



**MINISTERO DELL'INTERNO**

**DIPARTIMENTO DEI VIGILI DEL FUOCO  
DEL SOCCORSO PUBBLICO E DELLA DIFESA CIVILE**



**DIREZIONE CENTRALE PER LA FORMAZIONE**

# **FONDAMENTI DI IDRAULICA**

**CORSO DI FORMAZIONE A VIGILE PERMANENTE**

**Ministero dell'Interno**

Dipartimento dei Vigili del Fuoco del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile  
Direzione Centrale per la Formazione  
Area I – Coordinamento e Sviluppo della Formazione

*Dispensa redatta da:*

*Dott. Ing. Domenico Carriero*

*a cura di:*

*Dott. Ing. Valentina Nocente*

Versione 1.0 - 2011

File: **Fondamenti di Idraulica rev1** - reperibilità D.C.F. Roma

Riservato alla circolazione interna ad uso esclusivamente didattico

*“Se dovessi rinascere farei l'idraulico.”*

*Albert Einstein*



# INDICE

<b>1</b>	<b>I FLUIDI .....</b>	<b>1</b>
1.1	PROPRIETA' E CARATTERISTICHE DEI FLUIDI .....	1
1.1.1	PROPRIETA' FISICHE DEI FLUIDI, LIQUIDI E GASSOSI.....	1
1.1.2	GRANDEZZE FISICHE DEI FLUIDI.....	1
1.1.2.1	Peso specifico e volume specifico .....	1
1.1.2.2	Viscosità e attrito esterno .....	2
<b>2</b>	<b>PRINCIPALI LEGGI DELL'IDROSTATICA.....</b>	<b>4</b>
2.1	PRESSIONE E DEPRESSIONE .....	4
2.1.1	Pressione .....	4
2.1.1	Pressione assoluta e pressione relativa .....	4
2.1.2	Depressione.....	5
2.2	PRESSIONE IDROSTATICA.....	7
2.3	LEGGE DELLA PRESSIONE IDROSTATICA .....	7
2.4	ALTEZZA PIEZOMETRICA .....	12
<b>3</b>	<b>FONDAMENTI DI IDRODINAMICA.....</b>	<b>15</b>
3.1	PORTATA.....	15
3.2	REGIMI DI UNA CORRENTE .....	15
3.3	RELAZIONE TRA PORTATA, VELOCITA' E SEZIONE .....	17
3.4	TEOREMA DI BERNOULLI .....	19
3.5	LEGGE DI TORRICELLI.....	23
3.6	L'EQUAZIONE DI BERNOULLI E LE RESISTENZE PASSIVE .....	24
3.7	PERDITE DI CARICO CONTINUE .....	26
3.8	APPLICAZIONI DEL TEOREMA DI BERNOULLI.....	27
<b>4</b>	<b>MATERIALI PER LA FORMAZIONE DI CONDOTTE ANTINCENDIO.....</b>	<b>30</b>
4.1	TUBI DI MANDATA.....	30
4.1.1	Materiali usati nella fabbricazione delle tubazioni flessibili antincendio.....	31
4.2	TUBI DI ASPIRAZIONE.....	35
4.3	TUBAZIONI SEMIRIGIDE PER NASPI AD ALTA PRESSIONE .....	36
4.4	MEZZI DI GIUNZIONE - RACCORDI .....	38
4.5	DIVISORI - COLLETTORI - RIDUTTORI - DIFFUSORI .....	39

4.6	LANCE DA INCENDIO .....	40
4.6.1	Portata erogata .....	41
4.6.2	Reazione di efflusso .....	43
4.6.3	Spinta del getto .....	44
4.6.4	Gittata di lancio a getto pieno .....	44
4.7	PERDITE DI CARICO NELLE TUBAZIONI FLESSIBILI.....	47
4.8	APPARECCHIATURE PER LA FORMAZIONE DELLA SCHIUMA.....	49
4.8.1	Generalità.....	49
4.8.2	Miscelatori .....	49
<b>5</b>	<b>IDRAULICA APPLICATA ANTINCENDI.....</b>	<b>57</b>
5.1	PREMESSA.....	57
5.2	GRANDEZZE CARATTERISTICHE DELLE POMPE .....	58
5.3	TIPOLOGIA DEGLI STENDIMENTI ANTINCENDI.....	62
5.4	PRESTAZIONI DI LANCE E TUBAZIONI FLESSIBILI .....	65
5.5	CALCOLO DI UNO STENDIMENTO .....	67
<b>6</b>	<b>APPUNTI DI COSTRUZIONI IDRAULICHE .....</b>	<b>75</b>
6.1	INTRODUZIONE.....	76
6.2	ACQUEDOTTI.....	76
6.3	FOGNATURE .....	83
6.4	DIGHE E OPERE DI SBARRAMENTO FLUVIALE .....	88
6.4.1	Dighe in muratura .....	88
6.4.2	Dighe in materiali sciolti.....	91
6.4.3	Sbarramenti di tipo vario .....	93
6.4.4	Traverse fluviali .....	93
6.5	ORGANI DI PRESA, DI INTERCETTAZIONE E DI SCARICO .....	94
<b>7</b>	<b>CENNI SUI PROCESSI DI FORMAZIONE DELLE PIENE .....</b>	<b>100</b>
7.1	IL CICLO DELL'ACQUA .....	100
7.2	FORMAZIONE DELLE PIENE FLUVIALI.....	101

# 1. I FLUIDI

## 1.1. Proprieta' e caratteristiche dei fluidi

### 1.1.1 Proprieta' fisiche dei fluidi, liquidi e gassosi

Le principali proprietà che distinguono i fluidi dai corpi solidi riguardano essenzialmente:

- la mancanza di forma propria;
- la proprietà di fluire (possibilità di scorrere continuamente).

I fluidi vengono inoltre classificati in liquidi o gassosi in relazione alle seguenti specifiche proprietà:

- i liquidi posti in idonei recipienti aperti riempiono soltanto una parte del recipiente (la parte inferiore), mentre i fluidi gassosi possono essere disposti in recipienti chiusi occupando tutto il recipiente, quale ne sia il volume;
- i liquidi sono poco o nulla comprimibili, mentre i gas sono sostanzialmente comprimibili.

### 1.1.2 GRANDEZZE FISICHE DEI FLUIDI

#### 1.1.1.1 Peso specifico e volume specifico

Per **peso specifico**  $\gamma$  di un fluido si intende il peso dell'unità di volume di quel fluido, ossia il rapporto tra il peso del fluido ed il suo volume.

Misurando i pesi in Kg o in Newton (N) ed i volumi in m<sup>3</sup>, il peso specifico risulterà espresso, rispettivamente, in **Kg/m<sup>3</sup>** o in **N/m<sup>3</sup>**.

*Esempio: supponiamo che le due sfere in figura siano riempite di liquido. Sono in equilibrio, pertanto hanno uguale peso, ma quale delle due ha peso specifico maggiore?*



*Ovviamente la sfera gialla in quanto ha un volume inferiore a parità di peso.*

Il peso specifico dell'acqua a temperatura ordinaria è di  $1000 \text{ Kg/m}^3$  ovvero  $9806 \text{ N/m}^3$ . Per **volume specifico** di un fluido s'intende il volume dell'unità di peso di quel fluido.

Dalla definizione data si rileva che questa grandezza è pari al rapporto tra il volume ed il peso del fluido considerato, ed è espressa, adottando le unità di misura precedentemente scelte, in  $\text{m}^3/\text{Kg}$ ; il volume specifico è quindi l'inverso del peso specifico.

Poiché il peso specifico dell'acqua è di  $1000 \text{ Kg/m}^3$ , il suo volume specifico risulta pari a  $1/1000 = 0,001 \text{ m}^3/\text{Kg}$  ( $0,000102 \text{ m}^3/\text{N}$ ).

### 2.1.1.1 Viscosità e attrito esterno

Le particelle che costituiscono il liquido hanno la proprietà di poter scorrere le une sulle altre sotto l'azione di sforzi minimi, se la velocità di scorrimento è anche essa minima.

Se però lo scorrimento reciproco delle particelle liquide si produce con velocità non piccolissima, si manifesta una certa resistenza, che contrasta lo scostamento delle particelle contigue. Questa resistenza costituisce il cosiddetto attrito interno o viscosità, variabile secondo la natura del liquido e la sua temperatura. Riferendoci a fenomeni che sono familiari a tutti, ricordiamo che gli oli aumentano notevolmente la loro fluidità se riscaldati, mentre a bassa temperatura sono molto viscosi e scorrono con difficoltà.

Analogamente, una corrente liquida che fluisce su di una parete solida, esercita verso la parete un'azione di sfregamento, alla quale si dà il nome di attrito esterno. Così, in un tubo, gli strati adiacenti alla parete, ritardati dall'attrito esterno, sono più lenti ed a loro volta esercitano, per attrito interno, un'azione frenante sugli strati interni; la velocità va così gradatamente diminuendo dal valore massimo sull'asse del tubo, al valore minimo lungo la parete dello stesso.

**Esempio:** se prendiamo due recipienti con uguale contenuto rispettivamente di acqua di olio, riusciremo a svuotare il primo in un tempo inferiore rispetto al secondo.





## 1.2. Test di autovalutazione n. 1



---

### Domanda n.1

I liquidi:

- a) sono molto comprimibili
- b) sono più comprimibili dei gas
- c) sono poco o nulla comprimibili

---

### Domanda n.2

Per volume specifico di un fluido si intende :

- a) il peso dell'unità di volume di quel fluido
- b) la massa dell'unità di volume di quel fluido
- c) il volume dell'unità di peso di quel fluido

---

### Domanda n.3

Il peso specifico dell'acqua è:

- a) 10000 Kg/m<sup>3</sup>
- b) 9,806 Kg/m<sup>3</sup>
- c) 1000 Kg/m<sup>3</sup>

---

### Domanda n.4

Quale delle seguenti affermazioni riguardanti l'attrito interno è vera:

- a) L'attrito interno aumenta col diminuire della velocità di scorrimento
- b) La viscosità è una caratteristica che non dipende dal tipo di fluido ma soltanto dalle pareti della tubazione in cui scorre.
- c) L'effetto dell'attrito interno è maggiore sugli strati di fluido più vicini alle pareti delle tubazioni.

## 2 PRESSIONE E DEPRESSIONE PRINCIPALI LEGGI DELL'IDROSTATICA

### 2.1.1 Pressione

Una forza che si ripartisce con continuità su una superficie esercita, su questa, una pressione; la misura della pressione, che si chiama pressione unitaria (forza sull'unità di superficie), si ottiene dividendo la forza totale agente sulla superficie per l'estensione della superficie stessa

$$p \text{ (pressione)} = F \text{ (forza)} / A \text{ (area)}$$

L'unità di misura della pressione, nel sistema tecnico, è pertanto espressa dal rapporto tra l'unità di misura della forza e l'unità di misura della superficie; esprimendo, ad esempio, la forza in (Kg) e la superficie in ( $m^2$ ) si ha la pressione espressa in  $Kg/m^2$ ; a queste unità di misura ci riferiremo, per comodità, nel seguito della trattazione. La pressione atmosferica al livello del mare è, ad esempio, pari a  $10,333 \text{ Kg/m}^2 = 1,0333 \text{ Kg/cm}^2$ .

### 2.1.2 Pressione assoluta e pressione relativa

La pressione può essere misurata a partire dal vuoto assoluto, che si pone uguale a zero; in questo caso, la pressione misurata si chiama **pressione assoluta**.

Nella pratica, la pressione è quasi sempre misurata a partire dalla pressione atmosferica, assunta convenzionalmente eguale a zero; la pressione che si misura in questo caso si chiama **pressione relativa** o effettiva, ed indica di quanto la pressione del fluido è superiore alla pressione atmosferica.

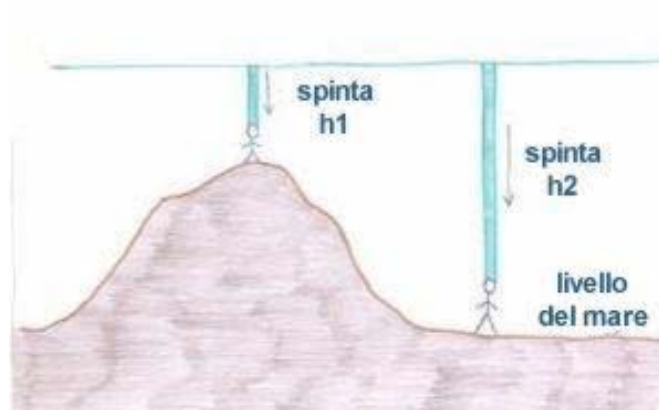
Pertanto, la pressione effettiva o relativa è eguale alla pressione assoluta diminuita della pressione atmosferica,

$$P \text{ (relat.)} = P \text{ (ass.)} - P \text{ (atm)} \quad \text{ovvero} \quad P \text{ (ass.)} = P \text{ (relat.)} + P \text{ (atm)}$$

Ad esempio, una pressione effettiva di  $6,25 \text{ Kg/cm}^2$  corrisponde in media, al livello del mare, ad una pressione assoluta di  $(6,25 + 1,033) = 7,283 \text{ Kg/cm}^2$ .

I manometri graduati in pressioni effettive segnano zero alla pressione atmosferica; quelli graduati in pressioni assolute segnano una atmosfera al livello del mare.

La pressione atmosferica è dovuta al fatto che l'aria forma attorno alla Terra uno strato gassoso chiamato atmosfera, spesso qualche centinaio di chilometri. Essendo attirata verso il basso dal proprio peso, l'aria esercita sulla superficie terrestre una certa pressione: con l'aumentare della quota rispetto il livello del mare la pressione atmosferica decresce in quanto diminuisce lo spessore di atmosfera sovrastante.



### 2.1.3 Depressione

Quando in un ambiente regna una pressione minore della pressione atmosferica si usa chiamare questa pressione con il termine di depressione o pressione relativa negativa dell'ambiente; tale misura indica di quanto la pressione di questo particolare ambiente è inferiore alla pressione atmosferica.

La misura della depressione si esegue con uno strumento che si chiama vacuometro.

## APPROFONDIMENTO

Altre unità di misura della pressione comunemente usate nella pratica, sono:

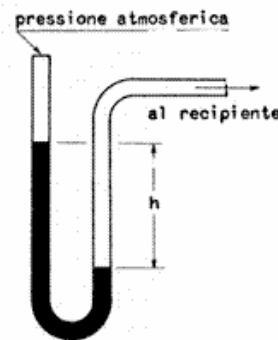
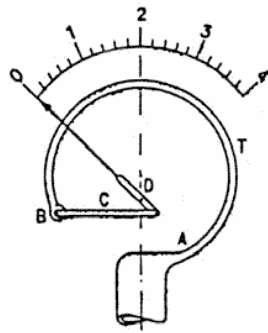
Pascal	(Pa)	$1 \text{ Pascal} = 0,1019 \text{ Kg/m}^2 = 0,000010 \text{ Kg/cm}^2$
MPascal	(MPa)	$1 \text{ MPa} = 101.900 \text{ Kg/m}^2 = 10,19 \text{ Kg/cm}^2$
atmosfera fisica	(atm)	$1 \text{ atm} = 10.333 \text{ Kg/m}^2 = 1,033 \text{ Kg/cm}^2$
bar	(bar)	$1 \text{ bar} = 10.190 \text{ Kg/m}^2 = 1,02 \text{ Kg/cm}^2$

Conversione di unità di misura usualmente impiegata (vedasi alcune norme EN):

$$1 \text{ atm} = 100.000 \text{ Pa}$$

La misura della pressione si può eseguire con manometri metallici o con manometri a liquido.

I manometri metallici sono basati sulle deformazioni elastiche dei corpi solidi; quello più comune, dovuto a Bourdon, è essenzialmente costituito da un tubo metallico di sezione ellittica, piegato a forma di cerchio, all'interno del quale entra il liquido di cui si vuol conoscere la pressione.



I manometri a liquido più comuni sono quelli ad U, soprattutto nei tipi ad aria libera; i liquidi usati sono generalmente il mercurio, l'acqua o l'olio.

Il manometro a liquido ad aria libera è costituito da un tubo di vetro, piegato ad U, con un'estremità in comunicazione con l'aria libera e l'altra comunicante con il recipiente all'interno del quale si vuol misurare la pressione.

## 2.2 Pressione idrostatica

Un liquido a riposo, contenuto in un recipiente, esercita una pressione unitaria (ovvero una pressione per unità di superficie), sulle pareti e sul fondo dello stesso recipiente, chiamata **pressione idrostatica** che è diretta in direzione ortogonale alla parete su cui agisce.

Il liquido contenuto nel recipiente, se è superiormente libero (se cioè termina a contatto con un altro fluido, ad esempio atmosfera), si dispone secondo una superficie piana orizzontale che prende il nome di pelo libero, od anche specchio libero.

Spesso nella pratica è necessario considerare la forza risultante della pressione che agisce su tutta la generica superficie; detta risultante è chiamata spinta (S).

Se la pressione è distribuita, su una data superficie, in modo uniforme, il valore della forza risultante, cioè della spinta (S), si ottiene moltiplicando la pressione unitaria (p) per l'area (A) della superficie su cui agisce la pressione, espressa, l'area, nella stessa unità di misura cui è riferita la pressione. Si ha così:

$$S \text{ (Kg)} = p \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \times A \text{ (cm}^2\text{)}$$

### Legge della pressione idrostatica

Supponiamo di avere due recipienti *a* e *b* riempiti di acqua fino ad un'altezza pari a 10m e superficie alla base pari rispettivamente a 1m<sup>2</sup> e 1 cm<sup>2</sup>.

Sulla base del recipiente *a* agirà un volume pari a

$$1\text{m}^2 \cdot 10\text{m} = 10\text{m}^3$$

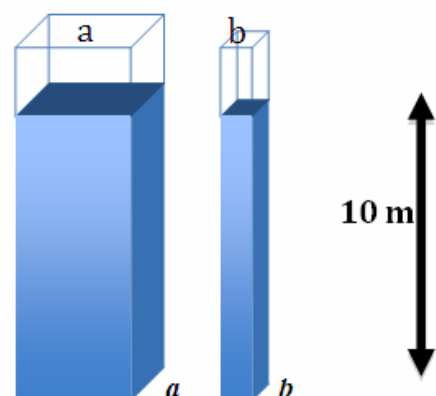
che moltiplicato per il peso specifico

$$10\text{m}^3 \cdot 1.000\text{kg/m}^3 = 10.000\text{kg}$$

sulla base del recipiente *b* agirà un volume pari a

$$1\text{cm}^2 \cdot 10\text{m} = 1\text{cm}^2 \cdot 1.000\text{cm} = 1.000\text{cm}^3$$

che moltiplicato per il peso specifico



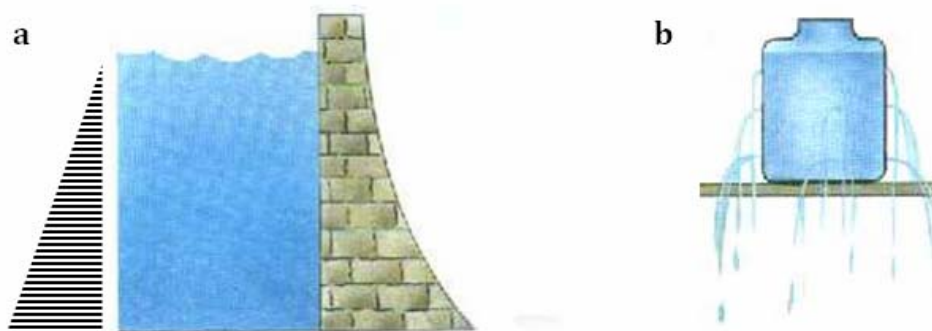
$$1.000\text{cm}^3 \cdot 0,001\text{kg/cm}^3 = 1\text{kg}$$

La pressione che agisce alla base del recipiente a sarà quindi pari a  $10.000\text{kg/m}^2 = 1\text{kg/cm}^2$  mentre quella che agisce alla base del recipiente b sarà pari a  $1\text{kg/cm}^2$  cioè coincidente con la precedente.

Questo esempio semplificato vuole sottolineare che **la pressione dipende solo dall'altezza della colonna di acqua** e non dal volume, quindi dal peso, della stessa.

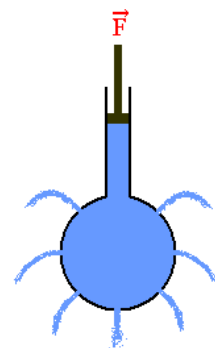
Inoltre va aggiunto che la pressione aumenta linearmente con la profondità (*legge di Stevino*), per questo le opere di sbarramento (p.es. le dighe) presentano uno spessore della muratura portante che aumenta con la profondità (*figura a*).

Lo stesso principio risulta facilmente visibile nella *figura a* se consideriamo un recipiente in cui vengano generati dei fori a diverse altezze: laddove la pressione è maggiore lo zampillo raggiunge distanze maggiori (*figura b*).

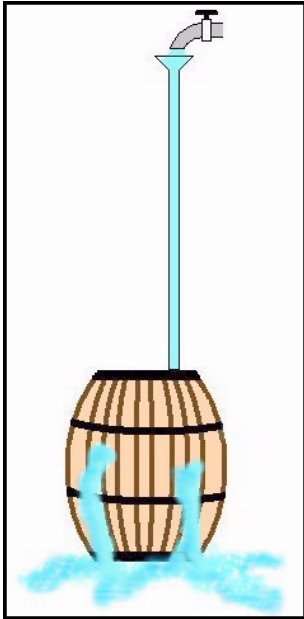


Supponiamo ora di applicare una forza  $F$  in modo che tutto il liquido nel contenitore abbia la stessa pressione: gli zampilli fuoriescono tutti con la medesima intensità indipendentemente dalla loro giacitura.

Altra caratteristica importante della pressione di un liquido è una pressione esercitata in un punto di una massa fluida si trasmette in ogni altro punto e in tutte le direzioni con la stessa intensità (*principio di Pascal*).



### ESEMPIO N.1



In una botte piena d'acqua immergiamo attraverso il coperchio un tubo stretto e molto alto. Versando acqua nel tubo la pressione idrostatica aumenta proporzionalmente all'altezza. L'aumento di pressione si trasmette a tutto il liquido contenuto nella botte e di conseguenza aumenta anche la forza esercitata dall'acqua contro le pareti interne della botte, essendo il prodotto di pressione per superficie. Versando quindi acqua nel tubo si arriverà ad un punto in cui la botte si rompe in quanto il materiale che la costituisce non è in grado di sopportare la forza esercitata dal liquido.

Ciò conferma l'indipendenza della pressione in un certo punto interno ad un fluido dalla forma del recipiente che lo contiene:

un tubo alto ma relativamente stretto può produrre pressioni notevoli senza la necessità di impiego di grossi volumi di liquido.

### ESEMPIO N.2

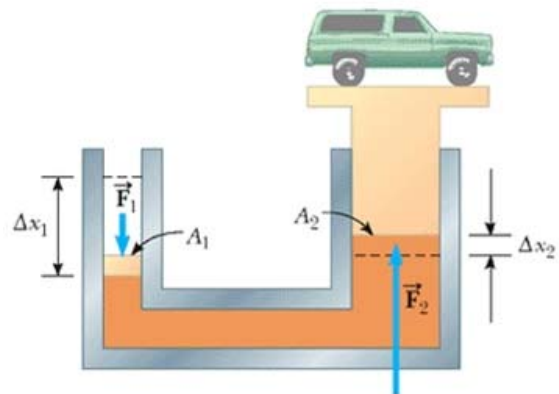
Un'applicazione della legge di Pascal si ha nella pressa idraulica, schematizzata in figura. Quando una forza  $F_1$  è applicata ad un pistone di area  $A_1$ , la pressione si trasmette attraverso il fluido ad un pistone di area  $A_2$  attraverso la forza  $F_2$ . Poiché la pressione sui due pistoni è la stessa

$$P = F_1 / A_1 = F_2 / A_2$$

si ha

$$F_1 / F_2 = A_1 / A_2$$

Se il rapporto tra le aree è molto piccolo, si può ottenere una forza elevata ( $F_2$ ) applicandone una di bassa intensità ( $F_1$ ).



## APPROFONDIMENTO

Immaginiamo, per un momento, di isolare, in seno ad una massa liquida in quiete, un prisma retto verticale, la cui base superiore giace sulla superficie libera del liquido, sulla quale ammettiamo agisca la pressione della sovrastante atmosfera, mentre la base inferiore del prisma si trova ad una certa profondità  $h$ . Per semplicità, ipotizziamo anche che le due basi del prisma abbiano area unitaria (es.  $1 \text{ m}^2$ ). Considerato che il liquido è in quiete, le proiezioni, nelle tre direzioni ortogonali, di tutte le forze che sollecitano il prisma devono avere risultanti nulle. Nella direzione verticale, dobbiamo in particolare considerare l'azione delle seguenti forze:

- la pressione atmosferica ( $p_a$ ) agente sullo specchio libero, che sull'area unitaria esercita una forza  $p_a$ , verso il basso;
- la pressione assoluta ( $p_H$ ) agente sulla base inferiore del prisma, che sull'area unitaria genera una forza  $p_H$  verso l'alto;
- il peso dell'acqua contenuta nel prisma, pari al suo volume ( $1 \cdot h$ ) moltiplicato per il peso specifico  $\gamma$ , ossia:

$$1 \cdot h \cdot \gamma = h \cdot \gamma$$

che è una forza diretta verso il basso.

Poiché le pressioni che si esercitano sulle facce laterali del prisma hanno direzioni normali alle facce stesse e, pertanto, componente nulla in direzione verticale, ed essendo il prisma in quiete, si avrà l'equilibrio delle tre forze verticali prima considerate; la loro

somma deve essere pertanto nulla. Si avrà così:

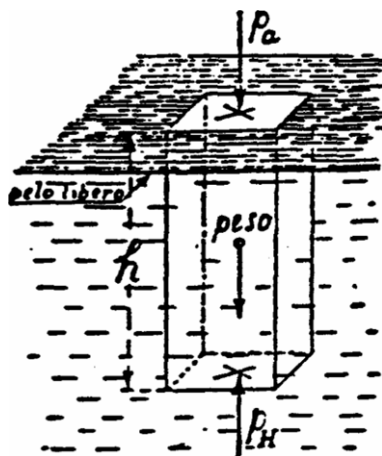
$$p_a + h \cdot \gamma = p_H$$

Se invece della pressione assoluta  $p_H$  si vuole considerare la pressione effettiva  $p_h$ , sottrarrà da ambo i membri della precedente equazione il termine  $p_a$ , ottenendo:

$$p_h = h \cdot \gamma$$

nota come **pressione idrostatica**.

La pressione idrostatica ( $p_h$ ) esistente in un dato punto della massa liquida è, pertanto, misurata dal prodotto del peso specifico del liquido ( $\gamma$ ) per la profondità ( $h$ ) del punto della massa liquida, misurata dal pelo libero del liquido.





*Da questa relazione discende che:*

- a. in tutti i punti di uno strato orizzontale di un fluido ( $h = \text{cost}$ ) il valore della pressione idrostatica è costante.*
- b. la pressione idrostatica è direttamente proporzionale alla profondità dello strato rispetto al pelo libero del liquido; con l'aumento della profondità  $h$  si ha l'incremento, con legge lineare, della pressione  $p$ .*

### 2.3 Altezza piezometrica

Il liquido contenuto nella tubazione orizzontale rappresentata, in sezione, sia sottoposto ad una determinata pressione  $p$ .

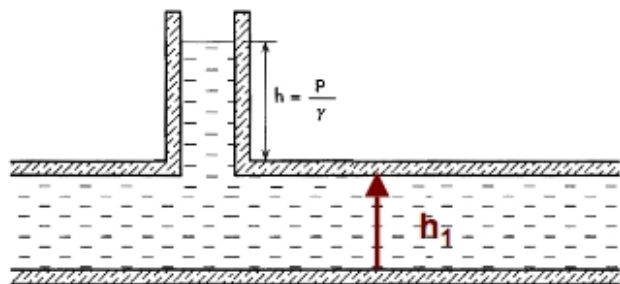
Se sulla tubazione si innesta un tubo verticale, aperto in alto, cosicché in esso sia presente la pressione atmosferica, il liquido sale nel tubo fino ad un'altezza  $h$  tale da equilibrare, col suo peso, la pressione  $p$  esistente nella tubazione; potremo meglio dire che, all'equilibrio, la pressione idrostatica generata, alla base del tubo verticale, dalla colonna d'acqua sovrastante eguaglia la pressione  $p$  esistente nella tubazione considerata.

Si avrà cioè:

$$h \cdot \gamma = p$$

da cui

$$h = p / \gamma$$



Questa altezza  $h$  viene detta **altezza piezometrica** e può essere assunta come misura della pressione esistente all'interno della tubazione.

Il termine  $h_1$  viene detto **altezza geodetica** e rappresenta la distanza in verticale della superficie presa in esame dal fondo del recipiente.

Per l'acqua essendo  $\gamma = 1000 \text{ Kg/m}^3$ :

$$h = p / 1000 \text{ (metri)}$$

Ad esempio, la pressione di 1 atm ( $10,333 \text{ Kg/m}^2$ ),  $h$  equivale a 10,333 metri di colonna d'acqua.

## 2.4 Test di autovalutazione n. 2



### Domanda n.1

---

La misura della pressione si ottiene:

- a) dividendo l'estensione di una superficie per la forza totale agente sulla superficie stessa
- b) dividendo la forza totale agente sulla superficie per l'estensione della superficie stessa
- c) moltiplicando la forza totale agente sulla superficie per l'estensione della superficie stessa

### Domanda n.2

---

La pressione atmosferica al livello del mare è pari a:

- a)  $10333 \text{ kg/m}^2$
- b) 10333 atm
- c) 103,33 bar

### Domanda n.3

---

La pressione misurata a partire dal vuoto assoluto si chiama:

- a) pressione effettiva
- b) pressione assoluta
- c) pressione relativa

#### **Domanda n.4**

---

La pressione idrostatica in un punto:

- a) dipende solo dal volume del liquido soprastante
- b) diminuisce coll'aumentare della profondità
- c) aumenta linearmente con la profondità

#### **Domanda n.5**

---

L'altezza piezometrica si può definire:

- a) come misura della pressione esistente all'interno di una tubazione
- b) rappresenta la distanza in verticale della superficie presa in esame dal fondo del recipiente
- c) aumenta linearmente con la profondità

### 3 FONDAMENTI DI IDRODINAMICA

#### 3.1 Portata

Si definisce portata di un corso d'acqua o di una corrente fluida che scorre all'interno di un tubo il volume d'acqua che, nell'unità di tempo, attraversa una sezione dell'alveo o del condotto, perpendicolare alla direzione del movimento dello stesso fluido.

Generalmente, il volume si misura in metri cubi ed il tempo in secondi, risultando così la portata espressa in  $m^3/sec$ . Le piccole portate si misurano, più frequentemente, in litri al secondo, o al minuto.

#### **ESEMPIO**

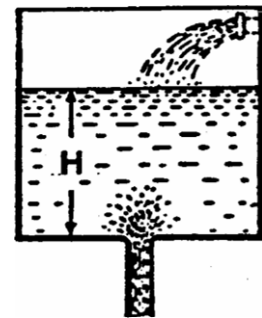
*Per conoscere la portata del proprio impianto, è sufficiente un cronometro e un recipiente con una capacità nota: ad esempio una tanica da 5 litri. Aprire al massimo il rubinetto e misurare il tempo impiegato dall'acqua per riempire il recipiente: a questo punto basta fare una semplice proporzione.*



#### 3.2 Regimi di una corrente

Sul fondo del serbatoio rappresentato in figura è praticato un foro, attraverso il quale fuoriesce l'acqua. Con lo svuotamento del serbatoio si ha la diminuzione del livello idrico al suo interno, con conseguente diminuzione della pressione che agisce sul fondo e della velocità di efflusso dell'acqua dal foro: il getto diminuisce a poco a poco d'intensità sino ad esaurirsi.

Si ha l'opposto se, mentre dal foro fuoriesce acqua, il serbatoio viene alimentato da un più potente getto d'acqua.



Nell'uno e nell'altro caso le grandezza che caratterizzano il regime del flusso d'acqua uscente, ovvero **pressione e velocità, variano col tempo** in ogni punto della corrente, che perciò viene detto a **regime variabile**.

Se, invece, il serbatoio viene alimentato in modo tale da mantenere costante il livello dell'acqua al suo interno, malgrado l'efflusso dal fondo, le caratteristiche del regime del flusso (pressione e velocità) restano in ogni punto della corrente **costanti**, indipendentemente dal tempo, pur variando (si noti bene) da un punto all'altro della corrente stessa. La corrente dicesi, in questo caso, a **regime permanente**.

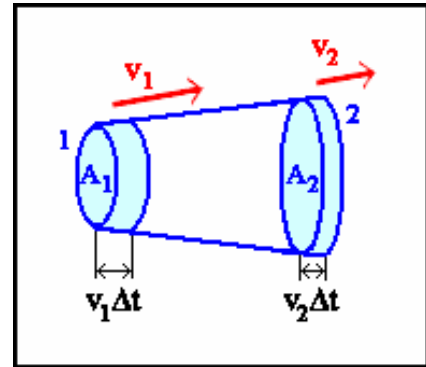
Un caso particolare del regime permanente è il **regime uniforme** che si verifica quando la velocità è costante, indipendentemente dal tempo, in un determinato punto ed, inoltre, le particelle liquide conservano anche lo stesso valore della velocità in tutti i successivi punti della loro traiettoria (caso dei tubi e dei canali a sezione costante).

### 3.3 RELAZIONE TRA PORTATA, VELOCITA' E SEZIONE

Supponiamo di avere un condotto di sezione variabile. Per ipotesi il fluido sia incomprimibile (viscoso o meno): *ad un certo volume di fluido entrante nel tubo corrisponderà un ugual volume di fluido uscente* .

Se all'entrata, nel punto 1, la velocità del fluido è  $v_1$  e la sezione del condotto è  $A_1$ , nell'intervallo di tempo  $\Delta t$  sarà passato un volume di fluido

$$\Delta V_1 = A_1 v_1 \Delta t$$



Nel punto 2 la velocità del fluido non sarà necessariamente la stessa del punto 1 : sarà una certa velocità  $v_2$  corrispondente ad una sezione  $A_2$  del tubo. Nello stesso intervallo di tempo uscirà quindi dal punto 2 un volume di fluido

$$\Delta V_2 = A_2 v_2 \Delta t$$

Per l'incomprimibilità del fluido questi volumi saranno uguali e quindi :

$$A_1 v_1 \Delta t = A_2 v_2 \Delta t$$

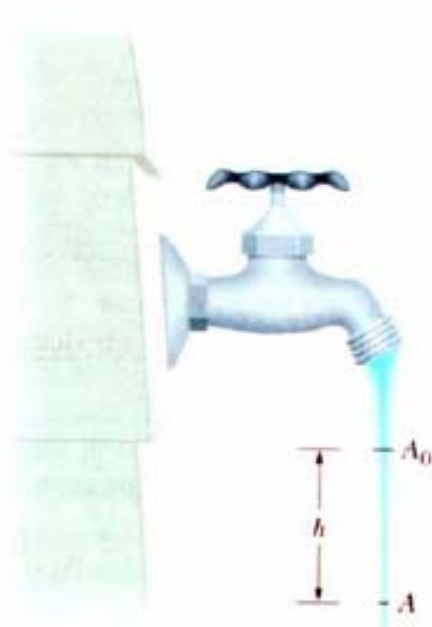
Questa equazione è detta ***equazione di continuità***.

La grandezza  $A \cdot v$  è detta *portata in volume* e dall'equazione di continuità si deduce che *in una corrente stazionaria di un fluido incompressibile la portata in volume ha lo stesso valore in ogni punto del fluido*:

$$Q_V = A \cdot v = \text{cost}$$

### **ESEMPIO**

*Una tipica applicazione dell'equazione di continuità si osserva in un getto d'acqua che fuoriesce da un rubinetto. La sua velocità cresce man mano che il getto cade: poiché la portata deve essere la stessa in tutte le sezioni, lungo la caduta il getto si deve assottigliare*



*In alcuni tipi di fontane avviene esattamente il contrario. Lo zampillo che sale verso l'alto perde man mano velocità, per cui, ancora per l'equazione di continuità la sezione del getto aumenta.*



### 3.4 Teorema di Bernoulli

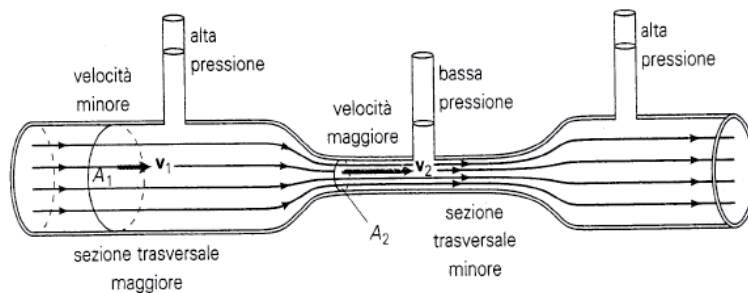
L'equazione fondamentale dell'Idrodinamica, equazione di Bernoulli, mette in relazione velocità  $v$ , pressione  $p$  ed energia potenziale del fluido  $y$ , quest'ultima legata all'altezza rispetto ad un piano di riferimento:

$$\frac{p}{\gamma} + y + \frac{v^2}{2g} = \text{costante} \quad \text{equazione di Bernoulli.}$$

Essa può essere applicata al movimento di qualsiasi tipo di fluido, ma soprattutto permette di calcolare la velocità di un fluido misurando le variazioni di pressione, poiché la diminuzione della velocità provoca l'aumento della pressione e viceversa.

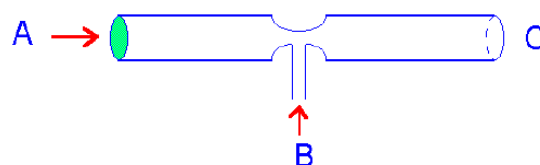
Se la velocità di un fluido aumenta, la pressione diminuisce. Questo fenomeno è detto *effetto Venturi*. Esso si dimostra applicando l'equazione di continuità e l'equazione di Bernoulli ad un tubo con una strozzatura orizzontale come in figura.

Essendo entrambe le sezioni alla stessa quota l'equazione di Bernoulli non contiene il termine  $y$  e si riduce a:  $\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = \text{costante}$ . Tenendo presente che per il flusso di un fluido vale anche l'equazione di continuità, essendo costante il prodotto  $A \cdot v$ , si avrà che ad una



diminuzione della sezione  $A$  corrisponde un aumento della velocità  $v$  e, poiché la somma dei termini nell'equazione sopra deve anch'essa rimanere costante, una diminuzione della pressione nella zona a

sezione ridotta del tubo.

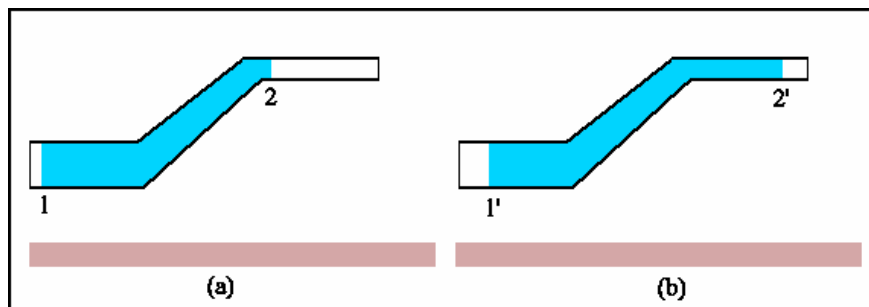


Un esempio si trova nello spruzzatore di profumi: con una pompetta in A ed il flaconcino del profumo in B si spruzza attraverso C.

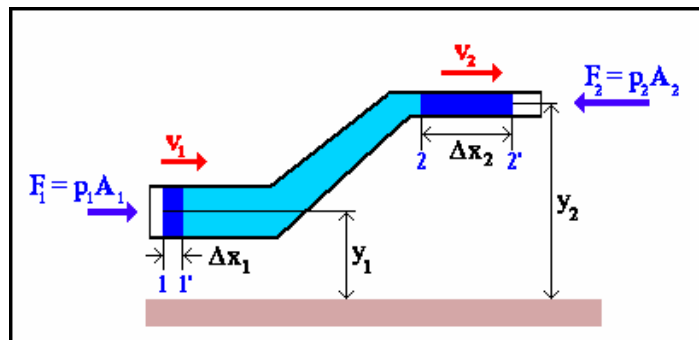
Le lance in dotazione alle motopompe dell'APS dei Vigili del Fuoco che erogano acqua mista ad agente schiumogeno si basano sullo stesso principio di funzionamento.

### APPROFONDIMENTO

Consideriamo ora un fluido ideale che scorra in un tubo di sezione e quota variabile :



Lo spostamento del fluido nel condotto porterà la massa che si trova tra i punti 1 e 2 a trovarsi dopo un intervallo di tempo tra i punti 1' e 2'. La variazione tra le figure (a) e (b) riguarda le porzioni di massa fluida ombreggiate nella figura sotto (in figura sono indicati i moduli dei vettori disegnati: in tutta questa sezione tratteremo direttamente con i moduli delle grandezze vettoriali in questione):



Il volume entrante sarà uguale a quello uscente (per l'incomprimibilità):

$$\Delta V = A_1 \Delta x_1 = A_2 \Delta x_2$$

e la massa di questo fluido sarà:

$$\Delta m = \rho \Delta V$$

Per effetto del movimento del fluido la massa  $\Delta m$  nel tempo  $\Delta t$  è stata spostata dalla quota  $y_1$  alla quota  $y_2$  e la sua velocità è variata da  $v_1$  a  $v_2$ .

Per trovare una legge che regola il moto in questo tipo di condotto è necessario applicare il teorema dell'energia cinetica al fluido contenuto inizialmente tra i punti 1 e 2 ovvero alla massa di fluido  $\Delta m$ .

La variazione di energia cinetica di questa massa è

$$\Delta E_c = 1/2 \cdot \Delta m \cdot v_2^2 - 1/2 \cdot \Delta m \cdot v_1^2 = 1/2 \cdot \rho \Delta V \cdot (v_2^2 - v_1^2)$$

La variazione di energia potenziale è:

$$\Delta U = \Delta m \cdot g \cdot y_2 - \Delta m \cdot g \cdot y_1 = \rho \Delta V \cdot g (y_2 - y_1)$$

Il fluido a sinistra dell'imboccatura del tubo che precede la massa  $\Delta m$  eserciterà su essa una forza di modulo  $F_1 = p_1 A_1$ , dove  $p_1$  è la pressione nel punto 1. Questa forza compirà un

lavoro:

$$L_1 = F_1 \Delta x_1 = p_1 A_1 \Delta x_1 = p_1 \Delta V$$

Con un ragionamento analogo, alla fine del tubo, a destra della massa considerata, il fluido che segue compirà su di essa un lavoro negativo:

$$L_2 = -F_2 \Delta x_2 = -p_2 A_2 \Delta x_2 = -p_2 \Delta V$$

dove  $p_2$  è la pressione nel punto 2 esercitata in verso contrario al moto del fluido.

Il lavoro totale compiuto da queste forze è :

$$L_{tot} = L_1 + L_2 = p_1 \Delta V - p_2 \Delta V = (p_1 - p_2) \Delta V$$

e quindi dal teorema dell'energia cinetica

$$L_{tot} = \Delta U + \Delta E_c$$

$$(p_1 - p_2) \Delta V = \rho \Delta V \cdot g (y_2 - y_1) + 1/2 \cdot \rho \Delta V \cdot (v_2^2 - v_1^2)$$

dividendo per  $\Delta V$  e raccogliendo al primo membro le grandezze relative al punto 1 ed al secondo quelle relative al punto 2 :

$$p_1 + \rho g y_1 + 1/2 \cdot \rho v_1^2 = p_2 + \rho g y_2 + 1/2 \cdot \rho v_2^2$$

Questa altro non è che una formulazione matematica della legge di conservazione dell'energia totale, che sfrutta parametri quali l'altezza di partenza e di arrivo del flusso d'acqua, la velocità di partenza e di arrivo, la pressione di partenza e di arrivo, la densità e l'accelerazione di gravità.

Poiché i due punti sono stati presi a caso nel condotto è possibile ripetere questo

*ragionamento per qualsiasi coppia di punti e, dividendo per  $\rho \cdot g = \gamma$  peso specifico del*

*fluido, quindi concludere che:*

$$\frac{p}{\gamma} + y + \frac{v^2}{2g} = \text{costante}$$

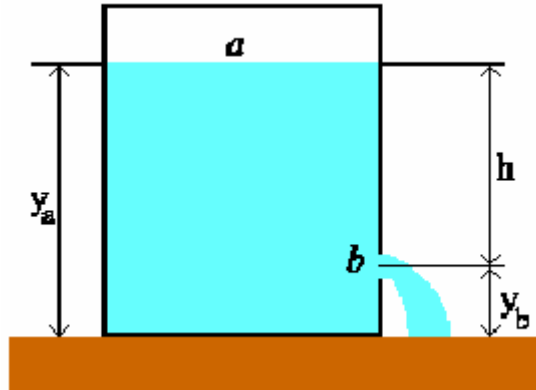
***equazione di Bernoulli.***

*I tre termini a primo membro hanno le dimensioni di una lunghezza e vengono dette*

- $\frac{p}{\gamma}$ , altezza piezometrica: è l'altezza che il fluido raggiungerebbe sotto l'azione della pressione  $p$ ;*
- $y$ , altezza geometrica o geodetica: è l'altezza del fluido rispetto ad un livello di riferimento;*
- $\frac{v^2}{2g}$ , altezza di arresto o cinetica : è l'altezza che il fluido raggiungerebbe se fosse lanciato verso l'alto con velocità  $v$ .*

### 3.5 Legge di Torricelli

Da un foro posto ad una distanza  $h$  dalla superficie superiore di un fluido contenuto in un serbatoio, il fluido esce con una velocità pari a quella che avrebbe se scendesse in caduta libera per un tratto  $h$ .



Ciò si dimostra applicando l'equazione di Bernoulli ai punti  $a$  e  $b$  della figura. Supponendo che il diametro del foro sia molto minore di quello del serbatoio, è possibile trascurare la velocità dell'acqua in superficie, ovvero nel punto  $a$ . L'equazione di Bernoulli diventa

$$\frac{p_a}{\gamma} + y_a + \frac{v_a^2}{2g} = \frac{p_b}{\gamma} + y_b + \frac{v_b^2}{2g}$$

Essendo sia  $a$  che  $b$  in comunicazione con l'atmosfera,  $p_a$  e  $p_b$  saranno uguali e pari alla pressione atmosferica, quindi risolvendo rispetto  $v_b$

$$y_a = y_b + \frac{v_b^2}{2g}$$

$$v_b^2 = 2g(y_a - y_b) = 2gh, \text{ da cui } v_b = \sqrt{2gh}$$

che è appunto la velocità che assumerebbe il fluido se cadesse da  $a$  a  $b$  nel campo gravitazionale.

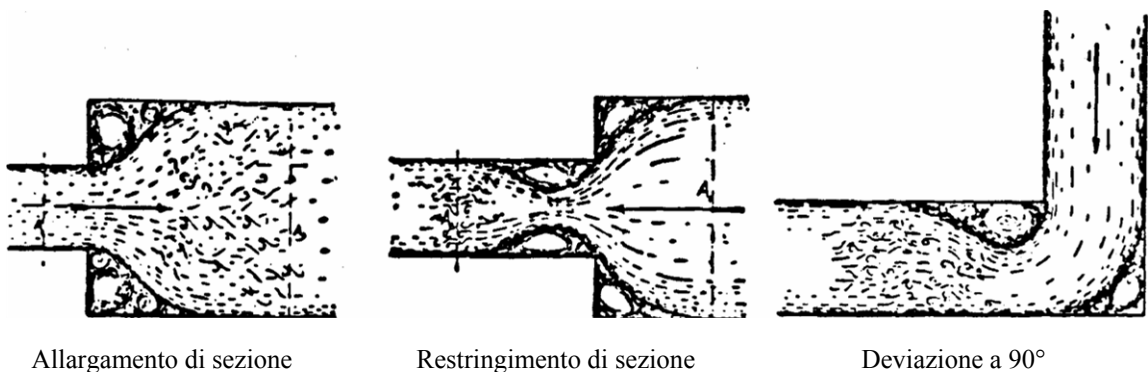
### 3.6 L'equazione di Bernoulli e le resistenze passive

Le resistenze che un liquido oppone al movimento, a cagione dell'attrito esterno e della viscosità, appartengono a due categorie distinte: **resistenze continue** e resistenze accidentali, o, meglio, **resistenze localizzate**.

Le resistenze continue sono dovute all'attrito (esterno) del liquido contro le pareti del recipiente nel quale scorre (tubo, alveo naturale od artificiale) ed all'attrito (interno) dei filetti più distanti dalle pareti, che sono i più veloci, rispetto ai filetti più lenti che scorrono in prossimità delle pareti.

Queste resistenze vengono dette continue perchè si producono con continuità lungo tutto il percorso del fluido. All'opposto, si definiscono resistenze localizzate quelle resistenze particolari che si manifestano in determinati punti della corrente caratterizzati da particolarità della condotta o dell'alveo, che moltiplica in quel determinato punto, le azioni di attrito interno, creando moti disordinati e vorticosi.

Così ad esempio, ogni brusca variazione di sezione o di direzione della condotta determina una serie di urti e di vortici in seno alla massa liquida, dovuti al fatto che le particelle in moto non possono adattarsi a traiettorie spezzate, che causano le resistenze localizzate del fluido.

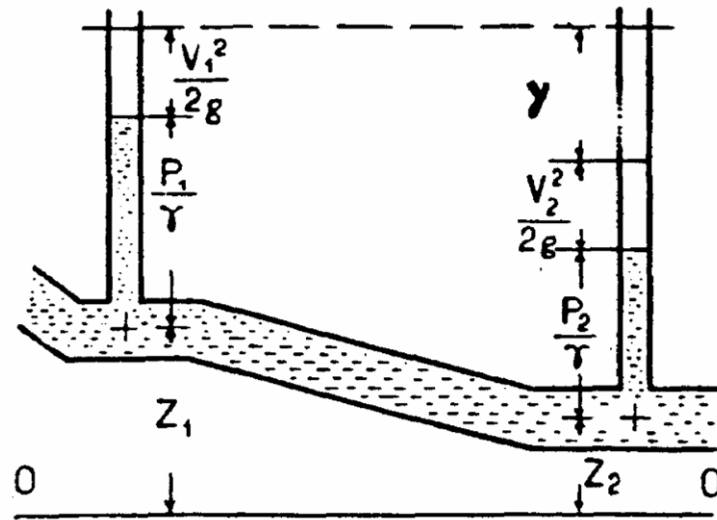


Le resistenze, siano esse continue o localizzate, devono essere considerate come forze che contrastano il movimento dell'acqua; il lavoro corrispondente rappresenta energia sottratta al fluido. Se  $Y$  è l'energia dissipata, tra le sezioni  $a$  e  $b$  di una condotta, per resistenze passive continue e/o localizzate l'equazione di Bernoulli diventa:

$$\frac{p_a}{\gamma} + y_a + \frac{v_a^2}{2g} = \frac{p_b}{\gamma} + y_b + \frac{v_b^2}{2g} + Y$$

e cioè: l'energia iniziale eguaglia l'energia finale aumentata dell'energia dissipata, chiamata perdita di carico.

Pertanto, se a partire da una retta di riferimento, orizzontale, si portano verticalmente, e di seguito, i valori del trinomio di Bernoulli per le due sezioni  $a$  e  $b$ , la differenza di altezza degli estremi delle ordinate nelle due sezioni rappresenta la perdite di carico, dovuta alle resistenze passive, tra le due sezioni considerate.



### 3.7 Perdite di carico continue

Le perdite di carico, cioè l'energia dissipata, per resistenze continue sono dovute, come già visto nel precedente paragrafo 3.7, all'effetto degli attriti interni ed esterni dell'acqua in movimento.

Studiosi hanno individuato che le perdite di carico continue ( $P_c$ ) dipendono dalla natura interna del tubo, dal quadrato della portata  $Q$  fluente, dalla lunghezza  $L$  del tubo e sono inversamente proporzionali alla quinta potenza del diametro  $D$  della tubazione, secondo la seguente relazione (formula di Darcy):

$$P_c = \beta (Q^2 / D^5) L \quad (\beta \text{ è una costante dipendente dalla natura del tubo})$$

La relazione che lega la perdita di carico, la portata, la lunghezza ed il diametro della tubazione si interpreta nel seguente modo:

- per una determinata tubazione (costanti  $\beta$ ,  $D$ ,  $L$ ), la perdita di carico varia con il quadrato della portata;
- per un determinato diametro di tubazione e per una determinata portata, la perdita di carico è direttamente proporzionale alla lunghezza della tubazione (cioè incrementando  $L$  si ha l'incremento di  $P_c$ );
- per una data portata e per una data lunghezza, la perdita di carico è inversamente proporzionale alla quinta potenza del diametro; bastano cioè piccolissime variazioni del diametro per produrre notevoli variazioni nel valore delle perdite di carico.

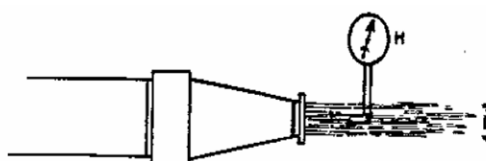
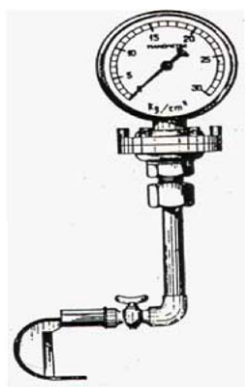


### 3.8 Applicazioni del Teorema di Bernoulli

Il tubo di Pitot è un apparecchio che, cogliendo l'acqua in velocità, all'uscita da un orifizio, indica il valore della pressione corrispondente a detto valore.

Il posizionamento del tubo di Pitot deve essere realizzato nel modo seguente:

- il foro di presa del tubetto dello strumento deve essere posto a valle della sezione di efflusso ad una distanza pari almeno al diametro della sezione stessa;
- il foro di presa deve essere centrato rispetto alla sezione di efflusso;
- il tubo di presa deve essere coassiale col bocchello di efflusso.



Dalla misura della pressione, misurando preventivamente il diametro dell'orifizio da cui getta l'acqua, potrà calcolarsi la velocità dell'acqua e conseguentemente, introducendo opportuni coefficienti di efflusso, il valore della portata effluente dall'orifizio.

### 3.9 Test di autovalutazione n. 3



#### Domanda n.1

---

La portata è misurata:

- a) dal prodotto dell'area della sezione normale alla corrente liquida per la velocità del liquido che attraversa la sezione
- b) dal rapporto tra l'area della sezione normale alla corrente liquida e la velocità del liquido che attraversa la sezione
- c) dal rapporto tra la velocità del liquido che attraversa la sezione e l'area della sezione normale alla corrente liquida

#### Domanda n.2

---

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.3

---

Secondo l'equazione di Bernoulli ad altezza geodetica costante:

- a) la pressione diminuisce col diminuire del quadrato della velocità
- b) la pressione aumenta col diminuire del quadrato della velocità
- c) il quadrato della pressione aumenta coll'aumentare della velocità

#### **Domanda n.4**

---

Dire quale delle seguenti affermazioni è vera:

- a) in una corrente fluida a regime permanente la velocità del fluido mantiene lo stesso valore in ogni punto.
- b) in una corrente fluida a regime uniforme la velocità del fluido mantiene lo stesso valore in ogni punto.
- c) In una corrente fluida a regime variabile la pressione varia col tempo ma non la velocità.

#### **Domanda n.5**

---

L'equazione di Bernoulli:

- a) Esprime la conservazione dell'energia totale espressa nelle tre forme: altezza cinetica, altezza geodetica ed altezza meccanica.
- b) Esprime la conservazione dell'energia totale espressa nelle tre forme: altezza cinetica, altezza geodetica ed altezza piezometrica.
- c) Esprime la conservazione dell'energia totale espressa nelle tre forme: altezza potenziale, altezza geodetica ed altezza piezometrica.

#### **Domanda n.6**

---

Le resistenze continue nelle tubazioni sono dovute:

- a) A restringimenti e/o strozzature interne alle tubazioni.
- b) All'attrito del fluido contro le pareti del tubo.
- c) Sono del tutto trascurabili.

## 4 MATERIALI PER LA FORMAZIONE DI CONDOTTE ANTINCENDIO

### 4.1 Tubi di mandata

Per il trasporto dell'acqua in pressione, dal mezzo che la fornisce alle lance che la erogano sull'incendio, si usano le tubazioni flessibili antincendio (comunemente chiamate manichette antincendio).

Queste tubazioni, quando non sono sottoposte a pressione idraulica interna hanno pareti morbide tali da fare assumere alla tubazione stessa la sezione trasversale piatta.

Le tubazioni antincendio devono risultare maneggevoli, impermeabili e resistenti alla pressione; attualmente sono realizzate con una guaina interna, tubolare, impermeabilizzante, di gomma o plastica e da una calza esterna di fibre sintetiche, di solito poliestere.

I diametri dei tubi in uso presso il C.N.VV.F. sono essenzialmente due: 45 e 70 mm (per diametro si intende quello interno misurato a tubo pieno). I tubi da 70 mm sono utilizzati per la formazione di condotte che trasportano l'acqua dall'alimentazione idrica (serbatoio, pompa, idrante, ecc) all'incendio, con all'estremità lance di grande potenza, cioè lance che erogano quantità consistenti di acqua. I tubi da 45 mm sono invece utilizzati per formare, sul luogo dell'incendio, condotte con all'estremità lance di piccola potenza.

I tubi flessibili, per comodità di impiego, sono divisi in tratti (spezzoni lunghi 20 m), tra loro congiungibili per mezzo di opportuni raccordi.

Una tubazione flessibile di mandata è una tubazione che vuota presenta la possibilità di essere piegata e arrotolata in semplice o in doppio.



E' usualmente adoperata per il trasporto di sostanze antincendio come acqua, acqua addizionata con particolari sostanze (agenti bagnanti ed agenti per ridurre l'attrito), o schiuma.

Le tubazioni flessibili “manichette” sono realizzate con materiali che devono offrire la massima affidabilità, in quanto la rottura di una tubazione durante un intervento porta, causa la necessità della sua sostituzione, ad una perdita di tempo nell'attacco dell'incendio, che può essere determinante per l'esito finale delle operazioni di spegnimento.

Per garantire l'affidabilità di cui sopra è necessario acquistare ed utilizzare tubazioni progettate e costruite per questo particolare uso, assicurare un'adeguata e continua manutenzione della stessa attrezzatura, ed infine ispezionare sistematicamente e provare idraulicamente le tubazioni.

La quantità di acqua trasportata da queste tubazioni è commisurata al diametro interno delle stesse ed è, inoltre, limitata poiché la velocità dell'acqua in condotta non deve superare valori che portano a perdite di carico ed a sovrappressioni troppo elevate.

Normalmente le tubazioni da 45 mm vengono usate per trasportare quantità di acqua fino a 100-200 litri al minuto, mentre quelle da 70 mm quantità di acqua fino a 600-800 litri al minuto.

#### **4.1.1 Materiali usati nella fabbricazione delle tubazioni flessibili antincendio**

Una tubazione flessibile antincendio deve presentare, contemporaneamente, le caratteristiche di basso peso, flessibilità, tenuta e resistenza alla pressione idraulica.

Attualmente, queste proprietà sono ottenute con l'uso combinato di una calza tessile, esterna, realizzata con filati di natura sintetica alla quale viene fatta aderire, internamente, una tubazione di gomma.

I filati della calza tessile sono costituiti attualmente da fibre sintetiche (poliesteri o poliammidi) che hanno, rispetto alle fibre naturali, oltre alla leggerezza e alla flessibilità un minore assorbimento d'acqua con conseguenti ulteriori vantaggi quali, ad esempio:

- possibilità di avere, anche con tubazioni bagnate, tubazioni leggere e flessibili;
- un minor tempo di asciugatura dopo il lavaggio;
- un minor decadimento, in caso di tubazioni bagnate, delle proprietà meccaniche in presenza di eventuale gelo (formazione di ghiaccio con conseguente rottura delle fibre).

Queste tubazioni presentano, inoltre, un'alta resistenza alla putrefazione (formazione di muffe) anche se conservate umide, una bassa dilatabilità, una buona resistenza all'abrasione ed un'ottima resistenza chimica.

Diamo ora un breve cenno sulle modalità di costruzione della calza tessile della tubazione flessibile.

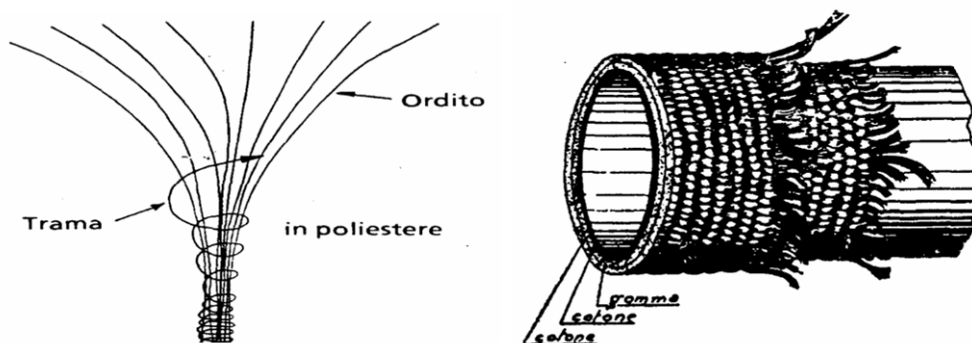
Le fibre utilizzate per la costruzione della calza, ottenute dalla materia base, prima di passare alla tessitura vengono lavorate in speciali macchine, dette torcitoi, per la produzione di filati. Successivamente, in un telaio circolare viene confezionata la parte in tessuto del tubo, nella quale i filati posti parallelamente all'asse del tubo vengono a costituire l'**ordito**, mentre quelli posti nella direzione circonferenziale la **trama**.

Dalla posizione reciproca dell'ordito e della trama si possono ottenere due tipi di tessitura, la tessitura semplice e la tessitura incrociata. In quest'ultima, l'ordito e la trama si incrociano regolarmente.

La caratterizzazione dei filati avviene in base al loro peso misurato in d tex che sta ad indicare un filato con peso di 1 dg per un Km di lunghezza.

Lo strato di gomma interna di un tubo flessibile antincendio deve essere ben aderente al tessuto (caratteristica che si ottiene con una particolare operazione di vulcanizzazione), molto flessibile e resistente all'invecchiamento.

Queste ultime qualità si ottengono aggiungendo alla miscela di gomma sintetica, che da anni ha sostituito l'uso della gomma naturale, speciali sostanze chimiche.



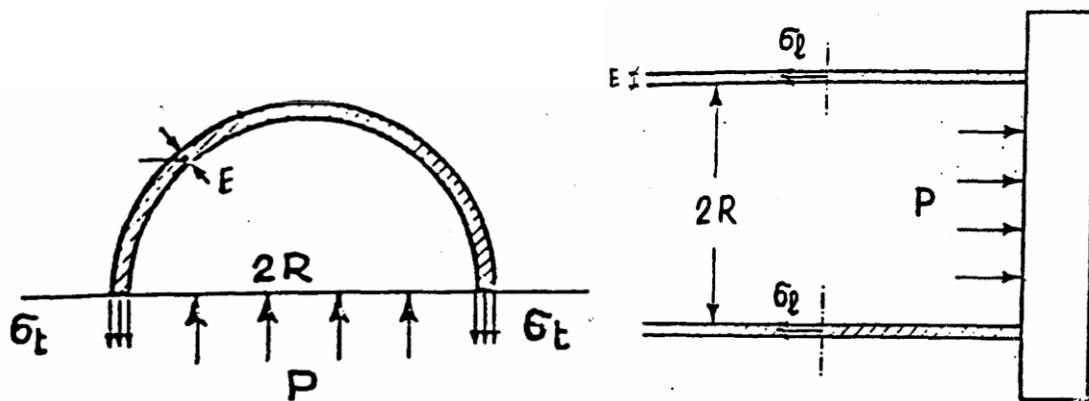
Nella tabella che segue sono riassunte alcune delle principali caratteristiche prestazionali fissate dal capitolato tecnico del Ministero dell'interno, valido per le tubazioni flessibili da 45 e 70 mm.

CARATTERISTICA	Valori di riferimento
Pressione di scoppio	$\geq 4,5$ MPa
Pressione di collaudo	2,4 MPa
Pressione di esercizio	1,2 MPa
Invecchiamento	7 gg
Resistenza al distacco, dopo l'invecchiamento, tra strato tessile e gomma	$\geq 22$ N
Resistenza all'usura	nessuna perdita a 1.2 MPa dopo 140 giri (100 giri per DN 70) con forza applicata di 105 N
Angolo di torsione sotto pressione	No antioraria e max 100°/m

## APPROFONDIMENTO

### *Stato tensionale in una tubazione flessibile sottoposta a pressione idraulica interna*

Siano, rispettivamente,  $P$  la pressione idraulica interna al tubo,  $E$  lo spessore, e  $2R$  il diametro interno di una tubazione flessibile. Le tensioni trasversali  $\sigma_t$  e longitudinali  $\sigma_l$  che si verificano nella zona resistente del filato susseguenti alla pressione idrica interna valgono (per tensione si intende lo sforzo agente per unità di superficie del filato):



$$\sigma_t = (PxR) / E \text{ fili di trama}$$

$$\sigma_l = (PxR) / 2E \text{ fili di ordito}$$

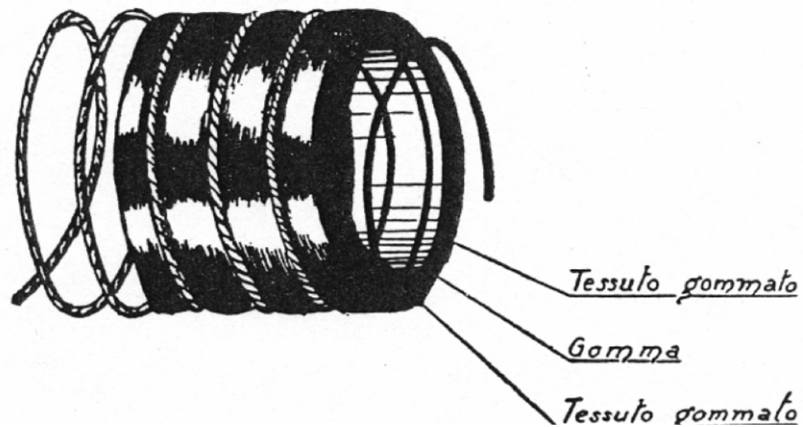
*Alle tensioni  $\sigma_t$  dovrà resistere la trama, mentre alle tensioni  $\sigma_l$  resisterà l'ordito; quindi, poiché  $\sigma_t = 2\sigma_l$  si ha che il filato in trama dovrà essere in quantità doppia di quello dell'ordito. Il ruolo maggiore nella resistenza allo scoppio di una tubazione viene quindi svolto dalla trama; infatti, nei campioni nuovi portati allo scoppio si nota la classica rottura dovuta al cedimento della trama, cedimento che avviene in genere lungo la generatrice di piegatura della tubazione, che rappresenta il punto debole del filato.*



## 4.2 Tubi di aspirazione

Questi tubi devono resistere alla pressione atmosferica esterna che tende a schiacciarli quando nel loro interno la pompa, aspirando, crea depressione.

I requisiti dei tubi di aspirazione sono: assoluta impermeabilità all'acqua e all'aria, resistenza alla pressione atmosferica esterna, flessibilità e maneggevolezza, buona durata.



I diametri, interni, dei tubi d'aspirazione variano in relazione alla portata delle pompe cui sono destinati:

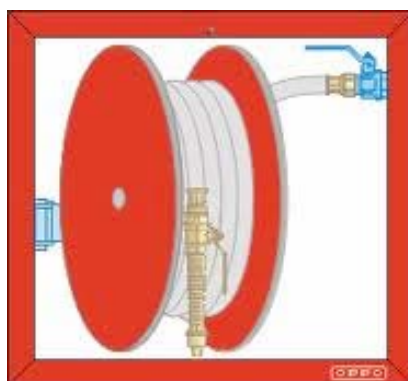
mm 70	per pompe da 300 - 500	litri al minuto
mm 80	per pompe da 500 - 800	litri al minuto
mm 100	per pompe da 1000 - 1500	litri al minuto
mm 125	per pompe da 1800 - 2300	litri al minuto
mm 150	per pompe da 5000	litri al minuto

Dato il peso considerevole delle tubazioni, le stesse sono costituite da tratti di breve lunghezza (3 - 4 m). Questi tratti sono poi uniti per mezzo dei raccordi che saranno descritti nei paragrafi che seguono.

### 4.3 Tubazioni semirigide per naspi ad alta pressione

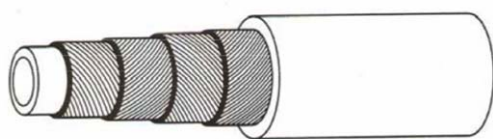
Per l'estinzione degli incendi i Vigili del fuoco utilizzano anche tubazioni semirigide collegate all'attacco di mandata ad alta pressione (4,0 MPa) del gruppo pompa antincendio degli automezzi di soccorso, avvolte su una bobina posizionata nel vano posteriore del mezzo.

Il sistema è noto con il nome di “naspo antincendio ad alta pressione”

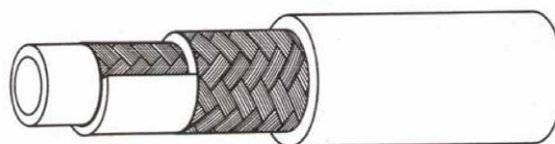


Le tubazioni semirigide utilizzate nei naspi ad A.P., per uso antincendio, si compongono delle seguenti tre parti costruttive:

- il sottostrato interno;
- il rinforzo intermedio;
- il rivestimento esterno.



*Tubo con quattro strati di tessuto corda avvolto*



*Tubo con due strati tracciati*

I sottostrati interni ed esterni sono in gomma o plastica resistente rispettivamente al fluido da convogliare e agli agenti e/o azioni esterne.

Il rinforzo intermedio è invece realizzato in genere con tessuti ad alta resistenza, che presentano varie tipologie di armatura ed ha la funzione di resistere alla pressione idraulica esistente all'interno della tubazione.

Per la fabbricazione delle tubazioni semirigide si utilizzano, per lo strato interno ed esterno, numerosi tipi di elastomeri, ognuno dei quali è caratterizzato da specifiche caratteristiche chimico/fisiche e proprietà; per lo strato di rinforzo si utilizzano, invece, tessuti di fibre sintetiche quali ad esempio, poliammide, poliestere, ecc..

Nella tabella che segue sono riassunte alcune delle principali caratteristiche richiamate nella norma UNI EN 1947, con i relativi valori di riferimento.

CARATTERISTICA	Valori di riferimento
Pressione di esercizio	4,0 MPa
Pressione di scoppio	$\geq 12,0$ MPa
Pressione di collaudo	8,0 MPa
Adesione (tra tutti i componenti della tubazione)	$\geq 2,0$ KN/m
Invecchiamento	7 gg
Resistenza all'abrasione	120 passaggi
Resistenza ad una superficie calda	400 °C - 60 sec

#### 4.4 Mezzi di giunzione - raccordi

I raccordi per i tubi in pressione possono essere simmetrici (cioè formati da due parti uguali che si agganciano comprimendo tra loro due elementi di guarnizione in gomma) o asimmetrici (che hanno disuguali le due parti in congiunzione).

Il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco ha unificato i raccordi utilizzando la tipologia a vite uno maschio e l'altro femmina.



- a) Raccordo maschio
- b) Raccordo femmina
- c) Raccordo completo UNI 804
- d) Raccordi dei tubi di aspirazione

Il materiale utilizzato per la costruzione dei raccordi è l'ottone; i raccordi utilizzano inoltre, per la tenuta idraulica, una guarnizione in gomma nera speciale.

E' importante ricordare che nella formazione delle condotte il maschio filettato deve essere sempre rivolto verso l'incendio; di conseguenza, il pezzo munito di manicotto girevole deve essere sempre rivolto verso la provenienza dell'acqua.

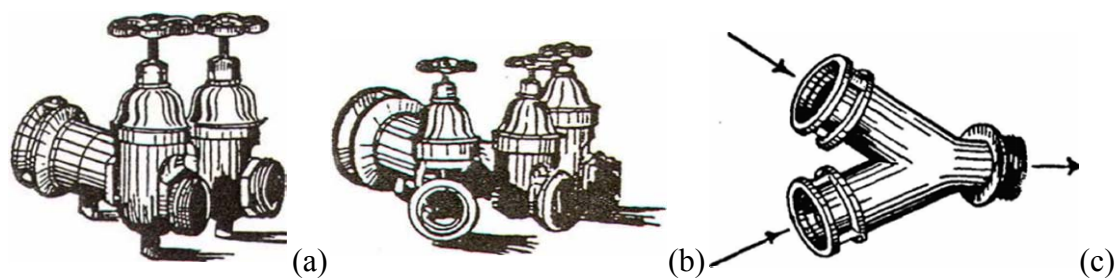
Per quanto riguarda i raccordi dei tubi di aspirazione vale quanto detto per quelli utilizzati per le condotte in pressione, varia solo la regola di orientamento che è l'inversa di quella data per i tubi in pressione, cioè il maschio filettato deve essere sempre rivolto verso la provenienza dell'acqua.

I materiali, i metodi di prova e le designazioni dei raccordi per tubazioni flessibili, degli attacchi a vite e a madrevite e dei tappi per valvole e raccordi, da impiegare nelle apparecchiature per estinzione incendi, sono indicati rispettivamente nelle norme UNI 804, UNI 810, UNI811 e UNI 7421 ed 2007.

#### 4.5 Divisori - Collettori - Riduttori - Diffusori

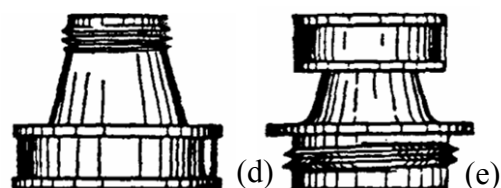
Per lo spegnimento degli incendi si richiede spesso che una tubazione da 70 mm, giunta in prossimità dell'incendio, si suddivida per alimentare due tubazioni da 70 mm o più tubazioni da 45 mm che fanno capo alle lance.

A tale scopo si utilizzano i divisori, che possono essere a due (a) o tre vie (b).



Si usano invece i collettori, quando si ha necessità di riunire due o più condotte da 70 mm per alimentare un'unica lancia ed ottenere così un getto di particolare potenza (c).

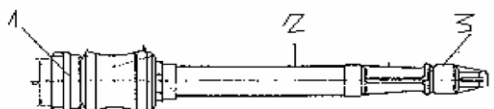
Quando si vuole invece passare da una tubazione più grande ad una più piccola (es. da 70 a 45) si usano i riduttori (d) mentre, nel caso contrario (es. da 45 a 70), si usano i diffusori (e).



## 4.6 Lance da incendio

La lancia da incendio è una attrezzatura che, applicata all'estremità di una condotta, serve a trasformare, gradualmente, la pressione residua dell'acqua in velocità, per poter ottenere un getto d'acqua efficace e facilmente maneggevole per lo spegnimento degli incendi.

La lancia classica, che eroga solo a getto pieno, è formata dalle seguenti parti costruttive:



- 1) raccordo femmina, alla base, di DN 45 o 70, per il collegamento con la tubazione;
- 2) corpo metallico, tronco-conico che si stringe piano piano fino al bocchello;
- 3) bocchello o orifizio che serve a rendere il getto regolare.

L'unione delle tre parti è fatta in modo da avere una superficie interna perfettamente continua e liscia.

Il raccordo alla base del corpo è uguale alla parte femmina del raccordo utilizzato per unire le tubazioni dello stendimento antincendio, fatta eccezione per il girello che è del tipo fisso e non mobile; per il collegamento con la tubazione bisogna pertanto far ruotare la lancia.

Le lance possono essere da 70 e da 45 mm, in relazione al diametro del raccordo femmina di connessione. Quelle da 70 mm, che si dividono in serie corta o lunga, hanno bisogno per la manovra di due operatori e montano bocchelli diversi, con diametro variabile come segue:

14 mm - 16 mm - 18 mm - 20 mm - 22 mm - 24 mm

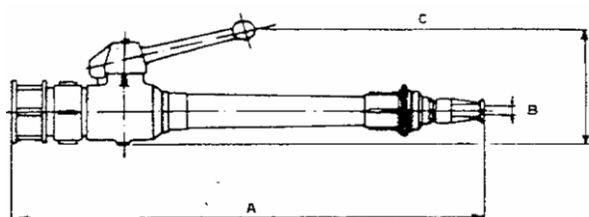
Le lance da 45 possono montare i seguenti diversi bocchelli:

8 mm - 10 mm - 12 mm

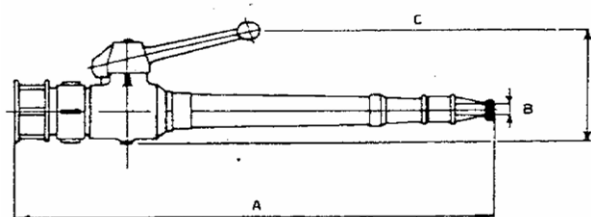
Per le caratteristiche dimensionali, le prestazioni e le prove di qualificazione delle lance tronco-coniche, ormai in disuso, a getto pieno di DN 45 e 70 si rimanda alle indicazioni contenute nella norma UNI 8478 dal titolo "Lance a getto pieno, dimensioni, requisiti e prove", di cui si riportano le tabelle relative alla portata e alla gittata di queste specifiche lance.

Oltre alle lance a getto pieno, di cui si è finora parlato, nella tecnica antincendio si utilizzano, ormai da tempo, le lance a getto variabile che, con la manovra di un adatto

dispositivo, permettono il **getto pieno**, il **getto frazionato** ed il **blocco del flusso** idrico; di seguito sono raffigurate tre tipologie di lance antincendio attualmente in uso nel CNVVF.



LANCIA IDRICA CON SCHERMO PROTETTIVO...  
PER L' OPERATORE



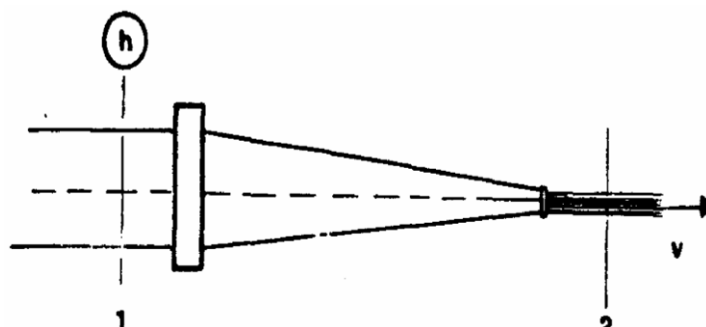
LANCIA SENZA SCHERMO PROTETTIVO



Le caratteristiche costruttive e le prestazioni delle lance antincendio a getto variabile, di DN massimo 52 mm, da utilizzare nelle installazioni fisse antincendio - rete idranti, di cui si parlerà nella successiva specifica sezione, sono dettagliatamente indicate nella norma UNI EN 671-2. Per le lance a getto variabile, per uso Vigili del Fuoco, sono state di recente emanate le norme UNI EN 15182 parte 1 – 2 – 3“ Lance antincendio manuali PN 16 e PN 40”, che ne fissano le caratteristiche costruttive, le prestazioni richieste e i metodi di prova; per gli approfondimenti si rinvia alla lettura delle norme.

#### 4.6.1 Portata erogata

Per il calcolo della portata della lancia tronco - conica, che eroga a getto pieno, si può applicare il teorema di Bernoulli tra la sezione a monte della lancia ed una a valle della stessa.



Applicando i riferimenti indicati in figura, si ha:

$$Z_1 + P_1/\gamma + V_1^2/2g = Z_2 + P_2/\gamma + V_2^2/2g$$

ove:

$Z_1 = Z_2$  altezza geotetica.

$P_2 = P_{atm} = 0$  pressione (relativa) nella sezione 2

$V_1^2/2g$  altezza cinetica nella sezione 1 (trascurabile)

$P_1/\gamma = H$  altezza di pressione nella sezione 1

Dall'equazione precedente si ha così:

$$V_2 = \sqrt{2gH} \quad \text{ove: } V \text{ (m/s) e } H \text{ (m}_{(H_2O)})$$

Ricordando che la portata è data da  $Q = A \cdot V$  ed introducendo un coefficiente  $\alpha$ , per tener conto della forma della sezione di efflusso e della viscosità del liquido, si ha:

$$Q = A \cdot \alpha \cdot V_2$$

$A$  = superficie della sezione circolare trasversale di uscita del bocchello.

$\alpha$  = coefficiente di efflusso,

ponendo  $\alpha = 0.96$  (valore sperimentale) e sostituendo  $A = (\pi D^2/4)$  si ottiene:

$$Q = 0,2 \cdot D^2 \cdot \sqrt{H} \quad \text{con: } Q \text{ (lt/min), } D \text{ (mm), } H \text{ (m}_{(H_2O)})$$

Spesso, per il calcolo della portata, viene anche usata la relazione:

$$Q = 0,65 \cdot D^2 \cdot \sqrt{P} \text{ (lt/min)} \quad \text{ove: } Q \text{ (lt/min), } D \text{ (mm), } P \text{ (bar)}$$

Per la determinazione del valore dell'altezza di pressione  $H$  si può utilizzare il tubo di Pitot, strumento che coglie la velocità dell'acqua in uscita dal foro di efflusso (bocchello) della lancia ed indica il valore della corrispondente pressione.

Per la portata delle lance a getto variabile con rubinetto regolatore del getto (getto pieno-frazionato, chiusura), il valore della portata erogata non può essere determinato con le formule precedentemente viste, ma si ricorre alla seguente espressione:

$$Q = K \cdot \sqrt{P}$$



ove: K è il coefficiente caratteristico della lancia, funzione del coefficiente di efflusso  $\alpha$  e della sezione dell'orifizio, ed è determinato con un'esperienza di laboratorio (coefficiente fornito dal fabbricante); P è la pressione idrica a monte della lancia.

#### 4.6.2 Reazione di efflusso

Quando il getto pieno esce dalla lancia si genera una forza che ha verso contrario al flusso idrico (reazione di efflusso) che può essere valutata con la seguente espressione:

$$R = 1,5 \cdot p \cdot D^2$$

ove: R è la reazione del getto (Kg)  
p è la pressione a monte della lancia (Kg/cm<sup>2</sup>)  
D è il diametro del bocchello (cm)

ovvero

$$R = 150 \cdot p \cdot D^2$$

ove: R (N)  
p (MPa)  
D (cm)

I valori della reazione del getto calcolati con la precedente formula possono essere facilmente ricavati. Applicando la formula ad una lancia di 45 mm, con bocchello da 10 mm, e con pressione a monte di 5 Kg/cm<sup>2</sup>, la reazione del getto varrà:

$$R = 1,5 \cdot 5 \cdot 1^2 = 7,5 \text{ Kg}$$

Il valore massimo ammissibile della reazione del getto, per un operatore, non dovrebbe superare i 12 Kg (120 N).

In uno stendimento antincendio oltre alla reazione di efflusso agiscono altre forze, in particolare in corrispondenza di ogni curva della tubazione flessibile; di queste forze, e in particolare di quelle in vicinanza dell'operatore, si deve tener conto nella determinazione della sollecitazione sull'operatore che sostiene la lancia idrica.

La forza effettiva che sollecita l'operatore VVF potrà comunque essere inferiore alla forza teorica prima vista, considerato che alcune sollecitazioni che sono caratteristiche dell'installazione, si possono scaricare, in parte, attraverso la stessa tubazione, che è in contatto con il terreno, o anche attraverso specifici supporti.

Nella tabella che segue sono riportati i valori della reazione di efflusso (N) per bocchelli di lance da 45 e 70 mm, in funzione della pressione (MPa) a monte della lancia.

<b>DIAMETRO BOCCELLO (mm)</b>	<b>0,2 MPa</b>	<b>0,4 MPa</b>	<b>0,5 MPa</b>	<b>0,6MPa</b>
10	30	60	75	90
12	43	86	108	130
16	77	154	192	230
22	145	290	363	436

**Ricorda: 1 bar = 0,1 MPa**

#### 4.6.3 Spinta del getto

La spinta del getto  $S$  (per una lancia a getto pieno) su di una superficie normale, posta ad una distanza molto piccola dalla lancia, è identica, per il principio di azione e reazione, alla reazione del getto che abbiamo in precedenza visto.

Si ha così:

$$S = R = 150 \times p \times D^2$$

Allontanandoci dalla sezione di efflusso della lancia, si ha che il valore della spinta del getto scende dapprima lentamente, poi molto velocemente con l'aumentare della distanza della lancia dalla superficie.

#### 4.6.4 Gittata di lancio a getto pieno

In un ambiente privo di aria la gittata di un getto idrico, intesa come distanza tra il dispositivo di lancio e il punto raggiunto dal getto, misurata sia in orizzontale che verticale, dipende essenzialmente dall'inclinazione del getto e dalla sua velocità.

La massima gittata, in orizzontale, ( $X_{\max}$ ) in un ambiente privo d'aria, si ha per un angolo di inclinazione di  $45^\circ$  mentre la massima gittata ( $Y_{\max}$ ), in verticale, (altezza del getto) si ha per un angolo di inclinazione di  $90^\circ$  e valgono:

$$\begin{aligned} \alpha = 90^\circ &\longrightarrow X_{\max} = \text{indeterminato} & Y_{\max} &= V^2/2g \\ \alpha = 45^\circ &\longrightarrow X_{\max} = 2(V^2/2g) & Y_{\max} &= \frac{1}{2} (V^2/2g) \end{aligned}$$