

In presenza di aria, la massima gittata in orizzontale di un getto idrico pieno si ha, per una serie di fenomeni che influenzano il movimento delle particelle idriche (resistenza dell'aria, tensione superficiale, ecc.), non per un angolo di inclinazione di 45° ma per una inclinazione di circa 32°; analogamente la massima altezza del getto si raggiunge con una inclinazione di circa 80°.

Da studi sperimentali, condotti da Freeman, è emerso che la gittata massima orizzontale si ottiene per inclinazioni diverse della lancia a seconda della velocità di uscita del getto dalla lancia, come indicato nella tabella sottostante.

V	8,25	11,7	14,0	26	m/s
X _{max} per α	45	40	35	34- 30	[gradi]

Considerato che per le comuni pressioni di funzionamento delle lance antincendio le velocità di efflusso del getto sono comprese nel campo 20 - 45 m/sec, Freeman stabilì che per ottenere una buona gittata orizzontale doveva essere usato un angolo di inclinazione della lancia di 32° rispetto all'orizzontale.

La determinazione della gittata massima orizzontale, con un angolo di inclinazione della lancia di 32°, può essere effettuata con la formula di Freeman:

$$X_{\max} = (h - c \cdot h^2 / D) \cdot 4/3$$

- ove:
- X_{max} = Gittata del getto (m)
 - h = Altezza di pressione a monte della lancia (m di colonna d'acqua)
 - D = Diametro del bocchello (mm)
 - c = Costante del bocchello dipendente dalla costruzione dello stesso.

Freeman trovò che per h < 50 m di colonna d'acqua e per D (mm) compreso tra 20 e 35, la costante c vale 0,11.

La formula precedente diventa così:

$$X_{\max} = (h - 0,11 \cdot h^2 / D) \cdot 4/3$$

esprime la gittata massima, ovvero la distanza tra la lancia e le gocce più lontane.

Si trascrivono, a titolo puramente informativo, in tabella, i valori sperimentali della massima altezza raggiunta dal getto idrico, con lancia tronco conica inclinata di circa 80° sull'orizzontale.

Diametro del bocchello (mm)	Pressione al bocchello in metri di colonna d'acqua									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
8	12	13	14	15	16	16	15	15	14	14
10	1	18	19	21	22	23	22	21	21	21
12	17	19	20	22	23	24	25	25	24	24
14	18	20	21	23	24	25	26	27	26	26
16	19	21	22	24	26	28	30	30	31	31
18	20	22	24	26	28	30	31	32	33	33
20	21	23	26	28	30	32	34	35	36	37
22	22	25	28	30	32	34	36	37	38	39
24	23	26	29	31	33	36	38	40	41	42
26	23	27	32	33	37	39	41	43	45	48
28	24	29	33	37	40	43	45	47	49	51
30	25	30	34	38	42	45	48	50	52	54

Altezza, in metri, raggiungibile da un getto d'acqua con lancia tronco conica inclinata di circa 80° sull'orizzontale, in funzione del diametro del bocchello e della pressione misurata, al bocchello, con il tubo di Pitot.

4.7 Perdite di carico nelle tubazioni flessibili

Per la determinazione delle perdite di carico nelle tubazioni flessibili in uso nel CNVVF si tenterà di riassumere, in forma pratica e sintetica, gli studi sperimentali che hanno portato alla determinazione di detta grandezza. Si riepilogheranno, quindi, le formule pratiche, di maggior uso, e le tabelle per la loro determinazione.

Tali formule, e in particolare i coefficienti indicati nelle relative espressioni, sono chiaramente condizionate dalle diverse tipologie di tessitura e dai materiali di impermeabilizzante utilizzati per la costruzione delle tubazioni flessibili in dotazione al Corpo Nazionale dei VV.F..

Dal tipo di filato, dal suo titolo, dalla tessitura, nonché dalla sua impermeabilizzazione dipende, infatti, la scabrezza interna della tubazione; inoltre, da molti di questi fattori dipende anche la deformabilità delle tubazioni, che con le conseguenti variazioni di sezione, lunghezza e scabrezza, fa variare in funzione delle modalità di uso delle tubazioni, le perdite di carico delle stesse tubazioni.

In uno stendimento antincendio bisogna tener conto anche delle perdite di carico localizzate che si hanno in corrispondenza dei raccordi e dei pezzi speciali (riduttori, divisori ecc.); tali perdite, oltre a dipendere dalla particolare conformazione del pezzo speciale, dipendono anche dalla deformabilità delle tubazioni flessibili, per cui si avranno, a parità di tubo usato, differenti perdite di carico per diverse pressioni di lavoro.

I parametri da cui dipendono le perdite di carico sono, come si è schematicamente tentato di riassumere, molteplici; volendo di conseguenza offrire utili indicazioni per la pratica realizzazione degli stendimenti flessibili del Corpo Nazionale VV.F., si trasformeranno i risultati degli studi teorici e sperimentali sviluppati nel tempo presso il laboratorio di Idraulica del CNVVF, in pochi dati fissi di semplice applicazione.

Consideriamo ora una **condotta orizzontale**, a sezione circolare costante, in cui l'acqua scorre con portata costante e quindi in modo uniforme. La perdita di carico in tale tubazione dipenderà dai seguenti elementi:

- a. dalla lunghezza della tubazione: la perdita di carico è direttamente proporzionale alla lunghezza della tubazione;
- b. dalla portata nella tubazione: la perdita di carico, in buona approssimazione, è proporzionale al quadrato della portata (ciò significa che quando in una condotta la portata si raddoppia la perdita di carico si quadruplica);

- c. dal diametro della tubazione: la perdita di carico è inversamente proporzionale alla quinta potenza del diametro (cioè, aumenta al diminuire del diametro, ma non linearmente). Ad esempio, a parità di tutte le altre condizioni, incrementando il diametro della tubazione da 45 a 70 mm, la perdita di carico diminuisce di circa nove volte;
- d. dalla natura della parete: la perdita di carico è tanto maggiore quanto più le pareti sono scabre. In un tubo gommato le perdite di carico sono notevolmente inferiori che in un tubo non gommato.

La dipendenza della perdita di carico dai parametri prima visti, si esprime con la seguente formula:

$$H = K (Q^2 / D^5) L$$

ove:

- H** = perdita di carico (m)
- L** = lunghezza tubazione (m)
- D** = diametro interno della tubazione (m)
- Q** = portata fluente nella tubazione (m³/sec)
- K** = coefficiente sperimentale

Sperimentalmente si sono ottenuti, per le tubazioni flessibili in dotazione al Corpo Nazionale dei VV.F., i seguenti valori medi del coefficiente **K**:

- *TUBAZIONI IN FIBRE SINTETICHE DI POLIESTERE CON INTERNO IN GOMMA*
 $K_{\text{medio}} (45 \text{ e } 70) = 0,0015 - 0,0020$
- *TUBAZIONI IN CANAPA PRIVE DI RIVESTIMENTO INTERNO*
 $K_{\text{medio}} (45) = 0,0042$
 $K_{\text{medio}} (70) = 0,0034$

Queste formule e le relative determinazioni sperimentali hanno il loro punto debole nel fatto che non si tiene conto dell'elasticità delle tubazioni antincendio, caratteristica che determina la variazione del diametro e della lunghezza della tubazione, al variare della pressione di lavoro, con conseguente variabilità dei valori del coefficiente **K**.

Le perdite di carico dipendono quindi anche dalla pressione di lavoro; naturalmente, tale dipendenza è tanto maggiore quanto maggiore è l'elasticità della tubazione antincendio. Per le tubazioni corrugate di aspirazione si può in prima approssimazione assumere un valore indicativo $K = 0,0035 - 0,0050$

4.8 Apparecchiature per la formazione della schiuma

4.8.1 Generalità

Il processo di formazione ed applicazione delle schiume si realizza in **tre fasi distinte**:

- a. miscelazione del liquido schiumogeno con acqua;
- b. generazione della schiuma;
- c. distribuzione.

Generalmente, le due ultime fasi avvengono nello stesso dispositivo; con alcune tipologie di attrezzature portatili, tutte le fasi precedentemente viste si realizzano, invece, nel medesimo strumento.

Relativamente alla prima fase, esistono due differenti metodiche per ottenere una soluzione schiumogena, di fissata concentrazione, disponendo inizialmente di un determinato volume di liquido schiumogeno concentrato, da prelevare ed immettere nel getto d'acqua.

Queste si fondano su:

- a. utilizzo dell'energia di pressione dell'acqua per introdurre il concentrato di liquido schiumogeno, per azione Venturi, attraverso orifici calibrati;
- b. utilizzo di pompe esterne per iniettare il concentrato di liquido schiumogeno nel getto d'acqua, ad un determinato rapporto di portate.

Nel seguito, si descrivono le principali attrezzature usate nella pratica antincendio, con particolare riferimento a quelle portatili.

4.8.2 Miscelatori

Le tipologie di miscelatori utilizzati nella pratica antincendio sono i seguenti:

Proporzionatore o miscelatore di linea

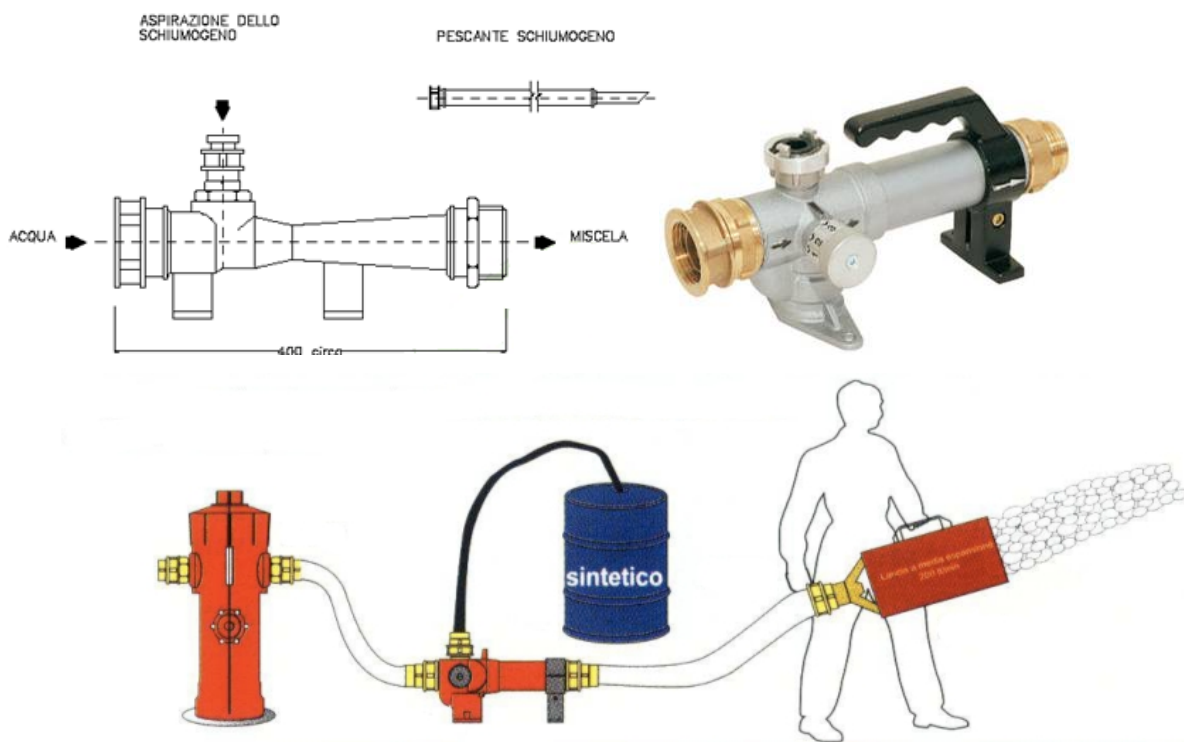
Questo tipo di proporzionatore richiama, per l'effetto Venturi di depressione, il concentrato schiumogeno direttamente dal contenitore e lo inietta nel flusso d'acqua.

Si utilizza, quindi, la pressione della corrente che fluisce nella tubazione antincendio, lungo la quale è installato l'apparecchio. Il suo corretto funzionamento è influenzato dalle

variazioni di velocità e di pressione dell'acqua in transito, i cui valori non devono scostarsi apprezzabilmente da quelli propri di progetto.

Questi proporzionatori non possono essere inseriti in un punto qualsiasi della tubazione che porta al generatore di schiuma.

Nel loro posizionamento si dovrà considerare, in particolare, la distanza dalla pompa alimentatrice e la distanza dalla lancia erogatrice, visto che il dispositivo funziona per effetto Venturi.



Le caratteristiche tecniche dei miscelatori di linea sono, indicativamente, trascritte in tabella:

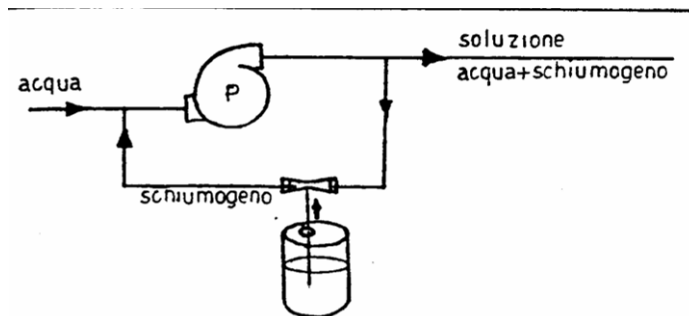
Raccordo	Portata idrica
Uni 45	200 lt/min
Uni 45/70	400 lt/min
Uni 70	800 lt/min

Nella realizzazione degli stendimenti antincendio si dovranno usare miscelatori di linea con caratteristiche di portata uguali a quelle delle lance erogatrici, le cui caratteristiche sono trascritte nei paragrafi che seguono.

Premescolatori

Anche questo tipo di miscelatore si basa sull'effetto Venturi di depressione e lavora in parallelo alla pompa di rilancio, tra la condotta di aspirazione e quella di mandata.

Una piccola parte dell'acqua fluisce attraverso la linea di derivazione, realizzata tra la condotta di mandata e quella di aspirazione, passando attraverso un premescolatore o venturimetro che aspira il liquido schiumogeno da un contenitore, per effetto della depressione che si realizza al suo interno.

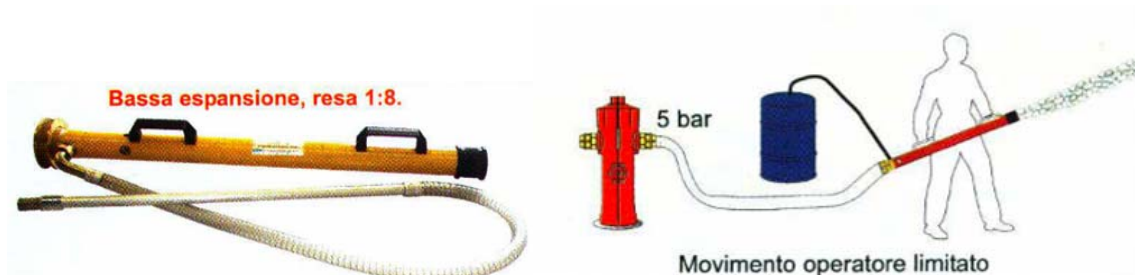


Premescolatore in parallelo alla pompa di trasferimento

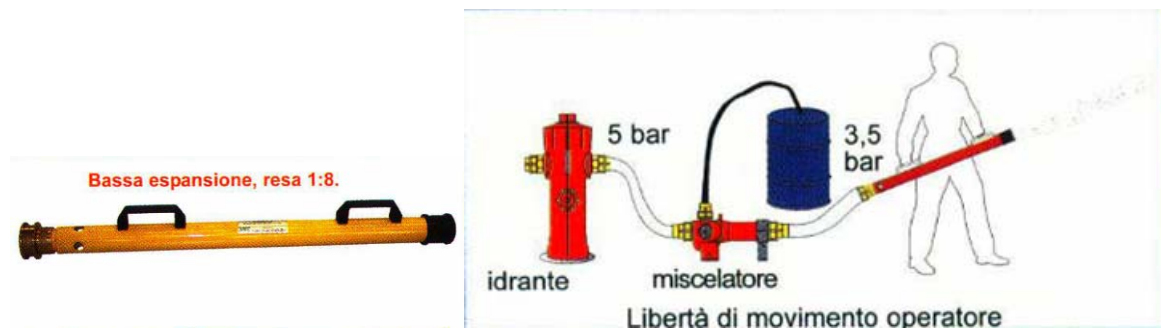
Lance miscelatrici

Sono speciali lance generatrici di schiuma che portano un sistema Venturi modificato, che richiama lo schiumogeno da un contenitore portatile. In queste lance si realizzano tutte le tre fasi necessarie per la formazione della schiuma (miscelazione, generazione, distribuzione).

Presentano l'inconveniente di dover spostare il contenitore con lo schiumogeno, ogni qualvolta l'operatore vuole cambiare la posizione rispetto l'incendio a differenza delle lance senza miscelatore collegate ad un miscelatore di linea che semplifica i movimenti dell'operatore.



lancia con miscelatore incorporato



lancia priva di miscelatore

Le lance possono essere classificate in funzione del **rapporto di espansione (r.e.)**. Il rapporto di espansione di una schiuma è dato dal rapporto tra il volume di schiuma ottenuto ed il volume iniziale di soluzione (acqua più liquido schiumogeno) utilizzato.

In relazione ad esso, le schiume vengono classificate nelle norme specifiche come segue:

- schiume ad alta espansione: r.e. maggiore di 200
- schiume ad media espansione: r.e. maggiore di 20 ma minore di 200
- schiume a bassa espansione: r.e. minore di 20

Pertanto esistono **lance a bassa espansione**, viste nella foto precedenti, **lance a media espansione** con r.e. superiore da utilizzare nel caso in cui è necessaria una maggiore produzione di schiuma.



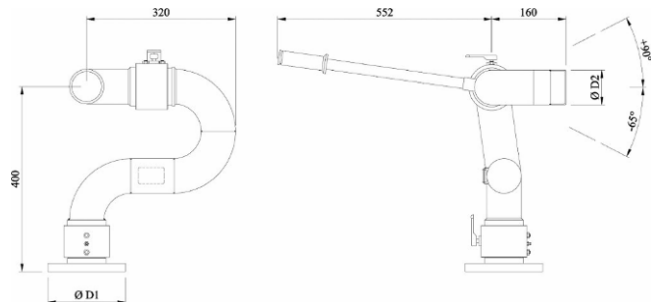
Infine ci sono i **generatori ad alta espansione** in grado di produrre notevoli volumi di schiuma molto espansa utilizzando, quindi, portate d'acqua limitate in rapporto alla quantità di schiuma prodotta.



Monitori

Nelle operazioni di spegnimento di liquidi infiammabili si rende necessario, a volte, l'uso di lance ad elevata portata per l'applicazione di schiuma su aree non facilmente raggiungibili. Si ricorre in questi casi ai cosiddetti monitori o cannoncini a schiuma, che sono capaci di dirigere il getto fino a distanze considerevoli, purchè adeguatamente alimentati in termini di pressione e portata.

Esistono svariati tipi di monitori dotati di ruote e supporti regolabili, che possono essere alimentati direttamente con soluzioni schiumogene (acqua + schiumogeno), ovvero possono aspirare direttamente il liquido schiumogeno come le lance portatili.



E' utile notare, da ultimo, che nelle normative internazionali del settore vengono trattati, in maniera separata, sia gli aspetti relativi alla natura ed alle prove di caratterizzazione che gli aspetti relativi all'impiego ed utilizzo dei liquidi schiumogeni antincendio.

In questa maniera, è possibile distinguere le norme di prodotto dalle norme di impianto.

Ove possibile, le norme di prodotto tendono a considerare aspetti direttamente o indirettamente collegati alle norme di impianto.

Così, ad esempio, le specifiche dell'Unione Europea relative alle prove sui liquidi schiumogeni sono suddivise attualmente in quattro parti, a seconda che si tratti di:

- liquidi schiumogeni concentrati a media espansione per applicazione superficiale su liquidi immiscibili con acqua;
- liquidi schiumogeni concentrati ad alta espansione per applicazione superficiale su liquidi immiscibili con acqua;
- liquidi schiumogeni concentrati a bassa espansione per applicazione superficiale su liquidi immiscibili con acqua;
- liquidi schiumogeni concentrati a bassa espansione per applicazione superficiale su liquidi miscibili con acqua.

4.9 Test di autovalutazione n. 4



Domanda n.1

La formula corretta per il calcolo delle perdite di carico continue P_c per tubo lungo L e di diametro D in cui scorre una portata Q è:

- a) $P_c = \beta^2(Q/D)L$
- b) $P_c = \beta (Q^2/D^5)L$
- c) $P_c = \beta (D^2/Q^5)L^2$

Domanda n.2

In base alla formula di Darcy, per una determinata tubazione (costanti β , D e L), la perdita di carico:

- a) varia con il cubo della portata
- b) è inversamente proporzionale alla portata
- c) varia con il quadrato della portata

Domanda n.3

Il rapporto di espansione di una schiuma è dato:

- a) dal rapporto tra il volume di schiuma ottenuto ed il volume iniziale di soluzione utilizzato
- b) dal rapporto tra il volume iniziale di soluzione utilizzato ed il volume di schiuma ottenuto
- c) dal prodotto tra il volume di schiuma ottenuto ed il volume iniziale di soluzione utilizzato

Domanda n.4

Il ruolo maggiore nella resistenza allo scoppio di una tubazione viene quindi svolto:

- a) Dalla trama
- b) Dall'ordito
- c) Ugualmente da entrambi

Domanda n.5

La lunghezza delle tubazioni di aspirazione è:

- a) 20 metri
- b) 3 – 4 metri
- c) 10 metri

Domanda n.6

Il materiale utilizzato per la costruzione dei raccordi è

- a) acciaio
- b) ghisa
- c) ottone

Domanda n.7

Nelle lance miscelatrici si sfrutta il principio idraulico di:

- a) Torricelli
- b) Venturi
- c) Bernoulli

Domanda n.8

I monitori servono:

- a) Per raggiungere con la schiuma punti più lontani
- b) Per l'utilizzo di schiuma nelle immediate vicinanze dell'operatore
- c) Per monitorare la corretta espansione della schiuma.

5 IDRAULICA APPLICATA ANTINCENDI

5.1 Premessa

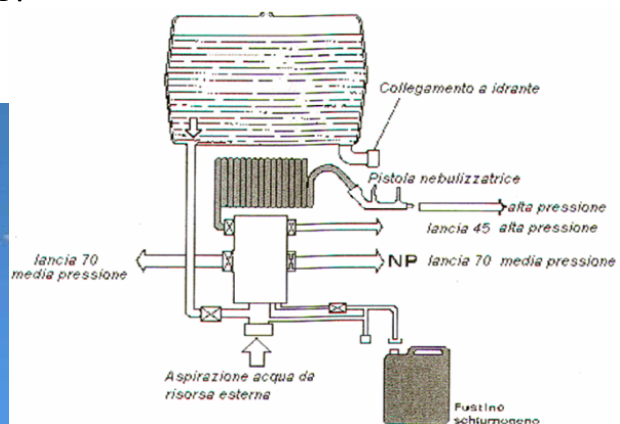
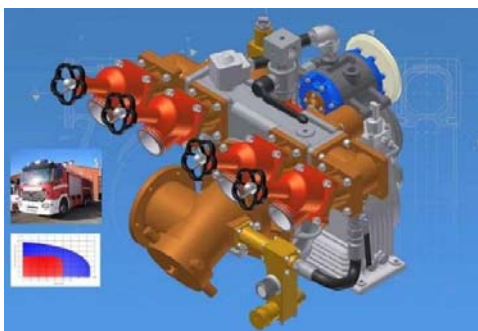
Questa sezione, che farà riferimento ai materiali attualmente in uso nel Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco ed alle relative sperimentazioni effettuate presso il Laboratorio di Idraulica Applicata di Capannelle (Roma), si propone di dare utili indicazioni per il rapido, e quanto più preciso, calcolo idraulico di uno stendimento antincendio, riducendo i molteplici fattori che intervengono nel calcolo idraulico, a poche variabili da considerare nella sua determinazione.

Le portate fluenti all'interno di uno stendimento antincendio saranno pertanto ridotte a quattro valori specifici (**100 - 200 - 400 - 800 lt/min**), che scaturiscono dall'uso di lance a getto multiplo, da **45 e 70 mm**, in erogazione con una pressione a monte di 0,5 MPa (5 bar), dotate, all'estremità, rispettivamente di bocchelli da **9 -12 -16 - 22 mm**.

Saranno inoltre considerate solo tubazioni con diametro nominale 45 mm (da attacco dell'incendio), con portate fino a 200 lt/min, e diametro 70 mm (da trasporto), per portate fino ad 800 lt/min.

Gli stendimenti presi a riferimento sono ipotizzati realizzati con tubazioni in poliestere, con tessitura diagonale, impermeabilizzate internamente con gomma sintetica e di lunghezza totale pari ai 100 m (5 spezzoni da 20 m raccordati).

Le pressioni alla pompa saranno limitate al valore massimo di 0,8 MPa (8 bar), ipotizzando l'uso di tubazioni fortemente usurate, ed al valore massimo di 1,1 MPa (11 bar), per tubazioni in buono stato. La figura sottostante raffigura lo schema del circuito idraulico di un generico automezzo in uso nel CNVVF.



5.2 Grandezze caratteristiche delle pompe

Le grandezze che caratterizzano le pompe sono essenzialmente due: la portata e la prevalenza.

Portata di una pompa

La portata si definisce come la quantità di acqua che attraversa la pompa ed esce dalla sua mandata nell'unità di tempo. In antincendio le unità di misura utilizzate sono i litri ovvero le centinaia di litri al minuto (per le pompe "più grosse"). Per le pompe idrovore solitamente di utilizzano i metri cubi al minuto.

Prevalenza di una pompa

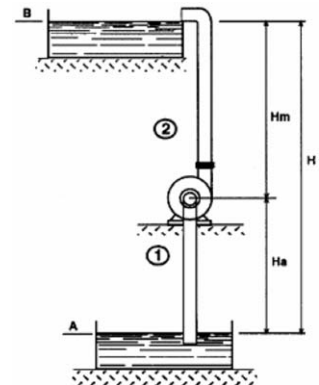
La prevalenza di una pompa corrisponde all'energia fornita ad 1 kg (equivalente ad 1 litro) di acqua per farle superare la distanza e il dislivello desiderati.

Prevalenza manometrica (bar o Atm): energia totale che la pompa trasmette all'acqua (corrisponde al valore che leggiamo sul manometro della pompa);

Prevalenza geodetica (m): energia (potenziale) della colonna d'acqua di pari altezza (H). È data dalla somma dell'altezza di aspirazione (H_a) e dell'altezza di sollevamento o mandata (H_m), ovvero il dislivello tra il pelo libero dell'acqua da pompare (A) e la quota a cui quest'ultima giunge (B).

1 = condotto di aspirazione

2 = condotto di mandata



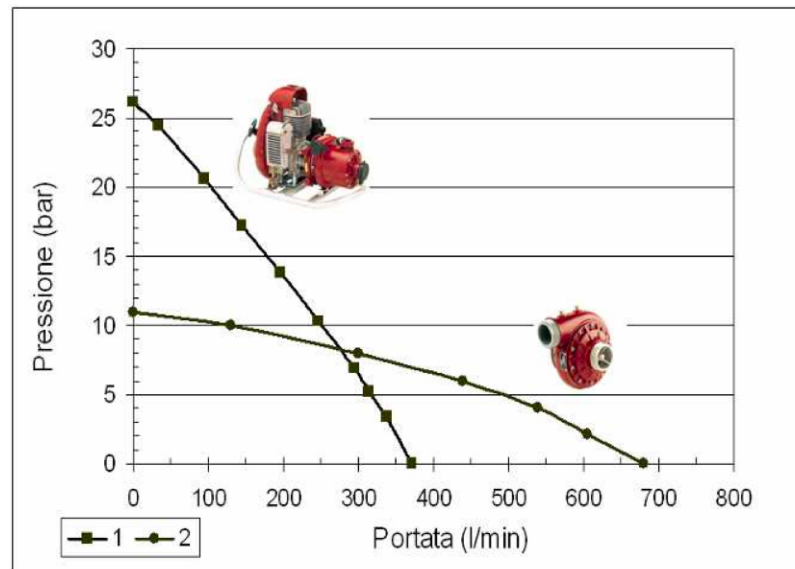
Altezza di aspirazione

In condizioni assolutamente teoriche, l'altezza di aspirazione sarebbe pari a 10,33 m, nella pratica con una pompa centrifuga non si può adescare ad un'altezza geometrica superiore a 8,5 m.

Preme sottolineare che i valori indicati dalle case costruttrici sono puramente indicativi infatti, le prestazioni effettive dipendono dalla pressione atmosferica del momento. Se con una pompa a livello del mare possiamo aspirare acqua fino a 8,5, ad un quota di 1000 m s.l.m. con la stessa possiamo, al massimo, aspirare fino a 7,5 m ($8,5 - 0,1 \times 10$).

Curva caratteristica di una pompa centrifuga

Si dice curva caratteristica di una pompa la linea che unisce i punti che ne rappresentano la portata e la prevalenza ad un determinato numero di giri. Ogni punto individua, mediante le sue coordinate, un rettangolo che rappresenta la potenza idraulica della pompa alla pressione e prevalenza date.



1: curva caratteristica della motopompa canadese Mark3

2: curva caratteristica corrispondente al gruppo 2 giranti B2

Gli stessi valori li possiamo esprimere in forma tabellare, ad esempio per la pompa 1:

Prevalenza (bar)	Portata (litri/min)
26	0
21	100
14	200
8	300
0	370

Come si può vedere, quindi, le grandezze portata, pressione e potenza di una pompa sono strettamente legate tra loro:

26 bar e 370 l/m sono, rispettivamente, la prevalenza massima e la portata massima di detta pompa.

N.B. Sono chiaramente due situazioni che non trovano applicazione pratica! Infatti il primo si riferisce all'altezza massima raggiungibile dal fluido con una portata nulla; il secondo si riferisce alla portata in corrispondenza della bocca libera della pompa, quindi con nessuna tubazione collegata.

Pompe a membrana

Sono adatte a superare altissimi dislivelli (alta prevalenza) però con portate decisamente limitate. Sono composte da un monoblocco nel quale scorrono tre o quattro pistoni comandati da una albero motore a camme.

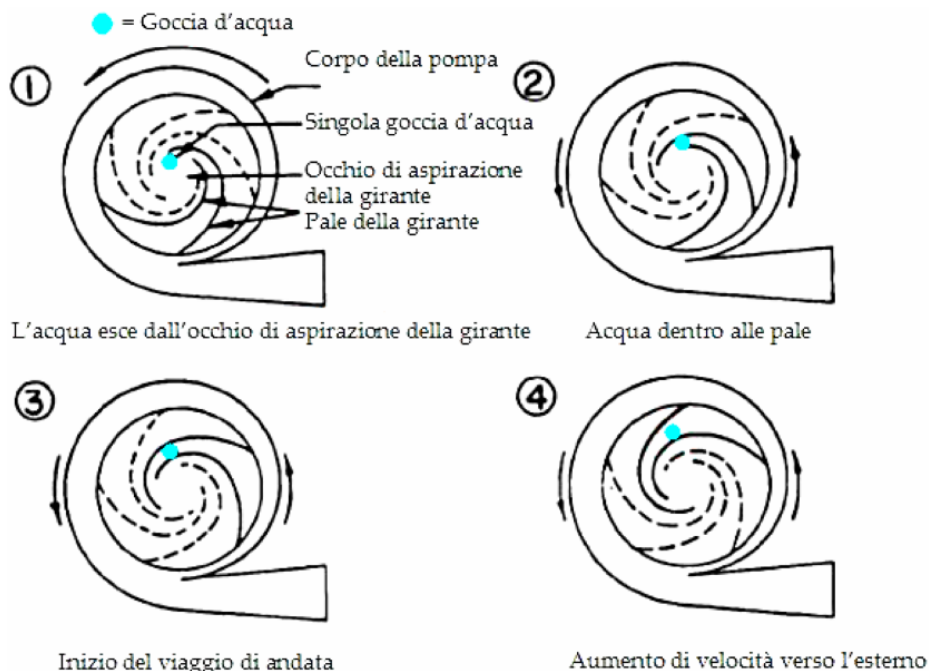


I pistoni muovendosi in modo alternato successivamente imprimono al liquido una pressione che aumenta progressivamente fino a raggiungere valori di 40-60 bar.

Pompe centrifughe

Esse possono fornire portate da pochi litri/sec. fino a parecchi m³/sec. e prevalenze di pochi metri fino a centinaia di metri.

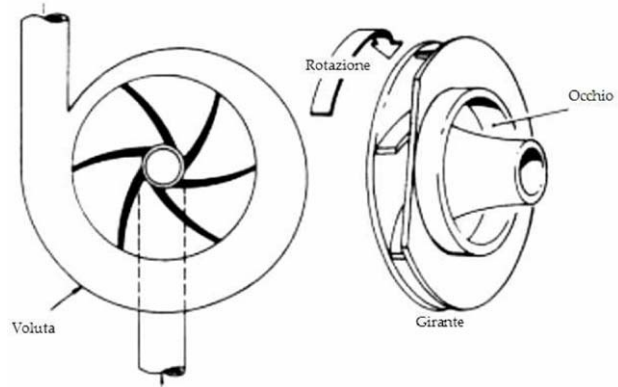
Il principio di funzionamento è molto semplice: una "girante" (ovvero un disco provvisto di palette) fissata su un albero, ruotando con esso ad un regime di rotazione piuttosto elevato, spinge l'acqua in essa contenuto verso la periferia, per effetto della forza centrifuga che si sviluppa durante la rotazione.



Il liquido, effluendo verso la periferia, produce una depressione nel centro della girante e richiama altro liquido dalla tubazione di aspirazione.

Una "carcassa", a forma di sezione di chioccia gradualmente crescente nel senso della rotazione, circonda, nei modelli più semplici, la girante e convoglia l'acqua verso la tubazione di mandata.

Una carcassa di questo tipo è definita "a voluta": essa permette all'acqua che vi scorre, per effetto del rallentamento della velocità dovuto all'aumento di sezione, la graduale trasformazione dell'energia cinetica in energia di pressione.



Nella carcassa della pompa sono ricavate la bocca di aspirazione (occhio della pompa) e quella di mandata.

Le pompe a membrana sono autoadescanti in quanto a differenza di quelle centrifughe non necessitano di sistemi ausiliari di adescamento per l'aspirazione iniziale e lo svuotamento di tubi di aspirazione dell'aria in essi contenuta.

Le pompe centrifughe, invece, devono essere vuote assistite. In alcune il sistema si limita ad una valvola di non ritorno tra il corpo pompa e il tubo di aspirazione (in questi casi si deve semplicemente riempire d'acqua con un secchio il corpo pompa), oppure vi sono sistemi che utilizzano i gas di scarico o altri che prevedono l'installazione di una pompa chiaramente di tipo alternativo, dedicata al solo adescamento.



Classificazione delle pompe antincendio

Vengono individuate da due numeri separati da una barra: es 16/8, 8/8, 8/5 ecc. Il primo indica la portata in centinaia di litri al minuto. Il secondo la pressione alla quale la pompa in questione è in grado di erogarla.

I valori indicati, che soddisfano le prestazioni richieste per la certificazione, sono inferiori al massimo ottenibile; prestazioni superiori possono essere richieste alla pompa solo per periodi limitati ed in caso di effettiva necessità.

Le pompe montate su APS e ABP sono normalmente combinate media/alta pressione e di tipo centrifugo, le prestazioni mediamente ottenibili sono le seguenti:

- solo alta pressione 400 l/min a 4 Mpa;
- solo media pressione 1900 l/min a 0,8 Mpa;
- media/alta pressione contemporaneamente 350 l/min a 4 Mpa e 1600 l/min a 0,8 MPa.

Le pompe non installate su automezzi si possono dividere in barellabili e rimorchiabili. Le prime, provviste di apposite maniglie per essere trasportate a mano, hanno un peso di 100-120 kg comunque non superiore a 200 kg.

Le seconde, più pesanti, vengono fissate su apposito carrello trainato da un autoveicolo; nei tipi rimorchiabili più leggeri la pompa può essere fissata al carrello mediante guide metalliche e disporre di maniglie per permetterne lo scarramento ed il trasporto a mano per brevi tratti (motopompe scarrabili).

5.3 Tipologia degli stendimenti antincendi

Uno stendimento antincendio non è altro che la disposizione data alle tubazioni flessibili antincendio da 45 e da 70 mm per trasportare l'acqua alle lance.

La realizzazione di uno stendimento può schematicamente avvenire con le seguenti modalità:

- con tubazioni di diametro 45 mm, collegate ad un idrante o ad un gruppo pompa, con all'estremità le lance di erogazione, in questo caso non è consigliabile, di regola, superare i 60 metri di lunghezza dello stendimento;
- con tubazioni di diametro 70 mm, collegate ad un idrante o ad un gruppo pompa, con all'estremità le lance di erogazione;
- con tubazioni di diametro 70 mm che alimentano, attraverso i divisori e ulteriori tubazioni flessibili, preferibilmente da 45 mm, lance di erogazione.

Uno stendimento può essere quindi realizzato o con linee singole o con l'uso di divisori. Norma generale è comunque quella di distendere (particolarmente nella prima fase dell'incendio) linee singole con all'estremità lance di erogazione, specialmente se rapidi cambiamenti di situazione rendono necessario manovrare o spostare le lance senza influenzare le altre in funzionamento. L'uso di linee singole, con piccoli getti, è spesso suggerito dalla possibile scarsa disponibilità di acqua o dalla natura dell'incendio.

Altre considerazioni che spesso portano all'uso di una linea singola e non all'uso di divisori sono:

- un danno alla linea, prima del divisore, porta all'interruzione di due o più getti invece di uno solo;
- a meno di agire sulle saracinesche dei divisori, si deve ritardare l'ordine di inizio di attacco dell'incendio fino a quando tutte le linee non sono complete e le lance non sono in posizione;
- se non si tiene conto del tipo di bocchello in uso, l'impiego di una sola tubazione prima del divisore potrebbe portare a getti insufficienti.

L'uso di divisori, che è spesso evitato, si rende necessario nei seguenti casi:

- quando servono getti di piccolo diametro di facile manovrabilità (particolarmente se si deve cambiare spesso la posizione della lancia). In questo caso è preferibile stendere una linea di mandata di 70 mm e dividerla poi in linee da 45 mm;
- quando non è disponibile una lunghezza di tubazioni tale da poter realizzare linee distinte.

Le tubazioni da 45 mm sono usate con lance, capaci sia di getto pieno che frazionato, dotate di bocchelli che variano da 9 a 12 mm.

In questo caso il complesso lancia - tubazione è molto maneggevole ed è particolarmente adatto per l'uso in incendi di uffici o di alberghi e comunque quando è necessario muoversi, con facilità, nell'interno delle stanze di un edificio. In questi casi è sempre preferibile l'uso di due o tre lance da 45 mm con tubazioni del relativo diametro, in luogo di uno stendimento (tubazione + lancia) da 70 mm.

L'uso delle tubazioni con lance terminali da 70 mm, dotate di bocchelli che variano da 16 e 22 mm, è invece fondamentale quando bruciano grandi quantità di materiali e non è possibile entrare nel fabbricato. L'uso di queste lance trova giustificazione nelle seguenti considerazioni:

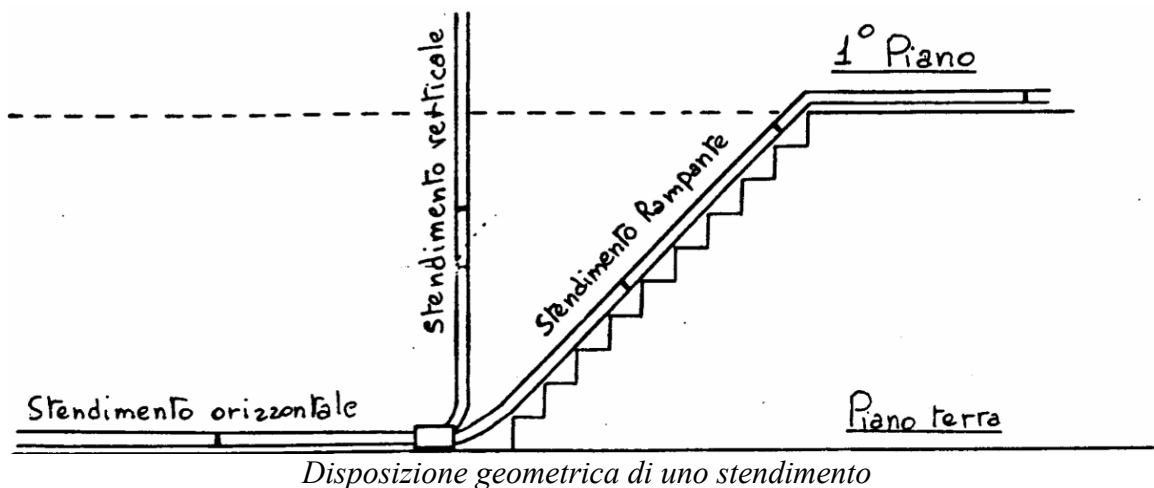
- maggiore assorbimento di calore per la forte portata idrica erogata (da 400 a 800 lt/min.);

- maggiori gittate, a parità di pressione a monte della lancia (per le maggiori dimensioni dei bocchelli), che consentono di raggiungere i materiali che stanno bruciando tenendosi a debita distanza dall'incendio.

Per le ragioni prima viste e per il fatto che le tubazioni da 70 mm comportano, a parità di portata erogata, minori perdite di carico, si utilizzano dette tubazioni, che permettono portate fino ad 800 lt/min, all'esterno dei fabbricati; all'interno dei locali si usano, invece, tubazioni da 45 mm, che permettono portate fino a 200 lt/min.

Dopo queste considerazioni sull'uso di linee singole o di linee con divisori diametro ora una possibile classificazione di uno stendimento antincendio in relazione alla sua disposizione piano-altimetrica. Si possono individuare le seguenti possibili nomenclature:

- stendimento orizzontale** - quando le tubazioni sono posate su un suolo piano o su un pavimento;
- stendimento verticale** - quando la tubazione si eleva verticalmente lungo una gabbia di scale o lungo un muro;
- stendimento rampante** - quando esso varia di quota sui gradini di una scala o su di un terreno molto inclinato.



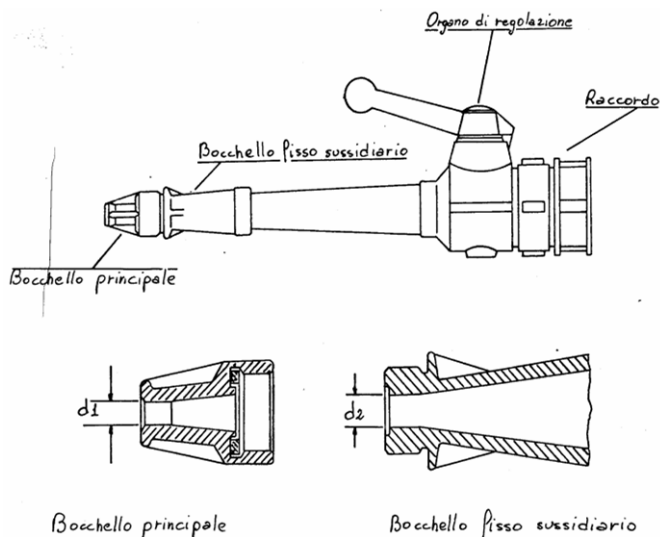
Nel caso di tubazioni distese all'interno di un fabbricato, la lunghezza dello stendimento da computare, per piano, deve essere dell'ordine di 4 metri, per uno stendimento verticale, e di 8 metri per uno stendimento rampante.

5.4 Prestazioni di lance e tubazioni flessibili

Per una pratica determinazione delle caratteristiche idrauliche di uno stendimento antincendio è necessario conoscere le portate che mediamente fluiranno al suo interno. Le portate che transiteranno nelle tubazioni saranno correlate al tipo di lancia applicata all'estremità dello stendimento, al bocchello usato nonché alla sua pressione di lavoro.

Quest'ultimo parametro è di rilievo ai fini dell'efficacia dell'azione esercitata sull'incendio, considerato che una lancia per avere una buona capacità di estinzione deve funzionare con a monte una determinata pressione idraulica; se la pressione va al di sotto di detto valore caratteristico, oltre ad una diminuzione della sua portata idrica, avremo anche una diminuzione della capacità estinguente del getto erogato, sia pieno che frazionato.

Attualmente, il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco utilizza, di regola, lance idriche a getto variabile con regolazione ottenuta mediante un rubinetto o dispositivo multifunzione: il funzionamento ottimale di queste lance si ha per una pressione, subito a monte della stessa, in genere dell'ordine di 0.5 MPa (5 bar).



Questa tipologia di lancia antincendio è dotata di un bocchello avvitabile, detto principale, che tolto, permette alla lancia di funzionare con il proprio bocchello di diametro maggiore, detto fisso sussidiario.

Con la pressione, all'ingresso del corpo lancia, pari a 0,5 MPa (5 bar) la portata erogata dal dispositivo è, sia per getto pieno che per getto frazionato, pari a:

- a. lancia da 45 mm con bocchello 9 mm \Rightarrow 100 lt/min
- b. lancia da 45 mm con bocchello 12 mm \Rightarrow 200 lt/min
- c. lancia da 70 mm con bocchello 16 mm \Rightarrow 400 lt/min
- d. lancia da 70 mm con bocchello 22 mm \Rightarrow 800 lt/min

I valori di portata indicati sono per diametri di bocchello nominali e rappresentano dei valori massimi, arrotondati per comodità di calcolo.

Nel calcolo pratico di uno stendimento antincendio, con lance terminali del tipo a getto regolabile, come quelle precedentemente descritte, si fissa costante, e pari a 0,5 MPa (5

bar), il valore della pressione subito a monte della lancia; questo avrà come conseguenza che le portate erogate dal dispositivo avranno valori variabili (a seconda del tipo di lancia/bocchello utilizzato) da 100 l/min al valore massimo di 800 l/min.

Di conseguenza, se la lancia eroga una certa portata, la stessa portata fluirà nelle condotte, sia di mandata che di aspirazione; da tale assunto si ricava che le perdite di carico da prendere in considerazione sono relative alle portate caratteristiche di: **100 - 200 - 400 e 800** lt/min.

Si ricorda che le perdite di carico della tubazione flessibile sono variabili, oltre che con la portata, con il tipo, il diametro e la lunghezza della stessa tubazione. Nella tabella 7 sono indicate le perdite di carico (**PC'**), in bar, per 100 metri di tubazione flessibile da 45 e da 70 mm (5 spezzoni da 20 metri raccordi), determinate sperimentalmente nel laboratorio di Idraulica dell'ex Centro Studi.

Portata lt/min)	Perdita di carico (bar) per 100 m di stendimento con tubazione da 45 mm	Perdita di carico (bar) per 100 m di stendimento con tubazione da 70 mm
100	0,25	
200	1	
400		0,5
600		1
800		2

Dalla tabella si nota la dipendenza delle perdite di carico dal quadrato della portata; vediamo che raddoppiando la portata le perdite di carico aumentano di quattro volte.

Tali perdite di carico dipendono come detto anche dal tipo di tubazione flessibile; per la determinazione dei suddetti valori di perdita di carico sono stati considerati solo campioni rappresentativi delle tubazioni flessibili in uso nel CNVVF.

5.5 Calcolo di uno stendimento

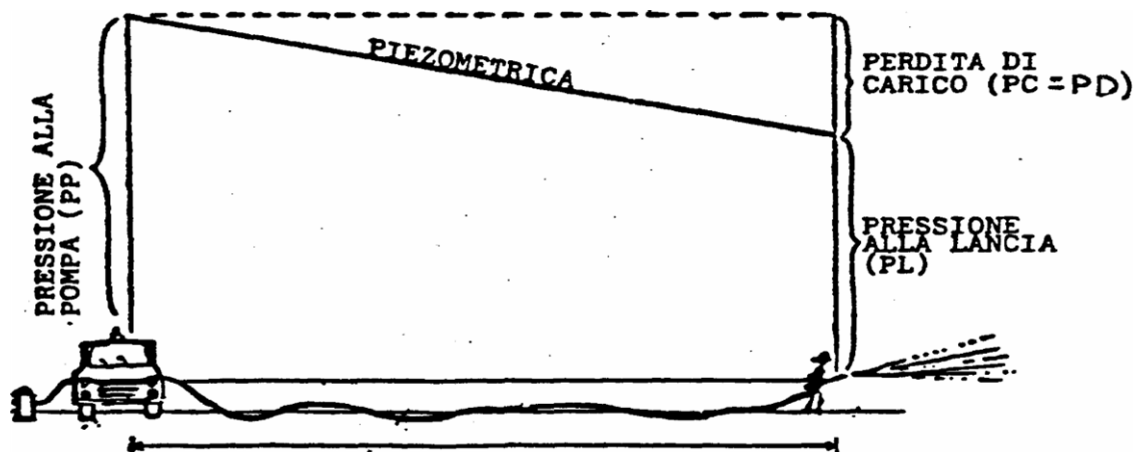
Per un calcolo rapido di uno stendimento antincendio è necessario conoscere il valore della pressione a monte della lancia di erogazione, fissato in 0,5 MPa (5 bar), e la pressione alla pompa che è ottenibile con la regolazione dell'operatore del mezzo.

Si prenderanno in esame i seguenti due valori di pressione alla pompa di erogazione:

- **8 bar** (nel caso di utilizzo di tubazioni usurate che offrono scarsa affidabilità)
- **11 bar** (nel caso che la pompa lo permetta e che le tubazioni offrano buone garanzie di resistenza).

Con il procedimento che esporremo si potrà calcolare la lunghezza massima possibile dello stendimento antincendio, una volta fissati i valori della pressione alla pompa e alla lancia di erogazione, ovvero il valore della pressione necessaria alla pompa, una volta nota la lunghezza dello stendimento e la pressione alla lancia.

Ricordiamo che la pressione disponibile alla pompa è utilizzata, nel caso di uno stendimento orizzontale, in parte per vincere le perdite di carico ed in parte come pressione residua a monte della lancia per dare al getto, sia pieno che frazionato, un'adeguata efficacia estinguente.

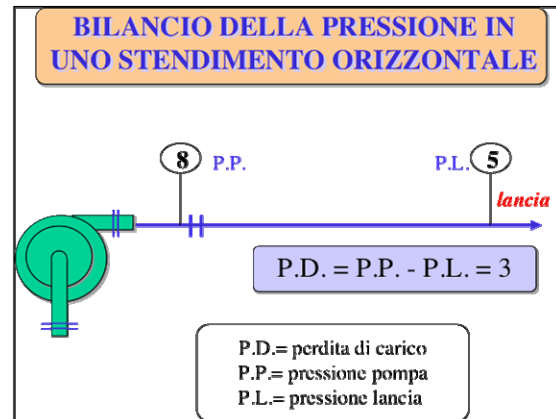


La figura è la rappresentazione grafica dell'andamento della pressione (linea piezometrica) lungo lo stendimento in orizzontale; indicando con (P.P.) la pressione alla pompa e con (P.L.) la pressione alla lancia, la pressione disponibile per le perdite di carico (P.D.), in caso di stendimento orizzontale, è data da:

$$P.D. = P.P. - PL$$

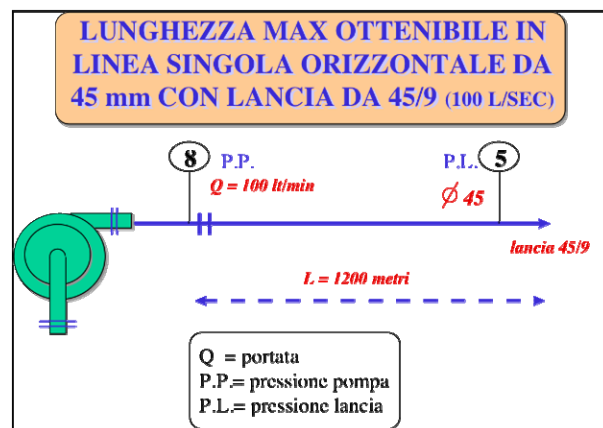
La pressione disponibile per le perdite di carico, in uno stendimento orizzontale, è pertanto pari alla differenza tra la pressione alla pompa e la pressione alla lancia.

Il valore della pressione alla lancia P.L., come precedentemente detto, sarà costante ed uguale a **5 bar** (valore che assicura, di regola, il corretto funzionamento del dispositivo) e ciò, una volta fissato il tipo e il bocchello dalla lancia, equivarrà a stabilire anche la portata che transita dello stendimento.



Il valore della pressione alla pompa **P.P.**, come già detto, varrà al massimo 8 o 11 bar; con questi valori, la pressione disponibile per le perdite di carico **P.D.** potrà assumere il valore di 3 o 6 bar.

Le perdite di carico nella tubazione, fissato come già detto il tipo di tubazione utilizzato per lo stendimento, dipendono solo dal diametro della tubazione e dalla portata fluente (dati ambedue noti) e potranno quindi ricavarsi dalla precedente tabella.



Queste perdite di carico verranno chiamate **P.C'**, ove l'indice sta a significare che sono riferite a 100 m distendimento (5 spezzoni da 20 m raccordati). A titolo esemplificativo, consideriamo uno stendimento costituito da una pompa, una tubazione da 45 mm e dalla relativa lancia di erogazione con bocchello da 9 mm.

La portata fluente, con pressione alla lancia 5 bar e bocchello 9 mm, sarà di 100 lt/min ed il valore di P.C'. (perdite di carico su 100 m) vale 0,25 bar (v. tabella precedente).

La massima lunghezza possibile di stendimento orizzontale, fissando P.P.= 8 bar e P.L.= 5 bar, potrà dedursi dalla proporzione:

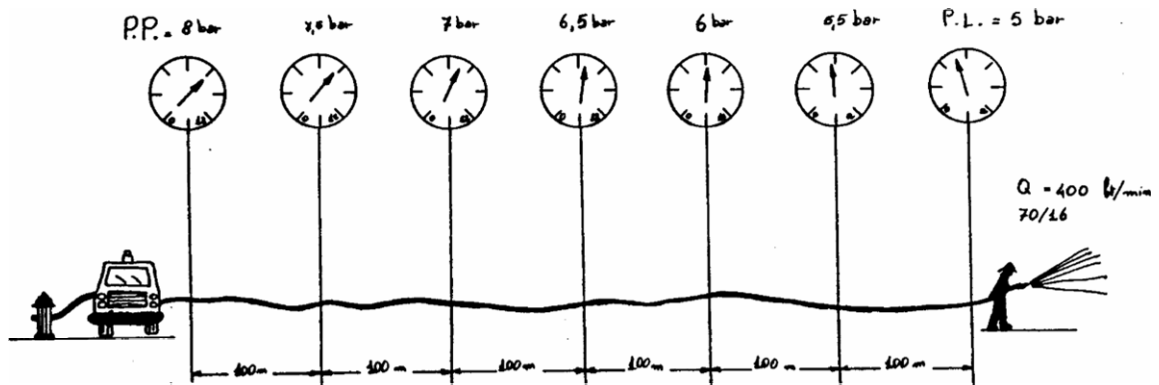
$$100/0,25 = L/3$$

$$L = 300/0,25 = 1200 \text{ m}$$

Si potrà quindi stabilire, essendo **P.D. = P.P. - P.L.**, la seguente formula generale:

$$L = (P.D./P.C'.) 100$$

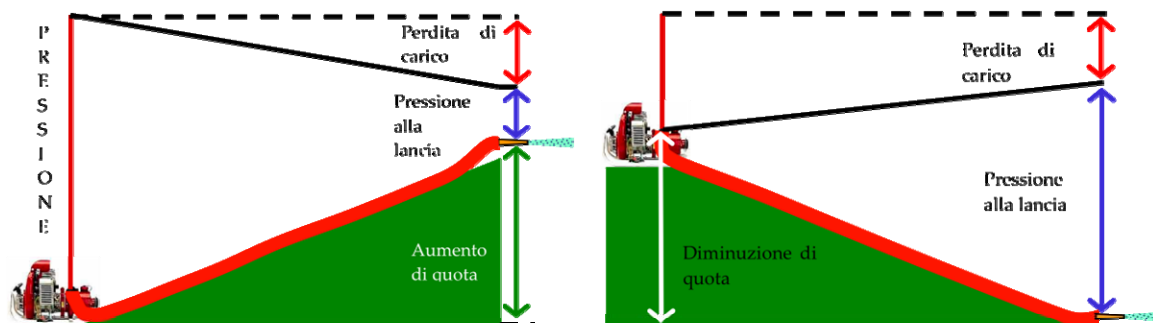
Nella figura seguente è riportato, come ulteriore esempio, l'andamento delle pressioni per il calcolo della massima lunghezza di stendimento di tubazioni da 70 mm, con lancia terminale dotata di bocchello da 16 mm.



Lo stendimento in figura è costituito da spezzoni di tubazione flessibile da 70 mm e da una lancia dotata di un bocchello da 16 mm (70/16). La lancia, per una pressione a monte di 5 bar (P.L.), eroga una portata da 400 lt/min che determina, in una tubazione da 70 mm, una perdita di carico di 0,5 bar ogni 100 m ($P.C' = 0,5 \text{ bar}$).

I valori della pressione in condotta sono indicati dalle lancette dei manometri; si nota un decadimento costante della pressione dal valore di 8 bar (P.P.) a 5 bar (P.L.) in 600 m di stendimento.

Nel caso di aumento di quota della lancia rispetto alla pompa, cioè nel caso di uno stendimento rampante o verticale, abbiamo che una parte della pressione disponibile (P.D.) dovrà essere utilizzata per l'innalzamento di quota, che indicheremo con (P.Q.); pertanto, solo la pressione residua data da (P.D. - P.Q.) potrà essere utilizzata per vincere le perdite di carico (P.C.).

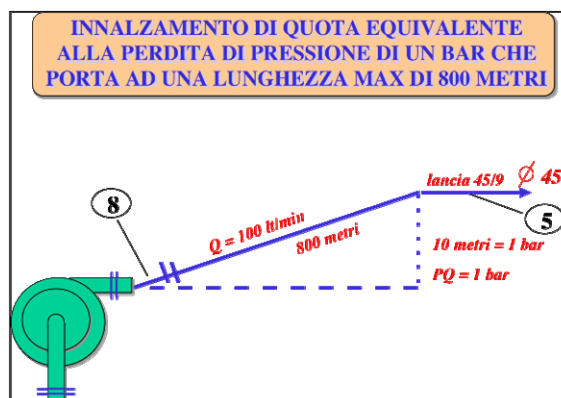


È evidente che, nel caso di mandate in discesa, il dislivello non rappresenta più un problema in quanto la componente idrostatica è positiva e contribuisce a far aumentare la pressione alla lancia, pertanto P.Q. nella precedente espressione avrà segno positivo e non negativo.

Nel caso dell'esempio della figura (lancia 45/9) se la lancia sale, rispetto alla pompa, di 10 m avremo che, per P.P. = 8 bar e P.L. = 5 bar, alla P.D. = 3 bar dovremo sottrarre P.Q. = 1 bar. Avremo quindi la proporzione:

$$100 / 0,25 = L / 2$$

$$L = 200 / 0,25 = 800 \text{ m}$$



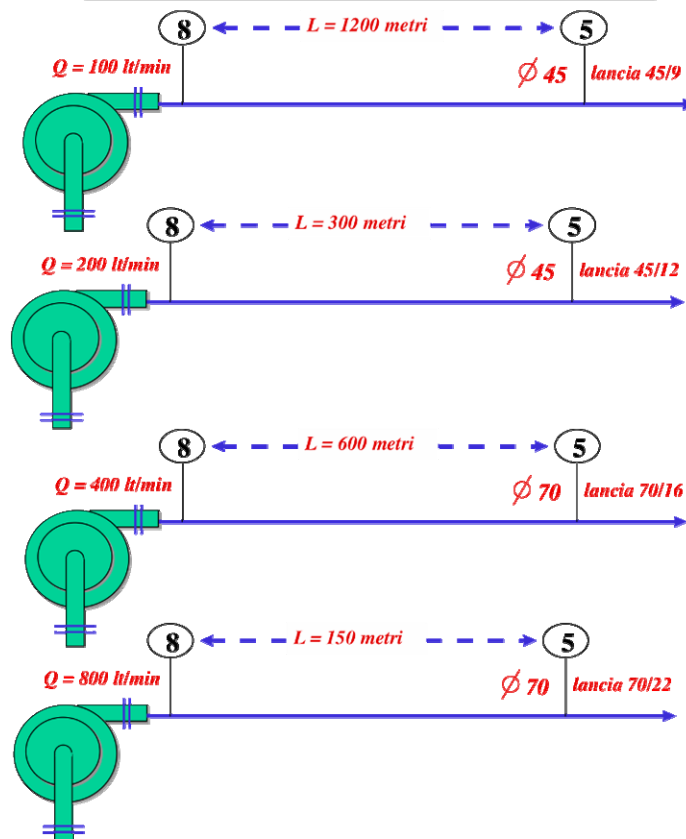
Quindi, nel caso di **innalzamento di quota** dello stendimento, dovremo adoperare la formula seguente:

$$L = [(P.D. - P.Q.) / P.C.] \cdot 100$$

Dal procedimento di calcolo esposto sono state ricavate le massime lunghezze possibili degli stendimenti orizzontali del tipo linea singola.

Nella figura sono state riportate il tipo di lance ed il relativo bocchello, il diametro della tubazione, la portata fluente nello stendimento ed in alto la massima lunghezza ottenuta.

LUNGHEZZA MAX DI STENDIMENTI A LINEA SINGOLA ORIZZONTALE



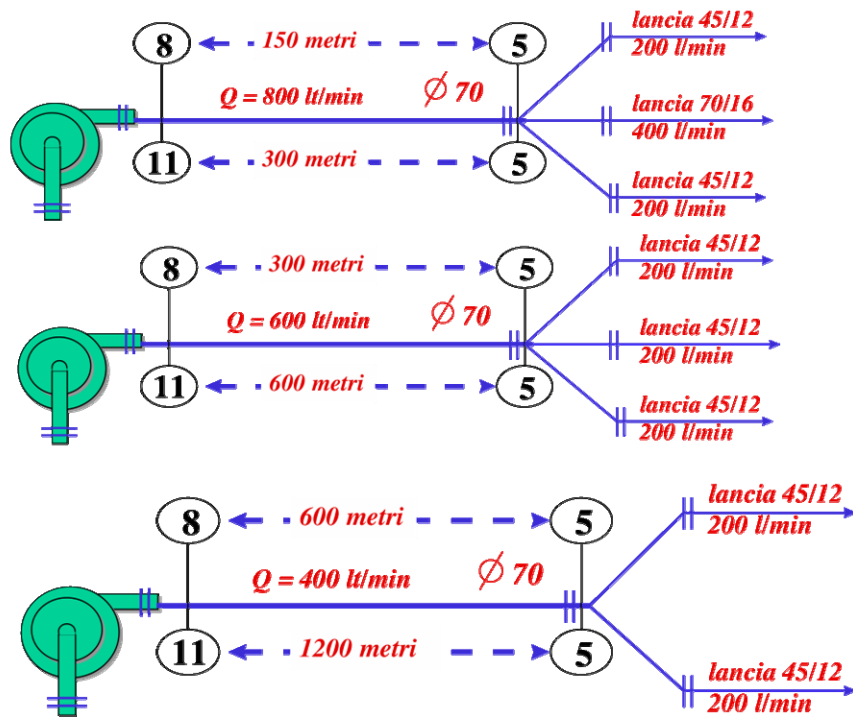
Nel caso che la pressione alla pompa sia portata al valore di 11 bar si raddoppiano le massime lunghezze disponibili dello stendimento, dato che la pressione disponibile si raddoppia

$$P.D. = 11 - 5 = 6 \text{ bar}$$

Nella figura seguente riportiamo gli stendimenti orizzontali con divisore di maggiore uso con accanto le massime lunghezze possibili calcolate. In questo caso è stata effettuata una esemplificazione nel trascurare le perdite di carico nelle tubazioni dopo il divisore e nel considerare la pressione nel divisore uguale a quella a monte della lancia.

Ciò è reso possibile dalla considerazione che normalmente il trasporto dell'acqua avviene con tubazioni da 70 mm. e che le lunghezze di tubazione dopo il divisore sono in genere di breve lunghezza.

LUNGHEZZA STANDARD ORIZZONT. CON DIVISORE
 (max lungh. ottenibili con pressioni pompa di 8 e 11 bar)



5.6 Test di autovalutazione n. 4



Domanda n.1

Le tubazioni da 45 mm vengono usate per trasportare quantità d'acqua:

- a) fino a 600 – 800 litri al minuto
- b) fino a 100 – 200 litri al minuto
- c) superiori a 1000 litri al minuto

Domanda n.2

Le tubazioni da 70 mm vengono usate per trasportare quantità d'acqua:

- a) fino a 600 – 800 litri al minuto
- b) fino a 100 – 200 litri al minuto
- c) superiori a 1000 litri al minuto

Domanda n.3

Nella formazione delle condotte in pressione, il maschio filettato:

- a) deve essere sempre rivolto verso l'incendio
- b) deve essere sempre rivolto verso la provenienza dell'acqua
- c) deve essere sempre rivolto seguendo la stessa regola di orientamento dei tubi di aspirazione

Domanda n.4

Nella pratica l'altezza di aspirazione :

- a) È sempre pari a 10,33 metri
- b) Non raggiunge mai i 10,33 metri
- c) È maggiore di 10,33 metri

Domanda n.5

I due numeri ../. riportati come dati caratteristici di una pompa antincendio indicano rispettivamente:

- a) La portata in l/min e la pressione di erogazione
- b) la portata in centinaia di l/min e la pressione di erogazione
- c) la portata in l/min e il diametro del bocchello consigliato

Domanda n.6

Per stendimento antincendio si intende:

- a) la disposizione data alle tubazioni flessibili antincendio da 70 mm per trasportare acqua all'APS
- b) la disposizione data alle tubazioni flessibili antincendio da 45 mm per trasportare acqua alle lance
- c) la disposizione data alle tubazioni flessibili antincendio da 70 e 45 mm per trasportare acqua alle lance

Domanda n.7

Indicare in quale caso si ha la minore perdita di carico :

- a) nelle tubazioni da 45mm
- b) nelle tubazioni da 70mm
- c) nelle tubazioni da 70mm collegate tramite opportuni divisori alle tubazioni da 45mm.

Domanda n.8

Con una pressione di 5 bar a monte di una lancia da 70 mm con bocchello da 16mm, si avrà una portata erogata pari a :

- a) 200 l/min
- b) 400 l/m
- c) 800 l/min

Domanda n.9

Applicando le formule di calcolo di uno stendi mento si ottiene:

- a) Il valore della massima lunghezza possibile dello stendi mento
- b) Il valore della portata in uscita alle lance
- c) Il valore della pressione in uscita alle lance

Domanda n.10

Se si ha una pressione alla pompa di 8 bar, una pressione alla lancia, da 45mm con bocchello da 12 mm, di 5 bar, qual è la massima lunghezza di stendi mento che si può ottenere?

- a) 2400 metri
- b) 1200 metri
- c) 600 metri

6 APPUNTI DI COSTRUZIONI IDRAULICHE

6.1 Introduzione

Le costruzioni idrauliche, la cui progettazione affonda ormai in radici millenarie, sono rappresentate da tutte quelle opere presenti nel mondo in cui viviamo, che ci permettono la captazione, l'adduzione e la distribuzione dell'acqua a fini potabili, agricoli e industriali, lo smaltimento tramite opere di drenaggio, la difesa da fenomeni di carattere alluvionale.

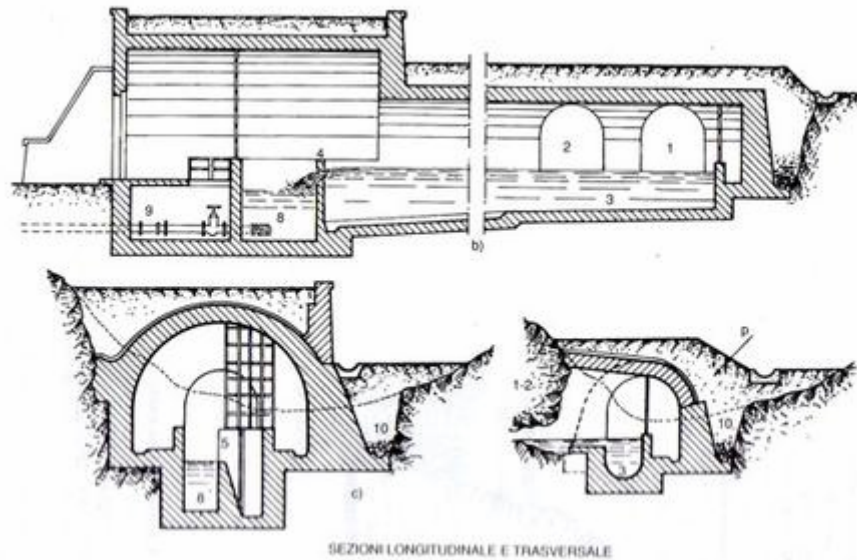
La conoscenza dei principi di funzionamento di tali opere può migliorare le tecniche di intervento da utilizzare in corrispondenza degli stessi.

6.2 Gli Acquedotti

Le infrastrutture definite Acquedotti, sono in realtà composte da parti diverse con nomenclature ben precise a seconda della loro funzione. L'acqua, di fatto, deve essere prima "presa", ad esempio da una sorgente, poi inviata verso i centri di utilizzo (ad es. una città) e infine distribuita ai vari utenti.



Tutte le opere destinate al prelievo dell'acqua dai cicli naturali (sorgenti, fiumi, pozzi, ecc) vengono definite di **captazione o di presa**. In figura viene riportata in sezione una tipica opera di captazione da sorgente.



Con il termine **adduzione**, invece, si intende il trasporto dell'acqua dalle opere di captazione alla (od alle) località di utilizzazione; mentre viene denominata **rete di distribuzione** la serie di condutture che vanno a servire il singolo utente.

Il collegamento tra la rete distributiva e le opere di captazione, può essere diretto o con interposizione di serbatoio a seconda di varie condizioni che verranno esaminate nella parte dedicata ai serbatoi.

Le opere di adduzione, come quelle di distribuzione sono costituite da **condotte o condutture**.

Una prima distinzione delle opere di adduzione viene fatta esclusivamente in base ad un criterio idraulico di grande importanza nella definizione progettuale e realizzativa del suo profilo altimetrico; si distinguono in:

- **condotte in pressione** (la parte interna della condotta è completamente riempita dall'acqua che viaggia sotto la spinta di una certa pressione). E' la tipologia più usata; l'acqua in pressione garantisce degli standard di igienicità più elevati.
- **condotte a pelo libero** (all'interno della condotta c'è sia acqua in movimento, sia aria; pertanto l'acqua si muove a pressione atmosferica spinta da una differenza di quota geodetica)

Altra importante distinzione è basata sul tipo di energia necessaria al trasporto dell'acqua.

Da questo punto di vista si suole suddividere le adduttrici in:

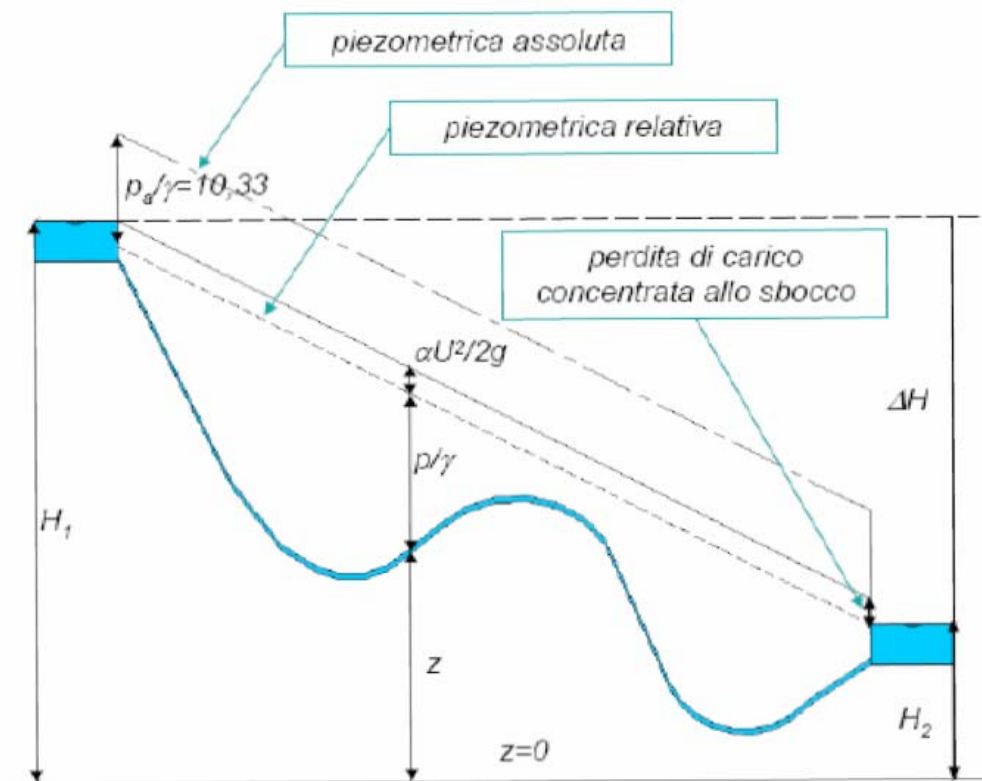
- **adduttrici a gravità**
- **adduttrici a sollevamento meccanico.**

Per la prima l'energia motrice è fornita dal peso proprio dell'acqua. Chiaramente un tale schema è possibile solo quando esiste una differenza di quota tra la posizione di partenza e quella di arrivo dell'acqua.

E' ancora da dire che detta differenza di quota deve essere sufficiente a far vincere la resistenza che incontra l'acqua nel passare per la adduttrice nella quantità d'acqua voluta.

Nel secondo caso questo dislivello o è troppo piccolo o non esiste od addirittura può essere negativo (quando la posizione di partenza è più bassa di quella d'arrivo). Sarà allora necessario conferire all'acqua l'energia occorrente per il movimento tramite organi meccanici. Di norma pompe centrifughe.

I locali che ospitano le pompe ed i loro accessori sono detti stazioni o centrali di spinta e di essi ci occuperemo in altra sede. Evidentemente le condotte a pelo libero sono compatibili solo nel caso di adduttrici a gravità.



Le condotte in pressione sono quelle più diffuse in quanto permettono il superamento di ostacoli territoriali legati alla morfologia difficilmente affrontabili con condotte a pelo libero.

Le opere di adduzione vengono generalmente schematizzate da un serbatoio alimentato direttamente dalle opere di captazione, con lo scopo di fissare il carico idraulico di partenza, e un serbatoio a servizio delle opere di distribuzione.

Il carico totale in corrispondenza di ogni punto della condotta si ottiene dal teorema di Bernoulli, come già affrontato nei capitoli precedenti:

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{U^2}{2g}$$

con

H = carico totale

z = energia di posizione

$\frac{p}{\gamma}$ = energia di pressione

$\frac{U^2}{2g}$ = energia cinetica

Nel caso in cui venga interrotta l'erogazione tramite la chiusura della condotta con una saracinesca (termine che indica un tipo di valvola di chiusura utilizzata in questi impianti), il termine di energia cinetica si annulla, in quanto non essendoci flusso la velocità è nulla, e la linea dei carichi totali raggiunge il valore massimo pari a $H_2 + \Delta H$.

In tale situazione la condotta è sollecitata alla massima pressione con l'energia di pressione pari proprio al dislivello geodetico.

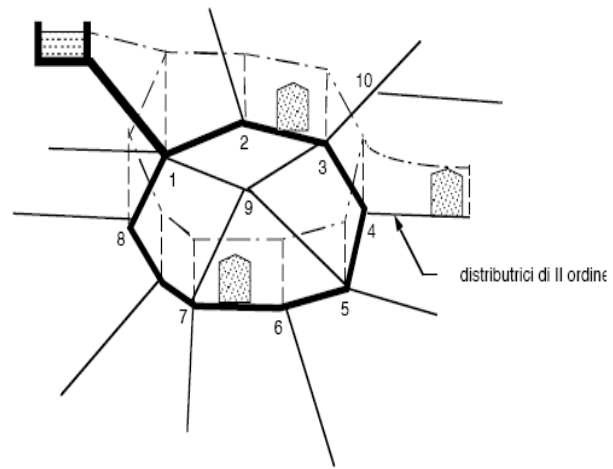
Un altro caso è quello del sollevamento meccanico utilizzato nei casi in cui il serbatoio alimentato dall'opera di captazione è a quota inferiore rispetto a quello da raggiungere con la condotta di adduzione.

L'installazione di un impianto di pompaggio fornirà un carico pari ad almeno H , in questo caso coincidente con il dislivello geodetico, più Y corrispondente alla perdita di carico lungo la condotta cosiddetta premente.

La condizione di maggiore sollecitazione della condotta si verifica in condizioni di arresto dell'impianto che se avviene in modo "brusco" provoca il cosiddetto "colpo d'ariete" che genera un'onda di pressione con possibili danni all'impianto e alla condotta. A tal scopo vengono costruite le casse d'aria, sistemi cioè, analoghi a dei polmoni di aria che dissipano tramite un diaframma l'onda di pressione generata.

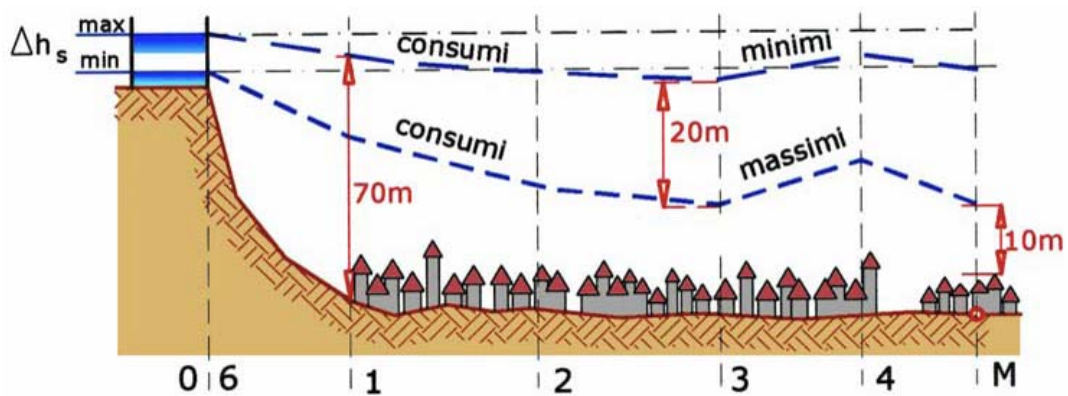
Il serbatoio raggiunto dalla condotta di adduzione rappresenta il serbatoio di testata della rete di distribuzione che serve un centro abitato. Tale rete ha generalmente forma ad anello chiuso in modo da garantire il raggiungimento di tutti punti anche quando un ramo della rete viene interrotto.

La piezometrica non presenta più un andamento rettilineo bensì si presenta come una spezzata, in quanto la portata non è costante ma varia in funzione del numero delle derivazioni delle utenze e dal consumo che varia durante la giornata (massimo diurno e minimo notturno).



Per contenere l'entità delle perdite entro i limiti di accettabilità ammessi (15-20%) si impone che la pressione massima sul piano stradale risulti inferiore a 70 m di colonna d'acqua.

Contemporaneamente, per assicurare il corretto servizio, nei periodi di massima richiesta la pressione minima sul tetto delle abitazioni, o degli edifici industriali, non deve scendere al di sotto di 10 m di colonna d'acqua.

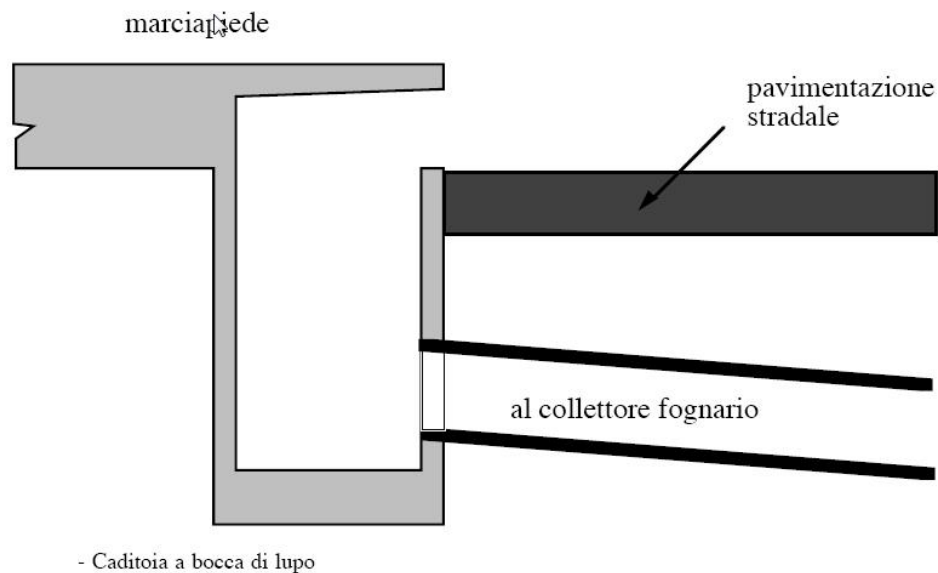


Anche le oscillazioni del carico in rete, causate della variazione della domanda d'acqua nell'arco della giornata, sono contenute entro i 15-20 m di colonna d'acqua, e questo sia per la regolarità del servizio di distribuzione idrica, sia per evitare la rapida perdita di elasticità delle guarnizioni di gomma dei giunti delle tubazioni della rete, con conseguente forte incremento delle perdite d'acqua.

Durante il periodo notturno quando la piezometrica si approssima alla linea dei carichi idrostatici, la rete subisce la maggiore sollecitazione in termini di pressione con un notevole incremento delle perdite idriche che attivando processi di filtrazione sotterranei con trasporto di particelle solide del terreno possono provocare sia cedimenti al di sotto della superficie stradale sia, in tal caso molto più pericolosi, al di sotto delle fondazioni degli edifici.

6.3 Fognature

La fognatura urbana è il complesso delle opere che servono per raccogliere le acque piovane, le acque di rifiuto domestiche, quelle delle altre utenze urbane e le acque di rifiuto industriali e condurle ad una destinazione finale (scarico o recipiente).



Si differenzia in:

- fognatura mista (o fognatura unitaria), quella che trasporta sia acque di provenienza meteorica che acque domestiche usate e liquami fecali;
- fognatura nera (o fognatura fecale), che trasporta esclusivamente acque di origine domestica, usate e liquami fecali;
- fognatura bianca (o fognatura meteorica), che trasporta acque di origine meteorica.

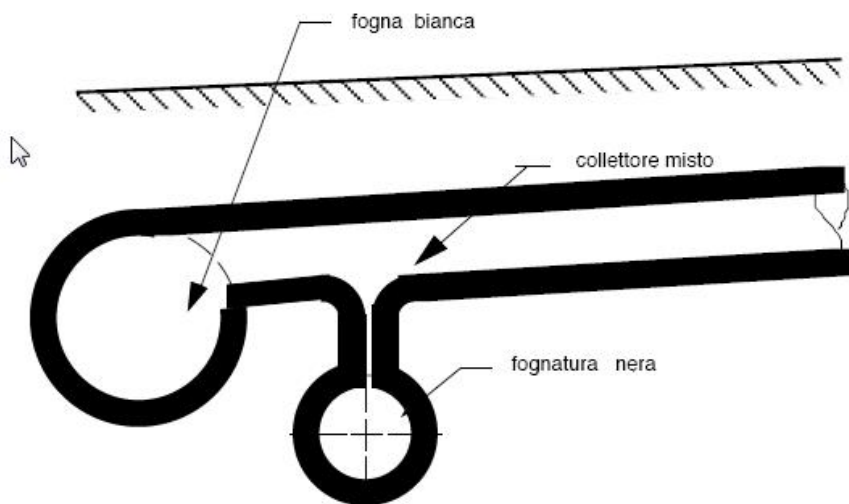
Allorquando non si ha una fognatura unitaria il sistema fognario viene detto a reti separate e si parla anche di fognature separate.

E' il caso di mettere ancora in evidenza che può sussistere un sistema fognario che fonde alcuni elementi caratteristici dell'uno e dell'altro dei sistemi sopra visti, esso è detto **sistema separatore-mista**.

Trattasi, in tal caso di una rete separata dove, prima dello scarico, una parte delle acque pluviali, quella così detta di "prima pioggia", cioè quella che ha scolato dapprima su tetti e

strade (lavandoli e caricandosi di sostanze inquinanti), viene immessa nella fognatura nera in modo da essere inviata al depuratore.

Le acque oltre la prima pioggia vengono, invece, direttamente scaricate.



Schema di un separatore delle acque di prima pioggia dalle seguenti

E' evidente che l'entità delle portate delle fognature fecali é legata alla disponibilità di acqua potabile nelle abitazioni e pertanto é legata alle portate di tale liquido, e a questo bisogna fare riferimento, tenendo tuttavia conto che, esiste una trasformazione del liquido e nel contempo una diversa distribuzione temporale tra "input" dell'acqua nelle abitazioni ed output, dalle stesse abitazioni, del liquido fognario nel quale l'acqua potabile si é in parte trasformata.

E' pertanto evidente che la stima delle portate nere deve essere legata alla conoscenza delle portate dell'acquedotto urbano col quale forma un ramo artificiale del ciclo dell'acqua che possiamo definire ciclo urbano dell'acqua qui brevemente schematizzato.

Tralasciando il calcolo della portata fecale che generalmente non subisce variazioni nei valori tali da creare criticità idrauliche al sistema, si descrive, nel riquadro *Approfondimento*, uno dei metodi utilizzati per il calcolo della portata pluviale per la progettazione delle fognature miste o separate.

APPROFONDIMENTO

Indicando con:

h : la pioggia caduta espressa in mm nel tempo **t**

t : il tempo di pioggia espresso in ore;

i : l' intensità di pioggia (cioé il rapporto h/t) espresso in in mm/h

A : la superficie del bacino sotteso della fogna (espresso in ettari [ha])

la portata fluente nella fognatura sarà, secondo il TURAZZA data dalla

$$Q = \frac{\varphi \cdot i \cdot A}{360} [\text{m}^3/\text{s}]$$

dove φ è un coefficiente unico di riduzione; si può subito osservare che tale valore della portata è così condizionata da due fattori:

φ = coefficiente di riduzione delle piogge

ed

$$i = \frac{h}{t} \text{ intensità di precipitazione}$$

entrambi estremamente importanti.

La pioggia che provoca la massima piena é quella che ha una durata pari al tempo di corrivazione (tempo che impiega una ipotetica goccia d'acqua caduta nel punto idraulicamente più distante del bacino a giungere alla sezione di chiusura dello stesso) pertanto detta i l'intensità corrispondente a tale pioggia, il prodotto $i \cdot A$ rappresenta il volume piovuto nell'unità di tempo, il prodotto di quest'ultimo per φ , consente di calcolare la quota parte di tale volume piovuto che affluisce alla rete fognaria. Il coefficiente φ è funzione del grado di permeabilità della superficie del succitato bacino che in ambiti urbani, trattandosi di pavimentazione generalmente impermeabili assume valori pari a 0,8.

Le tubazioni della fognatura vengono dimensionate in modo tale da avere un grado di riempimento pari a circa il 70% in corrispondenza della portata calcolata con la formula appena mostrata.

Quando si verifica una precipitazione con intensità di pioggia superiore a quella con cui è stata progettata la fognatura, con altezza pari a quella di progetto h con durata inferiore rispetto a t , l'intensità di pioggia assume valori alquanto elevati e di conseguenza la portata Q può raggiungere valori tali da provocare un funzionamento in pressione della rete fognaria.

E' il caso in cui l'acqua comincia a fuoriuscire attraverso i chiusini dei pozzetti fognari e delle caditoie stradali.

Tale fenomeno può verificarsi quando l'altezza di precipitazione è superiore a quella h di progetto che generalmente è riferita ad un tempo di ritorno di circa 15-20 anni: la fognatura è, cioè, dimensionata per un evento che accade statisticamente una volta ogni 15-20 anni, pertanto per precipitazioni di altezza maggiore non garantisce il funzionamento di progetto, con le stesse conseguenze precedentemente illustrato.



Rete fognaria in pressione con fuoriuscita attraverso chiusino stradale



Allagamento di un sottopasso

Quando le fognature vanno in pressione il funzionamento idraulico diventa simile a quello degli acquedotti analizzato nel precedente capitolo, pertanto la linea piezometrica è al di

sopra del piano campagna con conseguente allagamento dei punti della superficie urbana più depressi.

Tali situazioni se aggravate da una scarsa manutenzione del sistema fognario con presenza di tubazioni parzialmente o totalmente occluse genera allagamenti nei sottopassi, ad esempio, con conseguenze in alcuni casi drammatiche.

6.4 Dighe e opere di sbarramento fluviale

Il termine **dighe** viene comunemente utilizzato per tutte le opere di sbarramento fluviale, ma si ritiene opportuno nella seguente trattazione operare una distinzione con le **traverse** che sono opere di sbarramento in senso più stretto.

Le dighe o grandi dighe si differenziano dalle traverse sostanzialmente per:

- scopo per il quale vengono costruiti;
- dimensioni.

Le **dighe** servono per invasare notevoli quantità d'acqua e quindi per costituire dei serbatoi, di contro le **traverse** servono per permettere una più agevole derivazione dal corso d'acqua naturale.

Conseguentemente a questa distinzione basata sulle funzioni ne segue un'altra basata sulle dimensioni. Infatti le dighe in generale hanno notevole altezza mentre le traverse, si limitano in altezza a quel tanto che serve per garantire il voluto "salto" necessario alla deviazione dell'acqua.

In relazione alle caratteristiche morfologiche del sito su cui viene costruito il corpo diga, allo schema di funzionamento statico, alla geometria dell'opera, alle modalità costruttive e ai materiali impiegati per la loro costruzione, si distinguono le seguenti tipologie di sbarramenti.

6.4.1 Dighe in muratura

Rappresentano opere di sbarramento murarie in calcestruzzo convenzionale, in cemento armato o elementi lapidei consolidati con legante cementizio. In relazione al comportamento statico della struttura possono essere suddivise come di seguito indicato.

A Gravità

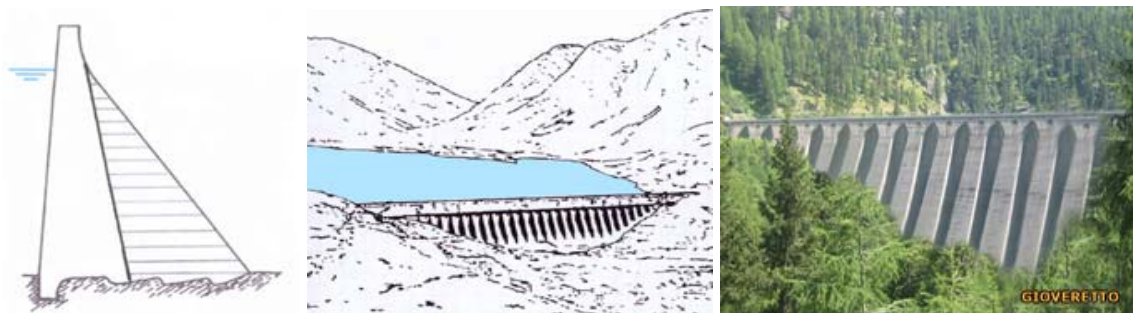
Si oppongono alla spinta dell'acqua attraverso il peso proprio; nella struttura predominano gli sforzi di compressione.

Si distinguono in:

Massicce (a gravità ordinarie): aventi struttura ad asse planimetrico rettilineo o a debole curvatura, con sezione trasversale triangolare che si mantiene costante su tutto il profilo longitudinale. La sezione risulta piena, divisa in conci con giunti verticali permanenti e posti a distanze tali da evitare fessurazioni e ritiri.



Alleggerite (a speroni o a vani interni): alla forma tipica dello sbarramento massiccio vengono creati dei vani di alleggerimento. Sono caratterizzate da una struttura muraria trasversale costituita da una successione di elementi indipendenti detti speroni o contrafforti, aventi profilo trasversale triangolare e posti a contatto lungo il paramento di valle (a volte anche su quello di monte) per fornire sostegno alla parete di ritenuta e opportunamente distanziati tra loro.



A Volta

Si oppongono alla spinta dell'acqua attraverso l'effetto arco che si ottiene grazie alla particolare forma conferita all'opera muraria, che risulta sensibilmente arcuata nel profilo trasversale e impostata contro roccia in modo da scaricare la pressione idrostatica attraverso le sponde d'imposta sui fianchi della valle nella stretta sbarrata.

Tali strutture risultano snelle e slanciate, aventi sezione piena monolitica o formate da conci bloccati da giunti.

Al fine del funzionamento statico si distinguono in:

Ad Arco (semplice): quando la forma e i rapporti dimensionali risultano tali da permettere la resistenza alla spinta dell'acqua, del ghiaccio, alle perturbazioni varie e alle azioni sismiche, prevalentemente per mezzo dell'effetto della curvatura longitudinale che produce l'effetto arco.



Ad Arco Gravità; quando la forma e i rapporti dimensionali risultano tali da permettere la resistenza alle spinte attraverso l'azione congiunta offerta dalla curvatura longitudinale, da quella trasversale di mensola e dal peso proprio.

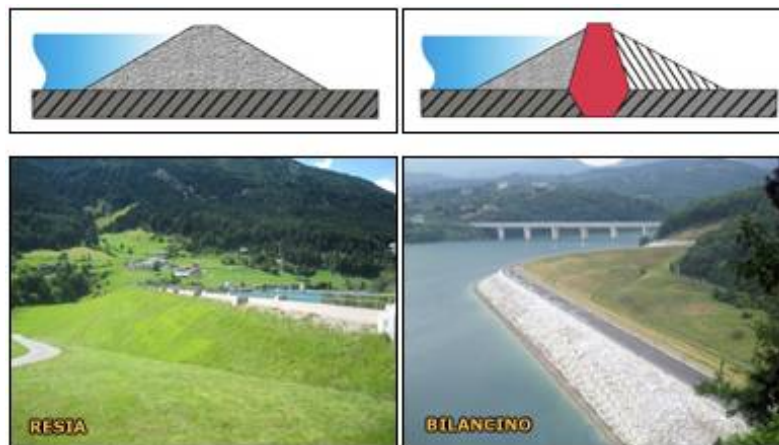


A Cupola (o a doppia curvatura): quando la forma e i rapporti dimensionali sono tali che la risposta elastica è assimilabile a quella di una lastra a doppia curvatura.



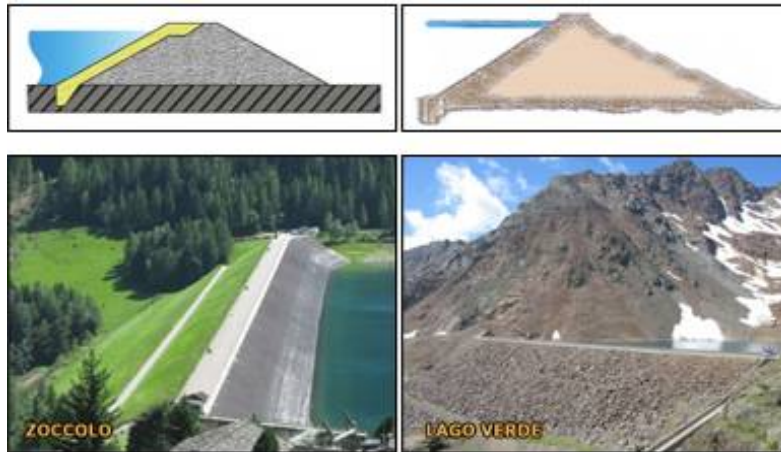
6.4.2 Dighe in materiali sciolti

Rappresentano opere di sbarramento realizzate per mezzo di un rilevato costituito da materiali litoidi sciolti di varia granulometria e inerti costipati, dove la tenuta viene garantita da un nucleo interno costituito da materiali argillosi o da altri materiali con caratteristiche di permeabilità adeguate, e da manti impermeabilizzanti. In relazione al materiale impiegato, alle caratteristiche costruttive, e alle soluzioni progettuali di impermeabilizzazione, possono essere suddivise:



In Terra: costituite totalmente da terra omogenea caratterizzata da permeabilità uniforme e tale da garantire da sola la tenuta. Normalmente si impiega tale tipologia per altezze del rilevato non superiori ai 30m.

In Terra e/o Pietrame, zonate con Nucleo in argilla per la tenuta: costituite da materiali naturali di varia tipologia, organizzati e disposti in zone ben precise della sezione in funzione delle caratteristiche di permeabilità, disponendo le zone permeabili all'esterno e quelle impermeabili all'interno per la tenuta.



In Terra o Pietrame con Manto di rivestimento in materiali artificiali: costituite da materiali naturali di vario tipo e granulometria dove la tenuta viene garantita mediante un manto di rivestimento posto sul fianco interno.

In Pietrame alla rinfusa (scogliere) o muratura litoide a secco: costituite da blocchi litoidi di varia granulometria che formano il rivestimento e stabilizzano il rilevato in base al loro angolo di riposo e al peso proprio dell'ammasso.

Le dighe a gravità, sia massicce che alleggerite reagiscono alle sollecitazioni cui sono sottoposte (per esempio: spinta delle acque, sottopressioni, ecc...) solo tramite proprio peso. Evidentemente per questo tipo di diga ha molta importanza il piano di appoggio (cioè di fondazione) che deve essere stabile e compatto, in modo da sopportare le sollecitazioni che la diga trasmette. Ad esse corrispondono grandi volumi di calcestruzzo, in genere dello stesso ordine di grandezza (o di ordine di grandezza immediatamente inferiore) rispetto alla quantità d'acqua invasabile a monte.

Di contro le dighe ad arco sono estremamente meno onerose richiedendo quantità di calcestruzzo di ordine decisamente inferiore, ma richiedono che le pareti laterali della gola da sbarrare siano di idonee caratteristiche meccaniche, compattezza e stabilità. Inoltre la gola deve essere di dimensioni contenute in modo da mantenere il raggio entro valori accettabili per non rubare all'acqua molto spazio (cioè non diminuire la quantità d'acqua invasabile con la cupola).

6.4.3 Sbarramenti di tipo vario

Rappresentano tutte le strutture di sbarramento diverse da quelle definite precedentemente, sia per caratteristiche costruttive che per funzionalità e impiego, ma possedenti comunque certe particolarità in comune.

6.4.4 Traverse fluviali

Rappresentano opere di sbarramento di un corso d'acqua di modesta entità, in particolare per quanto riguarda l'altezza, che risulta mediamente inferiore ai 10m e che determinano un innalzamento idrico a monte, contenuto all'interno dell'alveo.

Vengono realizzate per creare piccoli accumuli idrici al fine di rendere possibile la derivazione di portate o permettere il più facile prelievo dell'acqua grazie al locale incremento del livello idrico.

Quando i terreni di fondazione non sono rocciosi si fa ricorso a dighe in materiali sciolti, soprattutto a dighe in terra. Ma opportune condizioni geomorfologiche e di reperibilità del materiale possono consigliare dighe in pietrame.

La scelta del tipo di diga è funzione quindi del tipo di terreno su cui si deve fondare, segue da qui la necessità di una accurata indagine geotecnica.

6.5 Organi di presa, di intercettazione e di scarico

La conoscenza delle varie tipologie di sbarramenti è utile nel momento in cui ci si può trovare ad intervenire in invasi di varie dimensioni. Ancor più importante, in quest'ottica, è conoscere i vari organi, funzionali agli sbarramenti, che permettono la regolazione dell'acqua invasata; conoscere il loro funzionamento e quindi i rischi ad esso connessi è di fondamentale importanza per la sicurezza degli operatori VF.

Gli scarichi di una diga si distinguono in:

- scarichi di fondo;
- scarichi di mezzofondo;
- scarichi di superficie.

Oltre a differire per la posizione altimetrica e conseguentemente per forma, differiscono anche per funzione.

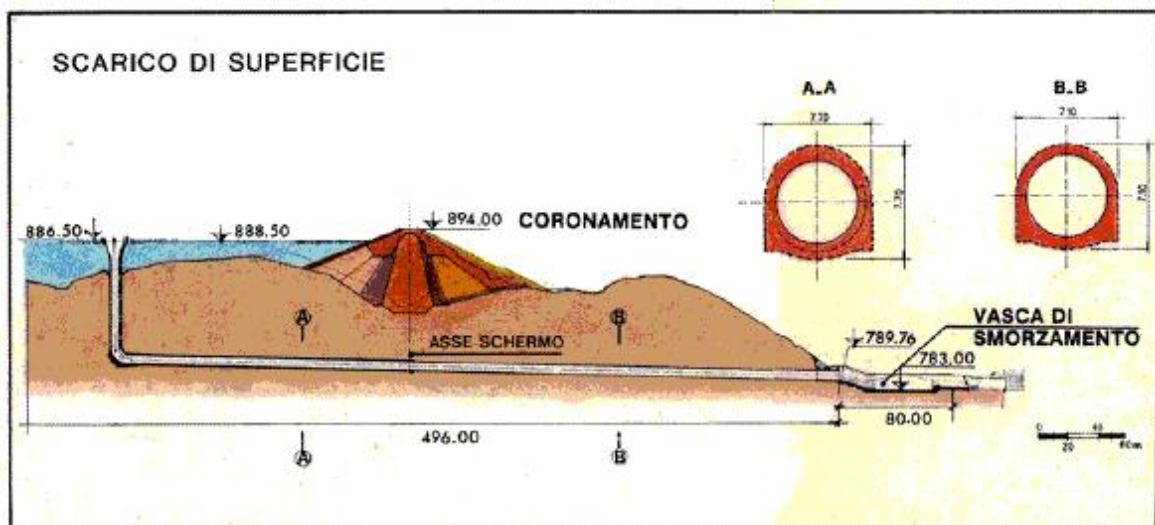
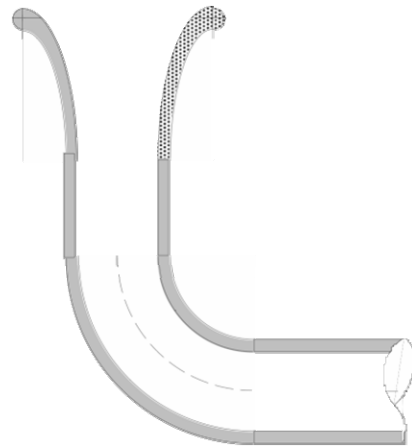
Gli **scarichi di fondo** servono a svuotare in toto il lago artificiale, di norma trattasi della stessa opera utilizzata inizialmente per la deviazione provvisoria delle acque dal greto del corso d'acqua in modo da consentire la realizzazione della diga.

Solo raramente vengono utilizzati per manovre gestionali. In teoria potrebbero servire da sghiaiatori, ma un tale uso è rischioso, infatti ghiaia e materiale solido vario che potrebbe fermarsi nella sede delle paratoie potrebbe comprometterne la chiusura.

Gli **scarichi di mezzo-fondo** servono per gestire il livello del lago nel caso che per qualsivoglia motivo sia opportuno diminuirne l'invaso.

Una tale evenienza si potrebbe ad esempio verificare in rispondenza di eventi bellici, per diminuire i rischi per la zona a valle nel caso di bombardamento della diga ed ogni qual volta si possa temere un qualche evento di piena calamitoso, tuttavia non certo o prossimo, le cui conseguenze possano essere evitate o ridotte sensibilmente abbassando il livello del lago (di modo che consenta di invasare maggiori quantità d'acqua) senza compromettere in toto la sua funzione.

Gli **scarichi di superficie** hanno invece lo scopo di smaltire le acque in esubero e quindi anche quello di scaricare a valle quella parte delle portate (di piena) fluviali in arrivo che non possono essere invasate. La creazione di questo tipo di scarichi deriva dalla necessità di evitare che la diga venga tracimata pertanto fungono da sfioratori. Una tipologia molto diffusa è lo sfioratore a calice che prende il nome dalla sua forma: l'acqua in esubero rispetto alla capacità di invaso, che generalmente si ha in corrispondenza di una piena, viene convogliata a valle della diga attraverso un condotto.



Il meccanismo è identico allo scarico di “troppo-pieno” del lavandino con la portata di piena rappresentata da un’apertura totale del rubinetto: quando il livello dell’acqua raggiunge l’altezza della soglia, comincia a defluire attraverso lo scarico che, ovviamente, deve essere dimensionato per smaltirla.



Appare superfluo rimarcare il rischio per un operatore che si trovi a dover intervenire su uno specchio d’acqua in presenza di uno sfioratore di questo tipo.

In corrispondenza delle zone limitrofe degli scarichi durante il loro funzionamento, generalmente in presenza di eventi di piena, si creano delle correnti di richiamo pericolose in quanto si passa da una velocità praticamente nulla al livello superficiale del resto dell’invaso ad una velocità che può assumere anche valori significativi nelle vicinanze della soglia dello scarico.



scarico superficiale con paratoie a settore



scarico superficiale a "soglia libera"

6.6 Test di autovalutazione n. 6



Domanda n.1

Il funzionamento per la fornitura idrica alle abitazioni in un acquedotto è in generale:

- a) a gravità
- b) tramite pompa
- c) ad aspirazione

Domanda n.2

Le opere necessarie al prelievo dell'acqua da inserire nel sistema di trasporto alle utenze si definiscono:

- a) opere di adduzione
- b) opere di distribuzione
- c) opere di captazione

Domanda n.3

Per condotta in pressione si intende:

- a) condotta in cui scorre acqua immessa con una certa pressione
- b) condotta interamente riempita dall'acqua che scorre
- c) condotta riempita solo parzialmente dall'acqua

Domanda n.4

Cos'è il "colpo d'ariete":

- a) e' un urto generato da un corpo esterno alla tubazione che si ripercuote sull'impianto danneggiandolo
- b) è una forte onda di pressione che si genera nelle condotte quando si chiude bruscamente l'impianto
- c) è una depressione interna all'acquedotto a valle dell'impianto di pompaggio

Domanda n.5

Per fognatura nera si intende

- a) fognatura che trasporta acque di origine meteorica
- b) fognatura che trasporta acque di origine domestica e liquami fecali
- c) fognatura costituita da tubazioni di colore scuro

Domanda n.6

Per quale parametro si differenziano sostanzialmente le dighe e le traverse fluviali:

- a) per il terreno su cui sono realizzate
- b) per l'altezza
- c) per la larghezza (ovvero la lunghezza del coronamento)

Domanda n.7

Nelle gole montane rocciose sono più diffuse:

- a) dighe in pietrame
- b) dighe in terra
- c) dighe ad arco

Domanda n.8

In caso di intervento su un vaso artificiale è fondamentale conoscere:

- a) l'anno di costruzione
- b) la quantità in metri cubi di acqua invasata
- c) la tipologia e la posizione degli organi di scarico

7 CENNI SUI PROCESSI DI FORMAZIONE DELLE PIENE

7.1 Il ciclo dell'acqua

Il ciclo dell'acqua, noto comunemente anche come **ciclo idrologico**, descrive l'esistenza ed il movimento dell'acqua nella Terra.

L'acqua della Terra è sempre in movimento e cambia stato continuamente, da liquido a vapore a ghiaccio, in tutti i modi possibili.

Il ciclo dell'acqua lavora da miliardi di anni e tutta la vita sulla Terra dipende da esso.



Il **ciclo idrologico** è sostenuto energeticamente dal sole, che attiva il ciclo riscaldando l'acqua del mare. Parte di essa evapora nell'aria. L'**evaporazione** avviene anche dalle acque dolci dei laghi e dei fiumi.

Sul continente, l'evapotraspirazione, che è l'acqua traspirata dagli esseri viventi (soprattutto dai vegetali; al confronto, la parte prodotta dagli animali è trascurabile) ed evaporata dal sole, apporta vapore all'aria.

Una piccola quantità d'acqua nell'atmosfera proviene dalla **sublimazione**, che è il passaggio allo stato di vapore direttamente dallo stato solido (ghiaccio, neve, brina) saltando completamente la fase di fusione.

Le correnti d'aria ascensionali sollevano il vapore in alto nell'atmosfera dove la temperatura più bassa ne provoca la condensazione in goccioline microscopiche che formano le nuvole.

I venti trasportano le nubi per il mondo, e le particelle delle nubi collidono, si accrescono, e cadono dal cielo come **precipitazione**. Qualche precipitazione cade come neve e può accumularsi come calotte glaciali o ghiacciai.

La neve, nei climi più caldi, si scioglie con l'arrivo della primavera, e l'acqua di fusione fluisce come **ruscellamento** da fusione delle nevi. Mentre una gran parte delle precipitazioni cade nei mari, una parte cade sulle terre emerse dove, a causa della gravità, fluisce come ruscellamento superficiale.

Parte del **ruscellamento superficiale** raggiunge i fiumi e si muove come flusso incanalato verso il mare, mentre parte di esso si accumula come acqua dolce nei laghi e nei fiumi. Non tutto il ruscellamento scorre in corpi idrici superficiali.

Parte dell'acqua si infiltra in profondità nel terreno (**infiltrazione**) ed alimenta gli acquiferi (rocce sature di acqua mobile che affiora in superficie attraverso le sorgenti o viene estratta con pozzi o gallerie) che immagazzinano enormi quantità di acqua dolce sotterranea per lunghi periodi di tempo. Parte dell'acqua sotterranea sta vicino alla superficie terrestre e può filtrare di nuovo entro corpi idrici superficiali (e nel mare), mentre parte trova vie d'uscita nella superficie della terra ed emerge come sorgenti d'acqua dolce. Nel tempo, tuttavia, quest'acqua continua a muoversi, e parte ritorna nel mare dove il ciclo termina...e ricomincia.

7.2 Formazione delle piene fluviali

Nel precedente paragrafo è stato analizzato il ciclo dell'acqua a scala globale, nel presente vengono descritti i principali processi che portano alla formazione delle piene.

Innanzitutto va introdotta la nomenclatura corretta che descrive un fiume.

Il punto in cui il fiume nasce (dove l'acqua sgorga dal terreno) è la **sorgente**. Durante il suo percorso verso il basso, al fiume si possono unire altri corsi d'acqua, che costituiscono i suoi affluenti. Il fiume termina, eccetto rari casi, in un corpo idrico recettore, come un lago, un mare o un altro fiume. Il punto in cui il fiume sbocca nel corpo recettore è la sua **foce**.

Il fiume di norma ha una pendenza maggiore nei primi tratti dopo sorgente, e man mano che si scende di quota la pendenza diminuisce, così come la velocità. Questo andamento longitudinale prende il nome di **profilo del fiume**. Esiste un profilo ideale, il profilo d'equilibrio, che rappresenta la situazione nella quale non c'è né erosione né sedimentazione per tutta la lunghezza del fiume. Se il profilo reale è diverso da quello d'equilibrio, nei tratti in cui il primo è più alto del secondo avviene erosione, viceversa avviene sedimentazione.

La forza delle acque è tale da erodere la roccia e trascinare con sé detriti di varie dimensioni : pietre, legna e altri residui vegetali, fango, sabbia. Dopo aver superato i pendii più ripidi, il fiume comincia a depositare detriti sempre più piccoli e, una volta arrivato in pianura, lascia solo sabbia, fango e materiale molto minuto.

La quantità d'acqua che scorre in un fiume si misura con la portata, cioè il volume d'acqua che passa attraverso una sezione trasversale del fiume nell'unità di tempo. Difficilmente questa è costante, nella maggior parte dei casi si possono distinguere tre situazioni:

- **magra**, nei periodi più secchi, quando nel fiume scorre poca acqua;
- **morbida**, nei periodi umidi, in cui nel fiume scorre abbondante acqua;
- **piena**, quando scorre una quantità eccezionale di acqua tale da inondare aree che normalmente sono asciutte.

Considerando una sezione trasversale del fiume, è possibile individuare

- il **letto** del fiume, che è il terreno sul quale l'acqua scorre;
- l'**alveo**, è la parte della sezione trasversale occupata dal flusso dell'acqua (essendo la portata variabile, si potranno distinguere alveo di magra, alveo di morbida e alveo di piena);
- gli **argini**, non sempre presenti, che sono due rilievi del terreno paralleli all'alveo, che lo delimitano; possono essere naturali (formati dalla deposizione ai lati del flusso del materiale trasportato) o artificiali, costruiti per contenere il flusso al loro interno ed evitare che inondi le zone circostanti;

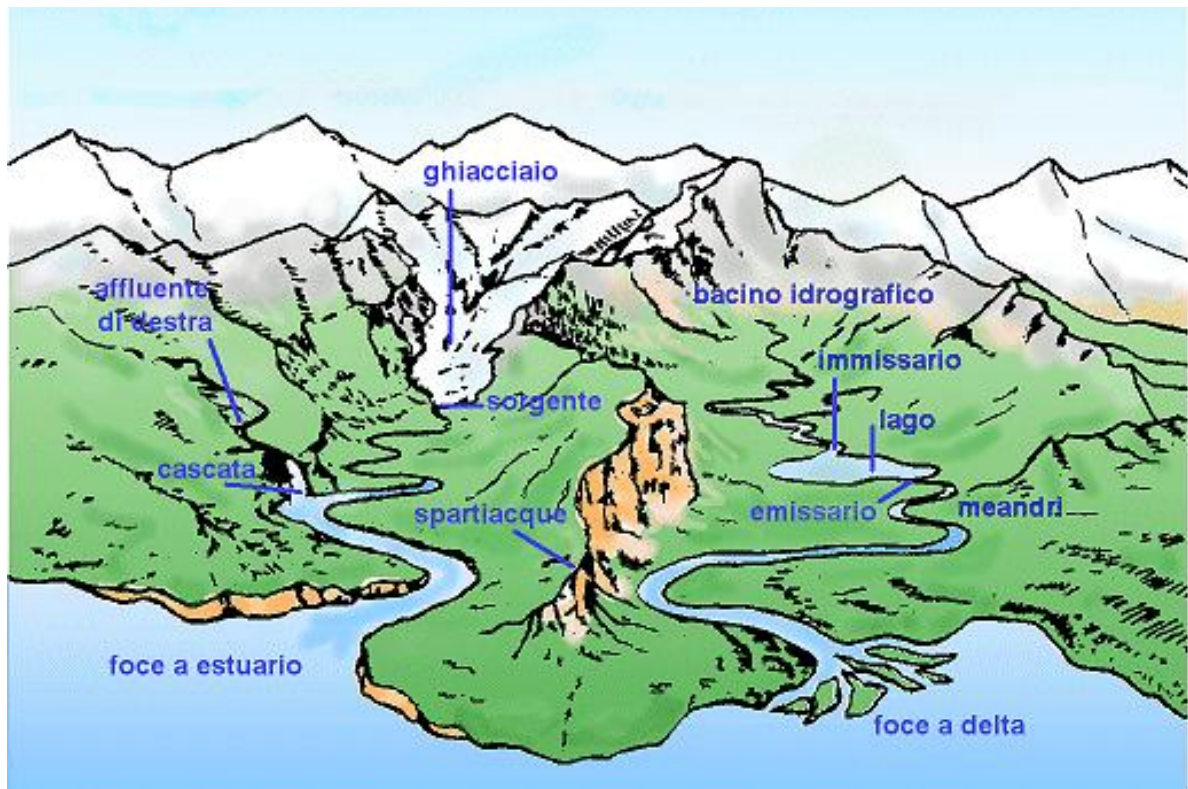


Argini di un corso d'acqua



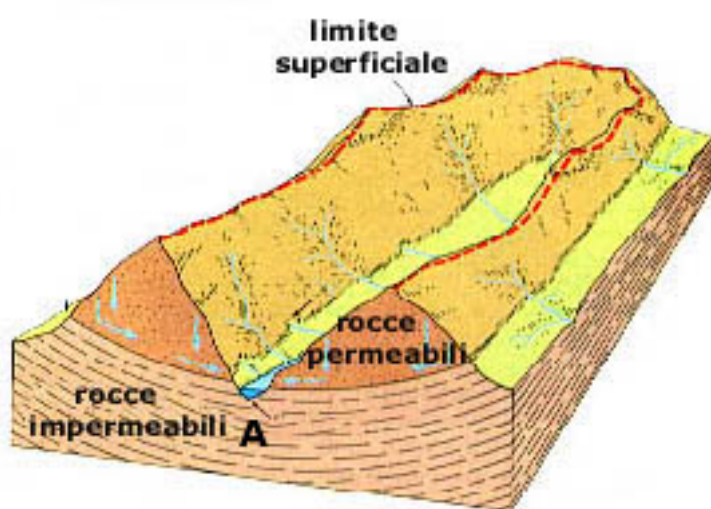
Protezione di arginature

- la **valle o la pianura alluvionale**, cioè il territorio nel quale il fiume scorre: nel primo caso è un'incisione a forma di V nel territorio circostante, generata dall'erosione del fiume e delle precipitazioni, per questo la pendenza dei versanti è maggiore quanto è maggiore la compattezza del terreno; nel secondo caso è una pianura formata dai sedimenti depositati gli uni sugli altri dalle piene del fiume.
- la **riva destra e la riva sinistra**: guardando nel senso della direzione di scorrimento.

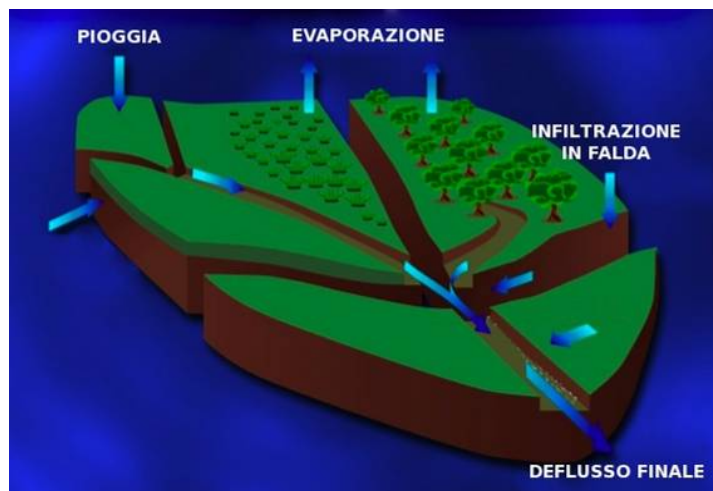


Successivamente va definito il **bacino idrografico**: il bacino idrografico è definito come quella porzione di territorio il cui deflusso idrico superficiale viene convogliato verso una fissata sezione di un corso d'acqua che è definita *sezione di chiusura* del bacino ed è indicata con la lettera A nella figura sottostante.

Il bacino idrografico è delimitato dallo *spartiacque* che può essere definito come la linea più elevata separante il bacino dai bacini limitrofi. In altre parole qualunque goccia di pioggia che cada all'interno del bacino e scorra superficialmente, attraverserà, in tempi diversi, la sezione di chiusura A; se cade al di fuori del limite superficiale in figura non attraverserà la sezione A in quanto parte di un altro bacino.



Nel momento in cui si ha un evento di pioggia piuttosto intenso, il forte aumento della portata del corso d'acqua che ne consegue viene definito **piena**. Se si considera il bacino idrografico isolato rispetto al resto del territorio, come nella figura seguente, si nota come non tutta la precipitazione caduta nel bacino stesso riesce ad arrivare alla sezione di chiusura in quanto parte viene trattenuta dalla vegetazione, parte evapora, parte si infiltra nel terreno verso la falda.



Pertanto la componente che contribuisce alla formazione della piena, è rappresentata da quella parte della pioggia che si trasforma in deflusso superficiale e che può essere calcolata con la formula utilizzata nei precedenti capitoli relativa alle fognature:

$$Q = \frac{\varphi \cdot i \cdot A}{360} [\text{m}^3/\text{s}]$$

con

i : intensità di pioggia (cioè il rapporto h/t) espresso in mm/h

h : pioggia caduta espressa in mm nel tempo t

t : tempo di pioggia espresso in ore;

A : superficie del bacino sotteso della fogna (espresso in ettari [ha]);

φ = coefficiente di riduzione delle piogge.

La pioggia che provoca la massima piena è quella che ha una durata pari al **tempo di corrivazione** (tempo che impiega la particella d'acqua caduta nel punto idraulicamente più distante del bacino a giungere alla sezione di chiusura dello stesso. Cioè se piove per un tempo uguale al tempo di corrivazione di un dato bacino (valore noto per ogni bacino idrografico) si creano le condizioni per avere la massima piena.

Il coefficiente φ tiene conto di tutte le perdite del bacino cioè di tutta quella parte di acqua piovana che non raggiunge la sezione di chiusura: per i bacini naturali si attesta generalmente intorno a valori di 0,5, cioè solo il 50% della precipitazione contribuisce alla piena (*pioggia efficace*). Nel caso dei bacini urbani, quelli relativi alle fognature, tale valore si attesta intorno a 0,9 in quanto in città la superficie è quasi completamente impermeabile.

Va ricordato che tale coefficiente è influenzato anche dalle condizioni antecedenti la piena: se in precedenza è piovuto ed il suolo è saturo, la precipitazione in arrivo contribuirà quasi totalmente alla piena. Inoltre anche la parte di pioggia che si infiltra in falda arriva alla sezione di chiusura, ma con tempi piuttosto lunghi in quanto attraversa il terreno e pertanto non contribuisce alla piena.

La seconda grandezza fondamentale per la determinazione della portata è l'intensità di pioggia: quanto più l'altezza di pioggia è concentrata in un tempo ristretto tanto maggiore sarà la sua intensità.

ESEMPIO

Supponiamo un'altezza di pioggia $h=100\text{ mm}$ caduta in un'ora su un bacino di 10 km^2 ($=1.000\text{ ha}$) e un coefficiente di riduzione $\varphi = 0,4$, si avrà:

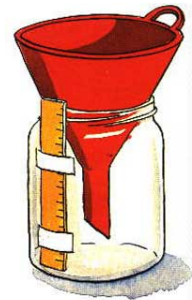
$$Q = 0,4 \cdot 100 \cdot 1000 / 360 = 111,11\text{ m}^3/\text{s}$$

nel caso in cui la stessa altezza di pioggia fosse caduta in un tempo di 2 ore la portata sarebbe risultata:

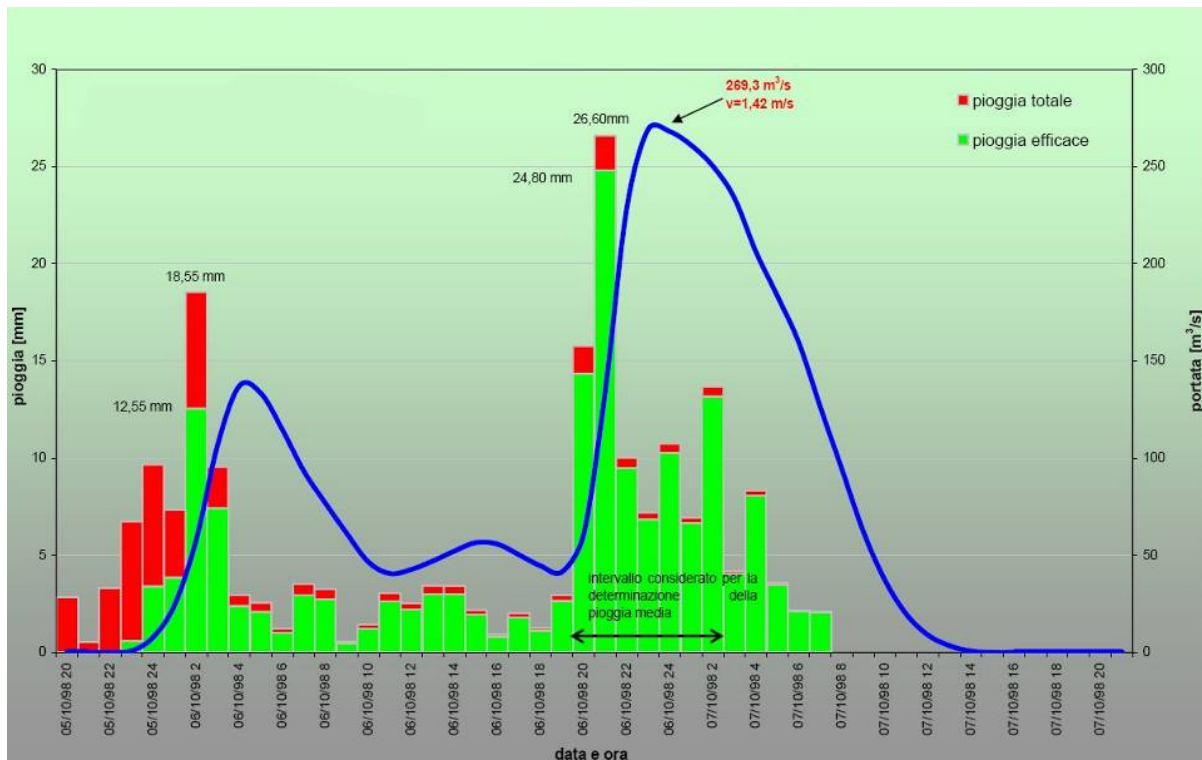
$$Q = 0,4 \cdot 50 \cdot 1000 / 360 = 55,55\text{ m}^3/\text{s}$$

cioè esattamente la metà.

La precipitazione viene generalmente misurata tramite uno strumento chiamato **pluviometro** il cui funzionamento è semplificabile in un recipiente che raccoglie l'acqua piovana la cui altezza, generalmente in millimetri, viene misurata con frequenza temporale fissata (p.es. un'ora).



Nella figura seguente è tracciato l'andamento delle precipitazioni e delle conseguenti portate del corso d'acqua corrispondenti ad un evento di piena, che nel caso particolare presenta due picchi. Nell'istogramma si rappresenta, in verde e rosso, l'altezza di pioggia caduta ogni ora il cui valore si legge sull'asse di sinistra.



La curva in colore blu rappresenta l'andamento della portata in funzione del tempo, i cui valori si leggono sull'asse di destra. Si distingue per ognuno dei due picchi (o **colmi**) di piena un incremento della portata molto veloce (*curva di concentrazione*), il colmo di piena e successivamente l'esaurimento della stessa (*curva di esaurimento*). Si nota in modo piuttosto evidente la distanza di tempo che separa il picco di pioggia dal picco di portata: tale distanza è funzione del cosiddetto **tempo di ritardo** cioè quel tempo che tutte le particelle d'acqua cadute con la pioggia sul bacino impiegano a raggiungere la sezione del fiume sulla quale si sta valutando la portata. Il tempo di ritardo è una grandezza che una volta calcolata per il bacino di riferimento rimane un parametro quasi invariabile che ci permette per ogni evento di precipitazione intensa di calcolare il tempo di arrivo del colmo di piena.

Un secondo aspetto è rappresentato dalla **pioggia efficace**, la parte di pioggia che partecipa effettivamente alla formazione della piena, indicata in verde: inizialmente è quasi nulla in quanto tutta la pioggia è assorbita dal terreno, evidentemente secco, mentre in corrispondenza del secondo picco quasi tutta la pioggia diventa efficace in quanto il terreno risulta già saturato dall'evento precedente.

Il comportamento di tale repentino incremento di portata può avere effetti disastrosi in funzione del tipo di alveo fluviale che la stessa portata attraversa. Richiamando brevemente il concetto di portata, affrontato nei capitoli precedenti, definita come il prodotto tra velocità e sezione attraversata ricaviamo facilmente che:

$$V = Q/A$$

cioè la velocità media del corso d'acqua è pari alla portata diviso la sezione bagnata del fiume, indicata in figura con il colore azzurro.

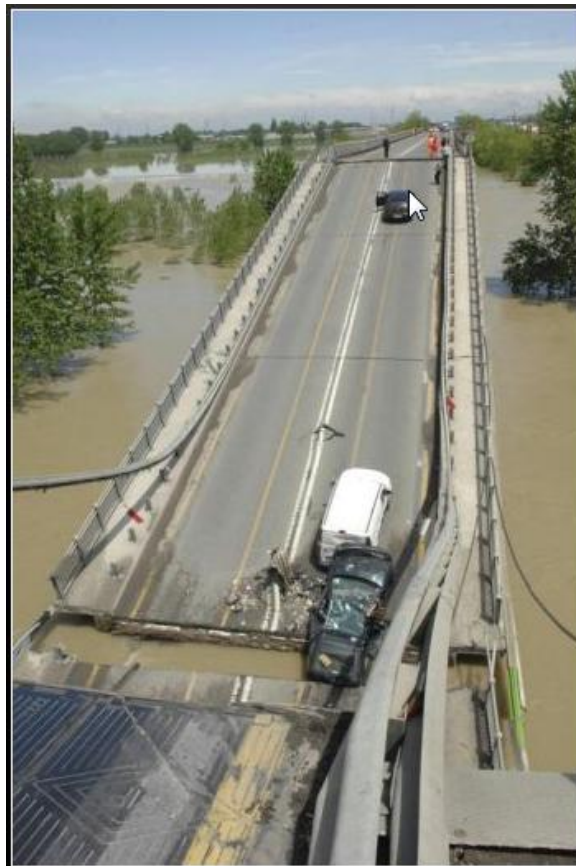


Ciò premesso, ragionando a parità di portata, quando il fiume si trova ad attraversare sezioni con argini o pile di ponti, in particolare nei tratti urbani, riducendosi la sezione A la velocità aumenta e conseguentemente la sua azione erosiva.

Durante gli eventi di piena in particolare gli attraversamenti costituiscono infatti dei punti di notevole criticità; è possibile infatti che le acque in piena sormontino il ponte e ne inducano, a lungo andare, il crollo; oppure che l'elevato potere di erosione provochi lo scalzamento di una o più pile del ponte con relative problematiche di stabilità o, anche in questo caso, provocando il crollo del manufatto.



Piacenza – Piena del Po



Piacenza – Piena del Po

Nelle zone di valle con pendenze decisamente meno forti il fiume riesce a straripare facilmente nelle zone limitrofe, in tal modo la sezione A diventa sempre maggiore e la velocità tende a diminuire man mano che vengono allagate superfici sempre maggiori. Tale meccanismo viene utilizzato, artificialmente, anche in corrispondenza degli invasi delle dighe e prende il nome di *laminazione della piena*.

Il fiume tende a portarsi alla condizione più vicina al suo equilibrio, tende cioè ad espandere la propria sezione di scorrimento così da diminuire la sua velocità. Questo fenomeno è chiaramente associato agli effetti più distruttivi delle piene, ovvero la sommersione delle aree circostanti. Ovviamente ciò avviene in prossimità di “punti deboli” degli argini oppure come già detto in corrispondenza degli attraversamenti.



7.3 Test di autovalutazione n. 7



Domanda n.1

Aumentando l'area della sezione normale ad una corrente liquida, mantenendo costante la velocità del liquido che attraversa la sezione:

- a) si ha una diminuzione della portata
- b) la portata non varia
- c) si ha un aumento della portata

Domanda n.2

L'evento di pioggia che può creare la massima piena per un dato bacino idrografico è quello con un tempo di pioggia:

- a) Di gran lunga maggiore al tempo di corrivazione di quel bacino
- b) Uguale al tempo di corrivazione di quel bacino
- c) Minore al tempo di corrivazione

Domanda n.3

Per pioggia efficace si intende:

- a) La parte della acqua piovana che si infiltra nel terreno
- b) La parte di acqua piovana che contribuisce alla formazione della piena
- c) La pioggia che cade in quantità estremamente significative

Domanda n.4

I punti particolarmente critici di un fiume durante un evento di piena:

- a) La foce del fiume
- b) I punti in cui il letto del fiume diviene più largo
- c) Ponti e “argini deboli”