$\frac{dVol}{dt} = Q_{in}(t) - Q_{out}(h(t))$$

$Q_{in} > 0$ solo per corsi d'acqua perenni



Verifica idraulica degli organi di scarico (SCARICO DI FONDO)

Considerando i fenomeni dissipativi, lo scarico viene valutato come una normale condotta idrica, con sbocco in atmosfera:

$$\text{Eq. Bernouilli } z_{in} + H(t) = z_{out} + \frac{V^2}{2g} + LJ;$$

Formula Hazen – Williams
$$J = \frac{10.675 Q^{1.852}}{C^{1.852} D^{4.8704}}$$

Valori di C

- 100 per tubi calcestruzzo
- 120 per tubi acciaio
- 130 per tubi ghisa rivestita
- 140 per tubi rame, inox
- 150 per tubi PE, PVC

Dove

Q = portata effluente (m³/s)

H= carico idraulico sullo scarico (m)

Z_{in}= quota di ingresso dello scarico

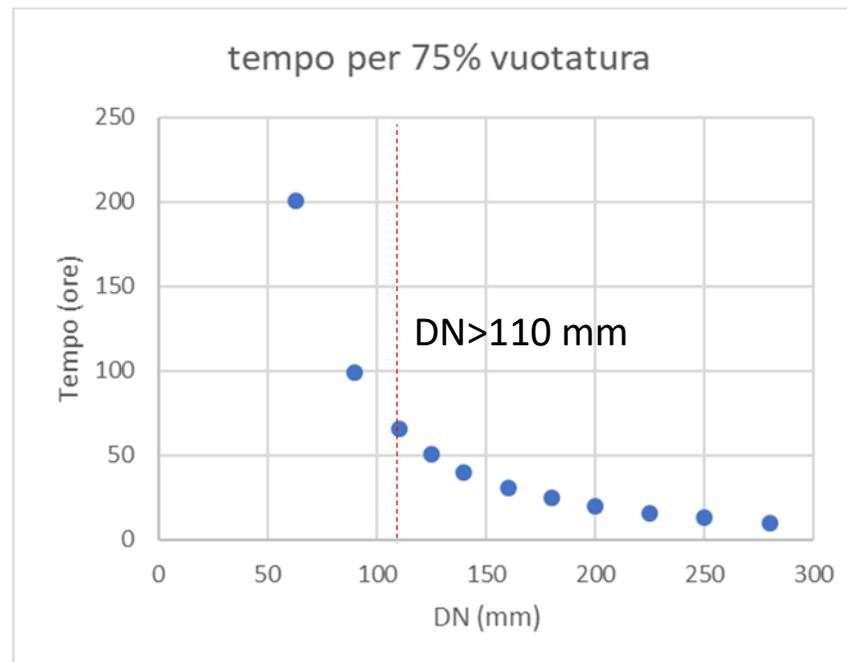
Z_{out}= quota di uscita dello scarico

J= cadente energetica unitaria

D=diametro della condotta m

L= lunghezza della condotta m

$\frac{V^2}{2g}$ = altezza cinetica



DN (mm)	tempo di 75% vuotatura (ore)
63	201
90	99
110	66
125	51
140	40
160	31
180	25
200	20
225	16
250	13
280	10

Materiale didattico

- Diapositive Power Point
- Allegato B relazione tecnica
- TCEV (formulario + cartografie + esempio applicativo)
- D.M. 26 giugno 2014 del MINISTRO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI. 'Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)'
- L.R. 31 ottobre 2007, n. 12, 'Norme in materia di progettazione, costruzione, esercizio e vigilanza degli sbarramenti di ritenuta e dei relativi bacini di accumulo di competenza della Regione Sardegna'

Bibliografia fondamentale

- *La sistemazione dei bacini idrografici*; di Vito Ferro. Edizioni McGraw-Hill Education
- *Sistemazioni Idraulico Forestali*; di Giuseppe Benini. UTET editore
- *Applied Hydrology*; di Ven Te Chow et al.. McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series
- *Laghetti collinari e dighe - Guida pratica per la progettazione, l'esercizio e la manutenzione*; di Francesco Uzzani Flavio Flaccovio Editore