



UNICA

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI CAGLIARI

12 APRILE 2024



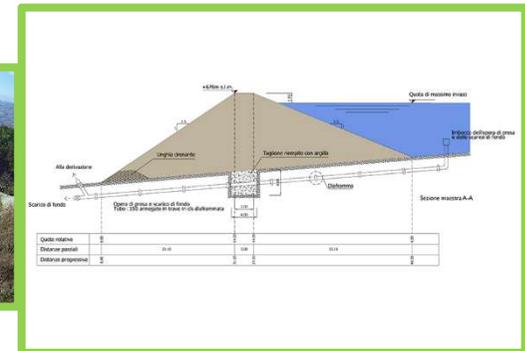
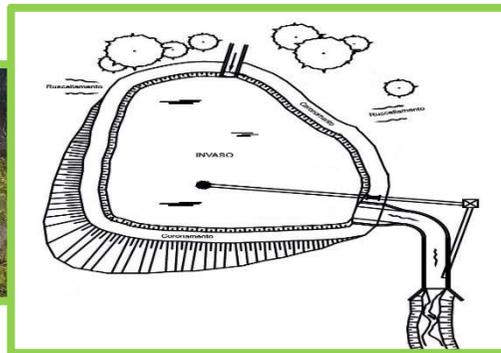
ORDINE
DEI DOTTORI AGRONOMI
E DEI DOTTORI FORESTALI
DELLA PROVINCIA DI SASSARI



Ministero della Giustizia



GABRIELE URAS



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E ARCHITETTURA

DICAAAR



UNICA

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI CAGLIARI

12 APRILE 2024



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



Ministero della Giustizia



LAGHETTI COLLINARI E BACINI DI ACCUMULO: risorsa strategica per le aziende agricole e la collettività

VERIFICHE DI SICUREZZA DELLO SBARRAMENTO E DELLE OPERE CONNESSE



Valutare preliminarmente le condizioni statiche dello sbarramento e l'eventuale necessità, motivata, di effettuare appositi studi geologici e geotecnici nonché le verifiche statiche dello sbarramento e delle sponde dell'invaso.

In particolare:

- nel caso in cui le opere siano state realizzate in conformità rispetto al progetto originario autorizzato e non siano stati riscontrati fenomeni di filtrazione, erosione, venute d'acqua etc. tali da richiedere ulteriori approfondimenti, devono essere qui riportati i risultati degli studi e delle verifiche allegati al progetto sulla base del quale è stata autorizzata la costruzione dello sbarramento (comprese le eventuali varianti).
- nel caso in cui le opere siano state realizzate in difformità al progetto autorizzato o siano prive di autorizzazione o qualora siano stati riscontrati fenomeni di filtrazione, erosione, venute d'acqua etc. tali da richiedere ulteriori approfondimenti, devono essere qui riportati gli studi specialistici e le verifiche da effettuare sulla base di quanto disposto dalle norme, tra cui la verifica statica del manufatto nelle condizioni attuali e la verifica al sifonamento e le verifiche di resistenza nelle condizioni di serbatoio vuoto, di serbatoio pieno e con il livello al massimo invaso, e a seguito di rapida vuotatura del serbatoio dal livello massimo di regolazione al livello di minimo invaso.



Ai fini del calcolo di verifica sulla stabilità degli argini di un invaso, occorrerà tenere conto che una struttura in terra per ritenuta d'acqua è costituita fundamentalmente da materiale discontinuo (matrice solida intercalata da spazi vuoti occupati da aria o da acqua) che presenta, sotto l'aspetto idraulico, una certa permeabilità e quindi un deflusso filtrante e dal punto di vista meccanico la capacità di resistere a sollecitazioni esterne in virtù di caratteristiche specifiche che sono coesione e attrito interno.

Due ordini di problematiche diverse:

- idrogeologiche, relative al moto di filtrazione dell'acqua entro ammassi porosi
- meccaniche, relative alla stabilità.

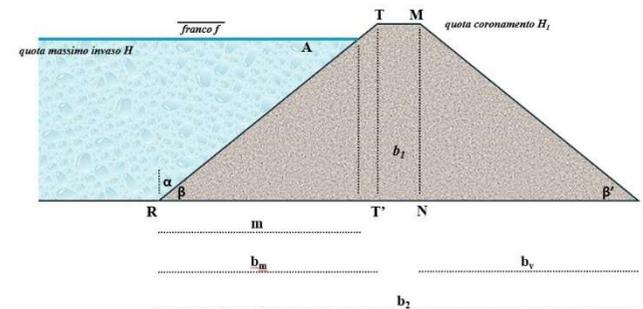
Occorrerà, quindi, individuare le caratteristiche litostratigrafiche e strutturali dei litotipi presenti nel corpo di fondazione degli argini e le loro proprietà meccaniche, con particolare riguardo alla resistenza e deformabilità, e la permeabilità del terreno, sia esso sciolto o lapideo, almeno fino alla profondità a cui potrà risultare apprezzabile l'influenza dei carichi esercitati dallo sbarramento e delle azioni esercitate dall'acqua nell'invaso.

Inoltre dovranno essere determinate le caratteristiche della circolazione idrica sotterranea.

Ai fini della verifica di stabilità degli argini di un invaso, sarà necessario conoscere alcuni parametri fondamentali del terreno; quali:

- γ_t : peso di volume delle particelle solide costituenti il terreno;
- γ_a : peso di volume del terreno allo stato asciutto, cioè comprensivo del vuoto e del pieno (considerando il vuoto come riempito esclusivamente da aria);
- γ_s : peso di volume del terreno saturo (ossia con i vuoti riempiti di acqua);
- γ_u : peso di volume del terreno umido (ossia i vuoti parzialmente riempiti di acqua), esso può assumere un qualunque valore compreso tra gli estremi γ_a e γ_s ;
- γ_w : peso di volume dell'acqua;
- γ_g : peso specifico di galleggiamento o del terreno sommerso in acqua, dato da $\gamma_g = \gamma_s - \gamma_w$;
- γ_m : peso di volume medio;

la linea di saturazione taglia quasi sempre la verticale di separazione MN così che la parte a valle sotto esame comprende un prisma di terreno saturo di acqua. Occorre calcolare, per prima cosa, il peso di volume efficace del complesso, e ciò si otterrà a mezzo di una media pesata: al materiale sotto la linea di saturazione compete un peso di volume efficace uguale a quello di galleggiamento γ_g , mentre al materiale al di sopra si può attribuire il peso di volume allo stato asciutto γ_a

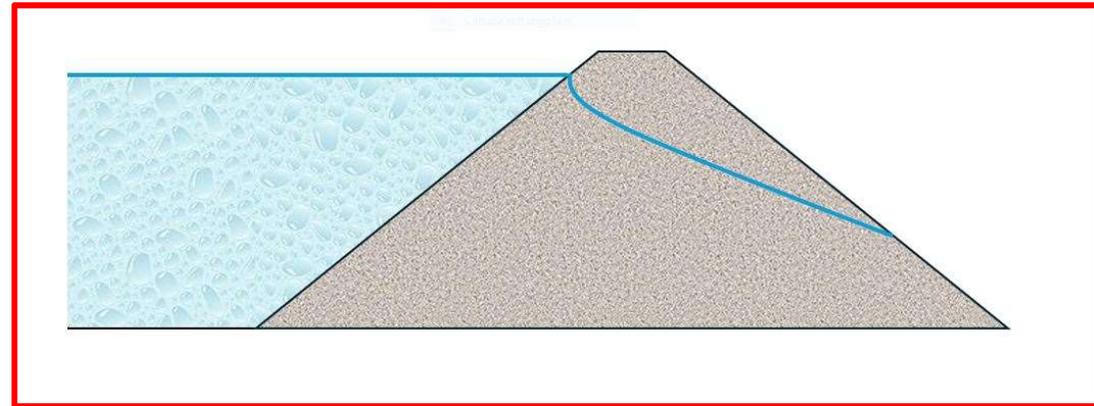


- φ : angolo di attrito del terreno, dal quale dipende la spinta orizzontale esercitata contro le pareti degli argini in terra;
- C : coesione del materiale;
- K : coefficiente di conducibilità idraulica, che dovrebbe essere distinto in K_v ed in K_o .

PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE

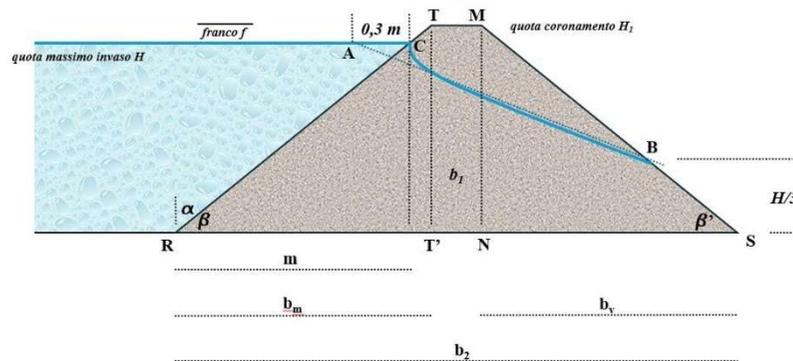
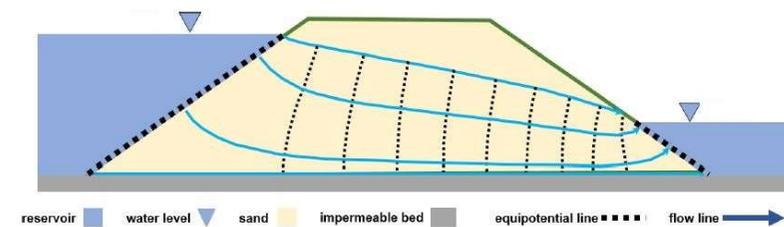
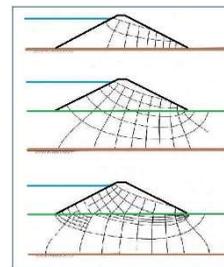
Le problematiche da affrontare sono fondamentalmente tre:

- andamento della linea di saturazione;
- valore della portata di filtrazione attraverso l'opera;
- sicurezza contro il pericolo di sifonamenti.



LINEA DI SATURAZIONE

Per la determinazione della linea di saturazione in maniera rigorosa si dovrebbe far ricorso alla costruzione di un reticolo di flusso in regime saturo-insaturo.



Si può allora utilizzare un approccio semplificato, per cui la linea nell'interno dell'argine è una curva convessa verso l'alto, che considerando omogeneo il materiale che costituisce l'argine, e considerate le grandezze della figura si ottiene nella seguente maniera:

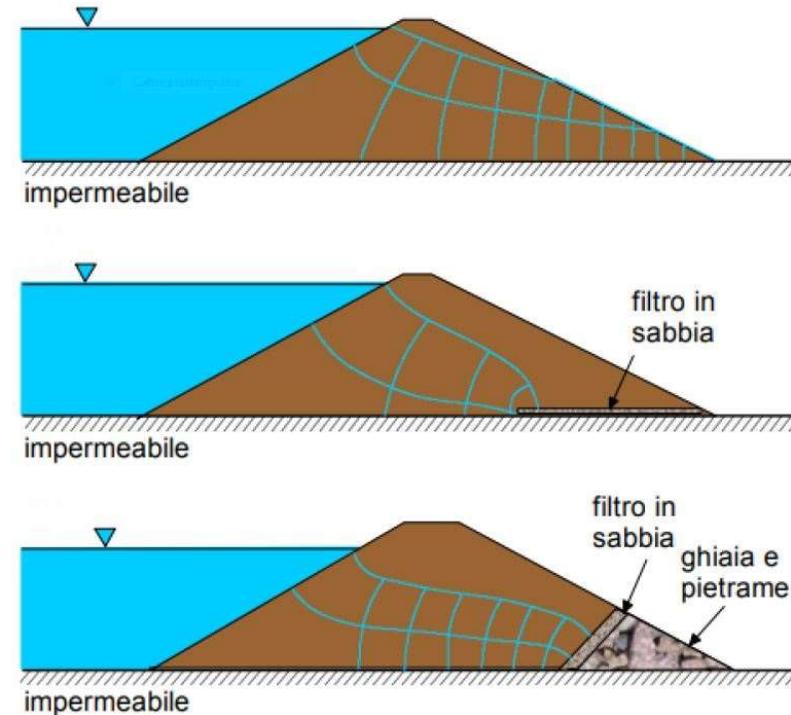
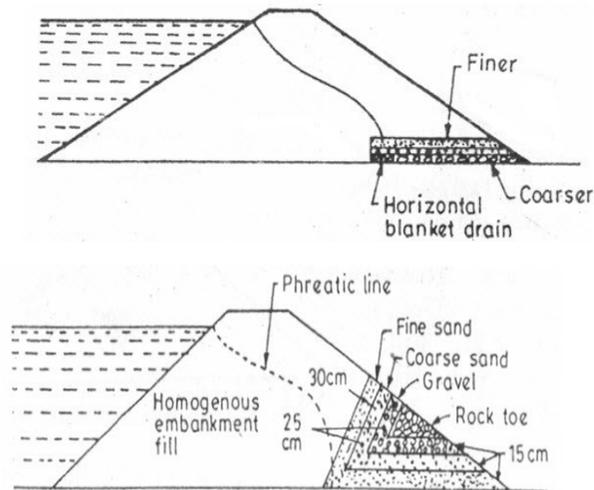
- si segnino i due punti A e B: il primo è situato sul pelo d'acqua nell'invaso, alla distanza orizzontale dal paramento di monte uguale a $0,3 \times m$; il secondo si trova sul paramento a valle alla quota di $H/3$ sopra il piano di fondazione;
- si tracci la retta AB e si congiunga, con un breve raccordo a sentimento, questa retta col punto C, intersezione del pelo d'acqua nell'invaso col paramento a monte.

Il tratto BC può essere assunto come linea di saturazione e si avrà una lunghezza media di filtrazione $l = (1,13H + 2f) \text{ ctg } \beta' + b_1$

PORTATA DI FILTRAZIONE

Per la determinazione della portata di filtrazione specifica q possiamo utilizzare la $q = 4/9 k H^2/l$

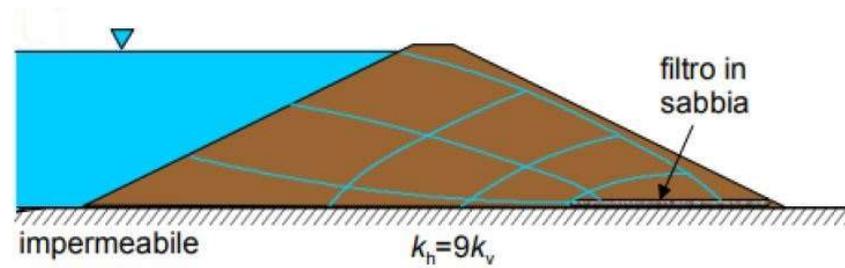
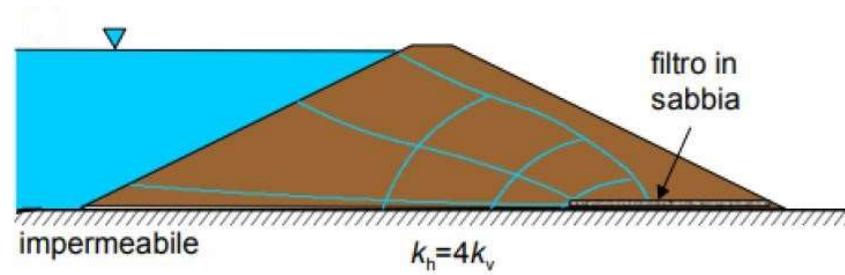
Negli argini in terra di materiale omogeneo il paramento a valle è quindi intersecato dalla linea di permeazione e si ha una superficie di trapelazione nella sua porzione inferiore. In questi casi è raccomandabile inserire alla base della parte a valle del corpo arginale uno strato di materiale più permeabile, con funzione di dreno atto ad abbattere la linea di saturazione, per una zona pari a $1/3 - 1/4$ della lunghezza della base b_2 .



Nella pratica comune il corpo arginale è costituito da materiale disomogeneo, anche per effetto delle costipazioni di posa in opera per cui la permeabilità verticale è inferiore a quella orizzontale.

Si potrà allora considerare un valore di conducibilità idraulica dato dalla media geometrica dei due valori:

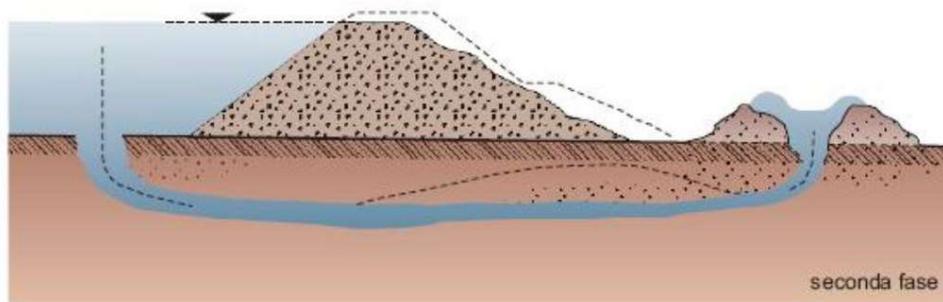
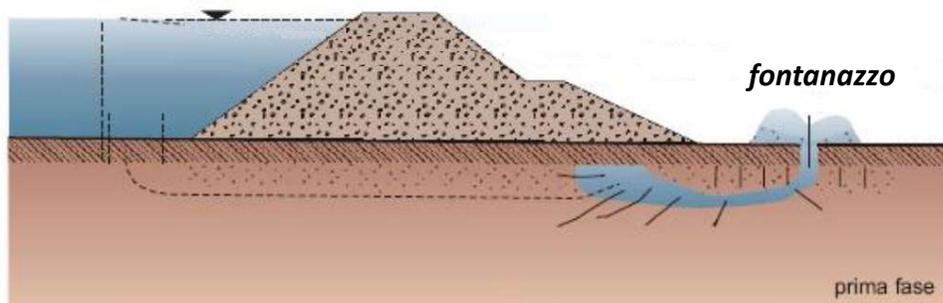
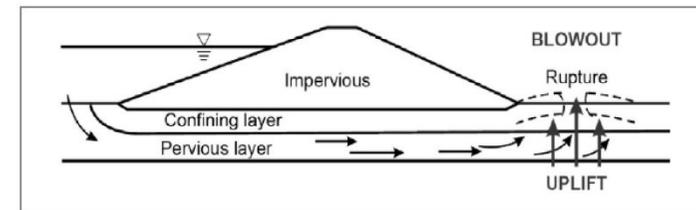
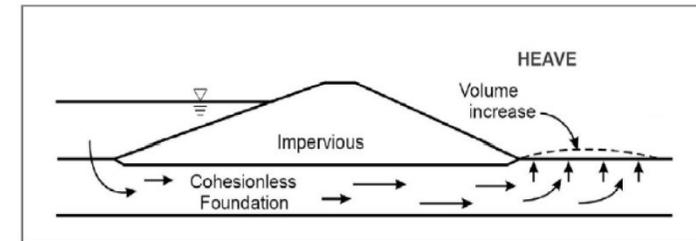
$$k = \sqrt{k_h k_v}$$





SIFONAMENTO

Le pressioni causate da flussi d'acqua presenti nella fondazione e direttamente collegate ai livelli idrici nell'invaso possono innescare un fenomeno di sollevamento in prossimità del piede arginale a lato campagna (*heave* in terreni granulari sciolti e *uplift* in terreni coesivi).



Un ulteriore sviluppo di questo processo può essere causa di instabilità o generare gradienti idraulici tali da innescare il fenomeno del sifonamento, che causa l'asportazione di materiale da parte del flusso d'acqua. L'acqua che filtra dall'invaso verso l'esterno erode il terreno oltre il piede dell'argine.

Nella prima fase il terreno oltre l'argine si fluidifica e l'acqua affiora abbondantemente erodendo il terreno. Nella seconda fase l'erosione è arretrata ormai verso l'invaso creando un vero e proprio canale e provocando il collasso dell'argine a causa dell'asportazione di terreno al di sotto di esso.

La formula di Bligh fornisce un facile e rapido metodo per una prima valutazione della vulnerabilità della sezione. Tale formula ha carattere empirico e deriva dall'osservazione di una serie di collassi arginali.

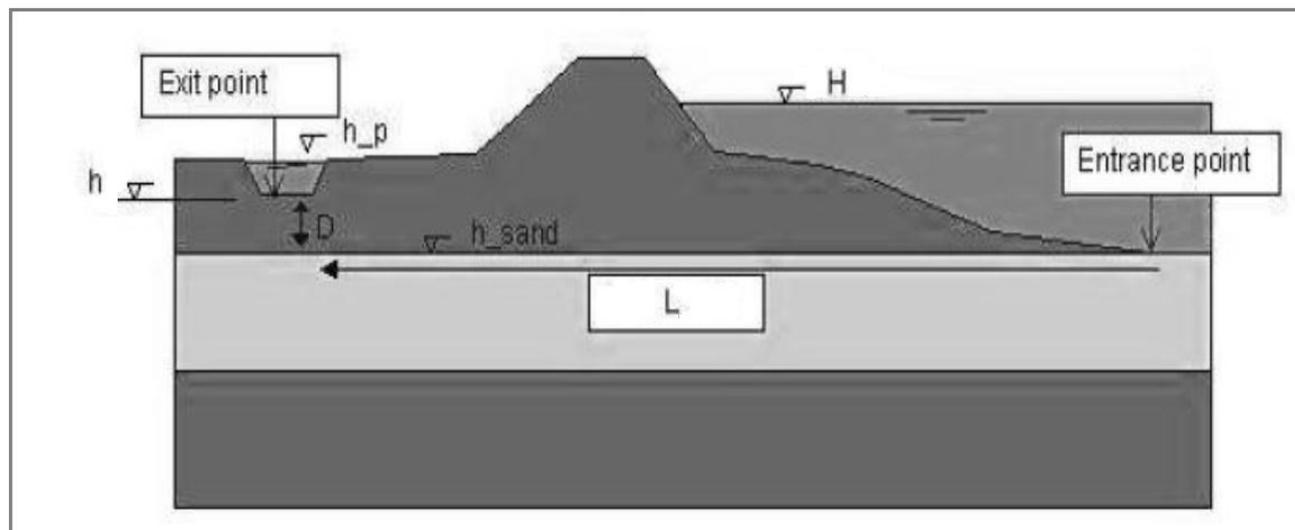
L'analisi è sviluppata con riferimento alla lunghezza o percorso critico di filtrazione. Se l'attuale lunghezza L del tratto interessato dal fenomeno è maggiore di una lunghezza critica L_{crit} si ritiene la sezione arginale in esame vulnerabile.

dove (C è il rapporto di scorrimento)

$$C(H-h) = L_{crit}$$

successivamente Lane migliorò il metodo per tener conto della maggiore resistenza al passaggio dell'acqua dai percorsi verticali L_v rispetto a quelli orizzontali L_h . Secondo Lane la C diventa

$$C = \frac{\frac{1}{3}L_h + L_v}{H - h}$$



individuando la C dalle seguenti tabelle

Terreno <small>irregolare</small>	C	
	Bligh	Lane
Sabbia molto fine o limo	18,0	8,5
Sabbia fine	-	7
Sabbia media	-	6
Sabbia grossa	12,0	5
Ghiaia fine	-	4
Ghiaia media	-	3,5
Ghiaia e sabbia	9,0	3,5
Ghiaia grossa con ciottoli	5,0	3
Massi con ciottoli e ghiaia	-	2,5
Massi, ghiaia e sabbia	-	-
Argilla molle	-	3
Argilla media	-	2
Argilla compatta	-	1,8
Argilla molto compatta	-	1,6



PROBLEMATICHE MECCANICHE

**Evoluzione delle verifiche di
stabilità sismiche nella Normativa**

D.M. 11.III.1988
*Norme tecniche ...
opere di sostegno delle terre
e opere di fondazione*

D.M. 16. I.1996
*Norme tecniche
per le costruzioni in zone sismiche.*

EuroCode 8
*Design provisions
for earthquake resistance
of structures*

**OPCM 3274
All. 4**
*Norme tecniche per il progetto sismico
di opere di fondazione
e di sostegno dei terreni*

**NTC 14.I.2008
NTC 17.I.2018**
Norme tecniche per le costruzioni

7. PROGETTAZIONE IN PRESENZA DI AZIONI SISMICHE

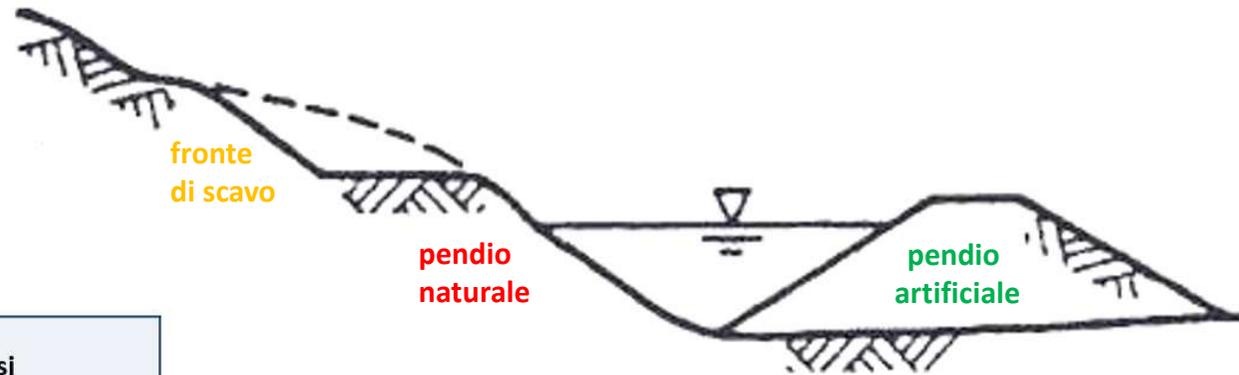
7.11 Opere e sistemi geotecnici

- 7.11.1 Requisiti nei confronti degli stati limite
- 7.11.2 Caratterizzazione geotecnica ai fini sismici
- 7.11.3 Risposta sismica e stabilità del sito

7.11.3.5 Stabilità dei pendii

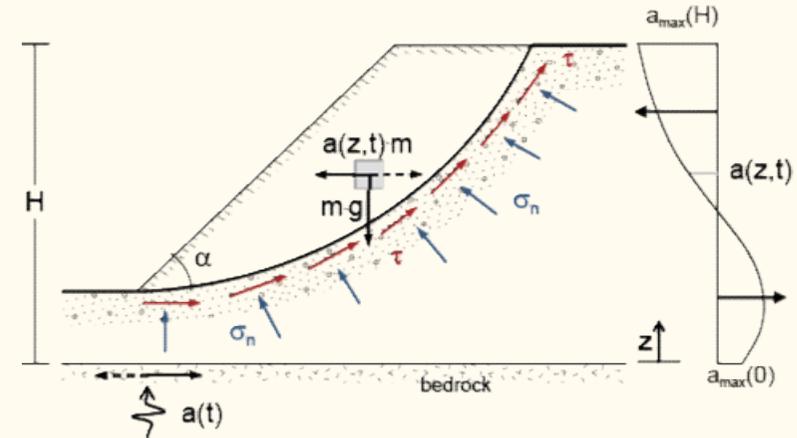
- 7.11.4 Fronti di scavo e rilevati
- 7.11.5 Fondazioni
- 7.11.6 Opere di sostegno

Pendii naturali, pendii artificiali, fronti di scavo



	Obiettivo dell'analisi
Pendio naturale	Valutazione effetti del sisma sul pendio (frana attiva, quiescente o probabile) e su manufatti esistenti
Pendio artificiale	Dimensionamento, progetto, verifica del manufatto in terra (diga, argine, rilevato)
Fronte di scavo	Scelta geometria per assicurare stabilità adeguata

Aumento azioni instabilizzanti



+

Riduzione della resistenza al taglio in condizioni sismiche

- aumento delle pressioni interstiziali (Δu indotte dal sisma)
- degradazione dei parametri di resistenza c e ϕ ('fatica' del materiale)

=

Peggioramento delle condizioni di stabilità rispetto alle condizioni statiche



Metodo di analisi	Moto sismico di riferimento	Legame costitutivo	Indagini e prove geotecniche	Risultati tipici
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Approfondimento analisi ed indagini</p> <p> Criteria di screening </p>	Magnitudo e distanza	-	-	Fenomeno si/no
<p> Pseudo-statica Metodi empirici </p>	Accelerazione massima a_{max} (+ altri parametri sintetici del moto)	Rigido-plastico	Tradizionali in sito e lab. (+ misure di V_s)	<p> Coefficiente di sicurezza </p> Spostamenti
<p> Dinamica Semplificata </p>	Accelerogramma (-) $a(t)$	mezzo monofase Visco-elastico Rigido-plastico	c.s. più Prove cicliche/dinamiche in laboratorio	Spostamenti Tensioni totali Deformazioni
<p> Dinamica avanzata </p>		Mezzo polifase Elasto-plastico		c.s. più Pressioni interstiziali Tensioni efficaci

Affidabilità risultati

**raffinatezza e grado di dettaglio dei risultati
proporzionali all'impegno di risorse sperimentali e mezzi di calcolo**



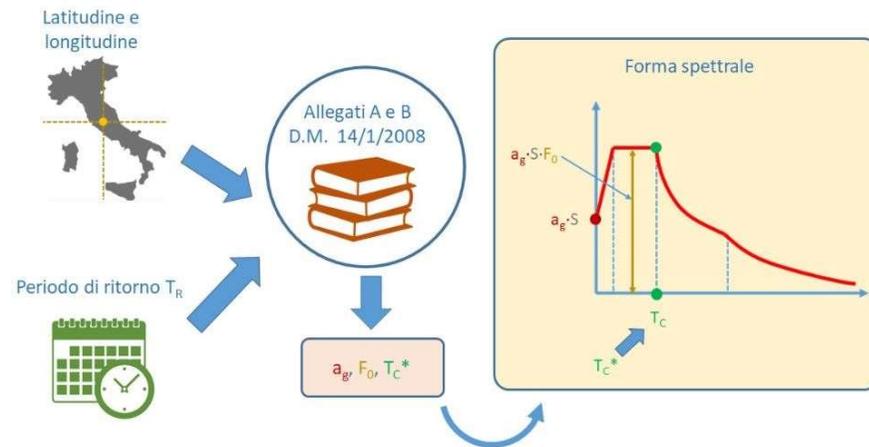


L'evoluzione del quadro normativo ha determinato il passaggio da uno scenario in cui l'azione sismica veniva determinata individuando la zona sismica in cui ricadeva il sito di costruzione e il relativo grado di sismicità, allo scenario attuale in cui l'azione sismica è definita puntualmente su tutto il territorio nazionale, in funzione delle coordinate di latitudine e longitudine, delle caratteristiche topografiche e stratigrafiche del suolo, della classe d'uso del manufatto e dello Stato Limite considerato. Le azioni sismiche sono infatti calcolabili partendo dalla **pericolosità sismica di base** definita da uno studio condotto dall'INGV (Istituto nazionale di Geofisica e Vulcanologia) i cui risultati sono disponibili in rete e consultabili mediante una mappa interattiva.

Tre parametri fondamentali che definiscono la pericolosità sismica di base:

- a_g accelerazione orizzontale al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri vengono forniti in corrispondenza di un reticolo di 10751 punti definito tramite le coordinate di latitudine e longitudine che ricopre tutto il territorio nazionale. Per ogni nodo del reticolo geografico i parametri sono forniti in corrispondenza di determinati periodi di ritorno T_R di 30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni.



Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI	Valori minimi di V_N (anni)
1 Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2 Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3 Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Vita nominale V_N

Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Coefficiente d'uso C_U

Intervalli di valori attribuiti a V_R al variare di V_N e C_U

VITA NOMINALE V_N	VALORI DI V_R			
	CLASSE D'USO			
	I	II	III	IV
≤ 10	35	35	35	35
≥ 50	≥ 35	≥ 50	≥ 75	≥ 100
≥ 100	≥ 70	≥ 100	≥ 150	≥ 200

Periodo di riferimento V_R

Per valutare l'azione sismica si parte dal periodo di riferimento V_R di una costruzione che viene ottenuto incrociando la vita nominale V_N della costruzione (funzione del tipo di costruzione) per il coefficiente d'uso C_U (funzione della classe d'uso).



Noto il periodo di riferimento V_R di una costruzione, è possibile ricavare il periodo di ritorno T_R dell'azione sismica in funzione della probabilità di superamento P_{VR} corrispondente ad uno dei quattro stati limite:

Stati Limite di Esercizio:

Stato Limite di immediata Operatività (SLO) con probabilità di superamento pari all'81%;
Stato Limite di Danno (SLD) con probabilità di superamento pari al 63%;

Stati Limite Ultimi:

Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) con probabilità di superamento pari al 10%;
Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC) con probabilità di superamento pari al 5%.

Probabilità di superamento P_{VR} in funzione dello stato limite considerato

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Stati limite e P_{VR}

Calcolo del periodo di ritorno T_R

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = -C_U V_N / \ln(1 - P_{VR})$$

Valori di P_{VR} e T_R al variare di C_U

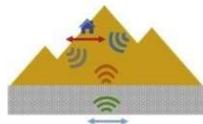
Stati Limite		Valori di P_{VR}			Valori di T_R corrispondenti		
		$C_U = 1,0$	$C_U = 1,5$	$C_U = 2,0$	$C_U = 1,0$	$C_U = 1,5$	$C_U = 2,0$
SLE	SLO	81,00%	68,80%	64,60%	$0,60 \cdot V_R$	$0,86 \cdot V_R$	$0,96 \cdot V_R$
	SLD	63,00%	55,83%	53,08%	V_R	$1,22 \cdot V_R$	$1,32 \cdot V_R$
SLU	SLV	10,00%	9,83%	9,75%	$9,50 \cdot V_R$	$9,66 \cdot V_R$	$9,75 \cdot V_R$
	SLC	5,00%	4,96%	4,94%	$19,50 \cdot V_R$	$19,66 \cdot V_R$	$19,75 \cdot V_R$

Periodo di ritorno T_R in funzione di P_{VR}

Amplificazione stratigrafica



Amplificazione topografica



Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

La successione stratigrafica di terreni con proprietà meccaniche diverse e la conformazione della superficie topografica sono la causa di fenomeni di amplificazione, rifrazione e diffrazione delle onde sismiche. Per tener conto delle condizioni stratigrafiche e topografiche la Normativa Tecnica definisce 5 categorie di sottosuolo denominate A, B, C, D, ed E e 4 categorie topografiche (T1, T2, T3, T4). La categoria di sottosuolo viene determinata sulla base della velocità di propagazione (V_s) delle onde di taglio nel sottosuolo.



Categoria sottosuolo	S_s
A	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{g0}}{g} \leq 1,20$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{g0}}{g} \leq 1,50$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{g0}}{g} \leq 1,80$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{g0}}{g} \leq 1,60$

S_T	
T1	1,0
T2	1,2
T3	1,2
T4	1,4

$$S = S_s \cdot S_T$$

$$\alpha_{max} = S \alpha_g$$

- S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica, dipende dalla categoria di sottosuolo e dai parametri F_0 e a_g ;
- S_T = coefficiente di amplificazione topografica, dipende dalla categoria topografica.

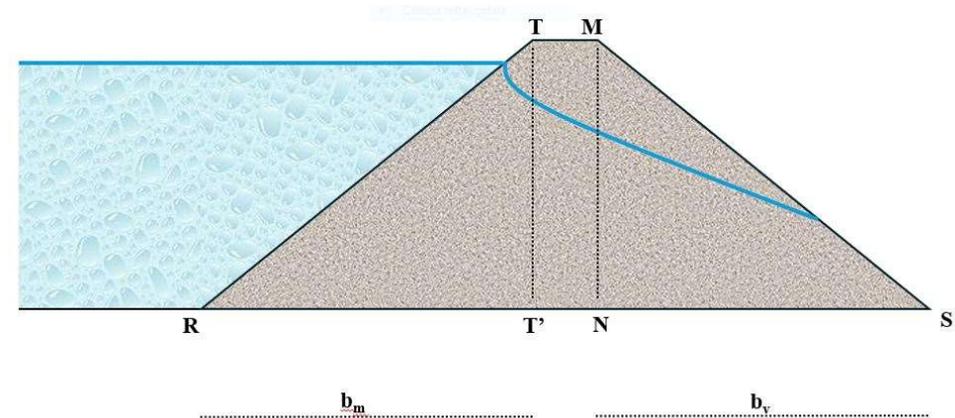
Come precedentemente accennato pertanto le nuove NTC2018 hanno di fatto eliminato il riferimento alla precedente zonazione sismica che individuava sul territorio nazionale quattro distinte zone sismiche, di rischio crescente dalla zona 4 (bassa sismicità) alla zona 1 (alta sismicità). Le zone a bassa sismicità vengono definite come quelle zone caratterizzate, allo SLV, da un valore dell'accelerazione $a_g \cdot S \leq 0.075 g$. In tali zone valgono le seguenti prescrizioni:

- può essere eseguita un'analisi lineare statica in sostituzione dell'analisi lineare dinamica (ovvero dell'analisi modale con spettro di risposta) per la verifica sismica;
- la verifica va eseguita solo nei confronti dello SLV;



Da un punto di vista statico la stabilità dell'opera può dedursi da un procedimento approssimato che suddivide l'argine in due parti, l'una di monte e l'altra di valle, da esaminare separatamente. La parte RMN è divisa dalla parte MNS da un piano verticale avente per traccia la retta MN.

Il problema resta così diviso in due problemi parziali, che verranno risolti facendo riferimento all'unità di spessore dell'argine.



La parte a valle MNS agisce da sostegno della parte a monte sollecitata dall'acqua: la forza resistente che si oppone alla spinta trasmessa dalla parte a monte si manifesta, in corrispondenza di ogni quota, come uno sforzo di taglio agente lungo la sezione orizzontale di base (sezione maggiormente sollecitata).

Le condizioni di verifica dovranno essere soddisfatte a: serbatoio pieno considerando in via cautelativa solo la parte a valle, ed a serbatoio vuoto e serbatoio rapidamente svuotato considerando solo la parte a monte.

SERBATOIO PIENO

La condizione di verifica viene espressa dalla disuguaglianza tra azioni sollecitanti e azioni resistenti: $T_v \leq R_v$

$T_v = S + F_o + F_v + F_s + F_T$ rappresenta lo sforzo totale di taglio agente sulla base NS e risulta costituito dalle seguenti azioni:

- S spinta idrostatica dell'acqua invasata
- F_o azione sismica orizzontale della massa strutturale
- F_v azione sismica verticale della massa strutturale
- F_s azione inerziale dell'acqua invasata
- F_T spinta del terreno a monte della sezione MN



SERBATOIO PIENO

dove avremo:

$$S = \frac{1}{2} \gamma_w H_1$$

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_s(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_s(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_s(g) \leq 0,1$	0,20	0,20



$$F_o = K_h M_{RTMSR}$$

con $K_h = \frac{\beta_s \alpha_{max}}{g}$ (min 0,07)

$$F_v = m F_o$$

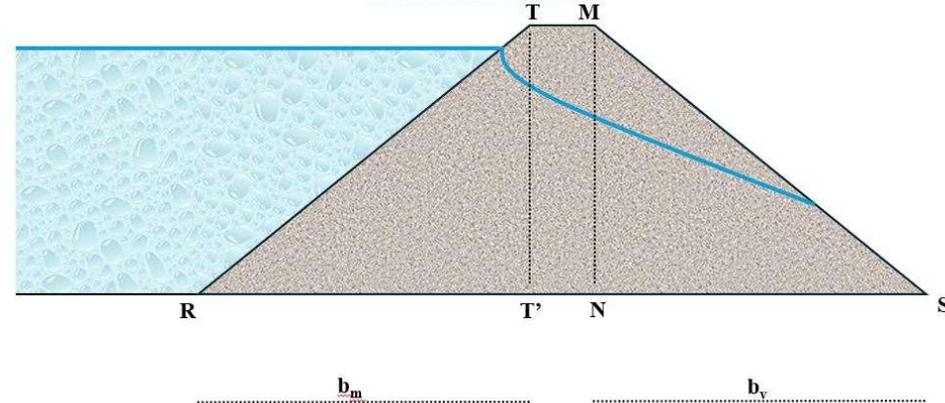
con $m = 0,5$

$$F_s = K_h \gamma_w c Y_o A_s$$

con $c = \frac{c_m}{2} \left[\frac{Y}{Y_0} \left(2 - \frac{Y}{Y_0} \right) + \sqrt{\frac{Y}{Y_0} \left(2 - \frac{Y}{Y_0} \right)} \right]$

A_s area della striscia unitaria RT

$$F_T = \frac{\gamma_m H_1^2 t g^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)}{2}$$



α	0°	5°	10°	20°	40°	$\geq 60^\circ$
cm	0.74	0.70	0.67	0.60	0.45	0.30



SERBATOIO PIENO

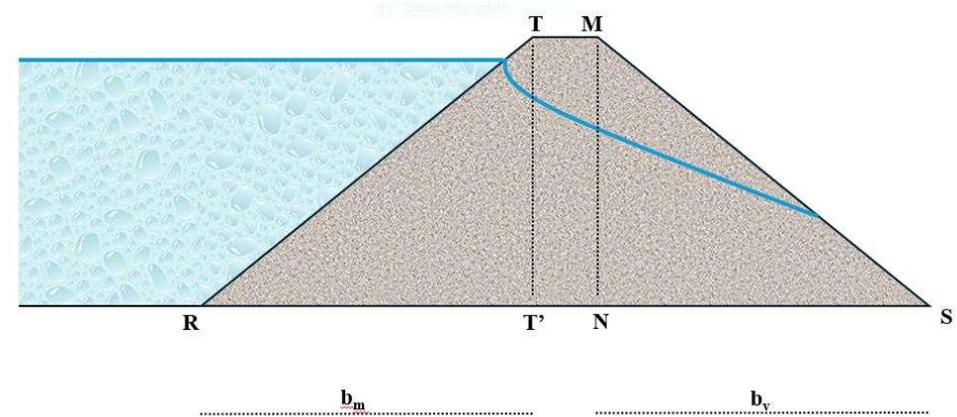
R_v rappresenta invece la resistenza che il materiale è capace di sviluppare, si compone di una componente legata all'attrito e di una legata alla coesione:

$$R_v = P_v \tan \varphi + c' b_v$$

P_v risultante delle azioni verticali funzione di γ_m
 c' coesione

La verifica si ha se

$$\eta = R_v / T_v \geq 1.4$$





SERBATOIO VUOTO o A FINE COSTRUZIONE

La condizione di verifica viene espressa dalla disuguaglianza tra azioni sollecitanti e azioni resistenti: $T_m \leq R_m$

$T_m = F_o + F_v + F_T$ rappresenta lo sforzo totale di taglio agente sulla base e risulta costituito dalle seguenti azioni:

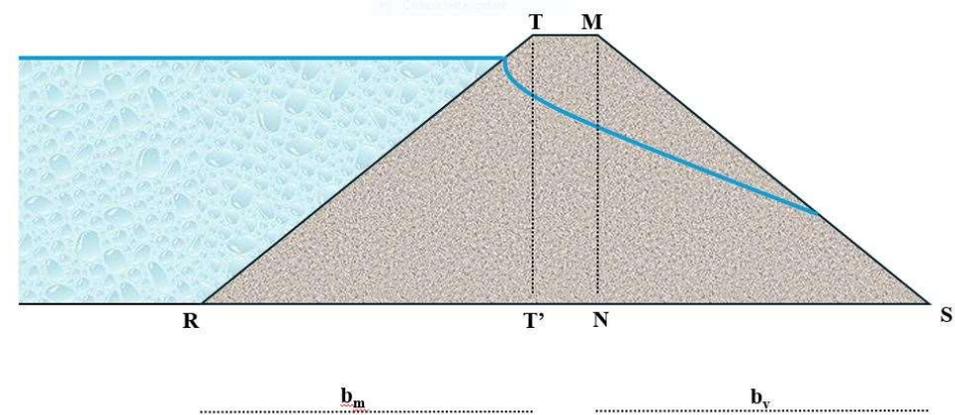
- F_o azione sismica orizzontale della massa strutturale
- F_v azione sismica verticale della massa strutturale
- F_T spinta del terreno a monte della sezione MN

dove avremo:

$$F_o = K_h M_{RTMSR} \quad \text{con} \quad K_h = \frac{\beta_s \alpha_{max}}{g} \quad (\text{min } 0,07)$$

$$F_v = m F_o \quad \text{con} \quad m = 0,5$$

$$F_T = \frac{\gamma_u H_1^2 t g^2 (45 - \frac{\varphi}{2})}{2}$$



L'azione resistente risulta invece essere

$$R_m = A_{RTMSR} \gamma_u t g \varphi + c' b_m$$

La verifica si ha se $\eta = R_m / T_m \geq 1.3$

SERBATOIO RAPIDAMENTE SVUOTATO MAX-MIN

La situazione più pericolosa si presenta quando l'invaso resta per lungo tempo pieno, e quindi viene rapidamente svuotato; in tal modo viene a mancare l'azione di sostegno esercitata dalla spinta idrostatica contro il paramento a monte, mentre il corpo arginale, che non ha avuto tempo di svuotarsi per filtrazione, resta imbevuto d'acqua.

Si considera a vantaggio della sicurezza la parte di monte RTMNR dell'argine.

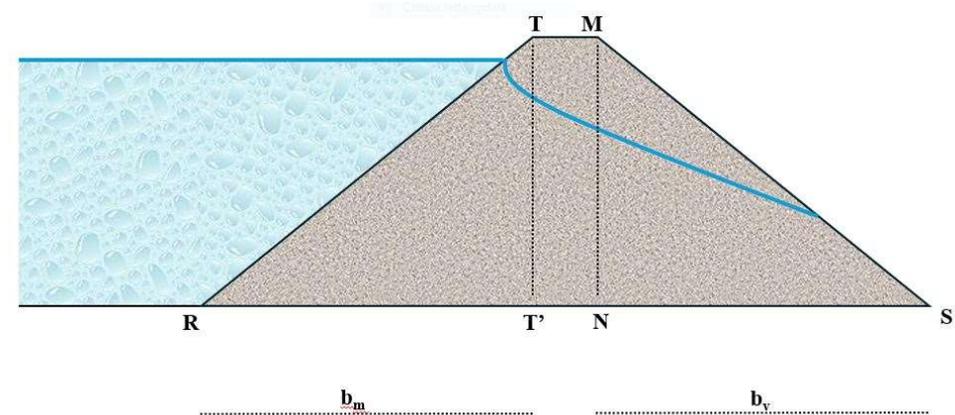
La condizione di verifica viene espressa dalla disuguaglianza tra azioni sollecitanti e azioni resistenti: $T_m \leq R_m$

T_m rappresenta lo sforzo totale di taglio agente sulla base RN e risulta

$$T_m = \frac{\gamma_s H_1^2 t g^2 (45 - \frac{\varphi}{2})}{2} + \frac{\gamma_w (\frac{2}{3} H^2)}{2} + K_h A_{RTMNR} \gamma_g$$

Mentre l'azione resistente offerta dall'ammasso vale

$$R_m = A_{RNMSR} \gamma_g t g \varphi$$



La verifica si ha se $\eta = R_m / T_m \geq 1.3$



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI CAGLIARI**

Sassari, 12 aprile 2024

LAGHETTI COLLINARI E BACINI DI ACCUMULO: risorsa strategica per le aziende agricole e la collettività



Grazie per l'attenzione